نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۳۷۹-۱

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

فهرست مطالب

ارزیابی کارایی مصرف نور و عملکرد در کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با خلر (*Lathyrus sativus L.*) ۱
امین یاری، فرزاد مندنی، علیرضا باقری، حمید چقازردی

بررسی عملکرد و اجزای عملکرد بالنگوی شهری (***Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer**) در کشت مخلوط با باقلا (***Vicia faba* L.**) ۱۷
جلیل شفق کلوانق، یعقوب راعی، حسن دهقانیان، الهام کوهی

ارزیابی تنوع زیستی کشاورزی در افغانستان؛ تنوع گونه‌ای و ژنتیکی محصولات زراعی ۲۷
محمدیوسف جامی، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی ، سرور خرم دل، رامین نظریان

اثر باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و شاخص‌های کیفی برنج تحت سطوح مختلف کودهای شیمیایی و آلی ۴۵
امید دیوسالار، ارسطو عباسیان، مرتضی نصیری، رحمت عباسی

اثرات قطع آبیاری در دو مرحله مهم رشد بر خصوصیات زراعی گندم نان ۶۷
شهریار ساسانی، رضا امیری، رسول جلیلیان

اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد کلزا (***Brassica napus L.***) ۸۵
یعقوب راعی، سارا آذرنژاد، صفر نصراله‌زاده، یونس خیری‌زاده آروق

تأثیر مصرف توأم بیوچار و نیتروژن بر برخی خصوصیات زراعی بوته کلزا و کارایی مصرف آب در شرایط تنش کم‌آبی ۱۰۳
اسعد قادر پور ، عادل ریحانی تبار نصرت اله نجفی، داود زارع حقی، سهیل سلیمی ترازوج

پاسخ مورفوفیزیولوژیک گلایول (*Gladiolus grandiflora*) به کاربرد مواد هیومیکی و آمینواسید ۱۲۵
زهرا مصطفی‌نژاد نشلی، مهناز کریمی، ویدا چالوی

اثر هیومیک اسید بر پارامترهای فیزیولوژیک و رویشی دانهال‌های دوساله عناب (*Ziziphus jujuba* Mill.) در شرایط نهالستان ۱۳۹
ایمان صاحب علم، داود کرتولی نژاد، علیرضا زارع، ابراهیم گنجی مقدم

تأثیر سلنیوم بر رشد، فیزیولوژی و متابولیت‌های ثانویه گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی..... ۱۵۳
معصومه مرادی، بهروز اسماعیل پور، سعید علی‌پور، موسی ترابی گیگلو

تأثیر محلول‌های غذایی مختلف بر روی خصوصیات کیفی و فیزیولوژیکی دو رقم فلفل ۱۷۳
رعنا احبی مایان، جابر پناهنده ینگجه، صاحبعلی بلندنظر، مینا امانی، زهرا داداشیان

بررسی اثر محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون روی صفات رشدی و عملکرد دانه ذرت تحت تنش کم‌آبی ۱۸۹
عزیزاله قاسمی، سلیم فرزانه، سجاد محرم نژاد، رئوف سید شریفی، احمد فتحی یوسف

بررسی ارتباط مکانی علف هرز دم‌روباهی کشیده (*Alopecurus myosuroides* Huds.) با خصوصیات خاک در مزرعه گندم با استفاده از روابط زمین‌آماری ۲۰۱
عباس نصیری دهسرخی، سید احمد قنبری، حسن مکاریان، محمدرضا اصغری پور

جمعیت علف‌های هرز و کارایی مصرف برخی علفکش‌ها تحت تأثیر مدیریت تلفیقی بقایای گندم و مالچ سبز ماش در مزرعه ذرت ۲۲۳
حسین صرخه، علی منصفی، پیمان حسیبی

مطالعه دگر(نا)سازگاری و معرفی بهترین والد گرده‌زا در چهار ژنوتیپ امیدبخش بادام برای دستیابی به تولید محصول پایدار ۲۳۷
محمد زرین‌بال، جلیل دژم‌پور، حسین فتحی

تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان در شرایط شور با استفاده از تجزیه AMMI و GGE-Biplot ۲۵۳
اشکبوس امینی، علی اکبر اسدی، سیدمحمدتقی طباطبایی، ذبیح الله راوری، داود امین آزرم، الیاس آرزمجو ، امید پودینه

ارزیابی و مقایسه کارایی و پایداری تولید سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول بر پایه روش تحلیل امرژی ۲۷۵
ابراهیم اسدخانی، محمود رمرودی، محمدرضا اصغری پور، حمیدرضا شاه حسینی

تحلیل عوامل موثر بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی در شهرستان آذرشهر..... ۲۹۳
حسین راحلی، فاطمه کاظمیه، وحیده فرامرزی

بررسی اثر مالیات بر کربن بر کنترل آلودگی در بخش کشاورزی ایران (با اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی).... ۳۱۱
فاطمه طایی سمیرمی، صادق خلیلیان

بررسی جمعیت‌های مختلف بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) از نظر درصد و عملکرد پروتئین در شرایط آب و هوایی آذربایجان شرقی ۳۳۳
جلیل شفق کلوانق، عادل دباغ محمدی نسب، یعقوب راعی، پیوند صمیمی‌فر، مینا امانی

تاثیر ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *Galleria mellonella* L. در دماهای پایین روی کارایی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* Say. ۳۵۱
ناهید واعظ، پری دستمالچی، علی مهرور

تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاربرد بقایای گیاهی بر عملکرد و ویژگی‌های رشدی تریتیکاله (X *Triticosecale* Wittmack) ۳۷۹
سهیلا حسین‌زاده، اسفندیار فاتح، امیر آینه‌بند، معصومه فرزانه، جعفر حبیبی‌اصل

نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار

نشریه علمی - پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

صاحب امتیاز: دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

مدیر مسئول: نصراله زاده، صفر — استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

سردبیر: دباغ محمدی نسب، عادل — استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

مدیر داخلی : بنده حق، علی — استاد گروه به نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

زمینه انتشار: کشاورزی پایدار

هیات تحریریه:

محمدرضا شکیبا — استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشگاه تبریز

راعی، یعقوب — استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشگاه تبریز

زهتاب سلماسی، سعید — مرکز مطالعات کشاورزی پایدار، دانشکده علوم گیاهی ومحیطی، دانشگاه نیومکزیکو، آمریکا

سید شریفی، رئوف — استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی

بهمن پاسبان اسلام — مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرق

صاحبعلی بلندنظر — استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

روح اله امینی — استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

رضا امیرنیا — استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

آیدین حمیدی — دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال-کرج

علیرضا سیروس مهر — دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل

خلیل کریمان — عضو هیئت علمی دانشگاه وسترن استرالیای غربی

محمود محمد رضوان — عضو هیات علمی دانشگاه Al-Muthana جامعه المثنی بعداد

اعتبار علمی این نشریه برطبق نامه شماره ۳/۱۱/۱۳۸۲ مورخ ۱۳۸۸/۸/۲۳ و براساس نامه شماره ۳/۸۲۳۸۶ مورخ ۱۳۹۱/۰۴/۱۴ کمیسیون بررسی اعتبار نشریات علمی کشور تایید و تمدید شده است.

بر اساس رتبه بندی کمیسیون بررسی نشریات، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدارهشت سال متوالی رتبه Q1 در پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC را کسب کرده است.

نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار براساس آئین نامه نشریات علمی مصوب ۰۱/۰۲/۱۳۹۸ در ارزیابی سال ۱۴۰۱ و سال ۱۴۰۲ موفق به کسب رتبه الف شده است

آدرس: دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، دفتر نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار
کد پستی ۵۱۶۶۶۱۴۷۶۶ تبریز

تلفن: ۳۳۳۹۲۰۳۷-۰۴۱ ، فاکس ۳۳۳۵۶۰۰۲- ۰۴۱

assp.tabrizu@gmail.com ,
https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/

کارشناس نشریه:
رقیه سعادت‌پور


بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار

با عنایت خداوند متعال و با همکاری همه‌ی عزیزانی که با ارسال مقاله، داوری، تطبیق، تایپ، صحافی و توزیع، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار را یاری می‌رسانند، اینک شماره جدید این نشریه به عرصه علم کشاورزی پا می-گذارد. چنانچه در شماره‌ی قبلی یادآوری گردید، این نشریه، بعد از تخصصی شدن مجلات، به عنوان یکی از ادامه دهندگان و شاید اصلی‌ترین وارث "نشریه دانش کشاورزی" مورد تایید وزارت علوم، تحقیقات و فنآوری قرار گرفت و از سال ۸۸ که اجازه انتشار آن داده شده است، صرفاً مقالات تخصصی مرتبط با زمینه "کشاورزی پایدار" را که موضوعات اصلی آن در پیش‌گفتار جلد اول ذکر گردیده‌اند، به طریق "On line" و آدرس assp.tabrizu@gmail.com دریافت و بعد از داوری به چاپ می‌رساند. لذا، با عنایت به تأکید کمسیون محترم نشریات کشور مبنی بر تخصصی‌تر شدن نشریه، خواهشمند است از ارسال مقاله‌هایی که ارتباط مستقیمی با کشاورزی پایدار ندارند، خودداری شود. قابل ذکر است که نشریه علمی پژوهشی "دانش کشاورزی و تولید پایدار" در بانک اطلاعات نشریات کشور (www.magiran.com)، پایگاه علمی جهاد دانشگاهی (www.sid.ir)، چکیده مقالات CAB International و پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (www.isc.gov.ir)، در پایگاه DOJ، در شبکه های اجتماعی Linkdin و چندین پایگاه معتبر دیگر نمایه (Index) می‌گردد.

امیدواریم، نتیجه‌ی تلاش‌های به عمل‌آمده برای انتشار این نشریه به صورت عملی در عرصه‌های مختلف کشاورزی، موجب افزایش تولید و ثروت کشور عزیزمان باشد. چشم به راه همکاری‌های بیشتر و عالمانه‌تر همه‌ی شما.

هیات تحریریه

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2025, Pages 1-16

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Evaluation of Radiation Use Efficiency and Yield in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and Lathyrus (*Lathyrus sativus L.*) Intercropping

Amin Yari[1], Farzad Mondani[2*], Alireza Bagheri[3], Hamid Reza Chaghazardi[4]

Received: 24 June 2023	Accepted: 09 November 2023

1- MSc student of Agro ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
2-Assoc. Prof., Crop Ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
3- Assist. Prof., Weed Science, Dept. of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
4- Assist. Prof., Crop Ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
*Corresponding Author Email: f.mondani@razi.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: The objectives of this study were evaluation of radiation absorption and use efficiency, and finally grain yield of Safflower and Lathyrus in intercropping system under dryland farming.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications and five treatments at Razi University during 2018-2019. The experimental treatments included monoculture of Safflower, monoculture of Lathyrus, and three intercropping arrangements (25:75, 50:50, and 75:25 ratios of Safflower and Lathyrus, respectively).

Results: The leaf area index and radiation absorption in intercropping compared to monoculture increased by 19.3% and 50.7%, respectively. The maximum crop growth rate and relative growth ration of safflower in the conditions of intercropping than monoculture improved by 10.2% and 16.8%, respectively. The total dry matter accumulation in intercropping was higher by 7% compared to monoculture. In the conditions of intercropping, the light use efficiency was improved compared to monoculture. the highest grain yield of safflower was observed in monoculture, which of course was not significantly different with the treatment of 25:75 ratio and 50:50 treatment of safflower and Lathyrus.

Conclusion: Among the tested arrangements in this study, replacement intercropping of Safflower and Lathyrus with a ratio of 50:50 was superior in terms of growth indicators and yield, and was the most suitable arrangement of intercropping in the present experiment.

Keywords: Crop Growth Rate, Grain Yield, Leaf Area Index, Relative Growth Rate, Total Dry Weight

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Farzad Mondani E-mail: f.mondani@razi.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.57246.3073

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۶-۱

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی کارایی مصرف نور و عملکرد در کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با خلر (*Lathyrus sativus L.*)

امین یاری[۱]، فرزاد مندنی*[۲]، علیرضا باقری[۳]، حمید چقازردی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۳	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۸

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲-دانشیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳- استادیار شناسایی و مبارزه با علف های هرز، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴- استادیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
* نویسنده مسئول: f.mondani@razi.ac.ir

چکیده

اهداف: هدف از این پژوهش ارزیابی اثر کشت مخلوط گلرنگ با خلر بر برخی شاخص‌های رشد، کارایی جذب و مصرف نور و نهایت عملکرد دانه در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و پنج تیمار در دانشگاه رازی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص گلرنگ، کشت با نسبت ۲۵:۷۵ گلرنگ و خلر، کشت با نسبت ۵۰:۵۰ گلرنگ و خلر، کشت با نسبت ۷۵:۲۵ گلرنگ و خلر و کشت خالص خلر بودند.

یافته‌ها: میزان شاخص سطح برگ و به دنبال آن میزان جذب نور در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی به ترتیب ۱۹/۳ و ۵۰/۷ درصد افزایش یافت. حداکثر سرعت رشد محصول و رشد نسبی گلرنگ در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به ترتیب ۱۰/۲ و ۱۶/۸ درصد بهبود یافت. تجمع ماده خشک کل در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی ۷ درصد بالاتر بود. در شرایط کشت مخلوط کارایی مصرف نور در مقایسه با تک کشتی بهبود یافت. عملکرد دانه گلرنگ در کشت خالص بالاترین میزان را داشت که البته با تیمار ۲۵:۷۵ و ۵۰:۵۰ گلرنگ و خلر تفاوت معنی‌داری نداشت.

نتیجه‌گیری: در بین تیمارهای آزمایش الگوی کشت مخلوط جایگزینی گلرنگ:خلر با نسبت ۵۰:۵۰، از لحاظ شاخص‌های رشد، کارایی جذب و مصرف نور برتری داشت و مناسب‌ترین الگوی کشت مخلوط در آزمایش حاضر بود.

واژه‌های کلیدی: سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، شاخص سطح برگ، وزن خشک کل، عملکرد دانه

مقدمه

کشت مخلوط از جنبه‌های مثبت و مزایای زیادی برخوردار است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: بهبود کارایی استفاده از منابع محیطی (به خصوص آب و عناصر غذایی)، مدیریت بهتر علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، بهبود نفوذپذیری و کاهش فرسایش خاک، افزایش انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری بوم نظام کشاورزی در برابر تنش‌ها و نوسانات محیطی و در نهایت تنوع و ثبات تولید، افزایش درآمد مزرعه و کاهش ریسک تولید (ماراستونی و همکاران ۲۰۱۹). با توجه به روند رو به

رشد جمعیت و افزایش مصرف سرانه روغن و هزینه زیاد تأمین روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات، توسعه کشت گیاهان دانه روغنی سازگار به شرایط اقلیمی کشور و همچنین گسترش برنامه‌های تحقیقاتی در این زمینه حائز اهمیت است.

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است و معمولاً برای تولید روغن، رنگرزی، طعم غذا، مصارف پزشکی و خوراک دام کشت می‌شود (پیرتی ۲۰۱۷). حبوبات نیز نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی جامعه بشری و علوفه دام به ویژه کشورهای در حال توسعه دارند. پس از غلات دومین منبع مهم غذایی بشر حبوبات هستند که متعلق به خانواده بقولات و زیر خانواده پروانه‌آسایان هستند. در میان گیاهان زراعی متداول در مناطق خشک و نیمه خشک، حبوبات از جمله گیاهانی هستند که بیشتر در خاک‌های نه چندان حاصلخیز و اراضی حاشیه‌ای کشت می‌شوند. حبوبات بزرگ‌ترین منبع پروتئین گیاهی بوده، به طوری که تقریباً ۱۸/۵ درصد پروتئین گیاهی انسان از طریق حبوبات تأمین می‌گردد. تثبیت نیتروژن مولکولی علاوه بر رفع نیازهای خود گیاه، برای گیاهان که در تناوب سال بعد قرار می‌گیرد بسیار مفید است (داشادی و رسایی ۲۰۲۰).

کمبود علوفه یکی از مشکلات اصلی دامپروری در ایران است. توجه به کشت محصولات علوفه‌ای با شیوه علمی به ویژه به صورت کشت مخلوط از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. خلر (*Lathyrus sativus L.*) از بقولات علوفه‌ای فراموش شده به شمار می‌آید که نقش مهمی را در کشاورزی پایدار و تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاهان زراعی ایفا می‌کنند (مهدوی و همکاران ۲۰۱۰). خلر گیاهی است یک‌ساله از خانواده‌ی بقولات که سازگاری زیادی به عوامل نامساعد محیطی از جمله خشکی و سرما دارد. این گیاه مستعد تولید عملکرد خوب، حتی در بدترین شرایط اقلیمی و سازگار به فصول سرد می‌باشد. با توجه به دست‌یابی به مقادیر بالای عملکرد دانه و زیست‌توده در گیاهان پوششی، کاشت این گیاهان در کنار ردیف‌های گلرنگ از طریق افزایش تنوع زیستی در مزرعه، موجب استفاده مطلوب‌تر از نهاده‌ها و تولید محصول جانبی علوفه نیز می‌شود، که در کشاورزی پایدار هم مورد توجه است. با توجه به اهمیت گیاهان ذکر شده و لزوم استفاده از روش‌های نوینی چون کشت مخلوط در کشاورزی در این تحقیق کوشش شده است تا با بررسی برخی از ویژگی‌های رشدی نظیر کارایی جذب و مصرف تشعشع کشت مخلوط گلرنگ با خلر، بتوان از نتایج به دست آمده در مدیریت اراضی زراعی، به ویژه اراضی کوچک استفاده کرد، تا هم تنوع زیستی در اکوسیستم‌های کشاورزی را بالا برد و هم رشد فزاینده مصرف ترکیبات شیمیایی را کاهش داد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط دیم و در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۰ متر) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و پنج تیمار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص گلرنگ، کشت با نسبت ۲۵:۷۵ گلرنگ و خلر، کشت با نسبت ۵۰:۵۰ گلرنگ و خلر، کشت با نسبت ۷۵:۲۵ گلرنگ و خلر و کشت خالص خلر بودند. در این تحقیق گلرنگ گیاه اصلی و خلر به‌عنوان گیاه جایگزین در نظر گرفته شدند. تراکم بوته برای گلرنگ ۴۰ بوته در متر مربع با فاصله ۵۰ و ۵ سانتی‌متر و برای خلر نیز ۱۶۰ بوته در متر مربع با فاصله ۲۵ و ۳ سانتی‌متر به ترتیب بین و روی ردیف در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که برای اجرای آرایش‌های کشت مخلوط جایگزینی ابتدا برای هر یک از گیاهان جایگزین، واحد گیاهی (به نسبت یک به چهار) محاسبه شد. قبل از اجرای آزمایش از خاک مزرعه به منظور تعیین ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌برداری صورت گرفت (جدول ۱). اطلاعات فاکتورهای مهم هواشناسی طی دوره اجرای آزمایش نیز برای منطقه مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

شن	رس (٪)	سیلت	اسیدیته خاک	نیتروژن ٪	کربن آلی	پتاسیم قابل جذب (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	بافت خاک
۲۲	۵۳	۲۵	۷/۸	۰/۰۱	۰/۹	۳۲۰	۱۱/۸	رسی-سیلتی

آبان ماه ۱۳۹۷ انجام شد. به منظور اجرای یک سیستم دهم آبان‌ماه و با دست انجام گرفت. عملیات تنک کردن برای رسیدن به تراکم مورد نظر پس از سبز شدن و رسیدن بوته‌ها به مرحله شش برگی انجام شد. در این آزمایش برای گلرنگ رقم سینا و برای خلر توده محلی استفاده شد. بذرها از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان کرمانشاه تهیه شد.

آماده‌سازی زمین شامل شخم با گاوآهن قلمی بود که در اکولوژیک کم‌نهاده تا انتهای دوره رشد گیاه از هیچ گونه نهاده شیمیایی استفاده نشد ولی از کود دامی پوسیده به میزان ۱۰ تن در هکتار استفاده شد. عملیات کشت گونه‌های مورد بررسی پس از وقوع اولین بارندگی مؤثر (بیست و هشتم مهرماه ۱۳۹۷) صورت گرفت. کشت نیز به صورت همزمان و پس از آماده‌سازی زمین در تاریخ

جدول ۲- مشخصات فاکتورهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه در دوره آزمایش

ماه‌های سال	بارندگی	دمای حداقل	دمای حداکثر	دمای متوسط
آبان	۱۲۵/۳	۱/۳	۲۵/۵	۱۲/۳
آذر	۱۰۴/۰	-۲/۷	۱۷/۱	۷/۴
دی	۴۱/۵	-۱۰/۶	۱۶/۱	۴/۵
بهمن	۹۶/۳	-۷/۳	۱۵/۸	۵/۴
اسفند	۷۹/۱	-۵/۲	۱۸/۳	۶/۵
فروردین	۱۹۴/۸	-۱/۵	۲۳/۲	۱۰/۴
اردیبهشت	۱۷/۵	-۰/۱	۳۲/۷	۱۶/۷
خرداد	۰/۰	۱۰/۳	۳۷/۶	۲۶/۰
تیر	۰/۰	۱۱/۹	۴۲/۸	۳۰/۶
مرداد	۰/۰	۱۴/۴	۴۳/۵	۳۱/۳

به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های رشد و عملکرد اجزای مخلوط نمونه‌برداری‌ها در دو بخش تخریبی و نهایی انجام شد. به این صورت که ابتدا بخشی از هر کرت به منظور نمونه‌برداری نهایی کنار گذاشته و در بخش دیگر نمونه‌برداری‌های تخریبی انجام شد. نمونه‌برداری‌های تخریبی از ابتدای مرحله طویل شدن ساقه‌ها و در ۶ مرحله به فاصله هر ۱۵ روز یکبار انجام شد. در هر مرحله نمونه‌برداری ۵ بوته به تفکیک اجزای مخلوط از هر کرت به صورت کاملاً تصادفی برداشت شد و سپس نمونه‌ها برای اندازه‌گیری صفات موردنظر به آزمایشگاه منتقل گردید. به منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LAI)، برگ‌های نمونه‌برداری شده در آزمایشگاه از ساقه‌ها جدا و سپس با استفاده از نرم‌افزار J Microvision محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری ماده خشکل کل (TDM) ابتدا نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون خشک شد و سپس توزین گردید. برای تخمین مقادیر ماده خشک کل روزانه از برازش رابطه ۱ استفاده شد (کوچکی و همکاران ۲۰۱۰).

$$\mathrm{TDM} = \frac{a}{(1+b\times e^{(-c\times x)})} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در اینجا TDM: ماده خشک کل بر حسب گرم در متر مربع، a: حداکثر ماده خشک کل، b: زمانی که روند تغییرات ماده خشکل کل وارد مرحله خطی می‌شود، c: سرعت رشد نسبی و x: زمان بر حسب روز پس از سبزشدن است. برای محاسبه سرعت رشد محصول (CGR) از مشتق اول رابطه ماده خشک کل (رابطه ۱) استفاده شد و سرعت رشد نسبی (RGR) نیز از مشتق

دوم رابطه مذکور محاسبه شد. به منظور محاسبه میزان جذب تشعشع و کارایی مصرف تشعشع، ابتدا میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی کرمانشاه محاسبه گردید. سپس تشعشع جذب شده روزانه برای هر گونه (گلرنگ و نخود) بر اساس روابط ۲ تا ۴ محاسبه شد (تسوبو و همکاران ۲۰۰۵).

$$Iabs = I0 * (1 – P) \times (1 - \exp(-KS * LAIS) + (-KP*LAIP)$$ (رابطه ۲)

$$IS = Iabs * ((KS * LAIS) / ((KS * LAIS) + (KP*LAIP))$$ (رابطه ۳)

$$I_P = I_{abs} – I_S$$ (رابطه ۴)

در این روابط، I_{abc}: تشعشع جذب شده توسط کانوپی مخلوط (مگاژول بر متر مربع)، I_0: تشعشع رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر متر مربع)، P: ضریب انعکاس نور که معادل پنج درصد درنظر گرفته شد (مندنی و همکاران، ۲۰۱۹)، K_s: ضریب خاموشی گلرنگ که ۰/۴۸ درنظر گرفته شد (معصوم پور ۲۰۱۷)، K_p: ضریب خاموشی خلر که ۰/۷ درنظر گرفته شد، LAI_s: شاخص سطح برگ روزانه گلرنگ، LAI_p: شاخص سطح برگ روزانه خلر، I_S: تشعشع جذب شده توسط کانوپی گلرنگ و I_p: تشعشع جذب شده توسط کانوپی خلر است. برای برآورد مقادیر شاخص سطح برگ روزانه از برازش رابطه ۵ استفاده شد.

در این رابطه، a: عرض از مبدا، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی و c: روز بعد از سبز شدن است.

کارایی مصرف تشعشع (RUE) بر حسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک کل (گرم بر متر مربع) و میزان تشعشع جذب شده تجمعی (مگاژول بر متر مربع) محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد نهایی، در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (به تفکیک گونه) محصولات زراعی مورد بررسی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای بوته‌های موجود در هر واحد آزمایشی به مساحت ۱/۸ متر مربع (متر۰/۶×۳ متر) برداشت (در مورخ ۱۳۹۸/۰۵/۱۰ برای هر دو محصول) و پس از خرمن‌کوبی و بوجاری بوته‌ها، عملکرد دانه بر اساس کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. همچنین جهت تعیین سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی نسبت برابری زمین (LER[۱]) که یکی از رایج‌ترین شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط می‌باشد از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$LER = Yaa/Yab + Ybb/Yba$$ رابطه (۶)

در اینجا Yab، عملکرد گونه a در کشت مخلوط، Yaa، عملکرد گونه a در کشت خالص، Yba، عملکرد گونه b در کشت مخلوط و Ybb، عملکرد گونه b در کشت خالص است. در پایان نیز به منظور آنالیز واریانس و مقایسه میانگین از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و برای برازش معادلات و رسم گراف‌ها به ترتیب از نرم‌افزارهای Slidewrite و اکسل استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح آماری ۵ درصد انجام شد.

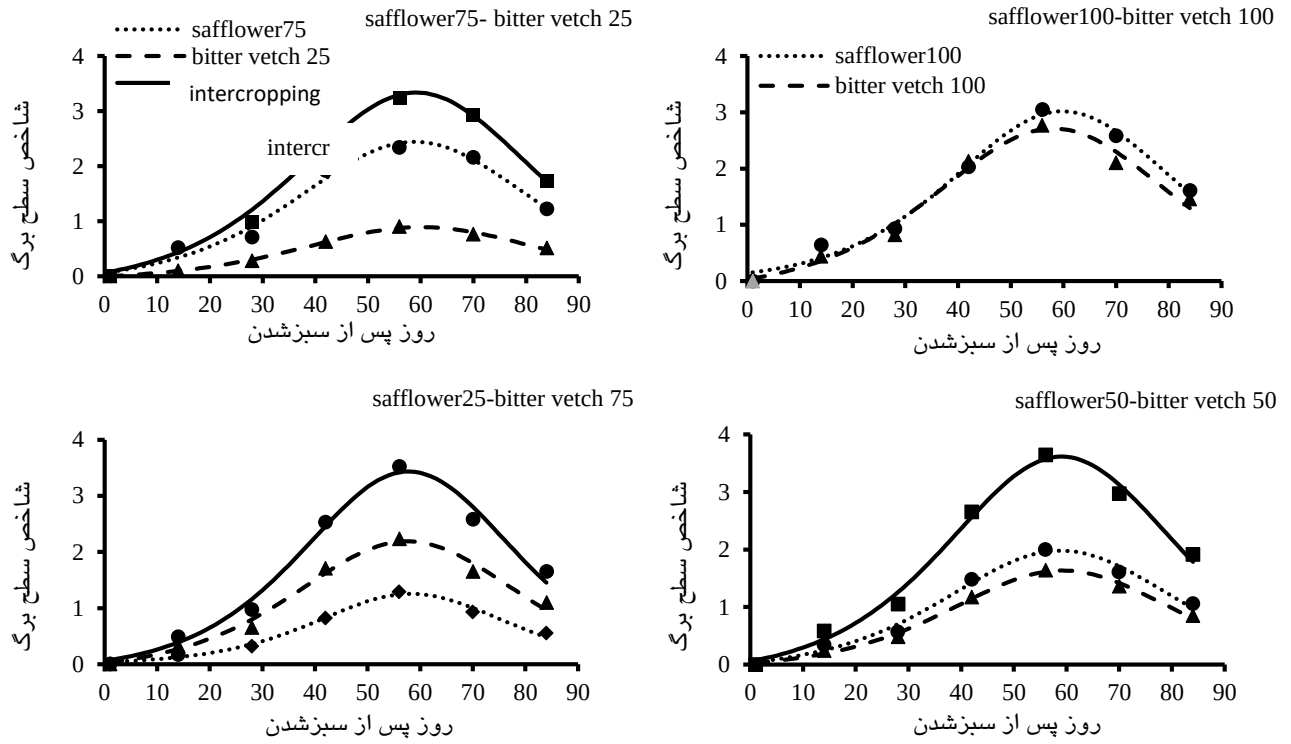
نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج این بررسی نشان داد که شاخص سطح برگ گلرنگ و خلر تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفتند (شکل ۱ و جدول ۳). صرف‌نظر از تیمارهای آزمایش شاخص سطح برگ در اوایل دوره رشد به دلیل کوچک بودن بوته‌ها دارای سرعت رشد کندی بود و تا حدود ۳۰ روز پس از سبزشدن بصورت نمائی رشد نمود. از این تاریخ به بعد وارد مرحله رشد خطی خود گردید و در حدود ۵۰ الی ۶۰ روز پس از سبز شدن به حداکثر میزان خود رسید و سپس تا انتهای دوره رشد روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۱).

$$LAI = a + b * 4 * (\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2$$ (رابطه ۵)

[۱] - Land Equivalent Ratio



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ کانوپی (گلرنگ+ خلر) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

جدول ۳- مقادیر ضرایب معادله لجستیک پیک شاخص سطح برگ

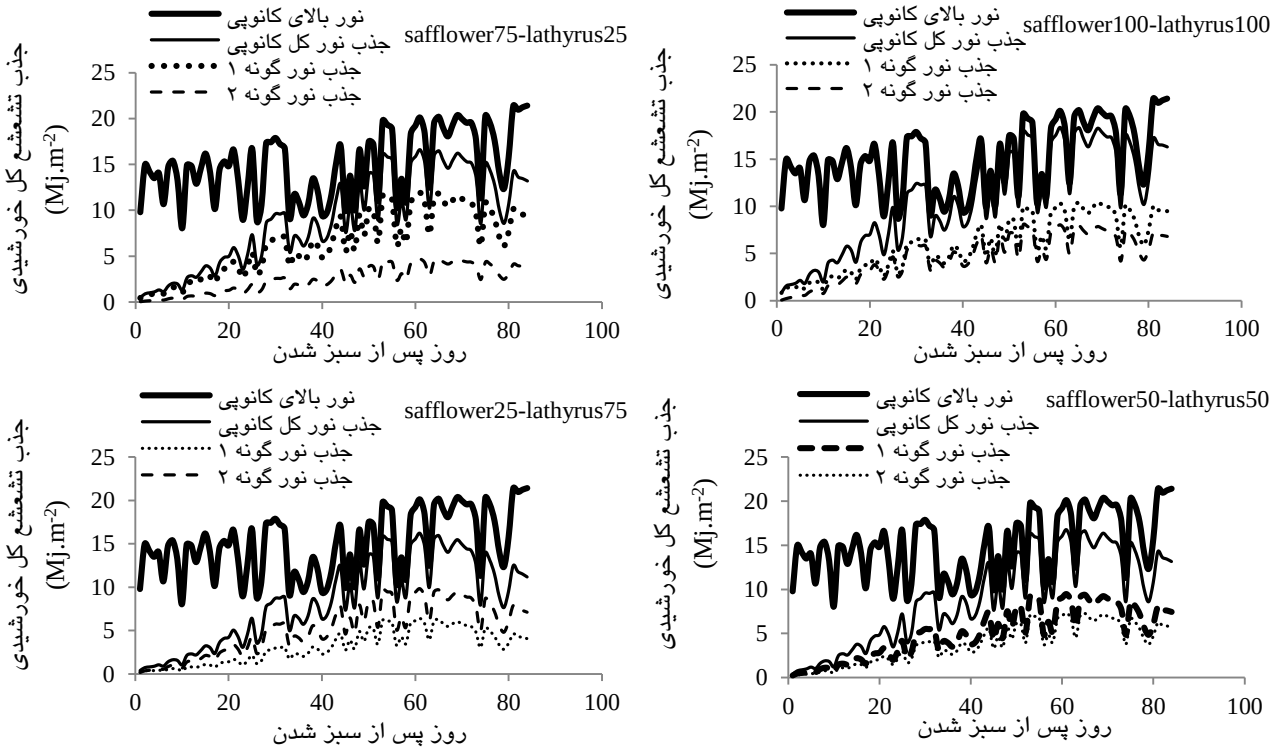
تیمار	ضرایب معادله				ضریب تشخیص
	a	b	c	d	(R2)
خالص گلرنگ	-۰/۰۳	۳/۰۵	۵۹/۸۷	۱۴/۲۲	۰/۹۸
گلرنگ ۲۵	-۰/۱۳	۲/۵۸	۵۸/۸۱	۱۵/۰۳	۰/۹۷
گلرنگ ۵۰	-۰/۱۱	۲/۰۹	۵۸/۹۱	۱۴/۷۵	۰/۹۱
گلرنگ ۷۵	-۰/۰۱	۱/۲۶	۵۸/۲۳	۱۲/۲۶	۰/۹۷
خالص خلر	-۰/۲۸	۲/۸۳	۵۷/۵۰	۱۵/۵۳	۰/۹۷
خلر ۲۵	-۰/۱۴	۲/۳۳	۵۷/۵۵	۱۴/۴۲	۰/۹۳
خلر ۵۰	-۰/۰۹	۱/۷۲	۵۹/۲۴	۱۴/۴۹	۰/۹۹
خلر ۷۵	-/۰۸	۰/۹۷	۶۰/۱۰	۱۵/۳۷	۰/۹۲
گلرنگ ۲۵: خلر ۷۵	-۰/۱۴	۳/۵۸	۵۷/۷۹	۱۳/۶۴	۰/۹۸
گلرنگ ۵۰: خلر ۵۰	-۰/۲۰	۳/۸۲	۵۹/۰۶	۱۴/۶۳	۰/۹۴
گلرنگ ۷۵: خلر ۲۵	-۰/۲۰	۳/۵۴	۵۹/۱۵	۱۵/۱۰	۰/۹۵

بیشترین شاخص سطح برگ گلرنگ در تیمار کشت خالص (حدود ۳) و کمترین آن در تیمار ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد خلر مشاهده شد. برای گیاه خلر نیز در بین نسبت‌های کشت بیشترین میزان این صفت مربوط به کشت خالص به میزان ۲/۶ مشاهده شد. نتایج نشان داد که علی رقم اینکه در آرایش‌های مختلف کشت مخلوط شاخص سطح برگ هر دو گونه نسبت به کشت خالص آن‌ها پایین‌تر بود اما در مجموع شاخص سطح برگ کانوپی مخلوط در تمام آرایش‌های کاش بالاتر بود (شکل ۱). در بین تیمارهای کشت مخلوط بیشترین شاخص سطح برگ در آرایش ۵۰:۵۰ و به میزان ۳/۶ مشاهده شد که در مقایسه با تیمار کشت خالص گلرنگ حدود ۱۹/۳

درصد بهبود نشان داد. کاهش شاخص سطح برگ اجزای کشت مخلوط زیره سبز و موسیر نسبت به تک کشتی هر یک از آن‌ها در تحقیقی دیگر نیز گزارش شده است (کوچکی و سرمدنیا ۲۰۱۳). همچنین، در تحقیقی کاهش شاخص سطح برگ اجزای تشکیل دهنده کشت مخلوط سیاهدانه با همیشه بهار و گاوزبان اروپایی نسبت به تک کشتی آن‌ها مشاهده شد (نقی پور و همکاران ۲۰۱۶).

جذب تشعشع

مقدار تشعشع رسیده در بالای کانوپی و مقدار تشعشع جذب شده توسط گلرنگ و خلر در آرایش‌های مختلف مخلوط در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که روند جذب تشعشع از روند تغییرات شاخص سطح برگ تبعیت کرد، به طوری که در ابتدای دوره رشد، میزان جذب تشعشع پایین بود و در ادامه دوره رشد گیاه با افزایش شاخص سطح برگ جذب تشعشع نیز به تدریج افزایش یافت و در مرحله گلدهی به حداکثر مقدار خود رسید و سپس با کاهش شاخص سطح برگ روند جذب تشعشع نیز کاهش یافت (شکل ۲). در آرایش‌های مختلف کشت مخلوط اگرچه کاهش جذب تشعشع به تفکیک گونه مشاهده شد اما میزان تشعشع جذب شده در کانوپی مخلوط نسبت به کشت خالص گلرنگ و خلر به طور چشمگیری بیشتر بود. میزان تشعشع جذب شده تجمعی برای گیاه گلرنگ در کشت خالص حدود ۴۹۹ مگاژول بر متر مربع بود، این درحالی است که در آرایش ۵۰:۵۰ تشعشع تجمعی به میزان ۷۵۲ مگاژول بر متر مربع جذب گردید که در مقایسه با تیمار کشت خالص گلرنگ ۵۰/۷ درصد بالاتر بود.



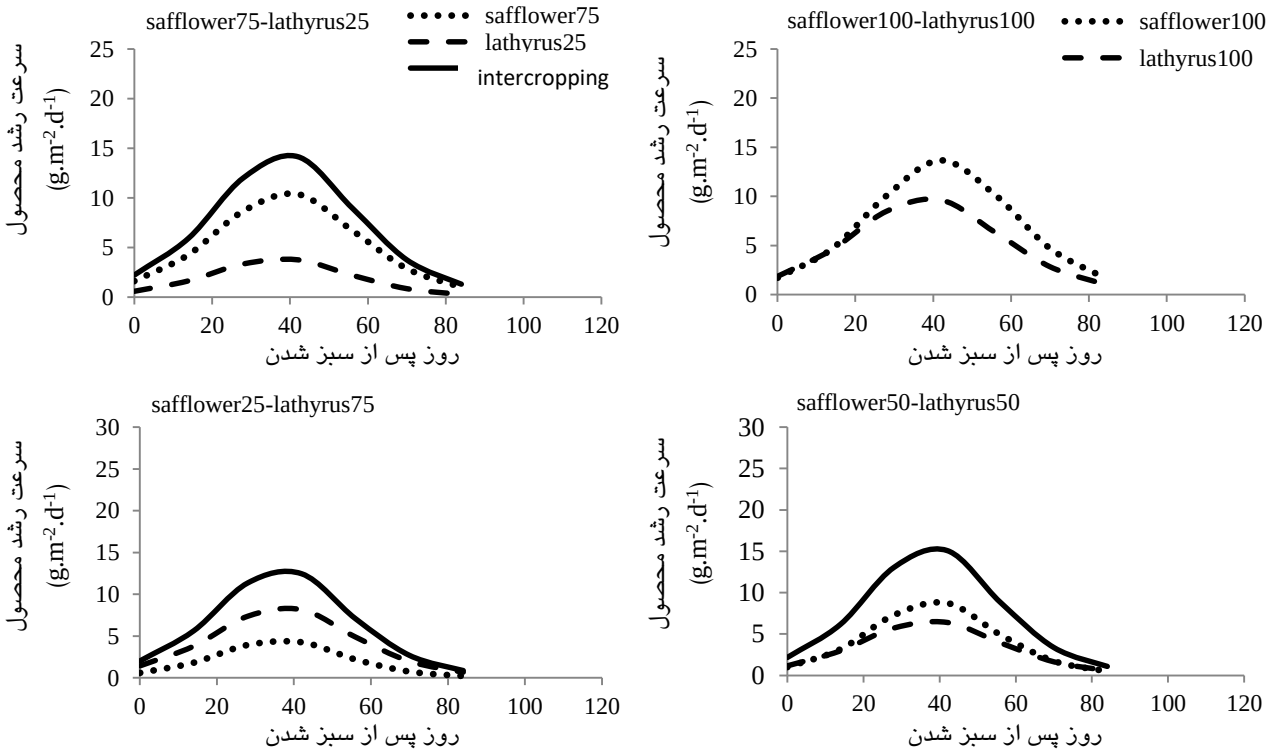
شکل ۲- روند جذب تشعشع خورشیدی کل (گلرنگ+ خلر) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

به نظر می‌رسد علت بهبود جذب تشعشع توسط کانوپی در کشت مخلوط، بهبود شاخص سطح برگ کل کانوپی که ممکن است به دلیل افزایش تعداد و سرعت گسترش برگ‌ها باشد. افزایش شاخص سطح برگ سبب می‌شود که گیاه میزان مواد فتوسنتزی بیشتری را به سبب استفاده بیشتر از تشعشع خورشید تولید کند. به عبارت

دیگر، با افزایش شاخص سطح برگ که خود مهم‌ترین اندام فتوسنتز کننده است، میزان مواد ساخته شده بیشتر می‌شود. به نظر می‌رسد گیاه خلر توانسته است با تثبیت بیولوژیک نیتروژن و افزایش حاصلخیزی خاک شرایط مطلوبی برای رشد شاخص سطح برگ و حصول جذب تشعشع بالای گلرنگ ایجاد کند. محققین دیگر نیز عنوان کرده‌اند کشت مخلوط گیاه گلرنگ با حبوبات می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در راستای افزایش ظرفیت تولید و بهبود عملکرد این گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (اسماعیلیان و امیری ۲۰۲۱). در مطالعه‌ای گزارش شد چنانچه در کشت مخلوط نسبت‌های کاشت مناسب در نظر گرفته شود، حداکثر جذب منابع در ردیف‌هایی خواهد بود که گیاهان به گونه‌ای در مجاورت یکدیگر قرار داشته باشند که اثرات تسهیل کنندگی دوگونه در کنار هم بروز نماید و با فاصله گرفتن از این ردیف‌ها، اثرات مثبت کشت مخلوط کاهش یابد (دوچن و همکاران ۲۰۱۷).

سرعت رشد محصول

نتایج نشان داد که صرفنظر از تیمارهای مورد بررسی سرعت رشد محصول پس از سبز شدن به تدریج شروع به افزایش یافتن نمود و در بازه زمانی ۴۰ تا ۵۵ روز بعد از سبزشدن به حداکثر مقدار خود رسید و بعد از این دوره به دلیل پیری برگ‌های پایین کانوپی و ریزش آنها که منجر به کاهش جذب نور گردید، وارد مرحله نزولی رشد شد که این روند تا انتهای دوره رشد گیاه ادامه داشت (شکل ۳).



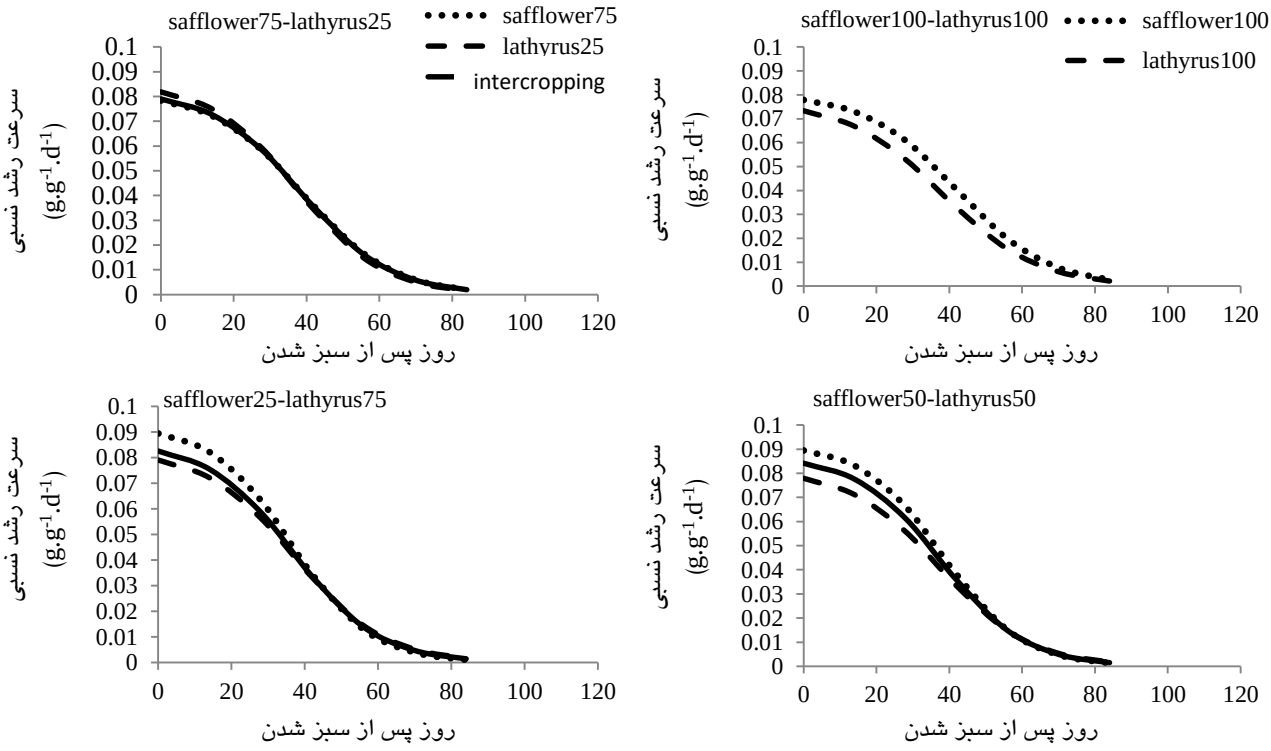
شکل ۳- روند سرعت رشد محصول (گلرنگ+ خلر) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

سرعت رشد محصول در بین تیمارهای مورد بررسی متفاوت بود. بیشترین سرعت رشد محصول برای گیاه گلرنگ در کشت خالص به میزان ۱۳/۶ گرم در متر مربع در روز و برای گیاه خلر در کشت خالص به میزان ۹/۶ گرم در متر مربع در روز مشاهده شد. کمترین سرعت رشد محصول نیز به تیمار ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد خلر متعلق بود. با افزایش سهم گلرنگ در تیمارهای کشت مخلوط سرعت رشد محصول نیز افزایش نشان داد. در بین آرایش‌های کاشت مخلوط بیشترین سرعت رشد محصول در تیمار ۷۵ گلرنگ، ۲۵ خلر و به میزان ۱۵ گرم

در متر مربع در روز مشاهده شد که در مقایسه با تیمار کشت خالص گلرنگ حدود ۱۰/۲ درصد بالاتر بود. روند تغییرات سرعت رشد محصول تابع روند جذب نور توسط کانوپی گیاه می‌باشد، این بدین معنی است در صورت ایجاد شرایطی که در آن میزان جذب نور توسط گیاه بهبود یابد، سرعت رشد محصول نیز افزایش خواهد یافت. به نظر می‌رسد در تیمارهای مختلف کشت مخلوط به علت معماری بهتر کانوپی و در نتیجه آن توزیع مطلوب‌تر نور در بین لایه‌های مختلف کانوپی، تشعشع خورشیدی رسیده به سطح کانوپی به شکل مطلوب‌تری توسط هر یک از اجرای کشت مخلوط در مقایسه با حالت تک کشتی آنها جذب شده که نتیجه آن بهبود سرعت رشد محصول گیاه است. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که سرعت رشد محصول در کانوپی کشت مخلوط ذرت و لوبیا در مقایسه با تک کشتی بهبود یافت (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵).

سرعت رشد نسبی

روند تغییرات سرعت رشد نسبی نشان داد که صرفنظر از تیمارهای مورد بررسی بیشترین میزان این صفت در مراحل ابتدای رشد مشاهده شد و از حدود ۲۰ روز پس از سبز شدن با روند تندی تا انتهای دوره رشد کاهش یافت و نهایت به صفر رسید (شکل ۴).



شکل ۴- روند سرعت رشد نسبی (گلرنگ+ خلر) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

در شرایط کشت خالص گلرنگ و خلر میزان سرعت رشد نسبی به ترتیب به میزان ۰/۰۷۷ و ۰/۰۷۳ گرم بر گرم در روز مشاهده شد. کشت مخلوط منجر به بهبود سرعت رشد نسبی شد، به گونه‌ای که بیشترین میزان این صفت (۰/۰۹۰ گرم بر گرم در روز) مربوط به تیمار ۵۰ درصد گلرنگ و ۵۰ درصد خلر بود که نسبت به کشت خالص گلرنگ حدود ۱۶/۸ بالاتر بود. افزایش وزن خشک گیاه و به دنبال آن افزایش هزینه‌های نگهداری پیکر گیاه از یک سو و از سوی دیگر طی شدن مراحل نمو فنولوژیک گیاه و برخورد با روزهای گرمتر سال از دلایل

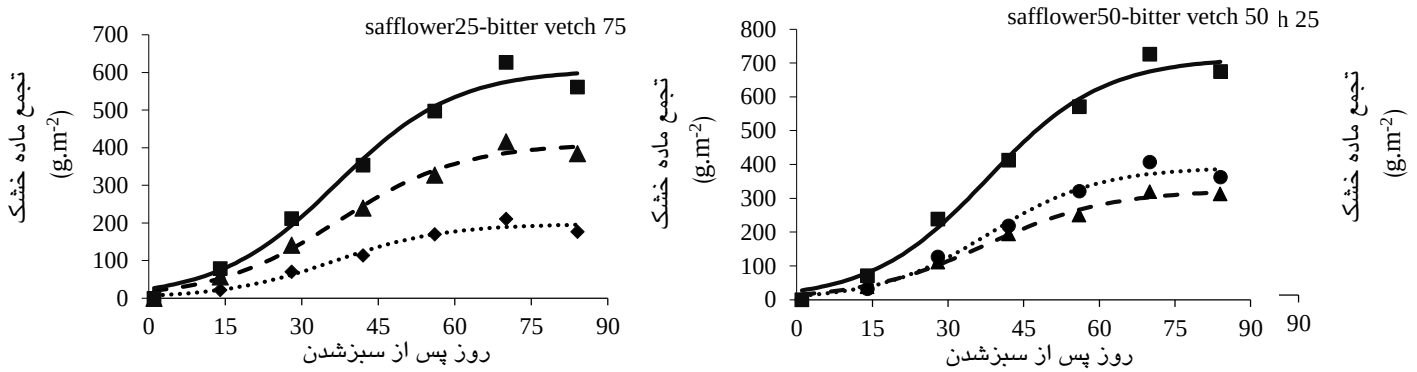
اصلی کاهش سرعت رشد نسبی در طی دوره رشد گیاه می‌باشد. در چنین شرایطی ایجاد محیط مناسب‌تر جهت بهره‌مندی هرچه بیشتر و بهتر گیاه از منابع اطراف خود بدون شک منجر به کاهش شیب نزولی سرعت رشد نسبی خواهد شد که به نظر با مخلوط کشت کردن گیاهان تاحدودی بتوان به این نتیجه دست یافت. سرعت رشد نسبی ذرت و لوبیا در تیمارهای مختلف کشت مخلوط نواری در مقایسه با تک کشتی گیاهان مذکور نیز به علت اثرات تسهیل کنندگی لوبیا بر ذرت بهبود یافت (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵). در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است که کشت مخلوط تا حدودی منجر به بهبود سرعت رشد نسبی در گیاهان زراعی مختلف گردید (موسویان و سیدمحمدی ۲۰۱۵).

ماده خشک کل

در آغاز دوره رشد، میزان تجمع ماده خشک به دلیل کوچک بودن بوته‌ها، جذب نور کم و در نهایت سرعت فتوسنتز پایین در کمترین میزان خود بود اما با گذشت زمان و افزایش شاخص سطح برگ و بسته شدن کانوپی در حدود ۳۰ روز پس از سبز شدن، روند تغییرات وزن خشک کل نیز وارد مرحله رشد خطی خود گردید (شکل ۵ و جدول ۴). صرفنظر از تیمارهای مورد ارزیابی روند تجمع ماده خشک کل در ۷۵ روز پس از سبز شدن گیاه وارد مرحله رشد ثابت خود گردید که دلیل آن به نظر می‌رسد پیری و ریزش برگ‌های پایین کانوپی، کاهش جذب نور و در نهایت کاهش سرعت رشد محصول باشد. در شرایط تیمار کشت خالص ماده خشک تجمعی گلرنگ و خلر به ترتیب به میزان ۶۵۷ و ۴۹۶ گرم در متر مربع مشاهده شد (شکل ۵). ماده خشک کل گلرنگ و خلر در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به شرایط تک کشتی این گیاهان کمتر بود ولی مجموع ماده خشک کل کانوپی مخلوط بالاتر بود، به گونه‌ای که بیشترین میزان ماده خشک کل مربوط به تیمار ۵۰ درصد گلرنگ و ۵۰ درصد خلر به میزان ۷۰۳ گرم بر متر مربع بود.

جدول ۴- مقادیر ضرایب معادله لجستیک ماده خشک کل

تیمار	ضرایب معادله			ضریب تشخیص (R2)
	a	b	c	
خالص گلرنگ	۶۷۹/۶۲	۲۹/۵۶	۰/۰۸	۰/۹۳
گلرنگ ۲۵	۱۹۷/۴۸	۲۸/۸۸	۰/۰۹	۰/۹۷
گلرنگ ۵۰	۳۹۱/۵۹	۳۳/۶۴	۰/۰۹	۰/۹۸
گلرنگ ۷۵	۵۱۶/۱۸	۲۴/۱۴	۰/۰۸	۰/۹۹
خالص خلر	۳۴۶/۳۱	۱۷/۵۹	۰/۰۷	۰/۹۲
خلر ۲۵	۱۸۳/۷۷	۲۴/۲۰	۰/۰۸	۰/۹۷
خلر ۵۰	۳۲۴/۵۸	۲۱/۳۰	۰/۰۸	۰/۹۹
خلر ۷۵	۴۱۱/۲۸	۲۱/۶۳	۰/۰۸	۰/۹۸
گلرنگ ۲۵: خلر ۷۵	۶۰۷/۹۰	۲۳/۷۹	۰/۰۹	۰/۹۸
گلرنگ ۵۰: خلر ۵۰	۷۱۵/۶۳	۲۷/۰۸	۰/۰۹	۰/۹۹
گلرنگ ۷۵: خلر ۲۵	۷۰۰/۳۷	۲۳/۹۸	۰/۰۸	۰/۹۵



شکل ۵- روند وزن خشک کل (گلرنگ+ خلر) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

به نظر می‌رسد در شرایط کانوپی کشت مخلوط، شاخص سطح برگ بالاتر منجر به جذب نور و سرعت فتوسنتز بیشتر و در نهایت تجمع ماده خشک بالاتر در مقایسه با شرایط تک کشتی گلرنگ گردید. ممکن است علت بهبود ماده خشکل کل تولید شده در شرایط کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی، تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط خلر و در اختیار قرار گرفتن این نیتروژن در انتهای دوره رشد گلرنگ بوده باشد. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که شرایط رشد گیاهان در کشت مخلوط جایگزینی رازیانه، کنجد و لوبیا بهبود یافت که منجر به تولید ماده خشک بیشتر در مقایسه با تیمارهای کشت خالص آنها گردید (رنجبر ۲۰۱۲). در کشت مخلوط زیره سبز و موسیر نیز ماده خشک تجمعی نسبت به کشت خالص بیشتر بود (مشکانی و همکاران ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای دیگر به علت اثرات تسهیل کنندگی لوبیا بر تولید ماده خشک ذرت بهبود وزن خشک کل کانوپی در کشت مخلوط نواری ذرت و لوبیا تحت شرایط آب و هوایی مشهد نیز گزارش شد (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵).

کارایی مصرف تشعشع

نتایج این بررسی نشان داد که با کاربرد الگوهای مختلف کاشت مخلوط برای گیاه گلرنگ و خلر در آزمایش نسبت به کشت خالص آن‌ها، به علت افزایش ماده خشک کل، کارایی مصرف نور نیز بهبود یافت (شکل ۶). هر سه آرایش کاشت مخلوط موجب افزایش کارایی مصرف نور نسبت به کشت خالص گلرنگ و خلر شدند که البته بیشترین این میزان برای آرایش ۵۰:۵۰ حاصل شد. کارایی مصرف نور حاصل رگرسیون خطی برقرار شده بین ماده خشک کل و نور جذب شده تجمعی می‌باشد و نشان دهنده مقدار ماده خشک تولید شده توسط گیاه به ازای هر واحد نور جذب شده است. بنابراین هر عاملی که منجر به تولید ماده خشک بیشتر به ازای نور جذب شده ثابت و یا برعکس گردد منجر به بهبود کارایی مصرف نور می‌شود. در این مطالعه همانگونه که نتایج نشان داد در تیمارهای مختلف کشت مخلوط هم نور جذب شده تجمعی (شکل ۲) در مقایسه با تک کشتی بهبود یافت و هم ماده خشک تولید شده (شکل ۵) توسط کانوپی مخلوط بیشتر بود که این عوامل منجر به بهبود کارایی مصرف نور گردید. به نظر می‌رسد ایجاد شرایط بهتر در کانوپی مخلوط در مقایسه با تک کشتی از جمله دلایل جذب نور، فتوسنتز و ماده خشک بیشتر و در نهایت کارایی مصرف نور بالاتر بود.

مطالعات مختلفی افزایش و یا کاهش کارایی مصرف نور اجزای گیاهی در مخلوط را گزارش کرده‌اند و برخی مطالعات نیز تأثیر کشت مخلوط بر کارایی مصرف نور را ناچیز دانسته‌اند. اما در هر صورت آنچه که بسیار اهمیت دارد بهبود بهره‌وری تولید در سیستم‌های مخلوط، در ارتباط با نور می‌باشد. بهره‌وری می‌تواند از طریق افزایش جذب تشعشع خورشیدی، کارایی مصرف نور یا ترکیبی از هر دو بهبود یابد. البته در مجموع اعتقاد بر این است که کشت‌های مخلوط بیشتر به واسطه افزایش جذب نور، از طریق افزایش طول دوره جذب نور یا در نتیجه پوشش

بیشتر سطح خاک سبب افزایش بهره‌وری می‌شوند (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵). در واقع در زراعت‌های تک کشتی همواره مقادیری از تشعشع فتوسنتزی به دلیل وجود فضاهای خالی در کانوپی تلف می‌شود. مقدار این تلفات در زراعت‌های مخلوط به دلیل پوشش بیشتر سطح خاک کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب تشعشع کل نسبت به تک کشتی بیشتر می‌شود که این مسئله به تنهایی می‌تواند سبب افزایش عملکرد گردد، گرچه ممکن است کارایی مصرف نور تحت تأثیر قرار نگرفته و یا حتی در مواردی نیز دچار کاهش گردد (کوچکی و همکاران ۲۰۰۹). در کشت مخلوط ذرت شیرین با سیب زمینی نیز کارایی مصرف نور به علت توضیع مطلوب‌تر نور در کانوپی بهبود یافت (همافر و همکاران ۲۰۱۹).

عملکرد دانه

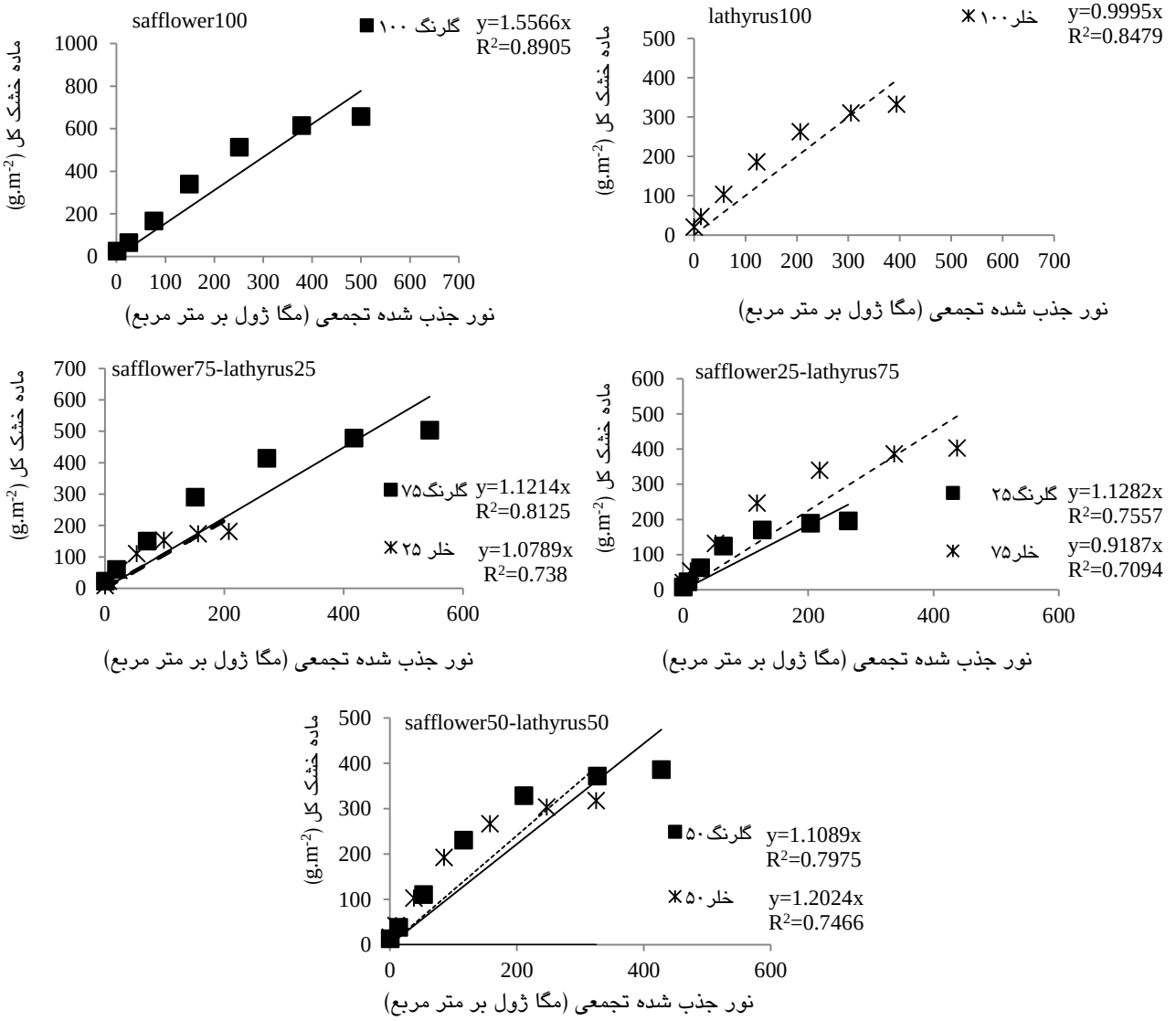
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). در بین نسبت‌های کشت بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به کشت خالص گلرنگ بود و به دنبال آن با کاهش نسبت کاشت گلرنگ در مخلوط، عملکرد دانه آرایش‌های مختلف نیز کاهش یافت اما این کاهش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۶). بیشترین عملکرد دانه در بین تیمارهای مخلوط در تیمار ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد خلر و کمترین آن در تیمار ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد خلر مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد دانه اجزای مخلوط و نسبت برابری زمین تحت تاثیرتیمارهای آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	نسبت برابری زمین
تکرار	۲	۸۲۴۸	۰/۰۲
آرایش‌های کشت مخلوط	۴	۴۱۵۹۱۹**	۰/۱۲*
خطا	۸	۳۹۵۹۲	۰/۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۹/۲	۱۲/۰

ns و*، ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح آماری ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

برتری کشت مخلوط از نظر عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی در مطالعات زیادی گزارش شده است (گودینگ و همکاران ۲۰۰۷). با توجه به مطالعات کومارک و همکاران (۲۰۱۸) کشت مخلوط غلات-لگوم باعث افزایش پایداری عملکرد در مقایسه با سیستم‌های تک کشتی گردید. نخزری مقدم و همکاران (۲۰۰۹) عنوان نمودند که در صورت انتخاب مناسب گونه‌ها، نسبت‌ها و ترکیب‌های مناسب در کشت مخلوط علاوه بر افزایش عملکرد، افزایش کیفیت علوفه، افزایش کارایی مصرف آب، مقاومت به سرما و کنترل جمعیت علف‌های هرز را نیز می‌توان انتظار داشت. در مطالعه‌ای دیگر نیز بر نقش گیاه لوبیا بر بهبود عملکرد ذرت در شرایط کشت مخلوط نواری تاکید شده است (کوچکی و همکاران ۲۰۱۰). نامبردگان اظهار داشتند اگرچه عملکرد هر یک از اجزای کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی آنها کاهش یافت، اما در نهایت عملکرد کل کانوپی مخلوط بالاتر بود.



شکل ۶- اثر تیمارهای مورد بررسی بر کارایی مصرف نور گلرنگ و خلر

جدول ۶- اثر آرایش‌های کشت مخلوط بر عملکرد دانه گلرنگ و نسبت برابری زمین

آرایش‌های کشت مخلوط	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	نسبت برابری زمین
کشت خالص گلرنگ	۲۴۷۲a	–
۷۵ گلرنگ: ۲۵ خلر	۲۳۳۲ab	۱/۰۳ b
۵۰ گلرنگ: ۵۰ خلر	۲۳۰۵ab	۱/۱۴ a
۲۵ گلرنگ: ۷۵ خلر	۲۰۶۱b	۱/۰۸ b
کشت خالص خلر	۱۵۲۹c	–

حروف غیر مشابه نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (LSD).

نسبت برابری زمین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آرایش‌های مختلف کشت مخلوط بر نسبت برابری زمین معنی‌دار بود (جدول ۵)، به گونه‌ای که بالاترین این شاخص در تیمار ۵۰:۵۰ مشاهده شد (جدول ۶). نتایج این بررسی نشان داد که نسبت برابری زمین برای آرایش‌های کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان دهنده کارایی بالاتر کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. در آرایش‌های

کشت مخلوط ۷۵ گلرنگ: ۲۵ خلر،۵۰ گلرنگ: ۵۰ خلر و ۲۵ گلرنگ: ۷۵ خلر نسبت برابری زمین برای جزء گلرنگ به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۶۶ و ۰/۳۵ و برای جزء خلر به ترتیب ۰/۲۸، ۰/۴۸ و ۰/۷۳ بود. به نظر می‌رسد علت بالاتر بودن کارایی استفاده از زمین که خود به نوعی نشان دهنده استفاده کارآمدتر گیاهان از سایر منابع محیطی همچون نور است، اثرات تسهیل کنندگی خلر به علت توانایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن و در اختیار گلرنگ قرار گرفتن نیتروژن تثبیت شده به ویژه در مراحل انتهایی رشد باشد. در تحقیقی دیگر نیز محققین دریافتند که نسبت برابری زمین در کشت مخلوط گندم با باقلا بالاتر یک بود (آجینهو و همکاران ۲۰۰۸). علاوه‌براین مشخص شده است که اثرات تسهیل کنندگی نخود در کشت مخلوط با گیاه جو منجر به بهبود کارایی استفاده از زمین به میزان ۳۲ درصد در مقایسه با تک کشتی آنها شد (چاپاگاین و رایسمن ۲۰۱۴).

نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج این پژوهش در بررسی تک کشتی دو گیاه گلرنگ و خلر و کشت مخلوط آن‌ها با نسبت‌های مختلف، مشخص شد که کشت مخلوط موجب بهبود روند تغییرات شاخص‌های رشد و افزایش کارایی مصرف نور نسبت به تک کشتی گیاهان مورد مطالعه شد، که این موضوع در ادامه افزایش عملکرد دانه و نسبت برابری زمین را در پی داشت. بهبود ویژگی‌های مذکور نشان می‌دهد که کشت مخلوط می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب، خصوصاً در سیستم‌های کم نهاده مطرح شود. در آزمایش حاضر الگوی کشت مخلوط جایگزینی گلرنگ-خلر با نسبت ۵۰:۵۰ مناسب‌ترین الگوی کشت مخلوط بود.

سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد بوده که فعالیت‌های عملی آن در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های دانشگاه رازی انجام شده است. به این وسیله نویسندگان مقاله از زحمات کارشناسان بخش‌های مذکور قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

Agegnehu G, Ghizaw A and Sinebo W. 2008. Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. Agronomy and Sustainable Development, 28: 257–263. htpps:\\doi: 10.1051/agro:2008012

Chapagain T and Riseman A. 2014. Barley–pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. Field Crop Research, 166: 18–25. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.014

Dashadi M and Rasaei A. 2020. Investigation of different levels of molybdenum and nitrogen on yield and yield components of chickpea cultivars. Scientific Journal of Crop Physiology, I.A.U. Ahvaz, 12(46): 81-96. (In Persian).

Duchene O, Vian JF and Celette F. 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. Agriculture, Ecosystems and Environment, 240: 148-161. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019

Esmaeilian Y and Amiri MB. 2021. Agronomic and Economic Evaluation of Safflower (Carthamus tinctorius L.) and Chickpea (Cicer arietinium L.) Intercropping under Micronutrient Applications. Journal of Crop Ecophysiology, 15(1): 1-20. (In Persian). https://doi.org/10.30495/jcep.2021.681003

Gooding MJ, Kasyanova E, Ruske R, Hauggaard-Nielsen H, Jensen ES, Dahlmann C, Von Fragsten P, Dibet A, Corre-Hellou G, Crozat Y, Pristeri A, Romeo M, Monti M, Launay M. 2007. Intercropping with pulses to concentrate nitrogen and sulphur in wheat. Journal of Agricultural Science, 145(5): 469-479. https://doi.org/10.1017/S0021859607007241

Haydarzade H and Jalilian J. 2014. Changes in yield of cover crops in intercropping with safflower (Carthamus tinctorius L.) under different fertilizer systems and weed infestation. Research in Field Crop, 2(1): 38-49. (In Persian).

Homafar H, Khoramivafa M, Mondani F and Zolnurian H. 2019. Evaluation of Radiation Absorption and Use Efficiency in intercropped Sweet corn (Zea mays Var. saccharata) with Potato (Solanum tuberosum). Iranian Journal of Field Crops Research, 17(3): 389-401. (In Persian). htpps:\\doi.10.22067/GSC.V17I3.69264

Komarek AM, Koo J, Haile B, Msangi S and Azzarri C. 2018. Trade-offs and synergies between yield, labor, profit, and risk in Malawian maize-based cropping systems. Agronomy for Sustainable Development, 38(3): 32. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0506-6

Koocheki A and Sarmadniya GH. 2013. Crop physiology. JDM Press, Mashhad, Iran. (In Persian).

Koocheki A, Nasiri Mahalati M, Feizi H, Amirmoradi, S and Mondani F. 2010. Effect of strip intercropping of maize (Zea mays L.) and bean (Phaseolus vulgaris L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed free conditions. Journal of Agroecology, 2(2): 225-235. (In Persian). htpps:\\doi. 10.22067/JAG.V2I2.7627

Koocheki A, Nasiri Mahalati M, Khoramdel S, Anvarkhah S, Sabet Teimouri M and Sanjani S. 2010. Evaluation of growth indices of hemp (Cannabis sativa L.) and sesame (Sesamum indicum L.) in intercropping with replacement and additive series. Journal of Agroecology, 2(1): 27-36. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v2i1.7594

Koocheki A, Nassiri Mahallati M, Mondani F, Feizi H and Amirmoradi S. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercroppingcanopy. Journal of Agroecology, 1(1): 13-23. (In Persian). htpps:\\doi.org.10.22067/JAG.V2I2.7627

Marastoni L, Sandri M, Pii Y, Valentinuzzi F, Brunetto G, Cesco S andMimmo T. 2019. Synergism and antagonisms between nutrients induced by copperoxicity in grapevine rootstocks: monocropping vs. intercropping. Chemosphere, 214: 563-578. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.127

Masomipour A. 2017. Evaluation of Extinction Coefficient and Radiation Use Efficiency in Different Cultivars of Safflower under Different Levels of Nitrogen (N) Fertilizer. Electronic Journal of Crop Production, 9(3): 67-86. (In Persian). htpps:\\doi. 10.22069/EJCP.2016.9541.1740

Meshkani J, Kafi M, Khorramdel S and Moallem Benhangi F. 2019. Effect of intercropping rates of cumin (Cuminum cyminum L.) and Persian shallot (Allium altissimum Regel.) on their growth indices. Journal of Agroecology, 11(2): 543-560. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.67513

Mondani F, Khani K, Jalali Honarmand S and Saeidi M. 2019. Evaluating effects of plant growth-promoting rhizobacteria on the radiation use efficiency and yield of soybean (Glycine max) under water deficit stress condition. Agricultural Water Management, 213: 707-713. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.004

Mousavian SN and Seyedmohammdi AR. 2015. The effect of nitrogen and planting patterns on morphological traits and growth indices in mixed maize and sunflower cultivation. CROP Physiology, 7(26): 105-120. (In Persian). htpps:\\doi. 10.22059/IJFCS.2023.360870.655012

Naghipoor Dehkordi P, Koocheki A, Nassiri Mahallati M and Khorramdel S. 2016. Evaluation of growth indices for Black Seed, Marigold and Borage as medicinal plants at intercropping in replacement series. Journal of Crop Production, 6(2): 179-199. (In Persian). https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.18660.2387

Nakhzari Moghadam A, Chaeichi MR, Mazaheri D, Rahimian Mashhadi H, Majnoun Hosseini N and Nourinia AA. 2009. The effects of corn (Zea mays) and green gram (Vigna radiata) intercropping on some quantity characteristics of forage and weed biomass. Iranian Journal of Field Crop Science (Iranian Journal of Agricultural Sciences), 40(4): 113-121. htpps:\\ 20.1001.1.20084811.1388.40.4.11.9

Nassiri Mahallati M, Koocheki A, Mondani F, *, Feizi H and Amirmoradi S. 2015. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (Zea mays L.) and bean (Phaseolus vulgaris L.) in Northeast Iran. Journal of Cleaner Production, 106: 343-350. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.099

Nasiri mahalati M, Koocheki A, Mondani F, Amir moradi Sh and Feizi H. 2015. Evaluation of Maize (Zea mays L.) and Bean (Phaseolus vulgaris L.) Growth Indices in Strip Intercropping. Iranian Journal of Field Crops Research, 13(1): 14-23. htpps:\\doi. 10.22067/GSC.V13I1.4831

Peiretti PG. 2017. Nutritional aspects and potential uses of safflower (Carthamus tinctorius L.) in livestock. Agricultural Research Updates, 19: 3-22. https://dx.doi.org/10.4314/acsj.v28i1.8S

Ranjbar F. 2012. Assessment of growth indices and yield of intercropped fennel (Foeniculum vulgar), sesame (Sesamum indicum) and bean (Phaseolus vulgaris). M.Sc. Thesis Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad. (In Persian).

Tsubo M, Walker S, Ogindo HO 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93(1): 10-22. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.002

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2025, Pages 17-24

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Assessment of the Yield and Yield Components of Balangu (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) in Intercropping with faba beans (*Vicia faba* L.)

Jalil Shafagh Kolvanagh[1*], Yageoob Raei[2], Hassan Dehghanian[3], Elham Kouhi[4]

Received: 08 April 2023	Accepted: 28 December 2023

1-Dept. of Plant Eco-Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
2-Prof., Dept. of Plant Eco-Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
3-Dept. of Plant Eco-Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
4-Dept. of Plant Eco-Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: shafagh.jalil@gmail.com

Abstract

Objectives: Considering the important role of intercropping in achieving high yield and increasing the stability of agricultural systems, this research was conducted in order to determine the most suitable pattern of mixed cultivation of broad beans and green beans and to investigate its effect on the growth and performance of urban green beans.

Materials and Methods: The field experiment was carried out as a randomized complete block design (RCBD) with six treatments and four replications at the research farm of the University of Tabriz, Faculty of Agriculture during 2015 growing season. Treatments were included sole planting of broad beans and Balangu and four patterns of intercropping systems including (100:20, 100:40, 100:60, and 100:80 rate of faba bean and Balangu.

Results: The results showed that the sole cultivation of Balanghu had the highest biological performance and seed yield, which was significantly different from other treatments related to mixed cropping patterns. In all intercropping treatments, the ratio of land equality and total relative value was greater than one, which indicates the superiority of mixed cropping over pure cropping.

Conclusion: According to the obtained results, the mixed cultivation of 80% Balanghu + 100% faba beans with the highest LER (1.48) and RVT (1.45) is the best cultivation pattern due to the optimal use of available resources.

Keywords: Faba Bean, Grain Yield, Sustainable Agriculture, Intercropping, Land Equivalent Ratio (LER).

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Jalil Shafagh Kolvanagh E-mail: shafagh.jalil@gmail.com
https://doi.org/10.22034/SAPS.2023.56092.3021

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۲۴-۱۷

بررسی عملکرد و اجزای عملکرد بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) در کشت مخلوط با باقلا (*Vicia faba* L.)

جلیل شفق کلوانق[۱*]، یعقوب راعی[۲]، حسن دهقانیان[۳]، الهام کوهی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۱۹	تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۱۰/۷

۱- دانشیار گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۲- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۳- دانش آموخته دکتری گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۴-دانش آموخته کارشناسی ارشد - گروه اکوفیزیولوژی گیاهی- دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
*نویسنده مسئول: Email: shafagh.jalil@gmail.com

چکیده

اهداف : با توجه به نقش مهم کشت مخلوط در دستیابی به عملکرد بالا و افزایش پایداری سیستم های زراعی، این تحقیق به منظور تعیین مناسب‌ترین الگوی کشت مخلوط باقلا و بالنگو و بررسی اثر آن روی رشد و عملکرد گیاه بالنگوی شهری انجام گردید.

مواد و روش ها: آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و چهار تکرار در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا شد. الگوهای مختلف کشت شامل دو الگوی کشت خالص باقلا و بالنگوی شهری (قَرِه‌زَرَک) و چهار الگوی کشت مخلوط بالنگوو باقلا با نسبت‌های مختلف افزایشی ۲۰:۱۰۰، ۴۰:۱۰۰، ۶۰:۱۰۰ و ۸۰:۱۰۰ بودند.

یافته ها: نتایج نشان داد که کشت خالص بالنگوی شهری از نظر عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه بیشترین مقدار را داشت که با سایر تیمارهای مربوط به الگوهای کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری داشت. در همه تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین و مجموع ارزش نسبی بیشتر از یک به دست آمد که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می باشد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این تحقیق، کشت مخلوط ۸۰٪ بالنگوی + ۱۰۰٪ باقلا با دارا بودن بیشترین LER (۱/۴۸) و RVT (۱/۴۵) به علت استفاده بهینه از منابع در دسترس بهترین الگوی کشت می باشد.

واژه های کلیدی : باقلا، عملکرد دانه، کشاورزی پایدار، کشت مخلوط بالنگوی شهری، نسبت برابری زمین (LER)

مقدمه

کشاورزی رایج با وجود دارا بودن عملکرد بالا در واحد سطح در مقایسه با کشاورزی پایدار مشکلات

شناخته شده ای از قبیل فرسایش خاک، تخریب محیط زیست در اثر مصرف کودهای شیمیایی و مقاومت بیماری ها، آفات و علف های هرز در برابر آفت کش ها دارد. بنابراین، بازنگری در روش های رایج کشاورزی و طراحی الگوهای کشت پایدار ضروری می باشد (امانی ماچیانی و همکاران ۲۰۱۸). کشت مخلوط به عنوان یکی از سیستم های زراعی پایدار با افزایش بهره وری در استفاده از زمین و منابع موجود پتانسیل بالایی در تقویت کشاورزی پایدار دارد (علیرضا و همکاران ۲۰۲۳). پژوهش های اخیر نشان داده است که کارائی کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی به طور متوسط ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر است (لی و همکاران ۲۰۱۶). به طوریکه، اکثر سیستم های کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص در همان سطح زیر کشت عملکرد بالایی تولید می کنند که علت این امر را می توان به کارائی بالا در استفاده از منابع محیطی در دسترس از قبیل آب، عناصر غذایی و تشعشات خورشیدی نسبت داد (مک لارن و همکاران ۲۰۲۳). در بین سیستم های مختلف زراعی، کشت مخلوط لگوم ها با سایر گیاهان رایج ترین نوع کشاورزی سنتی کشورهای در حال توسعه می باشد (پورتقی ۲۰۱۳). شفق و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که عملکرد گیاه گلرنگ در کشت مخلوط با بالنگوی به میزان قابل توجهی افزایش یافت. همچنین شاخص های نسبت برابری زمین (LER)[1] و مجموع ارزش نسبی (RVT)[2] با اجرای کشت مخلوط بهبود یافت. باقلا (*Vicia faba* L.) با دارا بودن سطح زیر کشت حدود ۲/۹ میلیون هکتار به عنوان یکی از مهمترین حبوبات دنیا به شمار می رود و کشت آن به صورت مخلوط با گیاهان زراعی غیرلگوم گسترش پیدا کرده است. به طور کلی، ترکیب گیاهان تثبیت کننده نیتروژن اتمسفری با سایر گیاهان در الگوهای مختلف کشت مخلوط جهت افزایش کمیت و کیفیت دانه و علوفه در حال توسعه می باشد (جوانمرد و همکاران ۲۰۱۸). حمزه ئی و سیدی (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند تغییر الگوی کشت از حالت کشت خالص به مخلوط، موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در کشت مخلوط با گندم شد. همچنین سودمندی کشت مخلوط گندم و کلزا نسبت به کشت خالص اثبات گردید. حمزه ئی و داودیان (۲۰۱۹) با انجام کشت مخلوط کلزا با نخود نتیجه گرفتند در تمام الگوهای کشت مخلوط شاخص نسبت برابری زمین بالاتر از یک بود و بیشترین مقدار این شاخص (۱/۴۶) در الگوی ٪۳۰نخود+ ٪۶۰ کلزا مشاهده شد. پورامیر و همکاران (۲۰۱۰). در بررسی کشت مخلوط کنجد و نخود نتیجه گرفتند بیشترین عملکرد کنجد (۱/۸ تن در هکتار) از الگوی کشت ٪۲۰ نخود+ ٪۱۰۰ کنجد بدست آمد. همچنین مشخص شد میزان عملکرد محصول در الگوهای ٪۲۰ نخود+ ٪۱۰۰ کنجد، ٪۳۰ نخود+ ٪۱۰۰ کنجد و ٪۱۰ نخود+ ٪۱۰۰ کنجد به ترتیب ۳۹، ۲۸ و ۲۴ درصد بیشتر از تک کشتی بود.

به‌طور کلی با توجه به اهمیت کشت‌های مخلوط در جهت تحقق کشاورزی پایدار و نقش لگوم‌ها در تامین نیتروژن مورد نیاز گیاهان غیرلگوم و بهبود حاصلخیزی خاک، این پژوهش به منظور یافتن بهترین الگوی کشت از نظر عملکرد در حالت‌های تک‌کشتی و کشت مخلوط انجام گرفت.

مواد و روش ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی گروه اکوفیزیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در اراضی باسمنج اجرا شد. بر اساس نقشه‌های هواشناسی، آب و-هوای این منطقه در زمره‌ی اقالیم استپی و نیمه خشک جهان قرار دارد. فصل تابستان در این منطقه علیرغم بارندگی‌های پراکنده، خشک می‌باشد. منطقه در ارتفاع ۱۳۶۰ متری از سطح دریا با عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه‌ی شرقی قرار گرفته و میزان بارندگی سالیانه آن ۲۸۵ میلی‌متر می‌باشد. میانگین دمای سالیانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداقل و حداکثر دمای سالیانه به ترتیب ۴/۲ و ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. آزمایش به صورت طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار و شش تیمار اجرا شد. هر یک از کرت‌های آزمایش در ابعاد

1- Land Equivalent Ratio

2- Relative value total

۲×۲ متر مربع ایجاد شدند. فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۰/۵ متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. تیمارها عبارت از کشت خالص بالنگوی شهری (با تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع) و باقلا (با تراکم ۵۰ بوته در متر مربع)، کشت مخلوط افزایشی بالنگوی شهری و باقلا با نسبت های (٪۲۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا)، (٪۴۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا)، (٪۶۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا) و (٪۸۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا) بودند.

مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه، در پاییز و تسطیح زمین توسط لولر قبل از کاشت در فصل بهار(اواسط فروردین ماه)، کرت‌بندی و تفکیک بلوک‌های آزمایش در اوایل اردیبهشت‌ماه و کاشت باقلا و بالنگوی شهری همزمان در نیمه اول اردیبهشت ماه و با دست انجام شد. کاشت در بستر مسطح بدون جوی و پشته و در کرت‌هایی به ابعاد دو متر عرض و دو متر طول انجام گرفت و در کرت‌های کشت خالص ۵ ردیف باقلا و ۱۰ ردیف بالنگوی شهری کشت گردید. کشت مخلوط از نوع بین ردیفی بود که در کرت‌های مخلوط، باقلا در پنج ردیف همانند کشت خالص این گیاه و بالنگوی شهری به نسبت طرح افزایشی انجام گرفت (شکل ۱). رقم مورد کشت باقلا از توده بومی منطقه قراملک تبریز و برای بالنگوی شهری از توده بومی استفاده گردید. فاصله بین-ردیف‌ها در کشت خالص باقلا ۴۰ سانتی‌متر و در کشت خالص بالنگوی شهری و الگوهای کشت مخلوط ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله بذر روی ردیف‌ها در باقلا ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در بالنگوی شهری نیز به دلیل نوع مخلوط درون ردیفی فاصله بذر، بسته به تراکم در واحد سطح محاسبه و اعمال گردید. بذور باقلا در عمق پنج سانتی‌متر و بذور بالنگوی شهری (قره‌زرک) در عمق یک و نیم سانتی‌متر از سطح خاک کاشته شد. سپس با توجه به نیاز آبی گیاه و شرایط آب و هوایی، آبیاری در موقع لازم انجام گرفت. به دلیل فقیر بودن خاک منطقه از نظر حاصلخیزی بعد از کاشت و هنگام آبیاری اول مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به فرم اوره و ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات همزمان با کشت آن استفاده شدند.

در اویل دوره رشد، مبارزه با علف‌های هرز به طور مرتب انجام گرفت و در مرحله پنج برگی گیاه باقلا و بالنگوی شهری به منظور رسیدن به تراکم مورد نظر در ردیف‌هایی که نیاز بود تنک گردید تا تراکم مورد نظر در آزمایش ایجاد شود. به منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد در اوسط مرداد ماه برداشت نمونه‌ها برای اندازه‌گیری و ثبت عملکردها از ۱/۶ متر مربع در هر کرت صورت گرفت. بدین‌صورت که از ۵ ردیف موجود در هر کرت از باقلا پس از حذف دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی-متر از ابتدا و انتهای کرت‌ها به عنوان حاشیه، دو ردیف به طول ۱/۵ متر و یک ردیف به طول یک متر به عنوان سطح نمونه‌برداری برای صفات عملکردی نمونه‌برداری شدند. در کرت‌های مربوط به الگوهای کشت مخلوط، بالنگوی شهری نیز به همین صورت برداشت شدند، اما در کشت خالص بالنگوی شهری، از ۱۰ ردیف موجود در هرکرت پس از حذف دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای کرت‌ها به عنوان اثر حاشیه، ۵ ردیف به طول ۱/۶ متر جهت تعیین صفات عملکردی نمونه‌برداری شدند. به منظور اندازه‌گیری برخی صفات مورفولوژیکی در پایان دوره رشد از تعداد ۱۰ بوته از سطح باقی‌مانده‌ی خارج از سطح نمونه‌برداری عملکردهای واحد سطح، نمونه برداری به طور تصادفی انجام شد و در گیاه بالنگوی شهری صفات روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد فندقه در ساقه اصلی و شاخه جانبی، تعداد گره اندازه‌گیری شدند. به هنگام رسیدگی محصول با حذف اثر حاشیه‌ای کلیه بوته‌های باقلا و بالنگوی شهری(قَرَه‌زَرَک) به اندازه ۱/۶ متر مربع از هر کرت برداشت و خشک شدند. سپس نمونه‌های خشک شده با ترازوی حساس توزین و عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه آن‌ها درواحد سطح تعیین شد.

به منظور تعیین مزیت نسبی زمین از نسبت برابری زمین (LER) استفاده شد.

$$LER=(Y_{ij}/Y_{ii}) + (Y_{ji}/Y_{jj}) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این فرمول، Y عملکرد در واحد سطح، Y_{ii} و Y_{jj} عملکرد کشت خالص دو گیاه i و j و Y_{ij} و Y_{ji} عملکرد کشت مخلوط هستند.

مجموع ارزش نسبی

برای محاسبه مجموع ارزش نسبی معادله زیر مورد استفاده قرار گرفت:

$$RVT= (aP_1+bP_2)/aM_1 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در این رابطه:

a = قیمت محصول اصلی

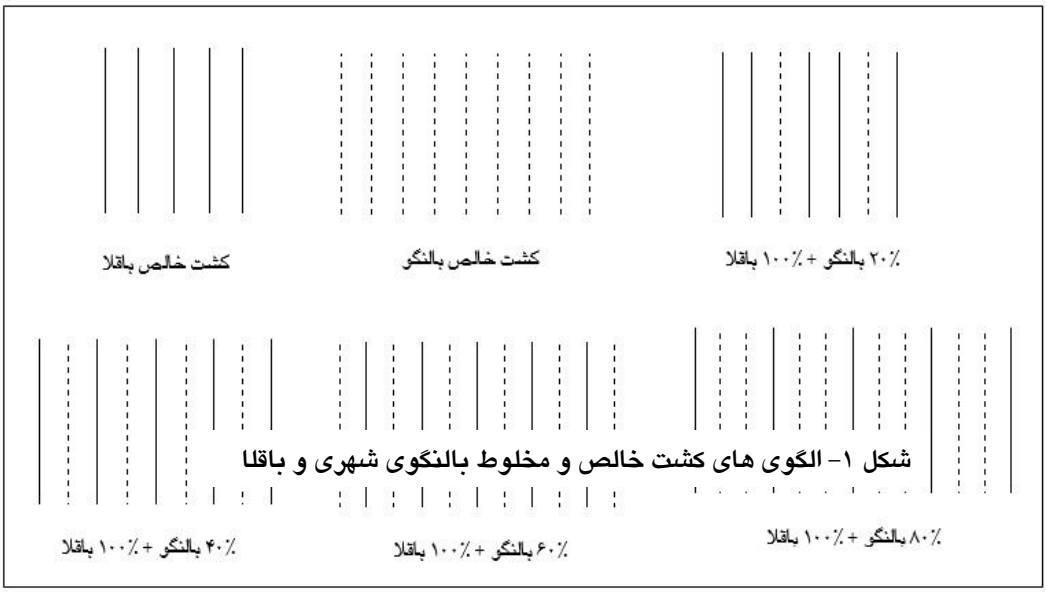
b = قیمت محصول ثانوی

P_1 = عملکرد گونه a در مخلوط

P_2 = عملکرد گونه b در مخلوط

M_1 = عملکرد تک‌کشتی گونه اصلی می‌باشند.

پس از انجام آزمون نرمال بودن خطای داده ها، تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم‌افزارهای MSTAT-C و SPSS انجام گرفت. مقایسه میانگین داده-ها با استفاده ازآزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها به کمک Excel انجام شد.



شکل ۱- الگوی های کشت خالص و مخلوط بالنگوی شهری و باقلا

نتایج و بحث

تعداد روز تا گلدهی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر الگوهای مختلف کشت روی صفت تعداد روز تا گلدهی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین تعداد روز تا گلدهی با میانگین ۵۷/۵ روز به تیمار کشت خالص و کمترین آن به تیمار ٪۸۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا با میانگین تعداد روز ۵۲/۷ روز تعلق داشت (جدول ۲). به نظر می‌رسد در کشت خالص بالنگوی شهری بالا بودن تراکم کشت نسبت به الگوهای کشت مخلوط، و در نتیجه رطوبت بیشتر، افزایش درصد پوشش سبز و کاهش نفوذ نور به کانوپی، حرارت تجمعی لازم یا مجموع درجه روزهای رشد (GDD) در زمان بیشتری تامین شده و باعث افزایش تعداد روز تا گلدهی نسبت به کشت مخلوط شده است. همچنین در کشت خالص رقابت درون گونه-ای افزایش می‌یابد و این مسئله نیز ممکن است باعث افزایش تعداد روز تا گلدهی شود.

ارتفاع بوته بالنگوی شهری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر الگوهای کشت قرار گرفت. (جدول ۱). بیشترین ارتفاع بوته (۳۹/۹ سانتی متر) از الگوی کشت ٪۶۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ٪۲۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا نشان نداد و کمترین ارتفاع (۳۳ سانتی متر) در تیمار کشت خالص آن مشاهده شد. می توان استنباط نمود که افزایش ارتفاع بوته در

کشت مخلوط به دلیل کاهش رقابت درون گونه ای می باشد. همچنین، در کشت مخلوط گیاهان برای جذب نور بیشتر ارتفاع خود را از طریق افزایش تعداد گره و افزایش طول میان‌گره‌ها، افزایش می‌دهند.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی بالنگوی شهری در کشت مخلوط با باقلا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		تعداد روز تا گلدهی	ارتفاع بوته	تعداد فندقه در ساقه اصلی	تعداد فندقه در شاخه فرعی	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	شاخص برداشت
تکرار	۳	۴۱۲ ns	۱/۸ ns	۶/۸۱ ns	۱۱/۳ ns	۰/۱۵ ns	۰/۰۴۳ ns	۰/۰۰۵ ns	۳۹/۶۲ ns
تیمار	۴	۱۴/۰۵ *	۳۴/۷۳**	۶۲/۸۸ *	۴۳/۲۵*	۰/۲۴۲ ns	۲/۳۳ **	۰/۳۱ **	۴۹/۰۳ *
خطا	۱۲	۳/۳۲	۳/۶۹	۱۸/۵۵	۹/۱	۰/۱۸۴	۰/۵۴	۰/۰۱۲	۱۴/۰۳
ضریب تغییرات (٪)		۳/۰۳	۵/۱	۲۱	۲۴	۹/۱	۴/۰۴	۵/۱۱	۱۴/۱۰

*و ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ در صد و عدم اختلاف معنی دار می باشد.

اوکپارا (۲۰۰۰) اظهار داشت در کشت مخلوط به دلیل تراکم بیشتر نسبت به کشت خالص میزان نور دریافتی توسط کانوپی کاهش می یابد و به دنبال کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور (R/RF) و کاهش میزان تشعشعات فعال فتوسنتزی[3] (PAR) افزایش ارتفاع گیاهان قابل پیش‌بینی است. نخ زری مقدم و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کشت مخلوط جو و خردل سبب افزایش ارتفاع بوته در این گیاهان گردید. اکپارا (۲۰۰۰) مشاهده کرد که در کشت مخلوط ذرت و لوبیای چشم بلبلی، کشت مخلوط سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع لوبیا شد.

تعداد فندقه در ساقه اصلی و شاخه فرعی

اثر الگوهای مختلف کشت روی تعداد فندقه در ساقه اصلی و شاخه های فرعی بالنگوی شهری معنی دار بود (جدول ۱). بیشترین تعداد قندقه در ساقه اصلی (۵۲/۵) مربوط به تیمار ٪۶۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا می‌باشد که با کشت خالص بالنگوی شهری و الگوی کشت ٪۲۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا اختلاف معنی-داری نشان نداد. بیشترین تعداد فندقه در شاخه جانبی نیز به الگوی ٪۸۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ مربوط بود که با الگوهای کشت خالص بالنگوی شهری، ٪۶۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا و ٪۴۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین تعداد فندقه در ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی به ترتیب در الگوهای ٪۸۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا و ٪۲۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا مشاهده شد (جدول ۴).

از آنجا که تعداد فندقه از اجزای اصلی عملکرد محسوب می‌شود، بنابراین افزایش تعداد فندقه، سبب افزایش تعداد دانه در واحد سطح می‌گردد که این افزایش، تأثیر زیادی در عملکرد دانه خواهد داشت. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، با افزایش نسبت بالنگوی شهری در مخلوط تا تراکم ۶۰ درصد تعداد فندقه افزایش و بلافاصله به طور معنی‌داری کاهش می-یابد که این موضوع نشان‌دهنده آن است که افزایش تراکم تا نسبت مشخصی باعث افزایش فندقه و در نتیجه عملکرد می-شود و اگر سطح تراکم بیش از حد زیاد شود به دلیل رقابت برای نور و مواد غذایی و عدم تامین نیازهای گیاه تعداد اندام زایشی کاهش می‌یابد. حمزه ئی و داودیان (۲۰۱۹) در تحقیقی روی عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در کشت مخلوط با نخود، تعداد فندقه در بوته را به عنوان مهم‌ترین جزء تعیین کننده عملکرد دانه گزارش دادند.

عملکرد بیولوژیکی بالنگوی شهری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که بین تیمارهای کشت خالص و مخلوط اختلاف معنی‌داری از لحاظ عملکرد بیولوژیکی در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. کشت خالص بالنگوی شهری به میزان ۲/۴۶ تن در هکتار بیشترین عملکرد بیولوژیکی را داشت و در بین الگوهای کشت مخلوط نیز الگوی ٪۸۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیکی را تولید کرد. کمترین مقدار عملکرد

3- Photosynthetically active radiation

بیولوژیکی (۰/۶۴ تن در هکتار) نیز مربوط به الگوی ٪۲۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا مربوط بود (جدول ۲).

بالا بودن عملکرد بیولوژیکی در کشت خالص بالنگو به دلیل بالا بودن تراکم کاشت و عدم وجود رقابت برون‌گونه‌ای می باشد. به طوریکه، با افزایش تراکم عملکرد بیولوژیکی نیز افزایش یافته است. بالا بودن عملکرد بیولوژیکی در الگوی ٪۸۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا را نیز می‌توان به شرایط رقابتی مناسب، رشد متعادل گیاه و تراکم بالا نسبت به سایر الگوهای کشت مخلوط نسبت داد. حمزه ئی و سیدی (۲۰۱۴) اظهار نمودند در کشت مخلوط گندم و کلزا به علت رقابت بین گونه ای عملکرد بیولوژیکی نسبت به الگوی کشت خالص کاهش یافت.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی بالنگوی شهری در کشت خالص و مخلوط با باقلا

تیمار	ارتفاع بوته (cm)	تعداد روز تا گلدهی	تعداد فندقه در ساقه اصلی	تعداد فندقه در شاخه فرعی
کشت خالص باقلا	۳۳ c	۵۷/۷۵ a	۵۰/۳۵ ab	۱۴/۶۱ a
۲۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۳۷/۲۵ ab	۵۶/۰۰ ab	۴۸/۸۲ abc	۷/۰۲ b
۴۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۳۶/۵۳ b	۵۴/۲۵ bc	۴۴/۴۲ bc	۱۱/۳۶ ab
۶۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۳۹/۹ a	۵۵/۲۵ ab	۵۲/۵ a	۱۳/۸۶ a
۸۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۳۳ c	۵۲/۷۵ c	۴۳/۱۲ c	۱۴/۸۸ a

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ می باشد.

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی بالنگوی شهری در کشت خالص و مخلوط با باقلا

تیمار	عملکرد بیولوژیکی ($t.ha^{-1}$)	عملکرد دانه ($t.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (%)
کشت خالص باقلا	۲/۴۶ a	۰/۸۱ a	۳۲/۶۱ a
۲۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۰/۶۴ c	۰/۱۶ b	۲۵/۹۶ b
۴۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۰/۷۲ c	۰/۱۹ b	۲۵/۴۸ b
۶۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۰/۷۶ c	۰/۱۷ b	۲۳/۵۰ b
۸۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۱/۱۲ b	۰/۲۹ b	۲۶/۲۱ b

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ می باشد.

عملکرد دانه

با توجه به تجزیه واریانس داده‌ها تاثیر الگوهای مختلف کشت بر روی عملکرد دانه بالنگوی شهری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین عملکرد دانه از تیمار کشت خالص بالنگوی شهری به میزان ۰/۸۱ تن در هکتار بدست آمد که با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. در بین الگوهای کشت مخلوط بالاترین عملکرد دانه (۰/۲۹ تن در هکتار) به الگوی ٪۸۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا و کمترین میزان عملکرد دانه (۰/۱۶ تن در هکتار) به الگوی ٪۲۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا تعلق داشت که با بقیه تیمارهای کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

به نظر می رسد که افزایش عملکرد بالنگو در کشت مخلوط را می توان به افزایش تعداد فندقه در شاخه های فرعی نسبت به کشت خالص و تثبیت بیشتر نیتروژن در نتیجه اثر مساعدتی باقلا نسبت داد (بانیک و همکاران ۲۰۰۶).

با وجود اینکه تعداد فندقه در بوته و تعداد دانه در بوته در الگوی کشت ٪۶۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا در حداکثر مقدار خود بود ولی با این حال عملکرد دانه پایینی داشت و علت آن را می‌توان به پایین بودن تراکم گیاهی نسبت داد. زیرا در کشت خالص بالنگوی شهری تعداد بوته در متر مربع ۴۰۰ عدد بود ولی این تعداد در نسبت‌های مخلوط به میزان ۲۰، ۴۰، ۶۰، و ۸۰ درصد کاهش داشت. بدیهی است که وزن دانه ۴۰۰ بوته بیشتر از ۸۰ بوته خواهد بود. همچنین گیاهی که در سایه گیاه قوی‌تر از خود (باقلا) قرار می‌گیرد رشد رویشی بیشتری نسبت رشد زایشی خواهد داشت و دانه‌های ریزی تولید می‌کند.

به همین علت با وجود بالا بودن تعداد فندقه و تعداد دانه در بوته، چون وزن بوته پایین است منجر به کاهش عملکرد می‌شود.

امانی ماچیانی و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود روی کشت مخلوط باقلا و نعناع فلفلی نشان دادند که عملکرد نعناع فلفلی در کشت مخلوط کمتر از کشت خالص بود. شفق و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش کردند که الگوی کشت خالص گلرنگ بیشترین عملکرد دانه (۲۸۰/۶۲ گرم در متر مربع) را به خود اختصاص داد که با الگوهای کشت ٪۳۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ گلرنگ و ٪۴۵ بالنگو+ ٪۱۰۰ گلرنگ اختلاف معنی داری نداشت.

شاخص برداشت

تجزیه واریانس داده ها مشخص نمود اثر تیمارهای مختلف کشت بر روی شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱). بیشترین شاخص برداشت با ۳۲/۶۱ درصد مربوط به کشت خالص بالنگوی شهری بود که با تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری داشت. پایین‌ترین شاخص برداشت نیز مربوط به الگوی ٪۶۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا به میزان ۲۵/۵ درصد بود که با سایر تیمارهای مربوط به الگوهای کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری نداشت که این موضوع با کاهش عملکرد دانه به دلیل افزایش نسبت رشد رویشی به رشد زایشی در ارتباط می‌باشد (جدول ۲). خوشقدم و همکاران (۲۰۲۱) در آزمایش خود روی کشت مخلوط نخود و بالنگوی شهری، برتری شاخص برداشت نخود در کشت خالص را بیان داشتند. همچنین، اظهار نمودند بیشترین میزان شاخص برداشت (۵۲/۱) در بین الگوهای کشت مخلوط به الگوی ٪۴۰ بالنگو+ تراکم مطلوب نخود تعلق داشت.

شاخص های ارزیابی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین کل برای عملکرد دانه در تمامی تیمارها بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط به کشت خالص است. بالاترین LER دانه به میزان ۱/۶۴ از تیمار (۸۰:۱۰۰) بدست آمد و کمترین مقدار آن به میزان ۱/۲۷ مربوط به تیمار (۴۰:۱۰۰) بود (شکل ۲). LER جزئی گیاه باقلا در تمامی تیمارها بیشتر از یک بود و این امر می‌تواند نشان دهنده سازگاری این گیاه در کشت مخلوط با بالنگوی شهری باشد. LER جزئی گیاه بالنگوی شهری در همه تیمارها پایین‌تر از یک بود و می توان اظهار داشت که گیاه بالنگوی شهری در الگوهای کشت مخلوط به عنوان گیاه افزایشی بود که تراکم کاشت آن نسبت به کشت خالص در همه تیمارهای کشت مخلوط کمتر بود.

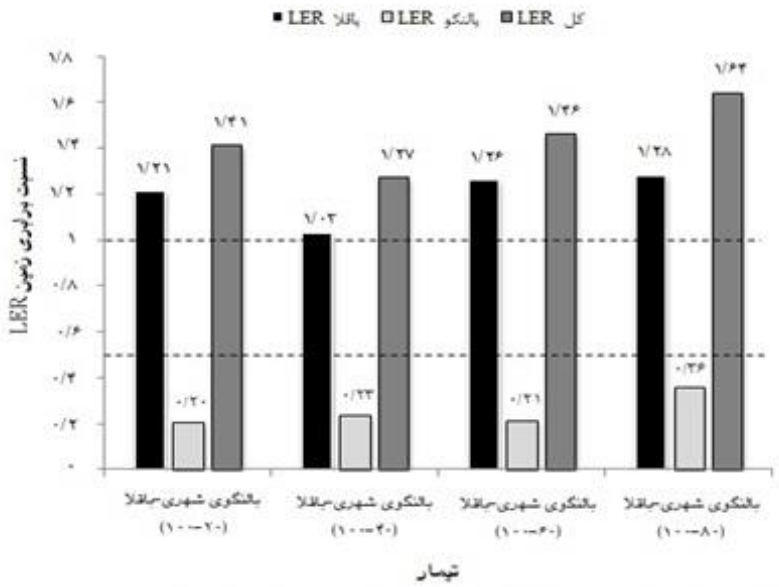
همچنین به علت کوچک بودن وزن و اندازه بوته و توان رقابتی پایین نسبت به گیاه باقلا، با افزایش نسبت بالنگوی شهری، LER جزئی آن به همان نسبت افزایش پیدا نکرده است. در مجموع LER تیمارهای مخلوط بالاتر از یک بود و از لحاظ افزایش تولید در واحد سطح، صرفه جویی در سطح زیر کشت و کشاورزی پایدار مطلوب ارزیابی می‌شود.

به طور کلی، در این آزمایش بالاترین LER بیولوژیکی و دانه برای کشت مخلوط باقلا و بالنگوی شهری در ترکیب تیماری ۸۰: ۱۰۰ (بالنگوی شهری- باقلا) به ترتیب برابر با ۱/۴۸ و ۱/۶۴ می‌باشد، به این معنی که برای دستیابی به همین مقدار عملکرد از کشت خالص این دو گیاه به ۱/۴۸ و ۱/۶۴ هکتار زمین نیاز است. LER کلیه تیمارهای کشت مخلوط بزرگتر از یک بود. این موضوع نشان دهنده سودمند بودن کشت مخلوط باقلا و بالنگوی شهری می‌باشد و می‌تواند به دلیل وجود اختلافات مورفولوژیکی دو گونه و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های مختلف و بهره‌برداری بهتر از نور و افق‌های مختلف خاک باشد. در واقع می‌توان گفت که این دو گیاه در کشت مخلوط توانسته‌اند با کارایی بیشتری از امکانات موجود بهره‌برداری کرده و عملکرد بیشتری تولید نمایند (امانی ماچیانی و همکاران ۲۰۱۸).

مجموع ارزش نسبی (RVT)

شاخص دیگری که برای ارزیابی کشت مخلوط مورد استفاده قرار گرفت، مجموع ارزش نسبی است. با توجه به داده‌های حاصل از جدول ۳، در بررسی مجموع ارزش نسبی باقلا نسبت به بالنگوی شهری، بیشترین مقدار از تیمار (۸۰:۱۰۰) بدست آمد. در کلیه تیمارها، مقدار مجموع ارزش نسبی بالاتر از یک به دست آمد که این نشان دهنده

سودمندی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی است. مجموع ارزش نسبی کشت مخلوط بالنگوی شهری- باقلا، بر حسب بالنگوی شهری کمتر از مقدار این شاخص بر حسب باقلا بود. علت این امر می‌تواند به دلیل بالاتر بودن قیمت بالنگوی شهری نسبت به باقلا باشد.



شکل ۲- مقادیر کلی و جزئی LER عملکرد دانه در کشت مخلوط بالنگوی شهری و باقلا

جدول ۳- مقادیر مجموع ارزش نسبی برای باقلا و بالنگوی شهری

تیمار	RVT_{VL}	RVT_{LV}
۲۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۱/۴۵	۱/۲۳
۴۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۱/۳۱	۱/۱۱
۶۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۱/۵۰	۱/۲۷
۸۰: ۱۰۰(بالنگوی شهری- باقلا)	۱/۷۱	۱/۴۵

RVT_{VL}: مجموع ارزش نسبی باقلا نسبت به بالنگوی شهری، RVT_{LV}: مجموع ارزش نسبی بالنگوی شهری نسبت به باقلا

نتیجه گیری

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که بالاترین عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و بالاترین شاخص برداشت بالنگو از الگوی کشت خالص بدست آمد.. بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۶۴) و مجموع ارزش نسبی در الگوی کشت مخلوط ٪۸۰ بالنگو+ ٪۱۰۰ باقلا بدست آمد.

سپاسگزاری

از دانشگاه تبریز به خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Ali Raza M, Zhiqi W, Shehryar Yasin H, Gul H, Qin R, Ur Rehman S, Mahmood A, Igbal Z, Ahmed Z, Luo S, Juan C, Liang X, Gitari H, Bin Khalid MH, Feng Y, and Zhongming M. 2023. Performance, nutrient uptake, and land use advantage of cereal/legume intercropping systems. Field Crops Research, V 304, 109144. http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109

Amani Machiani M, Javanmard A, Morshedloo, MR, Maggi, F. 2018. Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). Journal of Cleaner Production, 171, 529–537. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.062

Banik P, Midya A, Sarkar BK and Ghose SS. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy, 24: 325-332. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010

Bismillah khan, M and Khaliq A. 2004. Study of mung-bean intercropping in cotton planted with different thechniquse. Journal of research. Bahuaddin Zakanya University, Multan, Pakistan, 15: 23-31.

Hamzei J and Seyedi M. 2014. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare*) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping systems using advantageous indices of intercropping under weed interference Conditions. Journals of Agronomy Sciences, 5 (9): 1-12. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.71201

Hamzei J, and Davoudian R. 2019. Evaluation of Agro physiological Indices and Yield Performance in Canola/Chickpea Intercropping. Journal of Agro ecology, 11(1): 245-259. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.65192

Javanmard A, Amani-Machiani M, and Mousavi SB. 2018. Evaluation of Competition and advantage in Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Forage Pea (*Pisum sativum* L.) Intercropping Under Rainfed Condition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 17(1), 1-17.

Khoshghadam-Pirehyousefan V, Zehtab Salmasi S, and Shafaq Kalvanagh J. 2021. Effect of Different Planting Patterns on Agronomic Characteristics of two Cultivars of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Intercropping with Dragon's Head (*Lallemantia iberica*). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, volume 31(3): 19-29. https://doi.org/10.22034/saps.2021.13686

Pouramir F, Nasiri MAhallati M, Kocheki A, and Ghorbani R. 2010. Investigating the effect of different cultivation combinations on the yield and yield components of sesame and chickpea in mixed cultivation of increasing series. Iranian Journal of Field Crops Research, volume 8(3): 393-402. https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i2.30942

Pourtaghi N. 2013. Corn and pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping. Master's thesis in the field of agriculture, Faculty of Agriculture, Tabriz University.

Li Q, Wu L, Chen J, Khan MA, Luo X, and Lin W. 2016. Biochemical and microbial properties o rhizospheres under maize/peanut intercropping. Journal of Integrative Agriculture. 15, 101–110. http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61089-9

MacLaren C, Waswa W, Aliyu KT, Claessens L, Mead A, Schob C, Vanlauwe B, and Storkey J. 2023. Predicting intercrop competition, facilitation, and productivity from simple functional traits. Field Crops Research, 297, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108926

Nakhazri Moghadam A, Chai-Chi MR, Mazaheri D, Rahimian Mashhadhi H, Majnoon Hosseini N and Nourinia A. 2018. Effect of intercropping of corn and green mung bean on yield, land equal ration (LER) and some quality characteristics of fodder. Journal of Agricultural Plant Sciences, 151-159.

Okpara DA. 2000. Growth and yield of maize and vegetable cowpea as influenced by intercropping and nitrogen fertilizer in the lowland humid tropics. Journal of Sustainable Agriculture and Environment, 2: 188-194.

Shafagh-Kolvanagh J, Nasrollahzadeh S, Sorkhi F, and Ghaderi M. 2022. Investigating the yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius*) in intercropping with Dragon head (*Lallemantia iberica*). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 23(4), 385-397. https://doi.org/10.22034/saps.2023.53357.2924

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2025, Pages 27-40

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Evaluation of Agrobiodiversity in Afghanistan; Species and Genetic Diversity of Field Crops

Mohammad Yosef Jami[1], Alireza Koocheki[2*], Mahdi Nassiri Mahallati[2], Soroor Khorramdel[3], Ramin Nazarian[4]

Received: 24 June 2023	Accepted: 09 November 2023

1- PhD student, Dept. of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2-Prof., Dept. of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
3-Assoc. Prof., Dept.of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
4–Assoc. Prof., Agronomy Dept, Faculty of Agriculture, Herat University, Afghanistan.
*Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: This study was conducted to evaluate the species and genetic diversity of agricultural ecosystems in Afghanistan.

Materials and Methods: In order to carryout this research, countrywide data set was collected. The required data were extracted through collected questionnaires from 388 counties in 34 provinces. For this purpose, all provinces and at least 10% of the counties located in each province were selected and biodiversity criteria (such as species richness, diversity and evenness) were evaluated.

Results: Based on the findings of this reserch, Takhar, Herat, Badakhshan, and Baghlan provinces had the highest species richness with 21, 20, 19, and 19 species, respectively, and Paktia and Nuristan provinces had the lowest richness with 9 species. The highest value of Shannon's index related to cereals, pulses, vegetables and industrial crops was 1.11, 1.53, 1.33 and 1.30, respectively, and the lowest value for these crops was 0.06, 0.09, 0.03 and 0.01 respectively. The highest species evennes index of cereals belongs to Nimroz province (0.86), pulse belongs to Jawzjan and Laghman provinces (0.95), vegetables belonges to Khost and Laghman provinces (0.99), and industrial plants belongs to Kandahar province (0.99). The study of genetic diversity and cultivar richness showed that wheat with 52 varieties (30 improved cultivars and 22 local landraces) has the highest number of cultivars among all crops in Afghanistan, and Herat province has more richness with 27 cultivars.

Conclusion: In terms of species richness, according to different climatic conditions, it seems that crops species in provinces of Afghanistan have different richness. In addition, Shannon and Simpson indices are low in most provinces and crops of Afghanistan.

Keywords: Climatic Conditions, Shannon Index, Species Richness, Evennes Index, Genetic Diversity

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Alireza Koocheki E-mail: akooch@um.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.57598.3079

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۴۰-۲۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی تنوع زیستی کشاورزی در افغانستان؛ تنوع گونه‌ای و ژنتیکی محصولات زراعی

محمدیوسف جامی، علیرضا کوچکی[۲*]، مهدی نصیری محلاتی[2]، سرور خرم دل[۳]، رامین نظریان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۷	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۸

۱- دانشجوی دکتری گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲-استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشیار گروه اگرانومی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرات- افغانستان
*نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir

چکیده

اهداف: این تحقیق جهت ارزیابی تنوع گونه‌ای و تنوع ژنتیکی گیاهان زراعی در افغانستان انجام شد.

مواد و روش‌ها: جهت انجام این تحقیق، داده‌های لازم از ۳۸۸ شهرستان در ۳۴ استان از طریق تکمیل پرسشنامه‌ها جمع-آوری شد. برای این منظور، تمام استان‌ها و نیز حداقل ۱۰ درصد از شهرستان‌های واقع در هر استان انتخاب شده و معیارهای تنوع زیستی مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که از نظر غنای گونه‌ای محصولات کشاورزی، استان‌های تخار، هرات، بدخشان و بغلان بترتیب با ۲۱، ۲۰، ۱۹ و ۱۹ گونه زراعی بیشترین و استان‌های پکتیا و نورستان با ۹ گونه کمترین غنای گونه‌ای را داشتند. بیشترین مقدار شاخص تنوع شانون غلات، حبوبات، سبزیجات و گیاهان صنعتی به‌ترتیب ۱/۱۱، ۱/۵۳، ۱/۳۳ و ۱/۳۰ و کمترین مقدار به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۹، ۰/۰۳ و ۰/۰۱ محاسبه شد. بیشترین شاخص یکنواختی غلات را استان نیمروز (۰/۸۶)، حبوبات را جوزجان و لغمان (۰/۹۵)، سبزیجات را خوست و لغمان (۰/۹۹) و گیاهان صنعتی را استان کندهار(۰/۹۹) دارند. در بررسی تنوع ژنتیکی و غنای گونه‌ای، گندم با ۵۲ رقم (۳۰ رقم اصلاح‌شده و ۲۲ توده بومی) بالاترین تعداد ارقام را در بین کلیه محصولات زراعی افغانستان دارد و استان هرات با ۲۷ رقم از بیشترین غنا برخوردار می‌باشد.

نتیجه‌گیری: محصولات کشاورزی، استان‌های مختلف افغانستان باتوجه به شرایط اقلیمی مختلف، دارای غنای گونه‌ای متفاوتی بوده بعلاوه شاخص‌های تنوع زیستی شانون و سیمپسون در اکثر استان‌ها و برای محصولات کشاورزی پایین می‌باشد. البته از نظر تنوع ژنتیکی گندم بیشترین تعداد ارقام را در بین کلیه محصولات زراعی داشت. بوم‌نظام‌های زراعی کشور افغانستان اغلب به روش‌های سنتی مدیریت می شوند و با توجه به شرایط اقتصادی فعلی این کشور کشاورزان ناچارند تولید را در نظام‌های کم نهاده پیش ببرند. تحت این شرایط تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی حاصل از آن می تواند جایگزین مناسبی برای نهاده‌های خارجی محسوب شود. بافته‌های این تحقیق با روشن کردن وضعیت تنوع گونه ای و ژنتیکی در کشور افغانستان قدم موثری در این راستا خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: شاخص شانون، غنای گونه‌ای، شاخص یکنواختی، شرایط اقلیمی، تنوع ژنتیکی

مقدمه

تنوع گیاهان زراعی اساس پایداری کشاورزی است. این امر جوامع کشاورزی را قادر می‌سازد تا ارقامی با عملکرد بالاتر و باکیفیت بهتر که نیاز کشاورزان و مصرف‌کنندگان است را مرتفع سازد، تولید نمایند (شرستا و همکاران ۲۰۱۹). در گذشته بوم‌نظام‌های کشاورزی بر پایه کشت متنوعی از گونه‌های زراعی و توده‌های بومی استوار بوده‌اند.

تنوع زیستی کشاورزی دارای شش جزءاصلی (محصولات زراعی، گیاهان‌علوفه‌ای، دام‌ها، آبزیان، حشرات و میکروارگانیسم‌های خاکزی) و چهار جزء فرعی (گیاهان و موجودات مرتبط اهلی، نیمه اهلی، خویشاوندان وحشی و خوراکی وحشی) است (جوشی و همکاران ۲۰۲۰). این تنوع در وهله اول در راستای تنوع اقلیمی بوده و پس از آن به تنوع خصوصیات خاک مربوط می‌شود که خود متأثر از ویژگی‌های اقلیمی است (اولفیلد و آکورن ۱۹۸۷). از نظر بوم‌شناختی، اقلیم و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها که تابعی از اقلیم هستند، اساس شکل‌گیری و تنوع موجود در بوم‌نظام‌های زراعی جهان می‌باشند (گلیسمن ۱۹۹۲). نتایج مطالعات انجام شده در استان‌های خراسان شمالی، جنوبی و رضوی ایران نشان داد که با توجه به درجه شباهت شهرستان‌های مختلف این استان‌ها با شرایط اقلیمی و طول و عرض‌های جغرافیایی متفاوت، می‌توان اقلیم را مهم‌ترین فاکتور در میزان غنای گونه‌ای دانست. (نوروز زاده و همکاران ۲۰۰۸). همچنین تحقیقات انجام-شده در استان زنجان مشخص ساخت که تنوع گونه‌ای نیزارتباط زیادی با عوامل اقلیمی و به‌خصوص بارندگی و رطوبت نسبی دارد، به‌طوریکه در نقاطی از این استان که شرایط اقلیمی مساعدتر و حاصلخیزی خاک بیشتراست، تعداد گونه کاشته شده بیشتر بوده و سطح زیر کشت نیز از توزیع یکنواخت‌تری برخوردار بود (کاظمی و همکاران ۲۰۲۰). نتایج پژوهشی دیگر در منطقه قوچان بیانگر تاثیر معنی‌دار ارتفاع از سطح دریا بر تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌های گیاهی منطقه بود (جاهدی‌پور و همکاران ۲۰۲۰). مطالعات محققین نشان داده است که با افزایش تمایل به تک‌کشتی گیاهان زراعی و استفاده از گونه‌ها و ارقام اصلاح‌شده که عملکرد بالاتری داشته و از توان رقابتی بیشتری برای استفاده از نهاده‌ها برخوردار هستند، تنوع‌زیستی در بخش کشاورزی روند رو به زوالی را در پیش گرفته‌است (آلتیری ۲۰۰۶، سویفت و همکاران ۲۰۰۴ و جکسون و همکاران ۲۰۰۷). اگرچه در دهه‌های اخیر رویکردهای مختلفی برای حفظ تنوع‌زیستی‌کشاورزی اتخاذ شده، اما تلاش منظمی برای جمع‌آوری اطلاعات قابل ارزیابی توسط جوامع ملی و بین‌المللی انجام نشده است (شرستا و همکاران ۲۰۱۹). از آنجا که نقش بوم‌شناسی در نظام‌های زراعی از نظر تنوع فراتر از صرفا تولید مواد غذایی است و اثرات مثبتی از جمله حفظ چرخه مواد غذایی، کنترل موثر علفهای هرز، آفات و بیماری‌ها و مقاومت بیشتر در برابر شرایط متغیر محیطی را نیز در بر می‌گیرد، تلاش برای حفظ و افزایش تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های زراعی می‌تواند توازنی میان تولید مواد غذایی و دیگر خدمات این بوم‌نظام‌ها ایجاد کند (جکسون و همکاران ۲۰۰۷). در برخی بررسی‌ها تاثیر عوامل اجتماعی مانند سطح سواد، میزان فعالیت زنان و جمعیت جوامع انسانی در مناطق مختلف بر روند کاهش تنوع زیستی مورد ارزیابی قرار گرفته است (کوچکی و همکاران ۲۰۱۳). توجه روزافزون به بحث حفاظت از تنوع زیستی در میان دولت‌ها نیازمند ایجاد نظام‌های مدیریتی در جهت حفظ منابع طبیعی را می‌طلبد تا بصورت گسترده وضعیت تنوع زیستی در مناطق مختلف را از طریق گزارش‌دهی وسیع و به‌موقع بازتاب دهد (اسمیت و همکاران ۲۰۰۴). استفاده از رقم‌های اصلاح‌شده سبب از بین رفتن حدود ۹۰ درصد از ارقام محلی در سراسر جهان و به‌دنبال آن کاهش تنوع‌زیستی بوم‌نظام‌های کشاورزی شده‌است (کوچکی و همکاران ۲۰۰۴). در همین راستا نتایج ارزیابی تنوع‌زیستی در استان اصفهان حاکی از تاثیر نوع عملیات زراعی و مدیریتی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده بر تنوع‌زیستی بود (پورقاسمیان و مرادی ۲۰۱۶).

غنای گونه‌ای که تعداد کل گونه‌های موجود در یک مکان و زمان معین را نشان می‌دهد، ساده‌ترین روش ارزیابی تنوع است (هوبل ۲۰۰۱). یکنواختی گونه‌ها،

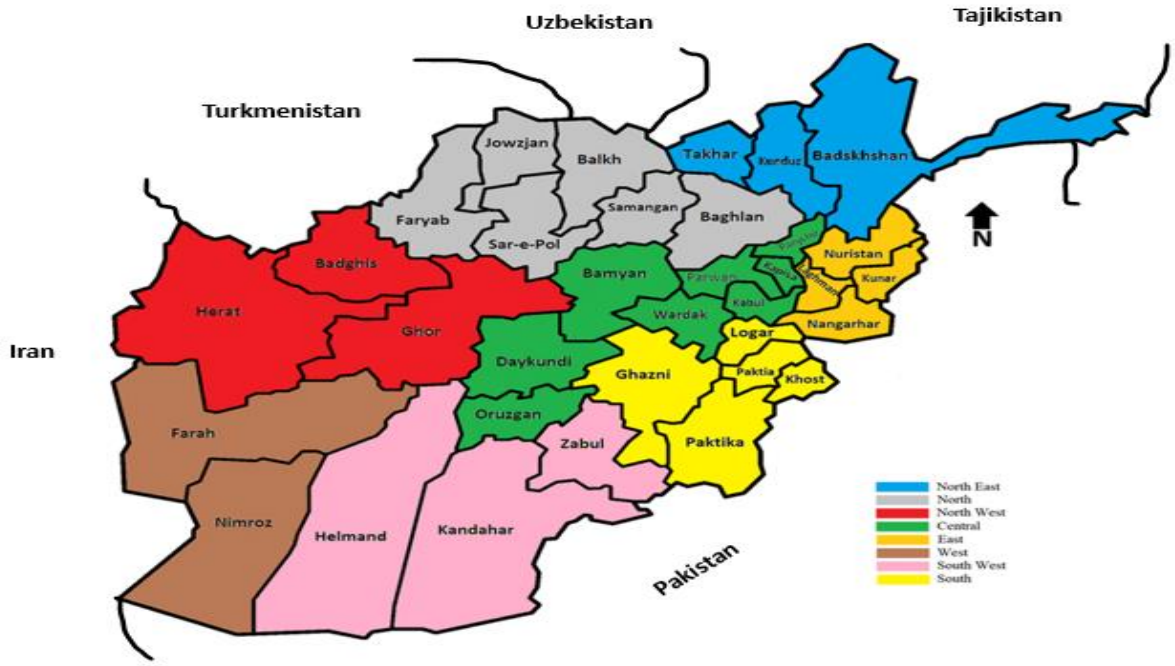
توزیع تعداد افراد و یا مساحت متعلق به هر گونه یا رقم را توصیف می‌کند. شاخص‌های تنوع شانون و سیمپسون نیز ضمن تلفیق مفاهیم غنا و یکنواختی، روشهای محاسباتی و عددی برای تعیین میزان تنوع در بوم‌نظام‌ها را فراهم می‌آورد (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۷). مطالعات انجام شده در استان کرمان ایران نشان داد، شهرستان‌هایی که از میزان یکنواختی گونه‌ای بالاتری نسبت به دیگر شهرستان‌ها برخوردار بودند، میزان تنوع گونه‌ای بالاتری را نیز داشتند (مرادی و سامی ۲۰۱۴). همچنین ابب (۲۰۱۳) تنوع گیاهان زراعی را در جنوب اتیوپی با استفاده از شاخص‌های غنای گونه‌ای، شانون و یکنواختی تعیین کرد. بطورکلی مقدار تئوریک شاخص شانون برای گونه‌های گیاهی در بوم-نظام‌های طبیعی بین صفر تا ۵ محاسبه شده‌است (ماگوران ۲۰۰۵). این مقدار برای بوم‌نظام‌های زراعی پایین تر بوده و معمولا بین صفر تا ۳ است (اسمال و همکاران ۲۰۰۳).

در کشور افغانستان به دلیل شرایط خاص سیاسی، جنگ‌های طولانی مدت، فقر کشاورزان، عدم برنامه ریزی متمرکز و دراز مدت توسط دولت‌های مرکزی و نیز محدودیت‌های شدید سرمایه گذاری، تنوع زیستی گیاهی و جانوری در بوم‌نظام‌های طبیعی و کشاورزی با تهدید بسیار جدی مواجه است. حفاظت از این سرمایه‌های ملی در وهله اول منوط به آگاهی از وضعیت موجود در مقیاس ملی است و متاسفانه در حال حاضر اطلاعات ثبت شده یا منتشر شده علمی در این مورد در افغانستان کمیاب می‌باشد. حفاظت و بهره‌گیری صحیح از تنوع زیستی موجود در بوم‌نظام‌های زراعی قبل از هر چیز در گرو شناخت ویژگی‌ها و پراکندگی مکانی آن است که خود مستلزم مطالعه تنوع زیستی کشاورزی در سطوح مختلف از جمله سطح بوم‌نظام، گونه‌های زراعی و ژنوتیپ‌های آنها می‌باشد. براین اساس، هدف از این تحقیق بررسی تنوع زیستی گیاهان در بوم‌نظام‌های کشاورزی افغانستان بوده و بدین ترتیب عناصر اصلی ایجاد تنوع‌های مکانی و زمانی در نظام‌های زراعی این کشور بر اساس شاخص‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

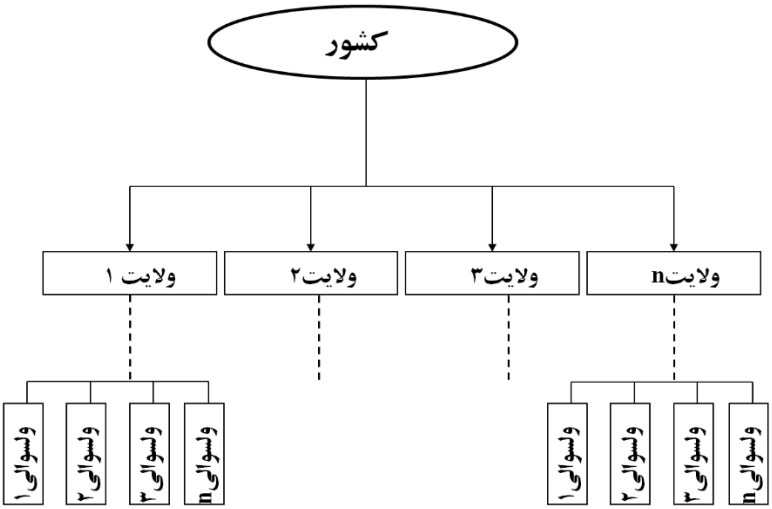
جمع آوری داده‌ها و ساختار پژوهش

جمع‌آوری داده‌های میدانی باتوجه به شرایط خاص حاکم بر افغانستان بسیار دشوار و اغلب غیر ممکن بود. بعلاوه داده‌های ثبت شده در بانک‌های اطلاعاتی کشور نیز اغلب ناقص می‌باشند. بنابراین داده‌های لازم برای اجرای این پژوهش در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸ از طریق پرسشنامه‌های جامعی که به این منظور تهیه شد، جمع‌آوری گردید. البته اطلاعات ثبت شده ملی و داده‌های موجود در مراکز مدیریت کشاورزی استان‌ها نیز مورد استفاده قرار گرفت. کشور افغانستان دارای ۳۴ استان (ولایت) و ۳۸۸ شهرستان (ولسوالی) می‌باشد که از نظر شرایط توپوگرافی و اقلیمی از تنوع بالایی برخوردارند و همین امر تنوع زیستی کشاورزی را نیز به نحوی شکل داده است (شکل۱). در تحقیق حاضر تمام استان‌های این کشور و نیز حداقل ۱۰ درصد از ولسوالی‌های (ولسوالی معادل شهرستان) واقع در هر ولایت از طریق نمونه‌گیری خوشه‌ای انتخاب شده و معیارهای تنوع زیستی با استفاده از پرسشنامه و سایر منابع اطلاعاتی مورد ارزیابی قرار گرفتند، طرح نمونه گیری در شکل ۲ نشان داده شده است. پرسشنامه‌های از پیش‌آماده‌شده برای ثبت اطلاعات هر یک از شهرستان‌های منتخب در هر استان توزیع شد و پس از تکمیل داده‌های مورد نیاز از این پرسشنامه‌ها استخراج گردید. لازم به ذکر است که ثبت داده‌ها در مقیاس مزرعه نبوده بلکه برای هر شهرستان یک مجموعه داده جمع‌آوری شده است.



شکل ۱- نقشه جغرافیایی افغانستان به تفکیک استان‌ها و کشورهای همسایه

گونه‌های زراعی مورد بررسی در کشور افغانستان شامل: غلات، حبوبات، سبزیجات، نباتات صنعتی، نباتات علوفه‌ای و گیاهان دارویی بود. تنوع گونه‌ای در برگیرنده مجموعه گونه‌های زراعی (اعم از گونه‌های زراعی اصلی مانند گندم، یا گونه‌های فرعی و فراموش شده‌ای مانند گاودانه) می‌باشد. با در اختیار داشتن سطح زیرکشت هر گونه در شهرستان‌های مختلف که از پرسشنامه‌های تکمیل شده برای هر شهرستان بدست آمد، شاخص‌های کمّی تنوع زیستی مانند شاخص غنای مارگالف، شاخص تنوع سیمپسون و شاخص تنوع شانون محاسبه شد.



شکل ۲- طرح نمونه گیری خوشه ای برای انتخاب شهرستان‌ها (ولسوالی) در هر یک از استان‌های (ولایت) کشور افغانستان، تعداد شهرستان‌های انتخاب شده از هر استان ۱۰٪ از کل شهرستان‌های آن استان است.

اندازه‌گیری شاخص‌های تنوع زیستی

تنوع بوم‌نظام از دیدگاه کشاورزی یعنی تنوع در نظام‌های تولید محصولات زراعی، تنوع در روش‌های مدیریت، تنوع در شدت یا درجه فشرده‌سازی بوم‌نظام-های زراعی و مواردی نظیر اینها که با ارزیابی آن درک جامعی از تنوع موجود در بوم‌نظام‌های زراعی و ارتباط آن با تنوع اقلیمی و نیز تنوع فرهنگی در مقیاس ملی فراهم می‌شود. ارزیابی تنوع در سطح بوم‌نظام‌های زراعی کشور افغانستان و ارزیابی تنوع اکوسیستمی در نظام‌های دیم و آبی این کشور قبلا توسط جامی و همکاران (جامی و همکاران ۲۰۲۳) بطور جامع بررسی شده است و دراین مقاله تنوع گونه و ژنتیکی (تنوع ارقام هر گونه) در بوم‌نظام‌های این کشور بررسی خواهد شد.

عمده محصولات زراعی افغانستان به ۵ گروه غلات شامل: گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و ارزن (*Panucum miliaceum* L.) ، حبوبات شامل: لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.)، ماش (*Vigna radiata* L.)، عدس (*Lens culinaris* L.)، باقلا (*Vicia faba* L.) و گاودانه (*Vicia ervilia* L.)، سبزی و صیفی‌جات شامل: هندوانه (*Citrullus vugaris* L.)، خربزه (Cucumis melo L.)، پیاز (*Allium cepa* L.)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، گیاهان صنعتی شامل: چغندر (*Beta vulgaris* L.)، نیشکر (*Saccharum officinarum* L.)، کلزا (*Brassica jucea* spp.)، کتان (*Linum usitatissimum* L.)، کنجد (*Sesamum indicum* L)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، زعفران (*Crocus sativus* L.) و گیاهان علوفه‌ای شامل: یونجه (*Medicago sativa* L.) و شبدر (*Trifolium resupinatum* L. و *Trifolium alexandrinum* L.) طبقه بندی شدند و از محصولاتی که سطح زیر کشت آنها نامشخص یا بسیار محدود بود صرف نظر شد. جهت مقایسه دو منطقه، تنوع زیستی برآورد شده آنها باید استاندارد شود، زیرا این مناطق ممکن است از نظر اندازه با هم برابر نبوده و قیاس آنها درست نمی‌باشد. بدین‌ترتیب، برای برآورد تعداد گونه‌ها در مقیاس منطقه‌ای نیاز به استفاده از شاخصی مناسب است (قلعه گلاب بهبهانی ۲۰۱۴). برای این منظور از شاخص‌های تنوع زیستی شانون، سیمپسون و شاخص یکنواختی گونه‌ای استفاده گردید. همچنین تناوب‌های رایج در استان‌های مختلف نیز از پرسشنامه‌ها استخراج و در جدول مربوطه درج شد.

ارزیابی تنوع گونه ای

تنوع گونه‌های زراعی در هر استان با استفاده از شاخص‌های رایج تنوع زیستی (اریک و همکاران ۲۰۰۹) شامل معادله۱ شاخص غنای مارگالف (مارگالف ۱۹۵۸)، شاخص تنوع سیمپسون (سیمپسون ۱۹۴۹) و شاخص تنوع شانون (معادلات ۲ و ۳) محاسبه گردید:

$$R_{margalef} = \frac{S-1}{\log N} \qquad \text{[معادله ۱]}$$

که در آن، S تعداد گونه‌های زراعی و N سطح زیر کشت همه گونه‌های زراعی در هر استان می‌باشد.

$$1-D = \sum p_i^2 = \sum (\frac{n_i}{N})^2 \qquad \text{[معادله۲]}$$

$$H' = -\sum p_i \log p_i \qquad \text{[معادله۳]}$$

جهت محاسبه شاخص یکنواختی از معادله ۴ استفاده شد(گوسلین ۲۰۰۶):

$$J = \frac{H'}{\log S} \qquad \text{[معادله ۴]}$$

که در این معادلات، 1-D و H' به ترتیب شاخص تنوع سیمپسون و شانون، p_i فراونی نسبی گونه i ام، n_i سطح زیر کشت گونه i ام و N سطح زیر کشت همه گونه‌ها در شهرستان (یا استان) می‌باشند، لازم به ذکر است که در معادلات ۱، ۲ و ۳ به جای تعداد افراد هر گونه (S) و تعداد افراد همه گونه‌ها (N) به ترتیب از سطح زیر کشت هر گونه و سطح زیر کشت همه گونه‌های زراعی استفاده شده‌است (کوچکی و همکاران ۲۰۰۸). بعلاوه شاخص یکنواختی گونه‌ای (J) نیز با استفاده از معادله ۴ برآورد

شد، لازم به ذکر است که مقدار این شاخص بین صفر و یک قرار دارد و یک نشان‌دهنده حداکثر یکنواختی است. تنوع ژنتیکی در بوم‌نظام‌های زراعی توصیفی از تنوع موجود در ارقام زیرکشت هر یک از گونه‌های زراعی است. این ارقام ممکن است بومی (نژادهای محلی) و یا ارقام اصلاح‌شده داخل کشور و ارقام خارجی باشند. از آنجا که دسترسی به داده‌های سطح زیر کشت ارقام امکان پذیر نبود بنابر این در این مورد تنها به ذکر تعداد و نام ارقام مورد کشت در هر استان بسنده شد. محاسبه کلیه شاخص‌های تنوع زیستی که در بالا ذکر شدند در محیط اکسل انجام گرفت.

نتایج و بحث

شاخص غنای گونه‌ای مارگالف

از نظر غنای گونه‌ای محصولات کشاورزی بین استان‌های افغانستان اختلاف زیادی وجود دارد، بطوریکه استان‌های تخار، هرات، بدخشان و بغلان بترتیب با ۲۱، ۲۰، ۱۹ و ۱۹ گونه زراعی بیشترین و استان‌های پکتیا و نورستان با ۹ گونه کمترین غنای گونه‌ای را دارند (جدول۱).

جدول ۱ - میزان غنای گونه‌ای و شاخص تنوع گونه‌ای شانون گروه‌های مختلف محصولات کشاورزی در افغانستان

نام استان	غنای گونه-ای	شاخص شانون (H')				
		غلات	حبوبات	سبزیجات	صنعتی	کل
بادغیس	۱۵	۰/۱۶	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۰۹	۱/۰۶
بامیان	۱۴	۰/۲۳	۱/۴۳	۰/۰۳	۰/۶۷	۱/۲۸
بلخ	۱۷	۰/۷۱	۰/۴۶	۱/۲۳	۰/۹۵	۱/۸۸
بدخشان	۱۹	۰/۲۹	۱/۵۳	۱/۰۸	۱/۱۱	۰/۵۶
بغلان	۱۹	۰/۷۳	۰/۸۸	۱/۳۳	۱/۱۷	۱/۳۵
پکتیا	۹	۰/۳۶	۰/۵۴	۰/۶۵	۰	۰/۴۷
پکتیکا	۱۰	۰/۱۲	۰/۶۰	۰/۹۷	۰	۰/۴۳
پنجشیر	۱۱	۰/۳۹	۱/۱۳	۰/۵۴	۰	۰/۷۸
پروان	۱۲	۰/۵۹	۰/۷۸	۰/۶۶	۰/۵۵	۱/۰۱
تخار	۲۱	۰/۶۳	۱/۴۷	۱/۲۸	۱/۳۰	۱/۰۸
جوزجان	۱۵	۰/۵۵	۱,۰۴	۰/۷۰	۰,۹۹	۱,۴۱
زابل	۱۰	۰/۰۶	۰,۶۱	۰,۸۷	۰	۰,۳۲
سمنگان	۱۶	۰/۲۳	۰,۱۴	۱,۱۲	۰,۸۹	۰,۷۹
کابل	۱۲	۰/۱۷	۰/۹۲	۰/۶۸	۰	۰/۵۶
کاپیسا	۱۵	۰/۶۵	۰,۴۱	۰,۵۹	۱,۱۸	۱,۰۱
کندهار	۱۳	۰/۶۰	۰,۳۶	۱,۱۶	۱,۰۹	۱,۳۲
کنر	۱۵	۱/۱۱	۰,۷۶	۰,۷	۰,۸۸	۱,۲۷
کندوز	۱۸	۰/۷۹	۰,۹۷	۱,۰۹	۰,۹۵	۱,۳۳
خوست	۱۰	۰/۵۹	۰,۰۹	۰,۶۹	۰,۰۷	۰,۷۵
میدان وردک	۱۲	۰/۲۳	۰/۷۱	۰/۰۶	۰/۶۲	۱/۳۰
ننگرهار	۱۶	۰/۸۶	۰,۷۸	۱,۲۷	۰,۶۴	۱,۴
نورستان	۹	۰/۶۹	۰,۳۸	۰/۶۰	۰	۰,۹۷
نیمروز	۱۳	۰/۹۵	۰,۸	۰,۷۱	۰,۰۲	۱,۵۹
هرات	۲۰	۰/۴۰	۱/۳۴	۱/۱۴	۱/۱۲	۱/۰۹
ارزگان	۱۵	۰/۸۱	۰,۷۴	۰,۷۹	۰,۶۴	۱,۵۴
دایکندی	۱۶	۰/۹۲	۱/۳۱	۱/۱۶	۰	۱/۵۶
سرپل	۱۶	۰/۴۲	۰/۳۲	۱/۲۹	۰/۷۲	۱/۲۴
غور	۱۶	۰/۱۹	۰/۹۴	۰/۸۷	۰/۶۴	۰/۵۵
فاریاب	۱۵	۰/۲۸	۰/۴۶	۱/۱۸	۰/۷۲	۰/۷۳
فراه	۱۴	۰/۲۹	۰/۸۲	۰/۴۸	۰/۶۵	۱/۰۷
لوگر	۱۳	۰/۳۶	۰/۴۸	۰/۶۲	۰/۹۲	۱/۲۳
لغمان	۱۱	۰/۹۷	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۰۱	۱/۲۷
غزنی	۱۵	۰/۲۶	۰/۴۰	۰/۴۶	۰/۳۰	۰/۶۹
هلمند	۱۳	۰/۶۹	۰/۳۴	۱/۰۶	۰/۲۶	۱/۳۷

در استان‌های با بیشترین غنای گونه‌ای، تعدادی ازگونه-های محصولات زراعی شـــامل غلات، حبوبات، سبزیجات، گیاهان صنعتی و گیاهـــان علوفه‌ای کشت می‌شوند. بر اساس تحقیقات انجام‌شده، تغییرات اقلیمی از عوامل تعیین‌کننده تنوع گونه‌ای و ژنتیکی در بوم‌نظام های زراعی ذکر و تأثیر تنوع اقلیمی بر تنوع گونه‌ای معمولاً مهمتر از سایر عوامل محیطی معرفی شده‌است (استوکینگ ۱۹۹۹). بنظر می‌رسد افزایش غنای گونه‌ای استان هرات بدلیل تنوع اقلیمی بالای این استان می‌باشد. نواحی جنوبی و غربی این استان (شهرستان غوریان در غرب با ارتفاع ۷۹۰ متر) تحت تاثیر اقلیم گرم و خشک بیابانی ناشی از کویر کشور ایران است، در حالیکه مناطق شرقی و شمالی (شهرستان کرخ در شرق با ارتفاع ۱۳۲۰ متر) با افزایش ارتفاع متاثر از اقلیم سرد و کوهستانی رشته کوههای بابا و فلات کشور ترکمنستان می‌باشند. همچنین استان‌های بغلان، تخار و بدخشان در بین دو سلسله جبال هندوکش و پامیر قرار گرفته و جزء استان-های سرسبز شمالی، بدلیل وفور پراکنش بارندگی، محسوب می‌شوند. با حرکت از استان بغلان (شهرستان پلخمری با ارتفاع ۹۲۰ متر و ۲۸۲ میلیمتر بارندگی) به سمت بدخشان (شهرستان اشکاشم با ارتفاع ۲۶۰۰ متر، لنگار با ارتفاع ۲۹۰۹ متر و فیض آباد با ۶۱۱ میلیمتر بارندگی)، افزایش ارتفاع از اقلیم معتدل به سمت اقلیم سرد و کوهستانی رخ داده و تنوع گونه‌های زراعی به حداکثر می‌رسد. در مقابل استان‌های پکتیا و نورستان بدلیل کوهستانی و جنگلی بودن مناطق و کم بودن زمین-های تحت کشت، محدود به محصولات خاص زراعی بوده و تنوع گونه‌ای کمتر می‌باشد.

شاخص‌های تنوع شانون و سیمپسون

نتایج نشان داد که شاخص‌های تنوع شانون و سیمپسون در اکثر استان‌ها و محصولات کشاورزی افغانستان پایین می‌باشد. بطور میانگین بیشترین مقدار شاخص تنوع شانون مربوط به محصولات غلات، حبوبات، سبزیجات و گیاهان صنعتی به‌ترتیب با ۱/۱۱، ۱/۵۳، ۱/۳۳ و ۱/۳۰ و کمترین مقدار آنها به‌ترتیب با ۰/۰۶، ۰/۰۹، ۰/۰۳ و ۰/۰۱ می‌باشد. در حالیکه شاخص سیمپسون با کمی تغییر حداکثر به‌ترتیب با ۰/۵۶، ۰/۷۴، ۰/۷۲ و ۰/۷۰ و حداقل مقادیر به‌ترتیب با ۰/۰۴، ۰/۰۳، ۰/۰۲ و ۰ برای محصولات فوق می‌باشد (جدول۲).

بیشترین تنوع گونه‌ای در افغانستان، مربوط به حبوبات و متعلق به استان‌های بدخشان، تخار، بامیان و هرات با شاخص تنوع شانون معادل به‌ترتیب با ۱/۵۷، ۱/۵۳، ۱/۴۳ و ۱/۳۴ و شاخص سمپسون معادل به‌ترتیب با ۰/۷۳، ۰/۷۴، ۰/۷۳ و ۰/۷۰ بود. همچنین بیشترین شاخص شانون کل ۱/۸۸ و شاخص سیمپسون کل ۰/۷۶ برای استان بلخ گزارش شد(جدول‌های ۱ و ۲).

در ایران ارزیابی تنوع زیستی گیاهان زراعی مختلف با استفاده از شاخص‌های متنوع زیستی انجام گرفته‌است. بیشترین شاخص شانون نسبت به کل گیاهان زراعـی در ایران مربـوط به استان‌های گلستان، اصفهان و سمنان بود که تنوع زیـاد گیاهـان صنعتی شامل سیب‌زمینی، چغندرقند، پنبه، توتون و گیاهان روغنی را دارا می‌باشند و کمترین شاخص شانون مربوط بـه اسـتان سیـستان و بلوچستان و ایلام گفته شد. در این استان‌ها تنها گیاهـان سـیب‌زمینـی، گیاهان روغنی و توتون کشت می-شود و پایین بودن شـاخص شـانون نشان دهنده غالبیت چند گونه خاص در این استان‌ها می‌باشد(کوچکی و همکاران ۲۰۱۱).

در استان بلخ با حداکثر تنوع گونه‌ای محصولات مختلف زراعی اعم از غلات (۵۳/۸ درصد)، حبوبات (۴/۶ درصد)، سبزیجات (۵/۴ درصد)، گیاهان صنعتی (۳۳/۴ درصد) و گیاهان علوفه‌ای (۲/۸ درصد) کشت می‌شود. بعلاوه بیشترین شاخص تنوع شانون در غلات مربوط به استان کنر (۱/۱۱) و کمترین در استان زابل (۰/۰۶) مشاهده گردید. در استان کنر بیش از ۹۶ درصد از اراضی این استان به کشت غلات، گندم (۲۱۳۳۸ هکتار) ، جو (۱۶۰۲ هکتار) ، ذرت (۱۲۰۴۲) و برنج (۶۳۳۹ هکتار) اختصاص دارد. در حالیکه در استان زابل (افغانستان) بیش از ۹۵ درصد اراضی استان زیر کشت عمدتا گندم می‌باشد، لذا تنوع گونه‌ای در این استان به حداقل ممکن تقلیل یافته است.

جدول ۲- شاخص یکنواختی و تنوع گونه‌ای سیمپسون برای گروه‌های مختلف محصولات کشاورزی در افغانستان

استان	شاخص یکنواختی (J)				شاخص سیمپسون (1-D)				کل
	غلات	حبوبات	سبزیجات	صنعتی	غلات	حبوبات	سبزیجات	صنعتی	
بادغیس	۰/۱۲	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۰۳	۰/۴۸
بامیان	۰/۱۷	۰/۸۹	۰/۰۵	۰/۹۷	۰/۱۰	۰/۷۳	۰/۰۱	۰/۴۸	۰/۶۲
بلخ	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۸۹	۰/۶۸	۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۷۶
بدخشان	۰/۱۸	۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۸۰	۰/۱۲	۰/۷۳	۰/۵۹	۰/۶۸	۰/۲۰
بغلان	۰/۴۵	۰/۶۴	۰/۹۶	۰/۷۳	۰/۳۹	۰/۵۴	۰/۷۲	۰/۶۷	۰/۵۵
پکتیا	۰/۲۶	۰/۷۹	۰/۹۳	۰	۰/۱۷	۰/۳۶	۰/۴۵	۰	۰/۲۰
پکتیکا	۰/۱۱	۰/۸۶	۰/۸۹	۰	۰/۰۴	۰/۴۱	۰/۶۰	۰	۰/۱۷
پنجشیر	۰/۳۵	۰/۸۱	۰/۷۹	۰	۰/۲۰	۰/۶۲	۰/۳۶	۰	۰/۳۳
پروان	۰/۴۳	۰/۷۱	۰/۹۵	۰/۷۹	۰/۳۵	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۳۶	۰/۴۷
تخار	۰/۳۹	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۷۳	۰/۳۲	۰/۷۴	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۴۳
جوزجان	۰/۵۰	۰,۹۵	۰,۵	۰,۷۲	۰/۳۱	۰,۶۳	۰/۴۸	۰/۶۰	۰/۶۱
زابل	۰/۰۶	۰,۸۸	۰,۷۹	۰	۰/۰۲	۰,۴۲	۰/۵۳	۰	۰/۱۱
سمنگان	۰/۱۶	۰,۲	۰,۸۱	۰,۵۵	۰/۱۱	۰,۰۶	۰/۶۳	۰/۵۱	۰/۳۱
کابل	۰/۱۲	۰/۶۶	۰/۹۸	۰	۰/۰۶	۰/۴۹	۰/۴۸	۰	۰/۲۲
کاپیسا	۰/۴۷	۰,۲۹	۰,۸۴	۰,۸۵	۰/۴۲	۰,۱۹	۰/۴۰	۰/۶۷	۰/۵۲
کندهار	۰/۵۴	۰,۵۲	۰,۸۴	۰,۹۹	۰/۳۱	۰/۲۰	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۵۵
کنر	۰/۸۰	۰,۶۹	۰,۶۴	۰,۶۴	۰/۶۲	۰,۴۵	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۶۵
کندوز	۰/۴۹	۰,۸۸	۰,۷۸	۰,۵۹	۰/۴۴	۰,۵۹	۰/۶۲	۰/۵۸	۰/۵۶
خوست	۰/۴۳	۰,۱۳	۰/۹۹	۰,۱	۰/۳۲	۰,۰۳	۰/۵۰	۰/۰۳	۰/۳۶
میدان وردک	۰/۲۰	۰/۵۱	۰/۰۹	۰/۹۰	۰/۱۰	۰/۳۷	۰/۰۲	۰/۴۳	۰/۶۹
ننگرهار	۰/۶۲	۰,۷۱	۰,۹۲	۰,۴۶	۰/۴۸	۰,۴۶	۰/۷۰	۰/۴۲	۰/۶۱
نورستان	۰/۶۲	۰,۵۵	۰,۸۷	۰	۰/۴۷	۰,۲۲	۰/۴۱	۰	۰/۵۵
نیمروز	۰/۸۶	۰,۷۳	۰,۵۱	۰,۰۳	۰/۵۶	۰,۵	۰,۴۸	۰,۰۱	۰/۷۶
هرات	۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۱۸	۰/۷۰	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۴
ارزگان	۰/۵۱	۰,۵۴	۰,۷۲	۰,۹۲	۰/۴۳	۰,۵۱	۰,۴۹	۰,۴۴	۰/۶۷
دایکندی	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۸۳	۰	۰/۴۸	۰/۶۸	۰/۶۱	۰	۰/۶۵
سرپل	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۹۳	۰/۵۲	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۷۱	۰/۴۶	۰/۵۱
غور	۰/۱۴	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۹۲	۰/۰۸	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۲۰
فاریاب	۰/۲۰	۰/۶۷	۰/۸۵	۰/۵۲	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۶۷	۰/۴۹	۰/۲۸
فراه	۰/۲۶	۰/۵۹	۰/۳۵	۰/۹۴	۰/۱۳	۰/۴۱	۰/۲۳	۰/۴۶	۰/۴۹
لوگر	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۴۳	۰/۵۵	۰/۶۳
لغمان	۰/۷۰	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۰۱	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۰	۰	۰/۶۰
غزنی	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۶۶	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۲۸
هلمند	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۹۷	۰/۲۴	۰/۴۱	۰/۱۹	۰/۶۴	۰/۱۴	۰/۶۱

مطالعات انجام شده طی ۳۵ سال گذشته در کشور چین نشان داد که تنوع گونه‌های زراعی در حد بالای نگه‌داشته شده، بطوریکه شاخص تنوع گونه‌ای بطور میانگین ۷/۳۹ است و نشان می‌دهد که حداقل ۷ محصول عمده بصورت گسترده کشت گردیده‌اند. بیشترین تنوع گونه‌های زراعی (۸/۶۴) در سال ۲۰۰۲ و کمترین (۴/۷۹) در سال ۱۹۸۶ اتفاق افتاد (لیو و همکاران ۲۰۲۱). این محققین اظهار داشتند که عوامل اقلیمی و توپوگرافی (شیب زمین، ارتفاع

، میانگین درجه حرات و بارندگی) و عوامل اجتماعی (جمعیت) بر تنوع محصولات کشاورزی در چنین موثر است و بر اساس برنامه ریزی‌های کلان ملی و اتخاذ سیاست‌های چند کشتی در کشور با بهبود امنیت غذایی، تلاش همه جانبه ای برای افزایش تنوع گونه‌های زراعی در حال انجام است. در نتیجه این تلاش تنوع گونه‌های زراعی از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۰۲ به دو برابر افزایش یافته است. ولی مطالعات ۳۴ ساله در ایالات متحده امریکا نشان داد که تعداد موثر گونه‌های زراعی در سطح ملی و منطقه‌ای تغییر کرده و در سطح ملی، تنوع گونه‌ای در سال ۲۰۱۲ نسبت به ۱۹۷۸ کمتر شده‌است. منطقه منابع مزرعه‌ای هارتلند[1] کمترین و فروت‌فول‌ریم[2] و کریسینت شمالی[3] بیشترین تنوع گونه‌های زراعی را داشتند. همچنین در هرمنطقه، بین شهرستان‌ها از نظر تنوع گونه-ای، تفاوت‌های وجود داشت. عوامل مختلفی در تغییر تنوع گونه‌ای موثر بوده اند ازجمله: گسترش تولید تک-کشتی با پیشرفت‌های فناورانه بر پایه کشت پنبه یا سویا/ ذرت، تاثیر تقاضای بازار بر تغییر تنوع گونه‌های زراعی؛ بطور مثال سیاست تولید اتانول۴ ایالات‌متحده و افزایش تقاضا برای سویای ایالات‌متحده در چین، باعث افزایش سطح زیر کشت ذرت و سویا در این کشورها گردیده که به تولید گندم و سایر محصولات آسیب رسانده است، همچنین افزایش قیمت محصولات زراعی باعث شده است که مناطقی مانند علفزارهای چندساله که جزء برنامه منابع حفاظت شده می‌باشند، به تولید محصولات زراعی معمول تغییر کاربری یابند (آگویلار ۲۰۱۵).

مقایسه شاخص تنوع شانون محصولات کشاورزی برای تمامی استان‌های ایران نشان می‌دهد که بطور کلی استان‌های فارس (۱/۱۷)، خراسان رضوی (۱/۱۵)، اصفهان (۱/۱۵) و کرمان (۱/۱۴) بیشترین و استان‌های گیلان (۰/۳۶)، کهکیلویه و بویر احمد (۰/۳۷)، بوشهر (۰/۴۷) و قم (۰/۴۸) کمترین تنوع زیستی را دارا بودند. کمترین مقدار شاخص تنوع شانون درغلات مربوط به استان گیلان (۰/۳۱) بود(نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۰۵). در استان گیلان کشت برنج غالب بوده و بیش از ۹۲ درصد سطح زیر کشت غلات این استان در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ مربوط به این گیاه بود (جهاد کشاورزی ۲۰۱۰) که خود باعث کاهش شاخص تنوع شانون در این استان شد. در تحقیقات انجام شده در استرالیا میانگین شاخص شانون برای ارقام گندم زیرکشت معادل ۱/۶۸ گزارش شده که نشان‌دهنده تنوع نسبتا پایین واریته‌ای در این کشور است (اسمال و همکاران ۲۰۰۳). نتایج تحقیقات انجام شده در هندوستان میزان شاخص شانون برای واریته‌های گندم و پنبه را به ترتیب ۱/۷۲ و ۱/۴۳ نشان داد و عنوان شد که استفاده از شاخص شانون در این کشور که تعداد زیادی رقم‌های محلی با سطح زیرکشت نامشخص مورد استفاده قرار می‌گیرند، معیار دقیقی از تنوع زیستی کشاورزی نمی-باشد (تامپسون و همکار ان ۲۰۰۲). در گزارش‌های فائو نیز افغانستان در گروه کشورهای دارای تنوع اندک گونه‌های زراعی با اتکاء به غلات ذکر شده است (فاو ۱۹۹۹).

لازم بذکر است که بالاترین و کمترین شاخص تنوع شانون سبزیجات به استان‌های بغلان (۱/۳۳) و بامیان (۰/۰۳) اختصاص یافت. در بامیان ۵۷ درصد سطح زیر کشت اراضی به غلات و ۲۴ درصد به سبزیجات تعلق دارد و بیش از ۹۸ درصد سطح زیر کشت سبزیجات به تولید سیب‌زمینی اختصاص یافته و مقدار کمی پیاز نیز تولید می‌شود. بنابراین شاخص تنوع شانون سبزیجات در این استان به کمترین مقدار خود رسید. در افغانستان تنوع گونه‌ای گیاهان علوفه‌ای بسیار کم و محدود به چند گونه با سطح زیرکشت بسیار اندک می‌باشد. عمده گیاهان علوفه‌ای در این کشور شامل یونجه و شبدر هستند که بدلیل مصرف آب زیاد بطور محدود کشت می-گردند. از طرف دیگر، در این کشور پرورش دام (گاو و گوسفند) بصورت صنعتی رونق چندانی نداشته و عمده تعلیف دام‌ها از مراتع و چراگاه‌های طبیعی صورت می-گیرد. در مطالعاتی که در ایران نیز انجام شده‌است

1. Heartland Resource Region
2. Fruitful Rim
3. Northern Crescent
4. Ethanol polic

ملاحظه شد که مقادیر محاسبه شده شاخص شانون در مورد سه گروه اصلی گیاهان زراعی (شامل غلات، حبوبات و گیاهان علوفه‌ای) نسبتاً پایین بود (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۴).

شاخص یکنواختی

نتایج نشان داد که بیشترین شاخص یکنواختی غلات متعلق به استان نیمروز (۰/۸۶)، حبوبات متعلق به استان‌های جوزجان و لغمان (۰/۹۵)، گیاهان صنعتی متعلق به استان کندهار(۰/۹۹) و سبزیجات متعلق به استان‌های خوست و لغمان (۰/۹۹) است(در این دو استان سطح زیر کشت دو محصول سبزیجات یعنی پیاز و سیب‌زمینی تقریبا برابر است لذا مقدار شاخص یکنواختی آنها ۰/۹۹ می‌باشد). در حالیکه کمترین مقادیر شاخص فوق در مورد محصولات غلات، حبوبات، گیاهان صنعتی و سبزیجات به ترتیب برای استان‌های زابل (۰/۰۶)، خوست (۰/۱۳)، لغمان (۰/۰۱) و بامیان (۰/۰۵) گزارش گردید (جدول ۲). مقدار شاخص یکنواختی در استان‌های بدخشان، تخار، بامیان و هرات، که دارای بیشترین شاخص تنوع شانون در حبوبات بودند، به ترتیب (۰/۸۵، ۰/۹۱، ۰/۸۹ و ۰/۷۵) می‌باشد.

هرچه یکنواختی گونه‌ای بیشتر باشد، نشان دهنده این‌است که سطح زیر کشت گونه‌های گیاهی در هر منطقه یکنواخت تر بوده و غالبیت یک یا چند گونه کاهش می یابد و باعث بهبود شاخص تنوع شانون می‌گردد. همچنین در یک بوم‌نظام تنوع گونه‌ای تنها بوسیله تعداد گونه تعیین نمی‌شود، بلکه یکنواختی پراکندگی گونه‌ها در بوم‌نظام نیز عامل مهمی در تعیین تنوع‌زیستی به‌حساب می‌آید (گوسلین ۲۰۰۶). در ایران شاخص یکنواختی پایین در استان گیلان (۰/۱۸) بدلیل غالبیت کشت برنج گزارش شده‌است. همچنین استان‌های هرمزگان، اصفهان، کرمان و فارس نیز بترتیب با ۰/۹۴، ۰/۹۱، ۰/۸۹ و ۰/۸۳ بیشترین تنوع زیستی غلات را دارا بودند (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۰۵). دلیل بالا بودن سطح تنوع زیستی شانون در غلات برای استان‌های اصفهان، فارس و خراسان به تنوع شرایط اقلیمی و امکان کشت انواع گونه‌های این خانواده نسبت داده شده است. نتایج این پژوهش نیز در راستای تحقیقات فوق بوده بطوریکه با توجه به تغییرات سطح زیر کشت محصولات زراعی در هر استان در کشور افغانستان شاخص تنوع زیستی نیز تغییر نمود.

ارزیابی تنوع ژنتیکی

تنوع ژنتیکی در بوم‌نظام‌های زراعی توصیفی از تنوع موجود در ارقام زیرکشت هر یک از گونه‌های زراعی است. این ارقام ممکن است بومی (نژادهای محلی) و یا ارقام اصلاح‌شده داخل کشور و ارقام خارجی باشند. اگر چه کشور افغانستان به عنوان مرکز اساسی برای تنوع زیستی محسوب نمی‌شود، اما یکی از مهمترین مراکز منشاء و توسعه گیاهان زراعی، از جمله گیاهان بومی و دیگر محصولات زراعی استفاده شده توسط کشاورزان این کشور به‌حساب می‌آید (استراتژی ملی تنوع بیولوژیکی و برنامه عمل افغانستان ۲۰۱۴).

بوم‌نظام زراعی افغانستان اساسا بر کشت گندم استوار است (جامی و همکاران ۲۰۲۳). غنای محصولات زراعی از نگاه رقم در استان‌های کشور افغانستان این واقعیت را نشان می‌دهد که گندم با ۵۲ رقم(۳۰ رقم اصلاح‌شده و ۲۲ توده بومی) بالاترین تعداد ارقام را در بین کلیه محصولات زراعی افغانستان دارد و از این نظر استان هرات با ۲۷ رقم از بیشترین غنا برخوردار می‌باشد. ارقام بومی در بیشتر استان‌های این کشور به چشم می‌خورد که با وجود معرفی ارقام اصلاح شده، هنوز هم کشاورزان به کاشت آن مبادرت می‌ورزند. از جانب دیگر ممکن است برخی ارقام کشت شده اعم از بومی و اصلاح‌شده در استان‌های مختلف افغانستان یکسان بوده و شباهت‌های بین آنها وجود داشته باشد(جدول ۳).

جدول ۳- تنوع ژنتیکی بعضی محصولات کشاورزی در استان‌های افغانستان؛ اعداد خارج پرانتز، تعداد ارقام بومی و اعداد داخل پرانتز، تعداد ارقام اصلاح‌شده را نشان می‌دهند.

نام استان	گندم	برنج	لوبیا	سیب‌زمینی	خربزه
بادغیس	۱۲ (۷)	۲			۱۱
بامیان	۱۶ (۱۰)		۴ (۲)	۵	
بلخ	۱۸ (۱۳)	۹		۳ (۱)	۷
بدخشان	۷ (۵)	۵		۲ (۱)	
بغلان	۲۳ (۱۴)	۷ (۲)	۲	۵ (۲)	۱۹
پکتیا	۳ (۱)	۴ (۳)			
پکتیکا	۴ (۲)				
پنجشیر	۹ (۴)				
پروان	۱۶ (۹)		۸ (۴)		
تخار	۱۲ (۱۰)	۹ (۶)		۲ (۲)	۱۹
جوزجان	۱۸ (۱۱)		۲		۲۶
زابل	۶ (۳)				
سمنگان	۱۶ (۱۱)				
کابل	۲۱ (۱۳)		۷ (۳)	۴ (۲)	
کاپیسا	۲۰ (۱۳)		۱۰ (۳)	۲	
کندهار	۷ (۴)		۱	۲	۷
کنر	۱۴ (۸)	۶ (۴)	۶(۳)	(۲)	
کندوز	۱۸ (۱۳)	۱۰ (۷)	۴ (۱)	۴ (۲)	۱۸
خوست	۴ (۲)				
میدان وردک	۱۸ (۱۳)		۷ (۳)	۴ (۲)	
ننگرهار	۲۲ (۱۶)	۱۵ (۱۰)	۶ (۱)	(۲)	
نورستان	۱۲ (۸)		۲		
نیمروز	۹ (۷)				۷
هرات	۲۷ (۱۵)	۶ (۳)	۴ (۲)	۲	۱۵
ارزگان	۱۲ (۵)	۴ (۳)	۳		
دایکندی	۱۱ (۴)	۳ (۲)	۳ (۲)		
سرپل	۲۲ (۱۰)		۲		۱۳
غور	۱۰ (۷)		۱		
فاریاب	۱۴ (۹)		۲		۳۶
فراه	۱۵ (۱۰)		۲		
لوگر	۷ (۵)		۳ (۱)	(۲)	
لغمان	۱۱ (۷)	۷ (۲)	۴ (۲)		
غزنی	۱۲ (۷)		۲	(۲)	
هلمند	۹ (۶)		۲		۷

درمطالعه تنوع ارقام گیاهان زراعی در ایران مشاهده شده‌است که بین برخی استان‌های این کشور شباهت زیادی از نظر ارقام زیر کشت گندم وجود دارد و این شباهت بین استان‌هایی که از ویژگی‌های اقلیمی نسبتاً مشابهی برخوردارند، بیشتر بود (کوچکی و همکاران ۲۰۱۳). بعد از گندم در بین غلات، برنج با داشتن ۲۶ رقم

در افغانستان بیشترین تعداد رقم مورد کاشت را در غلات دارد. تنها ۱۰ رقم برنج اصلاح‌شده می‌باشد که نشان-دهنده غالبیت ژنوتیپ‌های بومی در مقایسه با ارقام اصلاح‌شده می‌باشد. در ایران نیز پایین بودن تنوع در مورد گندم، جو و دانه‌های روغنی در تمامی استان‌های این کشور نشان دهنده تنوع اندک در ارقام زیر کشت این گیاهان است (کوچکی و همکاران ۲۰۱۳). استوکینگ (۱۹۹۹) تغییرات اقلیمی را از مهمترین عوامل تعیین کننده تنوع گونه‌ای و ژنتیکی در بوم‌نظام‌های زراعی ذکر کرد و اظهار داشت تأثیر تنوع اقلیمی بر تنوع گونه‌ای معمولاً مهمتر از سایر عوامل محیطی می باشد. سیب‌زمینی با داشتن ۹ رقم زیرکشت که ۴ رقم آن اصلاح شده است، از بیشترین غنای رقم در بین سبزیجات در افغانستان برخوردار است. در عین حال که حبوبات از نظر تعداد ارقام زیر کشت (به استثنای لوبیا با داشتن ۱۱ توده بومی و اصلاح‌شده) در افغانستان غنای چندانی ندارند، اما در اغلب استان‌های کشور ارقام بومی این گیاهان کشت می‌گردند. البته بخاطر تعداد اندک رقم، بجز لوبیا تعداد ارقام سایر حبوبات در جدول ۵ ذکر نشده‌است. بیشترین تعداد رقم در گیاهان جالیزی را خربزه با ۷۶ توده محلی و اغلب در استان‌های شمال و شمال غرب افغانستان ازجمله فاریاب، جوزجان، بلخ، سرپل، بادغیس و هرات به‌خود اختصاص داده است. در استان فاریاب به تنهایی ۳۶ توده بومی کشت می‌گردد. بررسی‌های انجام‌شده در تونس بر روی رقم‌های تجاری خربزه و ۲۱ توده بومی حاکی از آن است که توده‌های محلی از دامنه تنوع ژنتیکی بیشتری نسبت به رقم‌های تجاری برخوردار می‌باشد (البکایل ۲۰۰۸). در ارزیابی شاخص‌های تنوع‌زیستی زراعی سه گونه جالیزی در استان خراسان رضوی گزارش شده‌است که دو شهرستان تربت جام و تایباد به‌ترتیب با داشتن ۴۲ و ۲۰ درصد از سطح کاشت خربزه استان دارای شاخص شانون برابر با ۰/۰۶ و ۰/۲۲ بودند. کمترین شاخص یکنواختی با مقادیر۰/۰۱ و ۰/۰۲ به ترتیب در این دو شهرستان مشاهده شد که این موضوع مؤید گستردگی تک‌کشتی وتنوع کم رقم در نظام‌های تولید جالیز می‌باشد (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۷). تعداد رقم‌های مورد استفاده در تولید به تنهایی معیار دقیقی از تنوع ژنتیکی گونه‌های زراعی نمی‌باشد زیرا تعداد زیادی رقم‌های زراعی در کشورهای مختلف دنیا اصلاح شده‌اند، اما تعداد بسیار محدودی از آنها به‌عنوان رقم اصلی کشت می‌شوند (برکس و همکاران ۲۰۰۰). ویتریک (۲۰۰۱) در پژوهش خود در آلمان نشان داد که بیش از ۱۰۰ رقم غلات در فاصله سال‌های ۲۰۰۰- ۱۹۹۰ در این کشور اصلاح گردید در حالیکه تعداد رقم‌های غالب زیر کشت گندم در این کشور تنها ۳ رقم است.

افغانستان کشوری است که بیشتر مساحت آن را کوه‌های بلند احاطه کرده و این ویژگی امتیازی بزرگ برای رشد و پرورش گونه‌های متنوعی از گیاهان دارویی به شمار می‌آید. وجود کوه‌های زیاد و تنوع اقلیمی، موجب رویش گیاهان متنوع دارویی منحصر به فرد شده است که این گونه‌ها در مناطق شمال، شمال‌شرقی و قسمت‌هایی از شمال‌غرب افغانستان غنای بیشتری داشته و مردم در این مناطق درآمد خود را از طریق برداشت آنها بدست می‌آورند. بیشترین گیاهان دارویی از استان‌های بدخشان، بلخ، سمنگان، سرپل، جوزجان، سواحل دریای آمو، بادغیس، مناطق شمالی هرات، لغمان، کوه‌های سالنگ، کاپیسا و مناطق مرتفع دیگر جمع‌آوری می‌شود. گیاهان دارویی افغانستان عمدتا شامل آنغوزه (*Ferula assa-foetida*)، شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*)، زیره سیاه (*Carum carvi*)، زیره سبز (*Cuminum cyminum*)، اسفرزه (*Plantago ovata*)، اسپند (*Peganum harmala*)، ریواس (*Rheum ribes*)، سیاه‌دانه (*Nigella sativa*)، اسطوخدوس (*Lavandula angustifolia*)، خاکشیر (*Descurainia sophia*)، افسنطین (*Artemisia absinthium*)، انیسون (*Pimpinella anisum*) و ... که در تولید انواع داروهای گوناگون کاربرد دارند. در این میان، زیره سبز بصورت دیم در برخی مناطق در صورت مناسب بودن شرایط آب و هوایی کشت می‌گردد. با توجه به اینکه گونه‌های گیاهان دارویی کشت شده در افغانستان بسیار ناچیز می‌باشد، لذا می‌توان گفت که هنوز، درصد بسیار بالایی از گونه‌های دارویی مورد استفاده در افغانستان از طبیعت جمع‌آوری شده و درصد اندکی در نظام‌های زراعی تولید می‌شوند. شبیه این وضعیت در کشورهای

دیگر نیز مشاهده می‌شود، طوری‌که در چین از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ گونه‌ای که مورد استفاده دارویی قرار می‌گیرند، تنها ۲۵۰ – ۱۰۰ گونه، کشت می‌شوند (ایکسیا ۱۹۹۱).

نتیجه گیری

نتایج ارزیابی تنوع گونه‌ای و ژنتیکی گیاهان زراعی در افغانستان نشان داد که از نظر غنای گونه‌ای محصولات کشاورزی استان‌های مختلف باتوجه به شرایط اقلیمی مختلف، دارای غنای گونه‌ای متفاوتی بوده، بطوریکه به‌ترتیب استان‌های تخار، هرات، بدخشان و بغلان بیشترین و استان‌های پکتیا و نورستان کمترین غنای گونه را به‌خود اختصاص دادند. بعلاوه شاخص‌های تنوع زیستی شانون و سیمپسون در اکثر استان‌ها و برای محصولات کشاورزی پایین می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص تنوع شانون مربوط به غلات، حبوبات، سبزیجات و گیاهان صنعتی به‌ترتیب مربوط به استان-های کنر، بدخشان، بغلان، تخار و کمترین مقدار برای این محصولات به‌ترتیب متعلق به استان‌های زابل، خوست، بامیان و لغمان است. بعلاوه بیشترین شاخص شانون و شاخص سیمپسون کل برای استان بلخ گزارش شد. همچنین بیشترین شاخص یکنواختی غلات متعلق به استان نیمروز، حبوبات متعلق به استان‌های جوزجان و لغمان، سبزیجات متعلق به استان‌های خوست و لغمان و گیاهان صنعتی متعلق به استان کندهار می‌باشد. تنوع گونه‌های گیاهان علوفه‌ای دراین کشور بسیار کم و محدود به چند گونه یونجه و شبدر با سطح زیرکشت بسیار اندک بوده و عمده تعلیف دام‌ها از مراتع و چراگاه-های طبیعی صورت می‌گیرد. تنوع ژنتیکی و غنای گونه‌ای محصولات زراعی در استان‌های این کشور این واقعیت را نشان می‌دهد که گندم با ۵۲ رقم (۳۰ رقم اصلاح‌شده و ۲۲ توده بومی) بالاترین تعداد ارقام را در بین کلیه محصولات زراعی افغانستان دارد و از این نظر استان هرات با ۲۷ رقم از غنای بیشتری برخوردار می‌باشد. همچنین بدلیل کوهستانی بودن کشور گونه‌های متنوعی از گیاهان دارویی بصورت خودرو در دامنه‌های آنها رشد کرده و سطح زیرکشت گیاهان دارویی در این کشور بسیار اندک و محدود به چند گیاه خاص (عمدتا زیره سبز و زعفران) می‌باشد. لازم به ذکر است که نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینه تنوع بوم‌نظامهای زراعی افغانستان احساس می‌گردد که در مقاله‌ی جداگانه به این موضوع پرداخته شده است.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از همکاری ریاست‌های زراعت، آبیاری و مالداری ولایت مختلف کشور افغانستان جهت انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می نمایند.

منابع مورد استفاده

Abebe T. 2013. Determinants of crop diversity and composition in Enset-Coffee agroforestry homegardens of Southern Ethiopia. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics, 114(1): 29-38. http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hebis:34-2013030542580

Aguilar J, Gramig GG, Hendrickson JR, Archer DW, Forcella F and Liebig MA. 2015. Crop Species Diversity Changes in the United States: 1978–2012. PLoS ONE, 10 (8): e0136580. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136580 .

Altieri MA. 2006. Agroecology: Principles and Strategies for Designing Sustainable Farming System. University of California, Berkeley. http://nature.berkeley.edu/~miguel-alt/principles_and strategie. .

Anonymous.1999. Report: Sustaining Agricultural Biodiversity and Agro-ecosystem Function. FAO, Rome Italy.

Berkes F, Colding J and Folke C. 2000. Rediscovery of Traditional Ecological Knowledge as Adaptive Management. Journal of Ecological Applications, 10: 1251-1262. https://doi.org/10.2307/2641280

Ghalegolab-Behbahani A, Nassiri Mahallati M, Keshavarz Afshar R, Alipour Jahangiri A, Pazoki A, Safa H and Kariminejad M. 2014. Assessing the status of agrobiodiversity through calculation of species richness index using the method of rarefaction (A case study: Shahre-Rey city located in south of Tehran, Iran). Journal of Agroecology, 6(2): 199-208. (In Persian). https://doi.org/ 10.22067/jag.v6i2.39362

Elbekkayl M, Hamza H, Haddad M, Ferchichi A and Kik C. 2008. Genetic erosion in melon (*Cucumis melo*): A case study from Tunisia. Cucurbitaceae, 2008. Pp. 295-300. In: Pitrat M (Eds). Proceeding of the 9th EUCARPLA meeting on genetics and breeding of Cucurbitaceae.

Eric GL, Erin B, Gillian H, Jim S, Stan B, Jim H, Diane L and Haughland DL. 2009. Indices for monitoring biodiversity change: Are some more effective than others? Ecological Indicators, 9: 432–444. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.06.001.

Gliessman S. 1992. Agroecology in the tropics: achieving a balance between land use and preservation. Journal of Environmental Management, 16: 681 -689. https://doi.org/10.1007/BF02645658.

Gosselin F. 2006. An assessment of the dependence of evenness indices on species richness. Journal of Theoretical Biology, 242: 591-597. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2006.04.017.

Hubbell SP. 2001. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton University Press, New Jersey, USA .448.

Jackson L E, Pascual U and Hodgkin T. 2007. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment, 121: 196. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.017.

Jahedi Pour S, Koocheki A, Nassiri Mahallati M and Rezvani Moghaddam P. 2020. The effect of ecological factors on plant species biodiversity of natural ecosystem in Quchan Baharkish. Journal of Agroecology, 11(4):1449-1465. (In Persian with English summary). https://doi.org/ 10.22067/jag.v11i4.56352.

Jihad-e-Agricultural Ministry of Iran. 2010. Yearly statiatical of medicinal plants cultivation. Available online at: http://www.maj.ir/portal/Home/Default.aspx

Joshi BK, Gorkhali NA, Pradhan N, Hari Ghimire K, Gotame T P, Prenil K C, Mainali RP, Karkee A and Paneru RB. 2020. Agrobiodiversity and its Conservation in Nepal. Journal of Nepal Agricultural Research Council, 6: 14-33. https://doi.org/ 10.3126/jnarc.v6i0.28111.

Kazemi H, Bakhshande Larimi S, Gholikhani S and Rassam G. 2020. Diversity assessment of crop and horticultural products in Zanjan province. Journal of Agroecology, 12 (2):179-193. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v12i2.69227.

Koocheki A, Nassiri Mahallati M, Hassanzade F, Mansoori H, Amiri SR., Zarghani H and Karimian M. 2013. Assessing vegetable biodiversity in Iranian Agro-ecosystems. Journal of Applied Ecology, 2: 1-11. (In Persian).

Koocheki A, Nassiri Mahallati M, Jahani M and Boroumand Rezazadeh Z. 2011. Biodiversity study of Iran's industrial plants. Iranian Journal of Field Crops Research, 9 (3): 301-309. (In Persian). https://doi.org/10.22067/GSC.V913.11959.

Koocheki A, Nassiri Mahallati M, Gliessman SR and Zarea A. 2008. Agrobiodiversity of field crops: A case study for Iran. Journal of Sustainable Agriculture, 32 (1): 95-122, (In Persian). https://doi.org/10.1080/10440040802121445.

Koocheki A, Nassiri Mahallati M, Jahanbin GH and Zarea A. 2004. Diversity of crop cultivars in Iran. Desert Journal 9(1): 49-67, https://sid.ir/paper/5321/en. (In Persian).

Liu Z, Tang G and Zhou Y. 2021. Why can China maintain a high crop diversity? A spatial-temporal dynamic analysis. Progress in Physical Geography, 46 (2): 1–15. https://doi.org/10.1177/03091333211055850.

Magurran AE. 2005. Eccology: Linking Species Diversity and Genetic Diversity. Journal of Current Biology, 15 (15): 597-599. https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.07.041.

Margalef R.D. 1958. Information theory in ecology. General Systems, Journal of Scientific Research, 3: 36–71.

Moradi R, and Sami M. 2014. Assessing biodiversity of agronomical, horticultural and livestock productions in Kerman province. Journal of Agroecology, 6(3): 656-667, (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.34983.

Nassiri Mahalati M, Koocheki AR, Tavakkoli Kakhki HR and Soltani M. 2017. Agrobiodiversity Indices for Three Cucurbit Species in Khorasan- Razavi Province. Journal of Agroecology, 9(1): 1-14. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.22431.

Nasiri Mahallati M and Koocheki A. 2014. Agricultural Biodiversity in Iran. Diversity of agricultural species. Desert magazine, 10 (1): 33-50. (In Persian)

Nasiri Mahallati M, Koocheki A and Mazaheri D. 2005. Diversity of crop species in Iran. Desert Magazine, 10(1): 33-50. (In Persian).

NBSP (National Biodiversity Strategy and Action Plan of Afghanistan). 2014. A Framework for Implementation (2014-2017), National Department of Environmental Protection.

Norozzadeh Sh, Rashed Mohasel MH, Nassiri Mahallati M, Koocheki A and Abbaspour M. 2008. Evaluation of species, functional and structural diversity of weeds in wheat fields of Northern, Southern and Razavi Khorasan provinces. Iranian Journal of Field Crops Research, 6(2): 471-487. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v6i2.2453.

Oldfield ML and Alcorn JB. 1987. Conservation of traditional agroecosystems. Journal of Bioscience ،37 (3): 199 -208. https://doi.org/10.2307/1310519.

Pourghasemian N and Moradi R. 2016. Assessing Biodiversity of Agronomical and Horticultural Productions of Isfahan Province. Journal of Agroecology, 8(2): 212-226. (In Persian) https://doi.org/10.22067/jag.v8i2.37582 .

Shrestha J, Subedi S, Devkota H, Acharya B, Subedi M and Pokhrel D. 2019. Ecosystem diversity of field crops, garden crops and aquatic plants in Nepal. Working Groups of Agricultural Plant Genetic Resources (APGRs) in Nepal. Pp. 121-130. In: BK Joshi and R Shrestha (eds). Proceeding of National Workshop, Kathmandu. NAGRC, Nepal.

Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. Journal of Nature, 6 (7): 163- 688. http://dx.doi.org/10.1038/163688a0.

Smale M, Meng E, Brennan JP and Hu R. 2003. Determinants of spatial diversity in modern wheat: examples from Australia and China. Journal of Agricultural Economics, 28 (1): 13-26. https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2003.tb00131.x.

Smyth AK, Chewings VH, Bastin GN, Ferrier S, Manion G and Clifford B. 2004. Integrating historical datasets to priorities areas for biodiversity monitoring? In: Australian Rangelands Society 13th Biennial Conference: “Living in the outback”, Alice Springs, Northern Territory. Pp. 201-208.

Stocking M. 1999. Agrobiodiversity: A positive means of addressing land degradation and suitable rural livelihoods. Pp. 1-16. In: Conacher A J (Eds). Land Degradation; Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Swift MJ, Izac A-MN and Van Noordwijk M. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes. Are we asking the right questions? Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment, 104 (2004):113-134, https://doi:10.1016/j.agee.2004.01.013.

Thompson BA, Van Loon GW, Hugar LB and Patil SG. 2002. Application of remot sensing technology for assessing crop diversity in four agricultural systems of northern Karnataka. Geospatial Today. Available at: http//www.Geospatialtoday.com.

Wetterich F. 2001. Biological diversity of livestock and crops: useful classification and appropriate agri environmental indicators. Proceedings of the OECD experts Meeting on Agri-Biodiversity indicators, November 2001m Zurich, Switzerland. Pp.1-16.

Xia PG. 1991. The Chinese approach to medicinal plants. Their utilization and conservation. Pp. 305-313. In: Akerele O, Heywood V and Synge H (Eds). Conservation of medicinal plants. Cambridge, University Press, UK.

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 45-65

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Growth-Promoting Bacteria effect on Yield and Quality Indicators of rice (*Oryza sativa* L.) under different levels of Chemical and Organic Fertilizers

Omid Divsalar[1], Arastoo Abbasian[2*], Morteza Nasiri[3], Rahmat Abbasi[4]

Received: 06 May 2023	Accepted: 09 November 2023

1-Ph.D. Student of Agrotechnology, Dept. of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, sari, Iran.
2-Assist. Prof., Dept. of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.
3-Research Assoc. Prof., Seed and Plant Improvement Research Dept. Rice Research Institute of Iran (RRII), Mazandaran Branch, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran.
4-Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
*Corresponding Author Email: Arastoo_744@yahoo.com

Abstract

Objectives: Chemical fertilizers in combination with organic fertilizers can increase yield by increasing soil organic matter and improving soil properties. Investigating the effects of seed inoculation with *Azotobacter*. *Pseudomonas* on the growth and efficiency of fertilizer use is important to achieve the maximum yield and economic usefulness of rice in certain environments. The purpose of this experiment is to investigate the effect of inoculation of rice seeds with growth-promoting bacteria along with the use of animal manure on the amount of chemical fertilizers by examining the morphological and qualitative characteristics of rice plants under experimental treatments during two years of cultivation.

Materials and Methods: In a field experiment during two agricultural years (1400-1401 and 1402-1401), the effect of different fertilizer levels (f1= 15 tons livestock fertilizer + 50 kg phosphate + 75 kg Nitrogen, f2= 30 tons livestock fertilizer+ 50 kg phosphate + 75 kg Nitrogen, f3 = 30 tons livestock fertilizer, f4 = 100 kg phosphate + 150 kg Nitrogen, f5 = 50 kg phosphate + 75 kg Nitrogen) per hectare in the conditions of inoculation and non-inoculation with plant growth stimulating bacteria (no inoculation) as a control, inoculation with Azotobacter, Pseudomonas bacteria and simultaneous integration of two bacteria), number of fertile tillers, weight of 1000 seeds, plant height, harvest index, seed yield, gelatinization temperature, amylose, total conversion efficiency and finally the amount of nitrogen, phosphorus and potassium elements in rice leaves and seeds were investigated.

Results: The results showed that seed inoculation with growth-promoting bacteria had a significant effect on plant height, harvest index, thousand-seed weight, number of fertile tillers, seed yield and total conversion efficiency, s well as the amount of elements in leaves and seeds, including the amount of nitrogen in leaves, phosphorus in It had seeds and potassium in both leaves and seeds. Based on the results of inoculation with two bacteria, *Azotobacter* and *Pseudomonas*, the weight of one thousand seeds increased in the second year (4.2%) compared to non-inoculation conditions. The highest rice harvest index in the first year (45.84) and second year (51.50), the highest seed yield (4.8 tons per hectare) and total conversion efficiency (98%) under the fertilizer level of 30 tons of animal manure with 50 And 75 kg of phosphate and nitrogen fertilizer was obtained, which was not significantly different from the fertilizer level of 15 tons of animal manure, 50 and 75 kg of phosphate and nitrogen fertilizer. Inoculation with Azotobacter and Pseudomonas bacteria, especially simultaneous inoculation with them, led to improvement of harvest index (8.8 and 20.1% respectively) in both years, seed yield (15.1%) and total conversion efficiency (6.4%)) compared to the condition of no inoculation. From the qualitative point of view, the rice of the mentioned variety had amylose and gelatinization degree in all the investigated treatments.

Conclusion: It seems that in order to increase the quantity and quality of rice and reduce the adverse effects of chemical fertilizers on the environment, it is possible to suggest the combined use of animal manure with chemical fertilizer in seed inoculation with *Azotobacter* and *Pseudomonas*.

Keywords: Biological Fertilizer, Chemical Fertilizer, Harvest Index, Livestock Fertilizer, Rice

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Arastoo Abbasian E-mail: Arastoo_744@yahoo.com
https://doi.org/10.22034/SAPS.2023.56467.3041

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴ زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۶۵-۴۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و شاخص‌های کیفی برنج تحت سطوح مختلف کودهای شیمیایی و آلی

امید دیوسالار[۱]، ارسطو عباسیان*[۲]، مرتضی نصیری[۳]، رحمت عباسی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۱۶	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۸

۱-دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲-استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳-دانشیار پژوهش، بخش اصلاح و تهیه بذر موسسه تحقیقات برنج، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران
۴-دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*مسئول مکاتبه: Email: Arastoo_744@yahoo.com

چکیده

اهداف: کودهای شیمیایی در ترکیب با کودهای آلی می‌تواند با افزایش ماده آلی خاک و بهبود خصوصیات آن، عملکرد را افزایش دهد. بررسی اثرات تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس بر رشد و کارایی مصرف کود برای رسیدن به حداکثر عملکرد و سودمندی اقتصادی برنج در محیط‌های خاص مهم است. هدف از انجام این آزمایش بررسی اثر تلقیح بذور برنج با باکتری‌ها محرک رشد به همراه کاربرد کود دامی بر میزان مصرف کودهای شیمیایی از طریق بررسی صفات مورفولوژی و کیفی گیاه برنج تحت تیمارهای آزمایشی در طی دو سال کشت است.

مواد و روش‌ها: طی یک آزمایش مزرعه‌ای دو ساله (۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱)، اثر سطوح مختلف کودی (۱۵ تن کود دامی+ ۵۰ کیلوگرم فسفاته+ ۷۵ کیلوگرم نیتروژن، ۳۰ تن کود دامی+ ۵۰ کیلوگرم فسفاته+ ۷۵ کیلوگرم نیتروژن، ۳۰ تن کود دامی، ۱۰۰ کیلوگرم فسفاته+ ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن، ۵۰ کیلوگرم فسفاته+ ۷۵ کیلوگرم نیتروژن) در هکتار در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاهی (عدم تلقیح به‌عنوان شاهد، تلقیح با باکتری *Azotobacter*، *Pseudomonas* و تلفیق هم‌زمان دو باکتری) بر تعداد پنجه‌های بارور، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، شاخص برداشت، عملکرد دانه، دمای ژلاتینه شدن، آمیلوز، راندمان تبدیل کل و در نهایت میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و دانه برنج مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد پنجه بارور، عملکرد دانه و راندمان تبدیل کل و همچنین میزان عناصر موجود در برگ و دانه اب جمله میزان نیتروزن در برگ، فسفر در دانه و پتاسیم هم در برگ و هم در دانه داشت. بر اساس نتایج تلقیح با دو باکتری ازتوباکتر و سودوموناس وزن هزار دانه را در سال دوم (۴/۲ درصد) نسبت به شرایط عدم تلقیح افزایش داد. بالاترین شاخص برداشت برنج در سال اول (۴۵/۸۴) و دوم (۵۱/۵۰)، بالاترین میزان عملکرد دانه (۴/۸ تن در هکتار) و راندمان تبدیل کل (۹۸ درصد) تحت سطح کودی ۳۰ تن کود دامی به همراه ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم کود فسفاته و ازته حاصل گردید که تفاوت معنی‌داری با سطح کودی ۱۵ تن کود دامی، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم کود فسفاته و ازته نداشت. تلقیح با باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس به ویژه تلقیح همزمان با آنها منجربه بهبود شاخص برداشت (به ترتیب ۸/۸ و ۲۰/۱ درصد) در

هر دو سال، عملکرد دانه (۱۵/۱ درصد) و راندمان تبدیل کل را (۶/۴ درصد) نسبت به شرایط عدم تلقیح شد. از نظر کیفی برنج رقم مذکور در تمامی تیمارهای مورد بررسی دارای آمیلوز و درجه ژلاتینی‌شدن متوسط بود.
نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد به‌منظور افزایش عملکرد و کیفیت برنج و کاهش اثرات سوء کودهای شیمیایی بر محیط زیست می‌توان کاربرد ۱۵ تن کود دامی به همراه ۵۰ کیلوگرم کود فسفاته و ۷۵ کیلوگرم کود ازته را به همراه تلقیح بذور برنج با دو باکتری ازتوباکتر و سودوموناس پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد، برنج، کود دامی، کود شیمیایی، شاخص برداشت

مقدمه

برنج یک محصول مهم زراعی است که غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان را تأمین می‌نماید و نقش مهمی در امنیت غذایی دارد (برار و همکاران ۲۰۱۲). با توجه به‌اینکه در اکثر شالیزارهای جهان کمبود عناصر غذایی گزارش می‌گردد، استفاده از کودهای شیمیایی به‌منظور رفع نیاز روزافزون به غذا امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. هر چند استفاده از کودهای معدنی ظاهراً سریعترین راه برای تأمین حاصلخیزی خاک به‌شمار می‌رود، ولی هزینه‌های زیاد مصرف کود همراه با آلودگی و تخریب محیط زیست و منابع آب و خاک، نگران‌کننده است (دیوسالار و همکاران ۲۰۱۱). به‌طوری‌که راندمان مصرف کود نیتروژن در برنج پایین بوده (کمتر از ۴۰ درصد از کود نیتروژن مصرف شده مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرند) و مابقی به نحوی از دسترس گیاه خارج می‌شود (سعادتی ۱۹۹۳). فسفر نیز یکی از عناصر پر مصرف ضروری برای رشد گیاهان است و پس از نیتروژن مهمترین نقش را در تولید محصولات کشاورزی ایفا می‌کند (نجفی و توفیقی ۲۰۱۲). با وجود فراوانی فسفر در طبیعت، به‌دلیل تثبیت این عنصر در خاک، کمبود آن در بسیاری از خاک‌ها مشاهده می‌شود. مصرف فسفر غیر از تأثیر در مراحل توسعه ریشه و شاخه‌زایی، در مراحل زایشی و پر شدن دانه نیز بسیار مؤثر است (فرناندز و همکاران ۲۰۰۷). از طرفی بهبود مدیریت مصرف کود فسفر و همچنین افزایش کارایی مصرف فسفر در سیستم‌های کشاورزی سازگار با محیط زیست، ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (کند و همکاران ۲۰۱۴).

یکی از راه‌های بهبود کارآیی مصرف کودهای شیمیایی و کاهش تلفات ناشی از آنها، مصرف همزمان کودهای آلی با کودهای شیمیایی است. کودهای زیستی یکی از انواع کودهای آلی است که کاربرد آنها می‌تواند به عنوان جایگزین و یا مکمل کودهای شیمیایی با بهبود و حفظ باروری خاک و مدیریت صحیح حاصلخیزی آن سبب تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه و افزایش عملکرد آن می‌شود و در نتیجه می‌تواند پایداری تولید در نظام‌های کشاورزی تضمین کنند (ماهانتا و همکاران ۲۰۱۴). کودهای زیستی حاوی ریزجاندارانی از جنس ازتوباکتر، آزوسپیریلیوم، سودوموناس، باسیلوس و غیره علاوه بر فراهم نمودن عناصر غذایی برای گیاه و تسهیل جذب عناصر غذایی از طریق تولید ترکیبات مختلف و ترشح اسیدهای آلی، با ساخت ویتامین‌ها، تولید سیدروفور، تولید مواد تنظیم‌کنندهٔ رشد گیاه از قبیل اکسین‌ها و جیبرلین‌ها، ساخت آنزیم‌های دخیل در رشد و نمو گیاه، تولید ترشحات حل‌کننده و کاهش اسیدیته خاک، سبب رشد، توسعه ریشه و اندام‌های هوایی گیاه شده و به‌طور غیرمستقیم در رشد گیاه نقش ایفا می‌نمایند (گوپتا و همکاران ۲۰۱۵). خرم‌دل و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که تلقیح با کودهای زیستی منجر به افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد زیستی گیاه سیاهدانه گردید. در بررسی حسن‌پور و همکاران (۲۰۱۱) مشخص شد که کود زیستی سوپرنیتروپلاس (حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات) برعملکرد دانه تأثیر معنی‌داری داشت و باعث افزایش تقریباً ۱۱ درصدی عملکرد دانه گیاه کنجد نسبت به حالت عدم مصرف شد. نتایج پژوهش روزیر و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که

کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت در شرایط کمبود نیتروژن خاک شد. بیلال و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که تقلیح بذور یولاف (*Avena fatua* L.) با کودهای زیستی آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر تعداد پنجه، ارتفاع بوته، نسبت برگ به ساقه و عملکرد ماده خشک افزایش یافتند.

از دیگر راهکارهای کاهش مصرف کودهای شیمیایی، افزایش حاصلخیزی و اصلاح خاک، افزایش عملکرد گیاهان زراعی و درنهایت حصول پایداری در سیستم‌های کشاورزی، کاربرد کودهای آلی از جمله کودهای دامی است (کمایستانی و همکاران ۲۰۱۸). کود آلی که از فضولات حیوانی به‌دست می‌آید، نه تنها برای حفظ تولید محصول، بلکه برای بهبود حاصلخیزی خاک به‌صورت پایدار، نوید زیادی دارد (اختر و همکاران ۲۰۱۹)، کود دامی می‌تواند جایگزین کود شیمیایی برای افزایش بهره‌وری محصول، جذب کربن، ساختار خاک و حاصلخیزی و همچنین کاهش آلودگی محیطی شود (اقبال و همکاران ۲۰۱۹). مزیت عمده این نوع کود نسبت به سایر کودها به‌دلیل جایگزینی عناصر مغذی خاک با صرف هزینه اندک است. در استفاده از کود دامی تجزیه مواد آلی به آرامی انجام می‌شود؛ اما تأثیر چشم‌گیری بر بهره‌وری بلند مدت آن دارد (تایسن و همکاران ۱۹۹۴). کودهای دامی علاوه بر بهبود ساختمان خاک و تمرکز عناصر غذایی در سطح خاک (تونایتو و همکاران ۲۰۰۶)، به‌عنوان مهمترین منبع جهت افزایش فعالیت باکتری‌ها عمل کرده و باکتری‌ها در این شرایط از کارایی بالاتری برخوردار خواهند بود (توران و همکاران ۲۰۰۶). با این حال، کود آلی از نظر مواد مغذی ضعیف بوده و توانایی رهاسازی مواد مغذی آن نیز به کندی نیازهای گیاه را در مدت زمان زیادی برآورده خواهد ساخت، بنابراین تأکید شده است که کاربرد کود دامی همراه با کود شیمیایی رویکرد بهتری برای بهبود و حفظ حاصلخیزی خاک و تولید محصول نسبت به استفاده انحصاری از هریک از آنها است. بهبود عملکرد برنج در اثر مصرف کودهای آلی، شیمیایی و زیستی در مطالعات سایر محققان نیز به اثبات رسیده است که از آن جمله می‌توان به بهبود رشد و عملکرد دانه برنج در اثر مصرف کود آلی و شیمیایی (تایلاهان و همکاران ۲۰۱۳)، بهبود عملکرد دانه در اثر مصرف کود تلفیقی زیستی (باکتری آزوسپیریلوم) با کود شیمیایی (پدزارا و همکاران ۲۰۰۹)، افزایش ماده خشک دانه برنج در اثر مصرف کودهای دامی و شیمیایی (گانگ و همکاران ۲۰۰۸)، افزایش شاخص برداشت برنج در اثر مصرف کود زیستی (ازتوباکتر) و کود شیمیایی (ملکی و همکاران ۲۰۱۱) را اشاره نمود.

هدف پژوهش حاضر کاهش میزان کاربرد کودهای شیمیایی و بهبود کیفیت و عملکرد برنج با کمک تلقیح بذور برنج با باکتری‌ها محرک رشد به همراه کاربرد کود دامی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی برنج رقم طارم هاشمی در سطوح مختلف کودهای شیمیایی و دامی در طی دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱) در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج آمل به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی سطوح مختلف کودی در پنج سطح (f1= ۱۵ تن کود دامی + ۵۰ کیلوگرم فسفاته + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن، f2= ۳۰ تن کود دامی + ۵۰ کیلوگرم فسفاته + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن، f3= ۳۰ تن کود دامی، f4= ۱۰۰ کیلوگرم فسفاته + ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن، f5=۵۰ کیلوگرم فسفاته + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن) در هکتار و عامل فرعی تلقیح نشاء برنج با باکتری (بدون تلقیح، تلقیح با باکتری *Azotobacter*، تلقیح با باکتری *Pseudomonas* و تلقیح هم‌زمان با دو باکتری) در نظر گرفته شد. قبل از اجرای آزمایش برای مشخص شدن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از لایه زراعی خاک محل پژوهش نمونه‌برداری صورت گرفت و قبل از کاشت با توجه به نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی کود دامی و خاک (جدول ۱)، عناصر غذایی لازم و تیمارهای کودی مورد نظر اعمال شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی کود دامی و خاک در سال اول و دوم

	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	مواد آلی	کربن	نیتروژن	هدایت الکتریکی (EC)	اسیدیته (pH)
	($mg.kg^{-1}$)		(%)			(µmhos/cm)	
کود دامی	۱/۱۲	۰/۶۷	۵۰/۲	۲۹/۲	۲/۵۷	۱۵/۵۳	۷/۸۳
سال اول							
خاک (سیلتی –شنی)	۱۳۷	۱۰	۶/۳۰	۳/۶۵	۰/۳۷	۱/۲۹	۷/۱۳
سال دوم							
خاک (سیلتی–رسی)	۲۱۵	۱۲	۶/۵۱	۳/۷۸	۰/۳۵	۱/۶۸	۷/۰۱

آماده‌سازی خزانه و عملیات بذرپاشی طی نیمه اول فروردین ماه طبق عرف منطقه و عملیات نهایی تهیه زمین اصلی جهت نشاکاری در اردیبهشت ماه صورت پذیرفت. عملیات داشت شامل وجین، مبارزه با آفات امراض مطابق عرف منطقه صورت پذیرفت. تعداد بوته‌های نشاء در تمامی کرت‌های فرعی یکسان (۴ خال) و با فاصله ۲۵×۲۰ سانتی‌متر بود. تمامی کودهای دامی و فسفاته و ۵۰ درصد کود نیتروژن و پتاسه قبل از نشاکاری، ۵۰ درصد دیگر کود پتاسه در زمان ظهور خوشه آغازین و ۵۰ درصد باقیمانده کود نیتروژن به صورت ۲۵ درصد در زمان پنجه‌زنی و ۲۵ درصد در مرحله خوشه‌دهی بر اساس تیمارها به کرت‌ها اضافه شد. مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی در طی دو مرحله (وجین اول ۳۰ روز پس از نشاکاری و وجین دوم به فاصله ۲۵ روز پس از وجین اول) انجام شد.

همچنین بذر برنج رقم هاشمی از مرکز تحقیقات آمل تهیه گردید. نمونه‌برداری از مزرعه در زمان ۲۰ روز پس از نشاکاری با رعایت حذف دو ردیف از حاشیه هر کرت صورت پذیرفت. در زمان رسیدگی گیاه از متوسط ۲۰ بوته، صفات ارتفاع بوته و تعداد پنجه بارور اندازه گیری شدند. وزن هزار دانه، میزان عملکرد دانه و شاخص برداشت در یک متر مربع از هرکرت تعیین شدند. میزان شاخص برداشت بر اساس رابطه ۱و عملکرد دانه به تن در هکتار محاسبه گردید.

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد اقتصادی}}{\text{عملکرد بیولوژیکی}} \times 100 \qquad \text{[رابطه ۱]}$$

برداشت برنج در ۱۵ شهریور هر سال زراعی و در مرحله رسیدگی برنج (رطوبت ۱۴ درصد) انجام شد. بدین‌منظور در ابتدا بذور را به رطوبت ۱۱ درصد رسانده و ویژگی‌های کیفی نظیر درصد آمیلوز (جولیانو، ۱۹۷۱) و دمای ژلاتینه شدن (لیتل و همکاران ۱۹۵۸) اندازه‌گیری شد.

دانه‌های سالم و شکسته با استفاده از دستگاه درجه‌بندی (Satake Model TRB 058, Japan) از یکدیگر شدند و راندمان تبدیل که به صورت درصد بیان میشود از تقسیم وزن برنج سفید به وزن برنج شلتوک ضرب در ۱۰۰ (رابطه ۲) برآورد گردید (گیلانی و همکاران، ۲۰۱۲).

$$\text{راندمان تبدیل کل} = \frac{\text{وزن کل برنج سفید}}{\text{وزن شلتوک اولیه}} \times 100 \qquad \text{[رابطه ۲]}$$

به‌منظور تعیین غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر برنج‌ها ابتدا با آب مقطر شسته و سپس ریشه‌ها و اندام هوایی جدا شدند. اجزای گیاه در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. نمونه‌های گیاهی با دستگاه خردکن با تیغه‌های آلومینیومی پودر شده و در نهایت به روش اکسایش تر اندازه‌گیری شدند (والینگ و همکاران ۱۹۸۹). تجزیه داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS 9.4 انجام گرفت. برای صفاتی که در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان دادند، مقایسه میانگین به روش

LSD انجام شد. آزمون هارتلی برای تعیین همگنی واریانس‌های خطا جهت انجام تجزیه واریانس مرکب انجام شد. پس از اطمینان از یکنواختی واریانس‌های خطا، تجزیه واریانس مرکب انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون متجانس بودن واریانس‌ها (آزمون هارتلی) نشان داد که بین صفات بررسی شده برنج، فقط صفات ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت معنی‌دار شد (داده ها نشان داده نشدند)، بنابراین تجزیه واریانس ساده در هر سال برای این صفات انجام شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس ساده تیمارهای منابع کودی و باکتری بر ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت برنج در سال اول و دوم

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته		وزن هزار دانه		شاخص برداشت	
		سال اول	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
بلوک	۲	۳/۵۳ ns	۶۱/۳۵ ns	۰/۰۵ ns	۰/۱۹ ns	۵/۱۱ ns	۱/۲۷ ns
منابع کودی (F)	۴	۱۹/۳۸ **	۱۱۳/۹۲ **	۳/۹۴ ns	۱/۴۹ ns	۲۱/۲۴ *	۲۱۲/۸۲**
خطای تکرار	۸	۲/۲۱	۲۲/۰۴	۵/۶۲	۰/۹۶	۹/۸۰	۲۶/۱۱
باکتری (B)	۳	۲۲/۴۶ **	۶۱/۴۷ *	۷/۰۵ ns	۳/۷۷ *	۴۰/۴۵ **	۱۸۵/۳۸ **
F×B	۱۲	۱/۵۶ ns	۳/۲۴ ns	۰/۱۴ ns	۰/۱۱ ns	۳/۵۸ ns	۱۰/۰۹ ns
خطا	۳۰	۲/۶۲	۲۰/۳ ns	۲/۴۶	۱/۱۶	۳/۵۶	۸/۷۱
ضریب تغییرات (٪)		۱/۳	۳/۴	۵/۹	۴/۰	۵/۳	۶/۴

ns غیرمعنی‌دار، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ است.

یافته‌های جدول تجزیه واریانس حاکی از اثرگذاری ساده تیمارهای تلقیح نشاءهای برنج با باکتری و ترکیبات مختلف کودی بر ارتفاع بوته در سال اول کشت بود (جدول ۲). به‌طوری که بیشترین ارتفاع بوته در این سال در ترکیب کودی ۱۵ تن کود دامی، ۷۵ کیلوگرم کود فسفاته به همراه ۲۵ کیلوگرم کود ازته حاصل گردید (جدول ۳). به عبارتی می‌توان این‌گونه بیان داشت که افزایش ارتفاع بوته می‌تواند ناشی از افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت موجود در خاک و همچنین افزایش فعالیت ریزموجودات خاکزی به دنبال کاربرد کودهای دامی در کنار کودهای شیمیایی باشد (آرانکون و همکاران ۲۰۰۵). هندوای و همکاران (۲۰۱۰) نیز افزایش ارتفاع بوته آویشن (*Thymus vulgaris*) را با مصرف کودهای آلی گزارش نمودند. از طرفی ارتفاع بوته‌های برنج تحت تأثیر تلقیح با باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس به ویژه تلقیح همزمان با دو باکتری مذکور نسبت به شرایط عدم تلقیح افزایش یافت (جدول ۳). در همین راستا، اصغر و همکاران (۲۰۰۲) نیز افزایش ۵/۸ درصدی ارتفاع بوته ذرت را به واسطه تلقیح آن با ازتوباکتر و سودوموناس گزارش نموده و تولید ایندول استیک اسید به وسیله سویه‌های مختلف باکتری‌های جنس ازتوباکتر را عامل افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در رشد و عملکرد دانستند. در مطالعهٔ مشابه، دلیل افزایش ارتفاع بوتهٔ ارقام مختلف برنج در زمان کاربرد باکتری‌های افزایندهٔ رشد (*Enterobacter* sp. و *R. aquatilis*) را انحلال فسفر نامحلول و تولید ایندول استیک اسید توسط این باکتری‌ها گزارش کردند (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴). همچنین الافری و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند که باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس با ترشحات هورمونی خود اثرات تنش خشکی بر گندم را کاهش داده و موجب بهبود عملکرد این گیاه شدند و علاوه بر آن استفاده از این باکتری‌ها بهره‌وری زیستی آب موجود در خاک را افزایش داد.

جدول ۳- اثر ساده تیمارهای منابع کودی و باکتری بر ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت برنج در سال اول و دوم کشت

تیمارها	ارتفاع بوته (cm)		وزن هزار دانه (g)		شاخص برداشت (%)	
کود	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
50P+75N	۱۲۳/۷۸ bc	۱۳۰/۹۷ bc	۲۵/۸۵ a	۲۶/۹۴ ab	۴۳/۹۸ ab	۴۴/۷۹ bc
100P+150N	۱۲۴/۲۲ bc	۱۳۴/۳۷ ab	۲۶/۱۵ a	۲۷/۱۰ ab	۴۴/۶۱ ab	۴۷/۸۸ b
30L	۱۲۳/۲۳ c	۱۲۹/۳۵ c	۲۵/۶۲ a	۲۶/۶۳ b	۴۲/۲۹ b	۴۰/۰۳ c
30L+50P+75N	۱۲۵/۰۶ b	۱۳۵/۶۰ a	۲۶/۳۵ a	۲۷/۲۷ ab	۴۵/۸۴ a	۵۱/۵۰ a
15L+50P+75N	۱۳۶/۴۹ a	۱۳۶/۵۵ a	۲۷/۱۲ a	۲۷/۵۷ a	۴۴/۹۹ ab	۴۷/۸۸ ab
باکتری						
بدون تلقیح	۱۲۳/۱۱۳ c	۱۳۰/۸۳ b	۲۵/۳۷ b	۲۶/۴۷ b	۴۲/۴۵ c	۴۱/۱۶ c
Azotobacter (A)	۱۲۴/۵۰ b	۱۳۲/۸۵ ab	۲۶/۱۳ ab	۲۶/۹۵ ab	۴۳/۶۱ bc	۴۶/۱۷ b
Pseudomonas (P)	۱۲۴/۵۱ b	۱۳۵/۵۷ a	۲۶/۳۳ ab	۲۷/۴۱ a	۴۵/۱۰ ab	۴۷/۳۶ ab
A+ P	۱۲۶/۱۱ a	۱۳۶/۲۳ a	۲۷/۰۴ a	۲۷/۵۹ a	۴۶/۱۹ a	۴۹/۴۳ a
CV٪	۱/۳	۳/۴	۵/۹	۴/۰	۵/۳	۶/۴

حروف مشترک در هر ستون در هر عامل بررسی شده، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD است.

بررسی میزان وزن هزار دانه نیز تحت تیمارهای مورد بررسی حاکی از عدم اثرگذاری ترکیبات کودی در هر دو سال کشت بود (جدول ۲). بالاترین وزن هزار دانه در سال دوم کشت برنج تحت ترکیب تلقیح با باکتری و کمترین آن در زمان عدم تلقیح بود (جدول ۳). شاید بتوان این‌گونه بیان کرد که این سویه‌ها با جذب بهتر عناصر و امکان دسترسی بیشتر مواد مغذی توانستند رشد بهتر گیاه را سبب شوند و عملکرد بالاتری را به خود اختصاص دهند. افزایش جذب عناصر به‌وسیله گیاهان همزیست با باکتری محرک رشد را می‌توان به تولید مواد تنظیم‌کننده رشد نسبت داد که به‌وسیله باکتری‌ها در سطح ریشه تحریک شده و رشد ریشه را گسترش و جذب آب و عناصر را افزایش می‌دهند (هوفلیچ و همکاران ۱۹۹۷). گزارش شده است که با مصرف ریزجانداران حل‌کننده فسفات، وزن دانه در گندم افزایش یافته است (زیدی و خان ۲۰۰۵). همچنین بیان شده است که با کاربرد سودوموناس فلورسنس، وزن هزار دانه جو تحت‌الشعاع قرار گرفت و از این طریق بر عملکرد و اجزای عملکرد اثر مثبت گذاشت (افتخاری و همکاران ۲۰۱۰). برخی از محققین نیز افزایش وزن هزار دانه ذرت را در نتیجه آزاد شدن فسفر و جذب آن به‌وسیله ریزسازواره‌های حل‌کننده فسفر دانسته‌اند.

بر اساس نتایج بیشترین میزان شاخص برداشت برنج در هر دو سال زراعی تحت کوددهی ۳۰ تن کود دامی، ۵۰ کیلوگرم کود فسفاته به همراه ۷۵ کیلوگرم کود ازته حاصل گردید که تفاوت معنی‌داری با تیمار کودی (۱۵-۵۰-۷۵) کود دامی، فسفاته و نیتروژن نداشت. از طرفی کمترین میزان شاخص برداشت در شرایط کاربرد ۳۰ تن کود دامی به تهایی مشاهده گردید. کاربرد تیمار تلقیح بذور برنج با باکتری نیز بر شاخص برداشت برنج اثرگذار بود به‌طوری‌که شاخص برداشت برنج در هر دو سال در گیاهان تلقیح‌شده با باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس به‌ویژه تلقیح همزمان با آنها افزایش یافت (جدول ۳) که با نتایج دیگر محققین هماهنگی دارد (رضایی و همکاران ۲۰۰۹؛ بلدر و همکارن ۲۰۰۵). در همین راستا، باباخانی و همکاران (۲۰۲۳) افزایش عملکرد زیستی گیاه شنبلیله را در شرایط کاربرد کود دامی و تلقیح با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن گزارش نمودند. توران و همکاران (۲۰۱۰) نیز افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت گندم را به‌واسطه تلقیح بذر با کودهای بیولوژیک

تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات دانستند. کندی و همکاران (۲۰۰۴) نیز طی بررسی‌های مختلفی اظهار داشتند که ازتوباکتر به‌عنوان تحریک‌کننده رشد گیاهی، غیر از تثبیت نیتروژن مولکولی با تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین منجر به افزایش تولید تارهای کشنده ریشه و جذب عناصر غذایی از خاک و درنهایت سبب بهبود کارایی مصرف کود می‌شوند. مانسک و همکاران (۲۰۰۰) دریافتند که استفاده از مایه تلقیح ازتوباکتر با افزایش طول و تراکم ریشه‌ها سبب افزایش کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد می‌گردد. همچنین، تغییر در اندازه و مرفولوژی خارجی و داخلی ریشه‌ها به‌دلیل تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد، بر توانایی ریشه در دسترسی به حجم وسیع‌تر خاک اثر گذاشته (مانسک و همکاران ۲۰۰۰) و قابلیت استفاده و جذب عناصر غذایی و آب را افزایش داده که درنهایت منجر به افزایش کارایی مصرف کود و عملکرد بیشتر خواهد شد (ظهیر و همکاران ۲۰۰۴).

همانطور که قبلا اشاره شده بود، تجزیه مرکب روی بین بسیاری از صفات بررسی شده برنج (بدلیل معنی دار نشدن آزمون هارتلی) انجام شد (داده ها نشان داده نشدند). بین دو سال زراعی از نظر صفات تعداد پنجه بارور در کپه، میزان شاخص برداشت، دمای ژلاتینه شدن، میزان آمیلوز دانه و راندمان در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین ترکیبات کودی اثر معنی‌داری بر تمامی صفات مورد بررسی داشت. تیمار تلقیح با باکتری نیز تنها بر تعداد پنجه بارور در کپه، میزان عملکرد در هکتارو شاخص برداشت معنی‌دار شد. از طرفی برهمکنش سال و ترکیبات کودی نیز بر تعداد پنجه بارور در کپه در سطح احتمال پنج درصد و بر میزان شاخص برداشت و میزان آمیلوز دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. همچنین برهمکنش تیمار کودی با باکتری نیز بر میزان شاخص برداشت و میزان آمیلوز در سطح احتمال پنج و بر میزان دمای ژلاتینه شدن در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری گردید. برهمکنش باکتری در سال و برهمکنش سه‌گانه کود و باکتری در سال نیز تنها بر میزان شاخص برداشت در سطح پنج درصد معنی‌داری شد (جدول ۴).

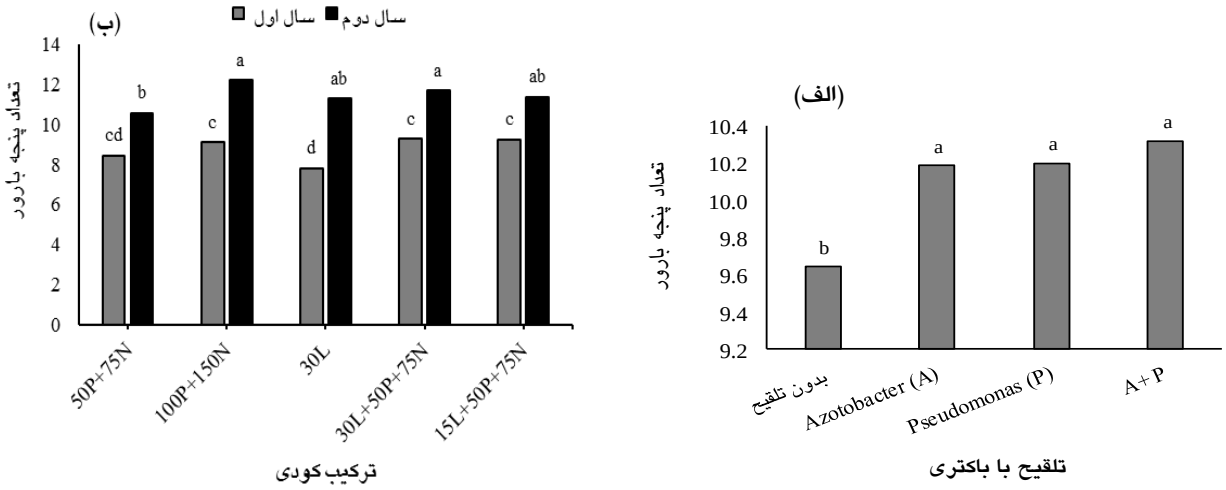
جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب تیمارهای منابع کودی و باکتری بر صفات مورفولوژیکی و کیفی برنج در طی دو سال

منابع تغییر	درجه آزادی	پنجه بارور	عملکرد دانه	ژلاتینه شدن	آمیلوز	راندمان تبدیل کل
سال (Y)	۱	۲۰۹/۸۸ **	۳۸۸۳ ^{ns}	۰/۹۸۳ **	۷۸/۷۴۸ **	۱۹۸/۹۲ ^{ns}
خطای تکرار×سال	۴	۱/۷۱	۱۱۱۱	۰/۰۰۹	۰/۵۷۸	۱۳۰/۱۲
منابع کودی (F)	۴	۶/۹۵ **	۲۱۳۱ **	۰/۱۵۵ **	۲/۲۲۶ **	۴۱۴/۶۹ **
Y×F	۴	۲/۱۵ *	۱۳۸ ^{ns}	۰/۰۲۴ ^{ns}	۱/۴۸۹ **	۳۸/۵۵ ^{ns}
باکتری (B)	۳	۲/۷۴ **	۲۱۳۷ **	۰/۰۷۱ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۱۳۹۴/۴۵ **
F×B	۱۲	۰/۵۶ ^{ns}	۱۷۷ ^{ns}	۰/۲۱۸ **	۰/۲۰۶ *	۱۸۱/۸۹ ^{ns}
Y×B	۳	۰/۱۷ ^{ns}	۵۱/۱ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{ns}	۰/۱۶۶ ^{ns}	۲۴/۵۱ ^{ns}
Y×F×B	۱۲	۱/۱۲ ^{ns}	۳۲/۲ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{ns}	۰/۱۴۵ ^{ns}	۱۴/۶۸ ^{ns}
خطا	۷۶	۰/۶۲	۳۱۸	۰/۰۳۷	۰/۰۸۸	۸۵/۹۶
ضریب تغییرات (٪)		۷/۸	۱۲/۴	۵/۸	۱/۵	۱۰/۶

^{ns} غیرمعنی‌دار، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ است.

تلقیح جداگانه نشاءهای برنج با باکتری ازتوباکتر، سودوموناس و همچنین تلقیح همزمان با دو باکتری مذکور به صورت قابل‌توجهی (به ترتیب حدود ۵/۸، ۷ و ۵/۶ درصد) تعداد پنجه‌های بارور را نسبت به شرایط عدم تلقیح افزایش داد (شکل ۱-الف). در آزمایش دیگری، تلقیح ریشهٔ گیاهچه برنج با باکتری‌های

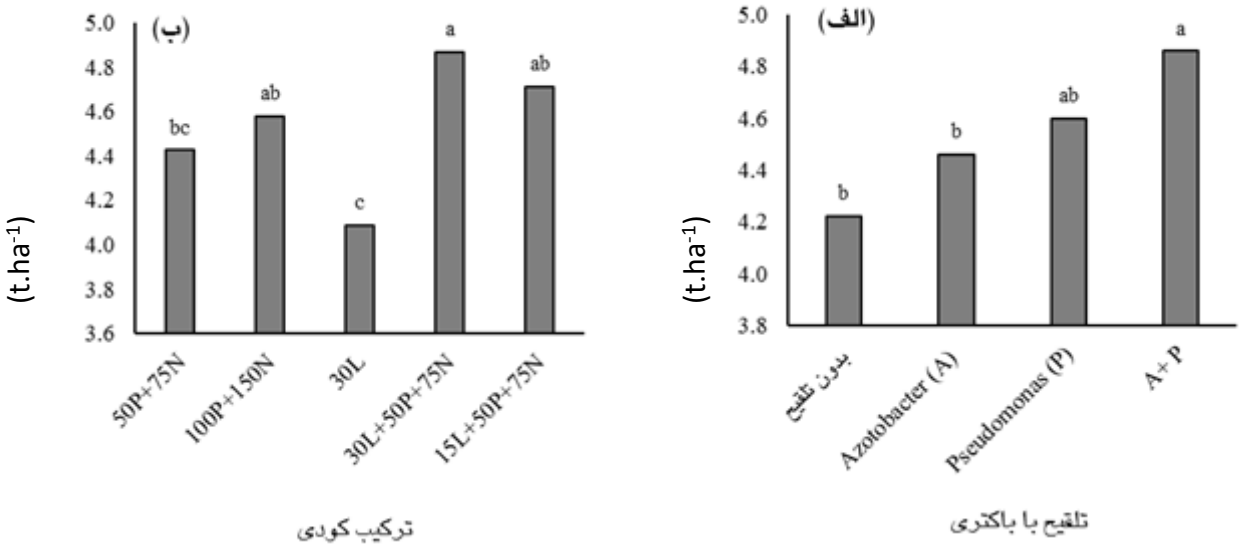
Enterobacter sp. و *R. aquatilis* به‌ترتیب موجب افـزایش ۲۰ و ۳۹ درصد تعداد پنجه در کپه شد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۵). بر اساس نتایج تعداد پنجه بارور در سال دوم تحت تمامی ترکیبات کودی افزایش یافت با این وجود بیشترین میزان اختلاف بین دو سال در تیمار کودی ۳۰ تن کود دامی مشاهده گردید که در سال دوم زراعی حدود ۴۴/۵ درصد نسبت به سال اول افزایش تعداد پنجه بارور حاصل گردید (شکل ۱-ب). نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف نیتروژن باعث افزایش تعداد پنجه می‌شود. سینگ و جین (۲۰۰۰) و کوبایشای (۲۰۰۰) هم گزارش کرده‌اند که بارزترین اثرات کود نیتروژن بر عملکرد برنج از طریق افزایش تعداد پنجه (حفظ و یا تحریک تولید آن) ظاهر می‌شود. این افزایش تعداد پنجه به‌دلیل قابل دسترس‌تر بودن نیتروژن بوده است که با افزایش میزان کود نیتروژن میزان قدرت رشد رویشی گیاه افزایش یافته است. میزان نیتروژن کمتر باعث تعداد پنجه کمتر در هر بوته می‌شود که از طریق ظرفیت کمتر متابولیسم کربن فتوسنتزی ایجاد می‌شود (هیوانگ و همکاران ۲۰۱۱). همچنین نتایج این تحقیق با نتایج تعداد زیادی از محققین منطبق بود (قربانلی و همکاران ۲۰۰۷؛ اسلام و همکاران ۲۰۰۸؛ لمپایان و همکاران ۲۰۱۰).



شکل ۱-اثر ساده تلقیح با باکتری (الف) و برهمکنش ترکیب کودی در سال (ب) بر تعداد پنجه بارور در گیاه برنج

در بررسی میزان عملکرد دانه مشاهده شد که تیمار با باکتری به‌صورت قابل‌توجهی منجربه افزایش عملکرد نسبت به شرایط عدم تلقیح گردید. به‌طوری‌که بالاترین میزان عملکرد در شرایط تلقیح هم‌زمان با دو باکتری ازتوباکتر و سودوموناس (بیش از ۱۵ درصد نسبت به شرایط عدم تلقیح) حاصل گردید (شکل-۲الف). همچنین بالاترین میزان عملکرد در شرایط کاربرد ترکیب کود دامی با کودهای شیمیایی اوره و فسفات حاصل گردید که تفاوت معنی‌داری با ترکیب ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفات به همراه ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره نداشت. از طرفی کمترین میزان عملکرد در تحت کاربرد کود دامی به تنهایی مشاهده گردید (شکل ۲-ب).

اثر ساده سال بر درجه حرارت ژلاتینی‌شدن برنج معنی‌دار گردید. به‌عبارتی دیگر عوامل جوی مانند نزولات آسمانی، طول روز، حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا و خاک و غیره در سال‌های مختلف متفاوت بود. مقدار درجه حرارت ژلاتینی شدن یکی از عوامل مهم تعیین کننده کیفیت پخت می‌باشد. درجه حرارت

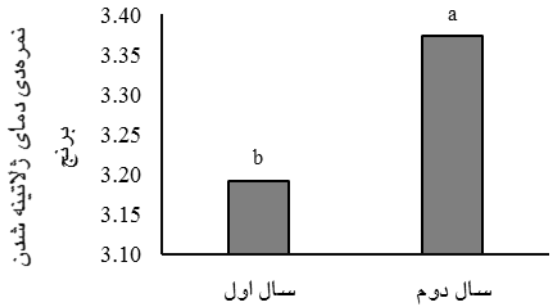


شکل ۲-اثر ساده باکتری (الف) و ترکیب کودی (ب) بر میزان عملکرد دانه در هکتار برنج

ژلاتینی‌شدن محدوده درجه حرارتی است که در آن مولکول‌های نشاسته به‌طور غیرقابل برگشت در آب گرم شروع به تورم می‌کنند. درجه حرارت ژلاتینی (سانتیگراد) ممکن است پایین (۵۵ تا ۶۹)، متوسط (۷۰ تا ۷۴) و یا بالا (بیش از ۷۴) باشد (دلا و کوش ۲۰۰۰). چنانچه حرارت ژلاتینی رقمی بالا باشد برنج پخته آن سفت و خشک می‌شود. برعکس حرارت ژلاتینی پایین، موجب نرمی و چسبنده‌شدن برنج پس از پخت می‌شود. ارقامی که دارای آمیلوز همسان می باشند درجه حرارت ژلاتینی مختلفی از خود نشان می‌دهند. عواملی چون آب و هوا (حرارت) به ویژه حرارت بالا در زمان رسیدن بر روی حرارت ژلاتینی تأثیر گذاشته و آن را بالا می‌برد (محمدصالحی ۱۹۸۹). بر اساس نتایج کلاس درجه حرارت ژلاتینی شدن در سال دوم زراعی حدود ۳/۴ بود که بیش از ۵ درصد نسبت به سال اول کشت (۳/۲) افزایش نشان داد (شکل ۳)، با این وجود هر دودر یک کلاس قرار گرفتند. شی و همکاران (۱۹۹۷) نیز در پژوهش‌های خود بیان کردند که دما در طول دوره رسیدن دانه روی صفات مرتبط با کیفیت پخت، به خصوص دمای ژلاتینه شدن، تأثیر می‌گذارد. بنابر نظر دلا و همکاران (۱۹۸۹) دمای بالا در زمان رسیدن و پر شدن دانه منجر به تجمع نشاسته‌ای با دمای ژلاتینه‌شدن بالا می‌شود و تغییر در میزان آمیلوز را نیز موجب می‌شود.

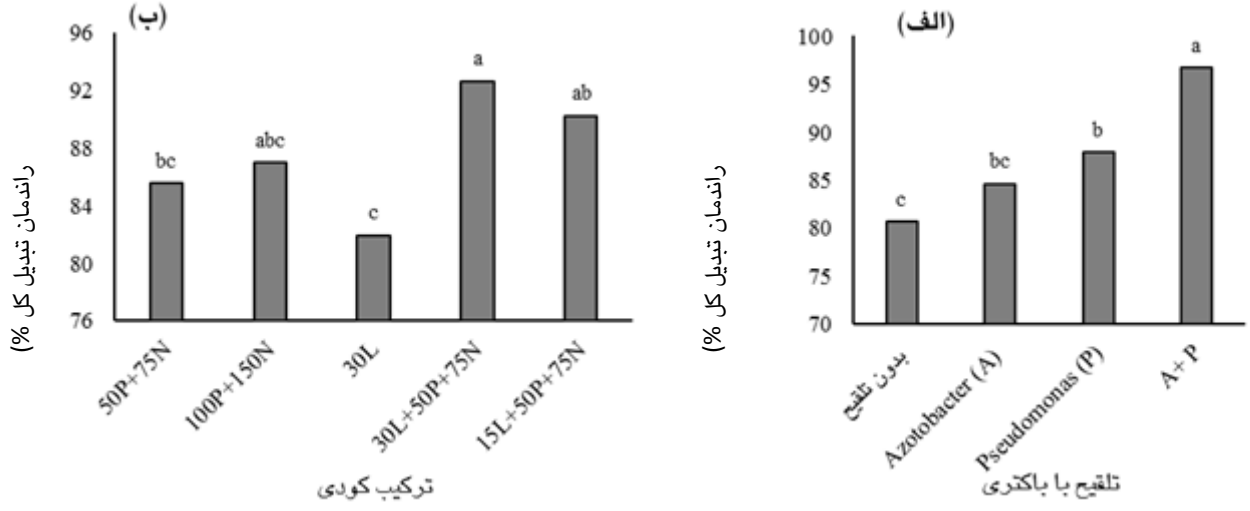
بر اساس نتایج جدول ۴ بیشترین میزان راندمان تبدیل کل تحت ترکیب کودی ۳۰ تن کود دامی، ۵۰ کیلوگرم کود فسفاته با ۷۵ کیلوگرم کود ازته حاصل گردید که تفاوت معنی‌داری با راندمان تبدیل در گیاهان تحت تیمار کودی ۱۵ تن کود دامی، ۵۰ کیلوگرم کود فسفاته با ۷۵ کیلوگرم کود ازته نداشت. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای آلی با قابلیت جذب و آزادسازی تدریجی رطوبت دارای نقش مثبت و مؤثری در جلوگیری از هدر رفت و آب‌شویی عناصر غذایی به لایه‌های زیرین خاک بوده و با افزایش تجمع و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک در لایه سطحی خاک موجب کاهش اسیدیته و افزایش حلالیت فسفر تثبیت شده در سطح کلوئیدهای رس شده باشند. علاوه بر این به‌نظر می‌رسد که کاربرد مقادیر مناسب کودهای دامی با افزایش تجمع و فعالیت میکروبی خاک در لایه سطحی موجب تسریع و تشدید انجام فعالیت معدنی شدن و تبدیل فرم آلی نیتروژن به فرم‌های قابل جذب (نیترات و آمونیوم) گیاه می‌شود. بخش قابل‌توجهی از این

نیتروژن به‌طور تدریجی در طی فرآیندهای مختلف رشد و نمو در اختیار گیاه قرار گرفته و در افزایش تولید عملکرد نهایی گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. عرفانی و همکاران (۲۰۱۹) بیان کرده‌اند که راندمان مصرف کود نیتروژن در برنج پایین است. بنابراین استفاده از کودهای آلی به عنوان منبعی برای تأمین قسمتی از



شکل ۳- اثر ساده سال بر درجه حرارت ژلاتینی‌شدن برنج

نیتروژن مورد نیاز، میزان تلفات نیتروژن را کاهش می‌دهد. کودهای آلی با قابلیت آزادسازی تدریجی عناصر غذایی موجب افزایش راندمان و کارآیی مصرف نیتروژن در سیستم‌های کشت غرقاب شده و دارای اثرگذاری بیشتری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه می‌باشند (عرفانی و همکاران ۲۰۱۹). طبق بررسی‌های صورت گرفته محققان، کاربرد کود آلی می‌تواند جایگزین مصرف ۷۰ تا بیش از ۹۰ درصد کودهای شیمیایی شده و معضلات ناشی از مصرف آنها را بر اکوسیستم و سلامت انسان‌ها به‌طورقابل ملاحظه‌ای کاهش دهد (شهدی کومله و همکاران ۲۰۱۸؛ امان‌الله و همکاران ۲۰۱۶). میزان راندمان تبدیل کل برنج در شرایط تلقیح با باکتری به ویژه در تلقیح با دو باکتری ازتوباکتر و سودوموناس نیز به صورت قابل‌توجهی نسبت به شرایط عدم تلقیح افزایش یافت (شکل ۴).



شکل ۴- اثر ساده کود و باکتری بر راندمان تبدیل کل برنج

برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیائی دانه برنج به عنوان شاخص‌های غیرمستقیم در تعیین کیفیت پخت برنج مورد استفاده قرار می‌گیرند. از برجسته‌ترین آنها میزان آمیلوز و درجه حرارت ژلاتینی شدن می‌باشد.آمیلوز به عنوان بخشی از نشاسته، یک عامل مهم و برجسته در ایجاد اختلافات واریته‌ای می‌باشد (جولیانو ۱۹۸۵). بر اساس میزان آمیلوز؛ ارقام مختلف برنج در دو گروه بدون آمیلوز یا گلوتنی با میزان آمیلوز بین ۲-۰ درصد و غیرگلوتنی با میزان آمیلوز بیشتر از ۲ درصد طبقه‌بندی می‌شوند. واریته‌های غیرگلوتنی در چهار گروه با آمیلوز خیلی کم؛ آمیلوز کم؛ آمیلوز متوسط و آمیلوز بالا تقسیم می‌گردند.

آگاهی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی، در درک بهتر کیفیت پخت برنج بسیار مؤثر است. دو معیار مهم که در ارزیابی‌های کیفی برای تعیین کیفیت پخت ارقام برنج استفاده می‌شوند، درصد آمیلوز و درجه حرارت ژلاتینی‌شدن می‌باشند. مهمترین خصوصیت شیمیایی که در پیش‌بینی خواص پخت به‌کار می‌رود، میزان آمیلوز است که با خواص ژلاتینی‌شدن و چسبندگی دانه پس از پخت ارتباط دارد. برنج‌های پخته‌شده با آمیلوز بالا (۲۵-۳۳٪) نسبتاً خشک و جدا از هم هستند. برنج‌های با آمیلوز پایین (۱۰-۲۰٪) در هنگام پخت چسبنده می‌شوند و برنج‌های با آمیلوز متوسط (۲۰-۲۵٪) تا مدت‌ها پس از پخت نرم باقی می‌مانند و مصرف‌کنندگان ایرانی، بیشتر برنج‌هایی با آمیلوز متوسط را ترجیح می‌دهند. در تحقیق حاضر علیرغم افزایش میزان آمیلوز برنج در زمان تلقیح با باکتری ازتوباکتر و همچنین تلقیح همزمان با دو باکتری ازتوباکتر و سودوموناس در تیمار کوددهی ۳۰ تن کود دامی به همراه ۵۰ کیلوگرم و ۷۵ کیلوگرم کود ازته، رقم مذکور در تمامی حالات دارای آمیلوز متوسط رو به پایین بود (جدول ۵).

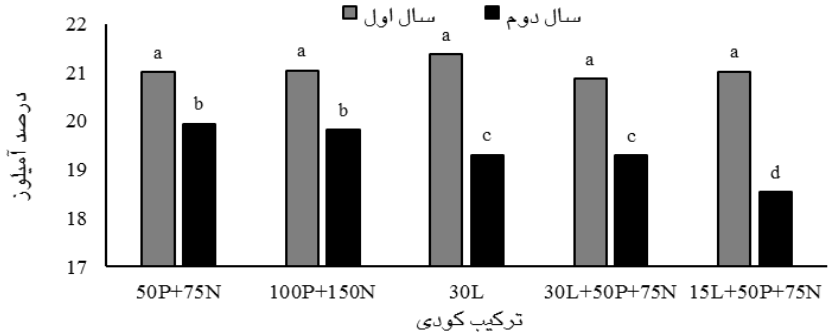
جدول ۵- برهمکنش منابع کودی و باکتری بر صفات آمیلوز و درجه ژلاتینه شدن برنج

تیمار		آمیلوز (٪)	درجه ژلاتینه شدن
بدون تلقیح	50P+75N	۲۰/۶۲ ^{a}	۳/۱۲ ^{ef}
	100P+150N	۲۰/۴۷ ^{ab}	۳ ^{f}
	30L	۲۵/۲۵ $^{a-e}$	۳/۲۲ $^{c-f}$
	30L+50P+75N	۱۹/۴۷ ^{h}	۳/۴۱ $^{a-d}$
	15L+50P+75N	۲۰/۱۸ $^{b-f}$	۳/۴۶ ^{ab}
Azotobacter (A)	50P+75N	۲۰/۵۰ ^{ab}	۳/۴۳ ^{abc}
	100P+150N	۲۰/۳۰ $^{a-d}$	۳/۰۸ ^{f}
	30L	۲۰/۱۸ $^{b-f}$	۳/۴۸ ^{ab}
	30L+50P+75N	۱۹/۹۱ $^{d-g}$	۳/۴۱ $^{a-d}$
	15L+50P+75N	۱۹/۹۶ $^{c-g}$	۳/۲۲ $^{c-f}$
Pseudomonas (P)	50P+75N	۲۰/۳۲ ^{abc}	۳/۴۶ ^{abc}
	100P+150N	۲۰/۳۷ ^{ab}	۳/۱۸ ^{def}
	30L	۲۰/۳۹ ^{ab}	۳/۱۰ $^{e-f}$
	30L+50P+75N	۱۹/۶۵ ^{gh}	۳/۰۷ ^{f}
	15L+50P+75N	۲۰/۱۷ $^{b-f}$	۳/۳۹ $^{a-d}$
A+ P	50P+75N	۲۰/۴۶ ^{ab}	۳/۳۲ $^{b-e}$
	100P+150N	۲۰/۵۶ ^{ab}	۳/۳۲ $^{b-e}$
	30L	۱۹/۸۵ $^{e-h}$	۳/۶۰ ^{a}
	30L+50P+75N	۱۹/۸۰ $^{d-g}$	۳/۳۲ $^{b-e}$
	15L+50P+75N	۲۰/۳۲ ^{abc}	۳/۰۵ ^{f}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

درجه حرارت ژلاتینی شدن، زمان لازم برای پختن برنج را پیش‌بینی می‌کند. در واقع، دامنه درجه حرارتی است که دانه‌های نشاسته در برنج سفید شروع به متورم شدن برگشت‌ناپذیر در آب داغ می‌کنند. درجه حرارت ژلاتینی شدن برنج ممکن است پائین (۶۹-۵۵ درجه سانتی‌گراد)؛ متوسط (۷۴-۷۰ درجه سانتی‌گراد) و یا بالا(بیشتر از ۷۴ درجه سانتی‌گراد) باشد. ارقام برنج با درجه حرارت ژلاتینی‌شدن پائین کاملا وارفته هستند؛ در حالی‌که ارقام با درجه حرارت ژلاتینی شدن متوسط وارفتگی ناقصی را نشان می‌دهند.ارقام با درجه حرارت ژلاتینی شدن بالا در محلول قلیائی بدون تغییر باقی می‌مانند. درجه حرارت ژلاتینی شدن در تشخیص کیفیت پخت ارقام مختلف برنج با آمیلوزهای مشابه استفاده می‌شود (جولیانو ۱۹۹۸). نتایج حاصل از درجه حرارت ژلاتینه‌شدن بذرهای برنج حاکی از آن بود که رقم مذکور دارای درجه حرارت ژلاتینه شدن متوسط به بالا بود و اگرچه اختلاف معنی‌داری بین صفت مذکور در شرایط اعمال تیمارهای مختلف مورد بررسی وجود داشت ولی با توجه به درجه حرارت ژلاتینه شدن متوسط در تمامی حالات، همگی در یک کلاس قرار گرفتند (جدول ۵).

مقایسه میانگین میزان آمیلوز دانه در ترکیبات مختلف کودی در طی دو سال زراعی حاکی از بالاتر بودن میزان آمیلوز در سال اول نسبت به سال دوم کشت بود. بر اساس نتایج بیشترین میزان اختلاف آمیلوز در طی دو سال در ترکیب کودی ۱۵ تن کود دامی به همراه ۵۰ کیلوگرم کود فسفاته و ۷۵ کیلوگرم کود ازته مشاهده گردید، به‌طوری‌که میزان آن در سال دوم کشت حدود ۱۲ درصد نسبت به سال اول کشت کمتر بود (شکل ۵). از طرفی در شرایطی کاربرد کود دامی به تنهایی و یا همراه با کود شیمیایی، میزان آمیلوز کمتری در مقایسه با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی بدون مصرف کود دامی تولید گردید. به عبارت دیگر می‌توان بیان داشت که استفاده از کود شیمیایی به دلیل افزایش نیتروژن قابل‌دسترس، سبب افزایش مقدار آمیلوز دانه برنج شد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (فلاح و همکاران ۲۰۱۸؛ می و همکاران ۲۰۱۸؛ صالحی‌فر و افشار محمدیان ۲۰۲۰).



شکل ۵-اثر ترکیبات کودی بر میزان آمیلوز دانه در دو سال زراعی

بررسی اثرات ترکیبات تیماری در آزمایش مذکور بر میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در برگ ودانه برنج حاکی از اختلاف معنی‌دار میزان نیتروژن و پتاسیم در برگ و دانه و همچنین فسفر در دانه برنج در طی دو سال کشت بود. علاوه بر آن ترکیبات کودی تنها بر میزان عنصر پتاسیم در دانه معنی‌دار نگردید و بر سایر صفات اثرگذار بود. تلقیح با باکتری نیز بر میزان نیتروژن در برگ، بر میزان فسفر در دانه و بر میزان پتاسیم هم در برگ و هم در دانه اثرگذار بود. از طرفی برخلاف عدم معنی‌داری برهمکنش دوگانه تیمارهای سال و باکتری و برهکنش سه‌گانه سال، باکتری و ترکیبات کودی، برهمکنش ترکیبات کودی با تیمار باکتری اثر بسیار معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و دانه داشت (جدول ۶).

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب تیمارهای منابع کودی و باکتری بر میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ و دانه برنج

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن		پتاسیم		فسفر	
		برگ	دانه	برگ	دانه	برگ	دانه
سال (Y)	۱	۰/۶۲۶ **	۲/۸۴۶ **	۰/۰۸۸ **	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۹ **
خطای تکرار×سال	۴	۰/۲۷۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۹
منابع کودی (F)	۴	۰/۰۸۵ **	۰/۰۸۰ **	۰/۰۳۲ **	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۲**
Y×F	۴	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۹ ns	۰/۰۰۰۰۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۰۰۳ ns
باکتری (B)	۳	۰/۱۴۱ **	۰/۰۰۹ ns	۰/۰۰۶۷**	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ **
Y×B	۳	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۰۰۶ ns	۰/۰۰۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۰۲ ns
F×B	۱۲	۰/۱۵۴ **	۰/۰۱۹ **	۰/۰۰۸۷ **	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۴ **	۰/۰۰۰۷ **
Y×F×B	۱۲	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۰۱ ns
خطا	۷۶	۰/۰۲۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)		۱۰/۶	۵/۴	۵/۹	۶/۱	۲۱/۰	۶/۵

ns غیرمعنی‌دار، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ است.

بررسی میزان عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر در برگ و دانه‌های برنج حاکی از اختلاف معنی‌دار میزان بین این عناصر در دو سال بود. به‌طوری‌که میزان این عناصر هم در برگ و هم در دانه در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد به علت زمان بر بودن آزادسازی عناصر در کود دامی در سال دوم کشت قابلیت دسترسی به این عناصر فراهم گردیده و درنهایت موجب افزایش عناصر مذکور در برگ و دانه برنج در این سال زراعی شده است. در همین راستا، فلاح و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که مواد غذایی موجود در کود دامی بلافاصله بعد از مصرف برای گیاه قابل دسترس نمی‌باشد و بایستی توسط تجزیه میکروبی به شکل قابل‌دسترس تبدیل شوند. به همین دلیل در انتهای رشد میزان در دسترس بودن عناصر غذایی بیشتر می‌باشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین عناصر نیتروژن پتاسیم و فسفر در برگ و دانه برنج در دو سال کشت

تیمار	نیتروژن (٪)		پتاسیم (٪)		فسفر(٪)
	برگ	دانه	برگ	دانه	دانه
سال اول	۱/۳۰۰ b	۱/۲۳۲ b	۰/۴۸۹ b	۰/۲۵۱ b	۰/۲۳۱ b
سال دوم	۱/۴۴۵ a	۱/۵۴۰ a	۰/۵۴۴ a	۰/۲۶۱ a	۰/۲۴۸ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

نتایج برهمکنش منابع کودی و باکتری بر میزان عناصر در برگ و دانه برنج حاکی از آن بود که بیشترین میزان نیتروژن موجود در برگ با میانگین ۱/۷۳۲ متعلق به تیمار کاربرد تلفیقی کود شیمیایی، کود دامی و باکتری ازتوباکتر و کمترین آن با میانگین ۱/۱۳۲ متعلق به تیمار کاربرد کود دامی به تنهایی و باکتری سودوموناس بود. بررسی میزان نیتروژن در دانه نیز حاکی از آن بود که بالاترین میزان آن در ترکیب کودی ۳۰ تن کود دامی در گیاهان تلقیح‌نشده و تلقیح‌شده با ازتوباکتر مشاهده گردید. از طرفی کمترین میزان نیتروژن در دانه گیاهان تلقیح شده با باکتری سودوموناس تحت ترکیب کودی ۱۵ تن کود دامی+۵۰ کیلوگرم کود فسفاته+۷۵ کیلوگرم کود ازته حاصل گردد (جدول ۸). از طرفی همبستگی منفی (r^2= -۰/۲۳۴) میان میزان نیتروژن در برگ و دانه برنج وجود داشت با این وجود این همبستگی معنی‌دار نبود (جدول ۹).

پدرازا و همکاران (۲۰۰۹) عنوان نمودند که بالاترین مقدار نیتروژن دانه زمانی حاصل شد که از تلقیح بذور با باکتری آزوسپیریلوم استفاده گردید. این محققان، دلیل این افزایش را، قابلیت دسترسی بیشتر به عناصر غذایی توسط باکتری آزوسپیریلوم دانستند. عموآقایی و همکاران (۲۰۰۳) نیز اظهار داشتند که با کاربرد سویه‌های باکتری آزوسپیریلوم، محتوای نیتروژن دانه نسبت به شاهد افزایش یافت. پناهی و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که مصرف کود زیستی حاوی ازتوباکتر کروکوکوم سبب افزایش درصد نیتروژن دانه در برنج گردید.

جدول ۸- برهمکنش منابع کودی و باکتری بر عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و دانه برنج

تیمار		نیتروژن (٪)		فسفر (٪)		پتاسیم (٪)	
باکتری	کود	برگ	دانه	برگ	دانه	برگ	دانه
بدون تلقیح	50P+75N	۱/۴۲۷ bcd	۱/۳۷۵ a-f	۰/۱۲۶ bc	۰/۲۲۸ bc	۰/۵۱۷ c-f	۰/۲۳۹ de
	100P+150N	۱/۴۲۷ bcd	۱/۲۸۵ def	۰/۱۰۹ bc	۰/۲۴۱ abc	۰/۴۶۹ fg	۰/۲۶۶ abc
	30L	۱/۳۷۹ bcd	۱/۵۱۴ a	۰/۱۱۰ bc	۰/۱۹۹ d	۰/۵۴۴ a-d	۰/۲۳۵ e
	30L+50P+75N	۱/۱۴۸ d	۱/۳۸۹ a-f	۰/۰۹۵ c	۰/۲۳۴ abc	۰/۴۱۶ h	۰/۲۵۲ a-e
	15L+50P+75N	۱/۲۱۸ d	۱/۳۱۳ c-f	۰/۲۰۵ a	۰/۲۵۵ ab	۰/۵۲۶ b-e	۰/۲۶۳ a-d
Azotobacter (A)	50P+75N	۱/۲۸۸ cd	۱/۳۹۳ a-f	۰/۱۰۱ c	۰/۲۲۹ bc	۰/۴۸۵ ef	۰/۲۴۵ cde
	100P+150N	۱/۲۱۴ d	۱/۳۸۵ a-f	۰/۱۰۰ c	۰/۲۳۵ abc	۰/۴۳۰ gh	۰/۲۴۵ cde
	30L	۱/۲۴۹ d	۱/۵۱۹ a	۰/۱۰۸ bc	۰/۲۲۷ c	۰/۵۸۶ a	۰/۲۶۳ a-d
	30L+50P+75N	۱/۳۳۵ bcd	۱/۴۸۵ ab	۰/۱۲۰ bc	۰/۲۵۱ abc	۰/۵۳۹ a-d	۰/۲۵۲ a-e
	15L+50P+75N	۱/۷۳۲ a	۱/۲۷۲ ef	۰/۱۳۳ bc	۰/۲۴۴ abc	۰/۵۸۰ a	۰/۲۴۹ b-e
Pseudomonas (P)	50P+75N	۱/۴۰۴ bcd	۱/۳۸۷ a-f	۰/۱۱۸ bc	۰/۲۴۷ abc	۰/۵۲۳ b-e	۰/۲۵۹ a-e
	100P+150N	۱/۴۲۹ bcd	۱/۳۹۹ a-f	۰/۱۱۳ bc	۰/۲۲۹ bc	۰/۴۷۷ efg	۰/۲۵۶ a-e
	30L	۱/۱۳۲ d	۱/۳۷۷ a-f	۰/۱۱۱ bc	۰/۲۳۸ abc	۰/۵۵۴ abc	۰/۲۶۶ abc
	30L+50P+75N	۱/۳۶۸ bcd	۱/۴۳۳ a-d	۰/۱۱۷ bc	۰/۲۴۳ abc	۰/۴۸۸ ef	۰/۲۷۳ abc
	15L+50P+75N	۱/۳۳۸ bcd	۱/۲۵۶ f	۰/۱۲۳ bc	۰/۲۵۹ a	۰/۵۵۷ abc	۰/۲۷۴ abc
A+P	50P+75N	۱/۵۹۰ abc	۱/۳۳۹ b-f	۰/۱۱۹ bc	۰/۲۶۱ a	۰/۵۲۴ b-e	۰/۲۷۷ a
	100P+150N	۱/۳۵۴ bcd	۱/۴۱۴ a-e	۰/۱۰۷ bc	۰/۲۴۳ abc	۰/۴۸۵ ef	۰/۲۴۹ b-e
	30L	۱/۳۷۳ bcd	۱/۳۷۹ a-f	۰/۱۲۸ bc	۰/۲۳۹ abc	۰/۵۶۱ abc	۰/۲۴۵ cde
	30L+50P+75N	۱/۶۲۴ ab	۱/۴۳۴ abc	۰/۱۵۲b	۰/۲۳۹ abc	۰/۵۶۷ ab	۰/۲۵۹ a-e
	15L+50P+75N	۱/۴۱۶ bcd	۱/۳۷۲ a-e	۰/۱۰۵ bc	۰/۲۵۲ abc	۰/۴۹۸ def	۰/۲۴۹ b-e

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۹- همبستگی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و دانه برنج

	نیتروژن برگ	نیتروژن دانه	فسفر برگ	فسفر دانه	پتاسیم برگ
نیتروژن دانه	-۰/۲۳۴				
فسفر برگ	۰/۱۷۷	-۰/۲۷۳			
فسفر دانه	۰/۱۶۸	-۰/۵۸۴ **	۰/۳۳۵		
پتاسیم برگ	۰/۳۷۷	۰/۰۷۴	۰/۴۱۷	۰/۰۸۳	
پتاسیم دانه	۰/۰۰۳	-۰/۳۳۱	۰/۱۶۶	۰/۶۰۹ **	۰/۱۱۷

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ است.

بررسی میزان فسفر در برگ برنج نیز حاکی کاهش میزان این عنصر در برگ گیاهان تلقیح‌شده با باکتری تحت ترکیب کودی ۱۵ تن کود دامی+۵۰ کیلوگرم کود فسفاته+۷۵ کیلوگرم کود ازته در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده بود. به‌طوری‌که تلقیح با باکتری ازتوباکتر، سودوموناس و تلقیح همزمان با دو باکتری میزان فسفر در برگ را به ترتیب ۳۵، ۴۰ و ۴۹ درصد نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده کاهش داد. از طرفی کاربرد ۳۰ تن کود دامی میزان فسفر در دانه را در گیاهان تلقیح شده با باکتری افزایش داد به‌طوری‌که تلقیح با باکتری ازتوباکتر، سودوموناس و تلقیح همزمان با دو باکتری به ترتیب میزان فسفر در دانه را ۱۴، ۱۹/۶ و ۲۰/۱ درصد نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده افزایش داد. با این وجود بیشترین میزان فسفر در دانه در گیاهان تلقیح‌شده با دو باکتری ازتوباکتر و سودوموناس تحت تیمار کودی ۵۰ کیلوگرم کود فسفاته با ۷۵ کیلوگرم کود ازته حاصل گردید (جدول ۸). محققین، افزایش جذب فسفر توسط گیاهان همزیست با ریزجانداران حل‌کننده فسفات را به واسطه تولید دی‌اکسیدکربن به وسیله این ریزجانداران و اثر آن بر افزایش قابلیت جذب فسفر گزارش کرده‌اند (رودریگز و فراگا ۱۹۹۹). ریزجانداران حل‌کننده فسفات می‌توانند جذب فسفر را در گیاهان از طریق افزایش فعالیت فسفاتاز ارتقاء دهند. در این خصوص گزارش شده است که باکتری سودوموناس بر جذب فسفر در ذرت مؤثر بود (دورودیان و بشارتی کلایه ۲۰۱۸).

نتایج همبستگی بین عناصر نیز حاکی از همبستگی منفی و بسیار معنی‌دار این صفت با میزان نیتروژن در دانه بود (جدول ۹). بررسی میزان پتاسیم در برگ برنج نیز حاکی افزایش میزان این عنصر در برگ گیاهان تلقیح‌شده با باکتری تحت ترکیب کودی ۳۰ تن کود دامی+۵۰ کیلوگرم کود فسفاته+۷۵ کیلوگرم کود ازته نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده بود. همبستگی بین عناصر نیز حاکی از همبستگی منفی و بسیار معنی‌دار پتاسیم در دانه با میزان فسفر در دانه بود (جدول ۹). همچنین افزایش کود مصرفی از ۳۰ کیلوگرم در هکتار به ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش درصد نیتروژن و پتاسیم جذب شده دانه شد. ولی افزایش بیشتر کود تأثیری بر درصد نیتروژن و پتاسیم جذب شده در دانه نداشت. همان‌طوری‌که قبلاً اشاره شد، اصولاً میزان کاربرد نیتروژن در شالیزار تأثیری بر میزان درصد فسفر جذب شده در دانه ندارد. گزارش‌های متعددی از آثار مثبت این باکتری‌ها بر عملکرد کتان، ذرت، گندم، جو، تنباکو و خردل وجود دارد که نشان می‌دهد این باکتری‌ها موجب افزایش تثبیت نیتروژن، افزایش جذب عناصری چون فسفر، پتاسیم و آهن، بهبود وضعیت آب گیاه و تولید فیتوهورمون‌ها در این گیاهان شده‌اند (احتشامی و همکاران ۲۰۰۸؛ ملکوتی و همایی ۱۹۹۳). این افزایش از طریق مکانیسم‌های مختلفی چون تأمین نیتروژن برای گیاه از طریق تثبیت N_2، تولید مواد محرک رشد یا همان فیتوهورمون‌ها شامل اکسین، سیتوکینین و جیبرلین و ایجاد کنترل بیولوژیکی در مقابل پاتوژن‌های خاکزی می‌باشد (کاوینو و همکاران ۲۰۱۰).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر کارایی کود نیتروژن، فسفر و کارایی مصرف کود آلی تأثیر مثبت دارد. درنهایت با ازدیاد کارایی مصرف کودها در برنج عملکرد بیشتری به‌دست آمد. با توجه به نتیجه به‌دست آمده و با وجود آلودگی حاصل از استفاده بیرویه کودهای شیمیایی، می‌توان پیشنهاد نمود که برای رسیدن به عملکرد بیشتر و کاهش آلودگی، این ریزجانداران محرک رشد را نیز به کودهای شیمیایی و آلی اضافه کرده تا از این طریق علاوه بر افزایش عملکرد گیاهان از میزان مصرف کودهای شیمیایی نیز کاسته شود.

سپاسگزاری

به این وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بخاطر حمایت مالی این پژوهش مراتب سپاسگزاری به‌عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Akhtar K, Wang WY, Khan A, Ren GX, Afridi MZ, Feng YZ, Yang GH, Feng YZ and Yang GH. 2019. Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean. Agricultural Water Management, 211:16–25. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.031

Amanullah A, Khan SH, Iqbal A and Fahad SH. 2016. Growth and productivity response of hybrid rice to application of animal manures, plant residues and phosphorus. Frontiers in Plant Science, 7: 1440. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01440

Amoo-Aghaie R, Mostajeran A and Emtiazi G. 2003 Effect of azospirillum inoculation on some growth parameters and yield of three wheat cultivars. Journal title, 7 (2) :127-139. (In Persian).

Arancon NQ, Edwards CA, Bierman P, Welch C and Metzger JD. 2005. Influence of vermicompost on field strawberries. Bioresource Technology, 93: 145-153. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.014

Asghar H, Zahir Z, Arshad M and Khaliq A. 2002. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. Biology and Fertility of Soils, 35(4): 231-237. https://doi.org/10.1007/s00374-002-0462-8

Babakhani V, Tohidi-Nejad E, Khajoei-Nejad G and Ghanbari J. 2023. Biomass Production and Nitrogen Use Efficiency in Dill-Fenugreek Intercropping in Response to Biofertilizers and Manure. Agricultural Science and Sustainable Production, 32(4): 1-18. Doi: 10.22034/SAPS.2022.48673.2759. (In Persian).

Bakhshandeh E, Rahimian H, Pirdashti HA and Nematzadeh GA. 2015. Evaluation of phosphate solubilizing bacteria on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in northern Iran. Journal of Applied Microbiology, 119:1371-1382. doi: 10.1111/jam.12938.

Bakhshandeh E, Rahimian H. Pirdashti HA and Nematzadeh GA. 2014. Phosphate solubilization potential and modeling of stress tolerance of rhizobacteria from rice paddy soil in northern Iran. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 30:2437-2447. doi: 10.1007/s11274-014-1669-1.

Belder P, Spiertz JHJ, Bouman BAM, Lu G and Tuong TP. 2005. Nitrogen economy and water productivity of lowland rice under water-saving irrigation. Field Crops Research, 93: 169–185.

Bilal M, Ayub M, Tariq M, Tahir M and Nadeem MA. 2017. Dry matter yield and forage quality traits of oat (*Avena sativa* L.) under integrative use of microbial and synthetic source of nitrogen. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 16: 236–241. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.08.002

Brar DS, Virk PS, Grewal D, Slamet-Loedin I, Fitzgerald M and Khus GS. 2012. Breeding rice varieties with improved grain and nutritional quality. Quality Assurance and Safety of Crops and Foods, 4(3): 137. https://doi.org/10.1111/j.1757-837X.2012.00140.x

Conde LD, Chen Z, Chen H and Liao H. 2014. Effects of phosphorus availability on plant growth and soil nutrient status in the rice/soybean rotation system on newly cultivated acidic soils. American Journal of Agriculture and Forestry, 2(6): 309- 316. Doi: 10.11648/j.ajaf.20140206.23

Dela CN, Kumar I, Kaushik RP and Khush GS. 1989. Effect of temperature during grain development on stability of cooking quality component in rice. Japanese Journal of Breeding, 39: 299-306. http://dx.doi.org/10.1270/jsbbs1951.39.299

Dela Cruz N and Khush GS. 2000. Rice grain quality evaluation procedures. 15-29. In: Singh. RK, Singh US and Khush GS. (eds). Aromatic Rices. Science Publishers Inc., Enfield, NH, USA, Printed in India. 289pp.

Devsalar R, Sam Deliri M, Nasiri M, Amiri Larijani B, Mousavi Mirkalai AA and Sadegh N. 2011. The effect of combining organic fertilizer and nitrogen on grain yield and yield components in the new rice cultivation management system. Journal of crop production research, 3(2): 217-229. (In Persian)

Doroudian HR and Besharati H. 2018. Effect of PGPR inoculation on yield and nutrient uptake of corn (SC. 704). Applied Field Crops Research, 31(3): 62-74. (In Persian).

Eftekhari S, Ardekani M Rejali F Paknejad F and Hasanabadi T. 2010. Effect of phosphate solubilizing bacteria *Pseudomonas fluorescence* on yield and yield components under different levels of P fertilizer. Proc. 11rd Iran. Cong. in Agronomy and Plant Breed., Shahid Beheshti University., Tehran, Iran. (In Persian)

Ehteshami SMR, AghaAlikhani M, Khavazi K and Chaichi MR. 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on quantitative and qualitative of corn under water deficit stress. Iranian Journal of Crop Science, 40(1): 15-27. (In Persian).

El-Afry M, El-Nady M, Belal E and Metwaly M. 2012. Physiological responses of drought stressed wheat plants (*Triticum aestivum* L.) treating with some bacterial endophytes. Journal of Plant Protection Research, Mansoura University, 3(7): 2069-2089. DOI:10.21608/jpp.2012.84868

Erfani R, Pirdashti HA, Nouri MZ and Abbasi R. 2019. Comparison of paddy yield and soil qualitative characteristics among different agricultural systems in three regions of Mazandaran. Applied Agricultural Research, 32(1): 101-125. (In Persian).

Fallah S, Ghalavand A and Khajehpour MR. 2007. Effects of Animal Manure Incorporation Methods and its Integration with Chemical Fertilizer on Yield and Yield Components of Maize (*Zea mays* L.) in Khorramabad, Lorestan. Journal title; 11 (40) :233-243. (In Perian).

Fernandez LA, Zalba P, Gomez MA and Sagardoy MA. 2007. Phosphatesolubilization activity of bacterial strains in soil and their effect on soybean growth under greenhouse conditions. Biology and Fertility of Soils, 43(6): 805- 809. https://doi.org/10.1007/s00374-007-0172-3

Ghorbanli M, Hashemi Moghaddam SH and Fallah A. 2007. Study of interaction effects of irrigation and nitrogen on some morphological and physiological characteristic of rice. The Journal of Agricultural Science, 2: 415-427. (In Persian).

Gilani A, Alami KH, Siadat A and Seiednezhad M. 2012. The effects of heat stress on milling quality of rice cultivars in Khuzestan. J. Crop Physiol. Islamic Azad University of Ahvaz. Fourth year, number fourteenth. (In Persian).

Gupta G, Parihar SS, Ahirwar NK, Snehi SK and Singh V. 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. Journal of Microbial and Biochemical Technology, 7: 96-102. DOI: 10.4172/1948-5948.1000188

Hasanpour R, Pirdashti HA, Esmaeili MA and Abbasian A. 2011. Response of yield and yield components of three sesame (*Sesame indicum* L.) cultivars to application of nitrogen and supernitroplus biofertilizer. Journal af Agroecology (Quarterly), 3(1): 9-16. (In Persian)

Hendawy SF, Azza A and El-Din E. 2010. Productivity and oil quality of *Thymus vulgaris* L. under organic fertilization conditions. Ozean Journal of Applied Sciences, 3: 203-216.

Hoflich G, Tappe E, Khun G. and Wiehe W. 1997. Einflux associative Rhizospharen bakterien auf die. ahrstoffaufnahme und den Ertrag von Mais. Archiv fuer Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, 1: 323–333.

Huang M, Zou Y, Jiang P, Xia B, Feng Y, Cheng Z and Mo Y. 2011. Yield component differences between direct-seeded and transplanted super hybrid rice. Plant production science, 14(4): 331-338. https://doi.org/10.1626/pps.14.331

Iqbal A, He L, Khan A, Wei S, Akhtar K, Ali I, Ullah S, Munsif F, Zhao Q and Jiang L. 2019. Organic manure coupled with inorganic fertilizer: An approach for the sustainable production of rice by improving soil properties and nitrogen use efficiency. Agronomy, 9(10):651. https://doi.org/10.3390/agronomy9100651

Islam MS, Akhter MM, Rahman MS, Banu MB and Khalequzzaman KM. 2008. Effect of nitrogen and number of seedling per hill on the yield and yiled components of rice (brri dhan 33). Crop Production, 3: 61-65.

Juliano BO. 1971. Simplified assay for milled-rice amylase. Journal of Cereal Science, 16:334-338.

Juliano BO. 1985. Criteria and tests for rice grain qualities. In: Juliano, B.o., ed., Rice chemistry and technology, 2nd edition. St. Paul, Minnesota, Association of Cereal Chemists, 442-524.

Juliano BO. 1998. Varietal impact on rice quality. Cereal Foods World, 43, 207-220.

Kamayestani N, Rezvani Moghaddam P, Jahan M and Ranjbar F. 2018. Effect of nutrient management on growth indices of anise (*Pimpinella anisum* L.). Journal af Agroecology (Quarterly), 10(2): 299-312. (In Persian).

Kandil AA, Badawi MA, EL-Moursy SA and Abdou MA. 2004. Effect of planting dates, nitrogen levels and bio-fertilization treatments on 1: Growth attributes of sugar beet (*Beta Vulgaris* L.). Basic Applied Science, 5: 2. 227-237. DOI: 10.21608/JPP.2002.257029

Kavino M, Harish S, Kumar N, Saravanakumar D and Samiyappan R. 2010. Effect of chitinolytic PGPR on growth, yield and physiological attributes of banana (*Musa spp*.) under field conditions. Applied Soil Ecology, 45: 71-77. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.02.003

Khorramdel S, Koocheki A, Nasiri mahalati M and Ghorbani R. 2010. Effect of Biofertilizers on the Yield and Yield Components of Black Cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 8(5):758-766. (In Persian).

Kobayasi K. 2000. The analysis of the process in spikelet number determination with special reference to nitrogen nutrition in rice. Bulletion of the Faculty of Life and Environmental Science University, 5: 13-17.

Lampayan RM, Bouman BAM, Dios JLD, Espiritu AJ, Soriano JB and Lactaoen A.T. 2010. Yield of aerobic rice in rain fed lowlands of the Philippines as affected by nitrogen management and row spacing. Field Crops Research, 116: 165-174. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.12.007

Little RR, Hider GB and Dawson EH. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. Cereal Chemistry, 35: 111-126.

Mahantaa D, Rai R.K, Mishraa S.D, Raja A, Purakayastha TJ and Varghese E. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. Field Crops Research, 166: 1-9. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.016

Malakoti MJ and Homaei M. 1993. Soil Fertility in Drylands "Problems and Solutions". Tarbiat Modarres University Press., Tehran, Iran, 494p. (In Persian).

Maleki A, Bazdar A, Lotfi Y and Tahmasebi A. 2011. The effect of biofertilizer, *Azotobacter*, and different levels of nitrogen application on yield and yield components of three bread wheat varieties. Journal of Crop Ecophysiology, 4(16): 121-132. (In Persian).

Manske GB, Luttger A, Behl RK, Vlek PG and Cimmit M. 2000. Enhancement of mycorrhiza (VAM) infection, Nutrient efficiency and plant growh by *Azotobacter* chroococcum in wheat. Plant Breeding, 122-145.

Mi W, Sunc Y, Xiaa S, Zhaoa H, Mid W, Brookese PC, Liuf Y and Wu L. 2018. Effect of inorganic fertilizers with organic amendments on soil chemical properties and rice yield in a low-productivity paddy soil. Geoderma, 320: 23–29. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.016.

Ming-Gang XM, Chu L, Mei DLJ, Zhu QD, Yagi K and Hosen Y. 2008. Effects of organic manure application with chemical fertilizers on nutrient absorption and yield of rice in hunan of southern china. Agricultural Sciences in China, 7(10): 1245-1252. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60171-6

Mohammadsalehi MS. 1989. The laboratory methods for rice quality. Agricultural and Natural Resources Research of Guilan publication. 23 pp. (In Persian).

Najafi N and Towfighi H. 2012. Effects of rhizosphere of rice plant on the inorganic phosphorus fractions in the paddy soils (in north Iran) following P fertilizer application. Iranian Journal of Soil and Water Research, 43(3): 231-242. (In Persian).

Panahi A, Aminpanah H and Sharifi P. 2015. Effect of nitrogen, bioFertilizer, and silicon application on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.). Philippine Journal of Crop Science, 40(1): 76-81.

Pedraza RO, Bellone CH, Bellone SCD, Sorte PMFB and Teixeira KRDS. 2009. Azospirillum inoculation and nitrogen fertilization effect on grain yield and on the diversity of endophytic becteria in the phyllosphere of rice rainfed crop. European Journal of Soil Biology, 36-43. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.09.007

Rabiee M, Karimi MM and Safa F. 2004. Effect of planting dates on grain yield and agronomic characteristics of rapeseed cultivars as a second crop after rice at Kouchesfahan. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 35(1): 177-187. (In Persian).

Rezaei M, Shokri-Vahed H, Amiri E, Motamed MK and Azarpour E. 2009. The effects of irrigation and nitrogen management on yield and water productivity of rice. World Applied Sciences Journal, 7: 203-210.

Rodrıguez H and Fraga R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances 17: 319-339. https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2

Ross SM. 1994. Toxic metals in soil-plant system. John Wiley and Sons 138- Quality. (J.W. Doran and A.J. Jones). Soil Science Soicety of American. Spec.publication. Madison, WI. Inc. England.

Rozier C, Erban A, Hamzaoui J, Prigent-Combaret C and Comte G. 2016. Xylem sap metabolite profile changes during phytostimulation of maize by the plant growth-promoting rhizobacterium, Azospirillum lipoferum CRT1. Metabolomics (Los Angel), 6 (182): 2153-0769. Doi: 10.4172/2153-0769.1000182

Saadati N. 1993. Nitrogen changes and ways to increase the efficiency of its use in paddy fields. agricultural research education and extension organization (areeo). 28 pp. (In Persian)

Salehi far M and Afshar Mohamadian M. 2020. Comparative evaluation of chicken manure and chemical fertilizer on nutrient concentrations and grain quality of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32(4): 831-844. (In Persian)

Shahdi Komle A, Rabiei M, Soltani S, Seidi R, Foroughi M, Pikan M, Keshtkar F, Attar A and Pestareh, b. 2018. Effect of symbiotic and non- symbiotic bacteria strains on clover and rice (var Hashemi) yield in rice- based cropping system. Final report, approved number 55316. Country Rice Research Institute, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Rasht, Iran.

Shi CH, Zhu J, Zeng RC and Chen GL. 1997. Genetic and heterosis analysis for cooking quality traits of Indica rice in different environments. Theoretical and Applied Genetics, 95: 294-300. https://doi.org/10.1007/s001220050562

Singh S and Jain MC. 2000. Growth and response of traditional tall and improved semi tall rice cultivars to moderate and high nitrogen, phosphorus and potassium levels. Indian Journal of Agricultural Research, 33: 9-15.

Tiessen H, Cuevas E. and Chacon P. 1994. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. Nature, 371: 783–785.

Tilahun-Tadesse F, Nigussie-Dechassa R, Wondimu B. and Setegn G. 2013. Effect of farmyard manure and inorganic fertilizers on the growth, yield and moisture stress tolerance of rain-fed lowland rice. American Journal of Research Communication, 1(4): 275-301.

Tonitto C, David MB and Drinkwater LE. 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. Agriculture. Ecosystems and Environment, 112: 58-72. https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.07.003

Turan M, Ataoglu N. and Sahin F. 2006. Evaluation of the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. Journal of Sustainable Agriculture, 28: 99-108.

Turan M, Gullucea M, Cakmakcie R and Oztasa T. 2010. The effect of PGPR strain on wheat, yield and quality parameters. In Proceedings of the World Congress of Soil Science, Soil19 Solutions for a Changing World 1 – 6 August Brisbane, Australia, 140-143.

Waling I, Vark WV, Houba VJG and Vanderlee JJ. 1989. Soil and Plant Analysis, A series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, Netherland. 168p.

Zahir AZ, Arshad M and Frankenberger WF. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. Agronomy Journal, 81: 97-168. Doi:10.1016/S0065-2113(03)81003-9

Zaidi A and Khan MS. 2005. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on growth, yield, and nutrient uptake of wheat. Journal of Plant Nutrition, 28: 2079–2092. https://doi.org/10.1080/01904160500320897

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 67-83

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Water Cut Effects at Two Important Growth Stages on Agronomic Traits of Bread Wheat

Shahryar Sasani[1*], Reza Amiri[2], Rasoul Jalilian[3]

Received: 09 February 2023	Accepted: 11 December 2023

1-Assoc. Prof., Crop and Horticultural Sciences Research Dept., Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
2-Assist. Prof., Crop and Horticultural Sciences Research Dept., Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Kermanshah, Iran.
3 -MSc. in Plant Breeding, Eslamabad-e-Gharb Agricultural Research Station, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
*Corresponding Author Email: shahryar.sasani@areeo.ac.ir , shahryarsasani@gmail.com

Abstract

Background and Objective: This research was conducted to investigate the kernel yield of six bread wheat cultivars under irrigation cut conditions at two important stages of development and to determine the scope of different irrigation stages on grain yield.

Materials and Methods: The experiment was conducted as randomized complete blocks design with three replicates under four different conditions (four irrigation regims) across two cropping years. Portable rainout shelters were installed to protect the crop from rainfall during drought stress treatments.

Results: Combined analysis of variance across all environments indicated high significant genotypic and environmental differences for all the traits. Cultivars “Mihan” and “Sirwan” with 8321 and 7722 kg/ha had the highest and lowest kernel yield, respectively. The reduction of kernel yield was 20.27, 27.94 and 14.39% under stem elongation drought stress, terminal drought stress and terminal drought stress irrigated at milk development stage, respectively compared to normal irrigation conditions. The influence of environment on variation of the traits was twice as large as genotype and seven times as large as genotype by environment interaction. Rakhshan and Heydari cultivars were identified as early and late cultivars with 215 and 223 days, respectively.

Conclusion: Current research has improved our knowledge of these six latest popular wheat phenological developments, which can improve water conservation through an efficient irrigation approach based on the sensitivity of the phenological growth stage and their contribution toward final yield. GGE biplot was shown to be more informative than analysis of variance for distinguishing response of cultivars in different environments. The cultivar “Mihan” for incorporating its high potential traits is recommended for future breeding programs under drought stress conditions.

Keywords: Bread Wheat, Developmental Stages, Drought Stress, GYT Biplot, Kernel Yield

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Shahryar Sasani E-mail: shahryarsasani@gmail.com
https://doi.org/10.22034/saps.2023.55342.2995

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۸۳-۶۷

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

اثرات قطع آبیاری در دو مرحله مهم رشد بر خصوصیات زراعی گندم نان

شهریار ساسانی[1*]، رضا امیری[2]، رسول جلیلیان[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۰

۱-دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
۲- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
۳- کارشناس ارشد اصلاح نباتات، ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام‌آباد غرب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
*مسئول مکاتبه: Emai: shahryarsasani@gmail.com

چکیده

اهداف: این تحقیق با هدف بررسی عملکرد دانه شش رقم گندم نان در شرایط قطع آبیاری در دو مرحله مهم رشدی و نیز مشخص کردن دامنه تأثیر مراحل مختلف آبیاری بر عملکرد دانه، انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در چهار شرایط مجزا (چهار رژیم متفاوت آبیاری) در دو سال زراعی اجرا گردید. در هر یک از مراحل اعمال تنش، برای جلوگیری از ورود آب باران به پلات‌ها، از محافظ باران استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات در همه محیط‌ها نشان داد ارقام و سایت‌ها (شرایط آبیاری) از نظر همه صفات اختلاف بسیار معنی‌داری با یکدیگر دارند. ارقام میهن و سیروان با ۸۳۲۱ و ۷۷۲۲ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را دارا بودند. میانگین کاهش عملکرد دانه ارقام تحت شرایط تنش خشکی در مرحله طویل شدن ساقه، تنش آخر فصل و تنش آخر فصل منضم به یک مرحله آبیاری در موعد شیری پرشدن دانه به‌ترتیب برابر ۲۰/۲۷، ۲۷/۹۴ و ۱۴/۳۹ درصد نسبت به شرایط نرمال بود. اثر محیط بر تغییرات صفات، دو برابر اثر ژنوتیپ و هفت برابر اثر ژنوتیپ × محیط بود. ارقام رخشان و حیدری با ۲۱۵ و ۲۲۳ روز، به‌ترتیب به‌عنوان ارقام زودرس و دیررس شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصله، دانش ما را در خصوص پیشرفت فنولوژیکی این شش رقم گندم بهبود بخشید که می‌تواند سبب بهبود حفظ آب در دسترس از طریق انجام آبیاری بر اساس مراحل حساس فنولوژیکی و نیز سهم آن‌ها در عملکرد نهایی گردد. GGE بای‌پلات، در تمایز ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون، کاراتر از تجزیه واریانس بود. رقم میهن به دلیل ویژگی‌های بالقوه بالا، برای بکارگیری در برنامه‌های اصلاحی آتی در شرایط تنش خشکی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات GYT، تنش خشکی، عملکرد دانه، گندم نان، مراحل رشدی

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.)، به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین و اصیل‌ترین غلات، جزء اصلی رژیم غذایی بخش بزرگی از جمعیت جهان از جمله ایران است. بنابراین، اهمیت اجتماعی و اقتصادی گندم، کشور را در موقعیتی قرار می‌دهد که هر گونه تلاش برای بهینه‌سازی سیستم تولید آن، مورد آزمایش و ارزیابی قرار گیرد (محمدی ۲۰۱۸).

امنیت غذایی آینده، به سازگاری محصولات زراعی با تغییرات محیطی بستگی دارد (ویلگاس و همکاران ۲۰۱۶). با توجه به تغییرات آب و هوای جهانی و ناهنجار در الگوهای بارندگی، گندم نیز همانند سایر محصولات پاییزه، در معرض تنش‌های محیطی مختلف به ویژه خشکی و دمای شدید که از جمله محدودیت‌های اصلی تولید غلات در سراسر جهان است، قرار دارد (ونکاتسوارلو و شانکر ۲۰۱۲). اثرات نامطلوب خشکی بر رشد گیاه، عملکرد و اجزای عملکرد، بستگی به مرحله نمو، زمان و شدت تنش دارد (تبسم و همکاران ۲۰۱۸). همواره تلاش‌های متعددی در سرتاسر جهان برای کاهش این مشکل که امروزه بشر با آن مواجه است، در جریان است.

با توجه به اینکه در اغلب مناطق و اراضی زراعی ایران، بارندگی کم است و بیشترین مقدار بارش‌ها در پاییز، زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد، گندم در اواخر اردیبهشت و خرداد، اغلب با کمبود آب مواجه است. این دوره مصادف با مراحل گلدهی و پرشدن دانه است که منجر به محدودیت عملکرد می‌گردد. در چنین محیط‌هایی، توسعه ارقامی از گندم که زودرسی بهینه دارند، به‌عنوان یک مزیت و سازوکار حیاتی برای بهبود عملکرد شناخته می‌شود. امروزه اثبات شده است که تغییرات آب و هوایی، با تأثیر بر مراحل رویشی و زایشی محصولات، سبب تغییر در فنولوژی آن‌ها می‌گردند (ژانگ و همکاران ۲۰۱۳). بنابراین، درک پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی در مراحل مختلف رشد، لازمه پیشرفت در برنامه‌های اصلاحی است (شی و همکاران ۲۰۱۰).

اگرچه افزایش عملکرد دانه گندم به افزایش یک یا همه اجزای عملکرد بستگی دارد، فنولوژی و رشد رویشی نیز ممکن است مستقیماً در عملکرد دانه نقش داشته باشد. طول مدت مراحل رشد محصول، به‌عنوان پاسخ مستقیم به دما و فتوپریود، در گونه‌ها رقم‌های مختلف، متفاوت است (وان‌باسل و همکاران ۲۰۱۱ و وایت و همکاران ۲۰۱۱). بنابراین برای اصلاح ارقام گندم سازگار با شرایط محیطی خاص، لازم است چرخه زندگی آن‌ها به گونه‌ای تنظیم شود که مراحل مهم رشد، در مناسب‌ترین زمان رخ دهد. از این‌رو، آگاهی از تغییرات فنولوژیکی می‌تواند برای ارزیابی واکنش گندم به تغییرات آب و هوایی و محدودیت‌های احتمالی ناشی از محیط بکار گرفته شود (استاکس و همکاران ۲۰۱۰، گاچ و همکاران ۲۰۱۲، سارتو و همکاران ۲۰۱۷). اگرچه ویژگی‌های مورفولوژیکی و فنوتیپی دانه، وراثت کمی دارند (پاتیل و همکاران ۲۰۱۳ و رشید و همکاران ۲۰۱۴)، اما داشتن اطلاعات بیشتر و بهتر در خصوص سایر صفات فنوتیپی از جمله اجزای عملکرد، ویژگی‌های سنبله و صفات مورفولوژیکی که در بهبود عملکرد تحت شرایط تنش خشکی نقش دارند، برای درک سازوکارهای سازگاری گندم اساسی است.

امروزه تولید محصولات زراعی و منابع جهانی آب، مرحله به مرحله در حال کاهش است (ایحسان و همکاران ۲۰۱۶). با کاهش شدید آب‌های جاری و افت نگران کننده سطح سفره‌های آب زیرزمینی، می‌باید راهبردهای خاصی در استفاده صحیح و مطلوب از آب موجود و در دسترس در مراحل انتهای فصل رشد، به عمل آید که بتوان تا حد امکان از خسارت تنش خشکی بر تولید گیاهان زراعی کاسته و در ایجاد ثبات و پایداری عملکرد دانه مؤثر باشد. از این رو پایداری و ثبات عملکرد و اجزای علمکرد دانه در شرایط تنش از جمله شاخص‌های اصلی انتخاب برای یافتن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در بسیاری از برنامه‌های به‌نژادی می‌باشد (فروزانفر و همکاران ۲۰۱۱ و احمدی و اهری‌زاد ۲۰۱۴).

رویکرد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بر آن است تا ارقام جدید گندم آبی نه تنها در شرایط بهینه، پرمحصول باشند، بلکه در شرایط خشکی نیز، داشتن عملکرد دانه قابل قبول از آن‌ها انتظاری دور از واقع نباشد. از این رو، محدودیت آبیاری مزارع گندم در پایان فصل و در نتیجه کاهش شدید عملکرد دانه، منجر به شناسایی و معرفی ارقام مناسبی از طریق برنامه‌های

اصلاحی شده است که این قابلیت را دارند قبل از آغاز خشکی و دماهای بالا، مراحل گلدهی و پرشدن دانه را طی کنند. انتخاب رقم مقاوم به خشکی یک اولویت جهانی در مدیریت این تهدید برای تولید است (القاباری و همکاران ۲۰۱۴). شناسایی حساس‌ترین مرحله رشد این ارقام به تنش خشکی و جایگزینی آبیاری‌ها در آن مرحله یا مراحل، یکی از راهبردهای مدیریتی مؤثر در تقابل با محدودیت آب محسوب می‌گردد. به عبارت دیگر پاسخی به این پرسش که با پایان فصل نزولات در بهار، اگر چنانچه کشاورز تنها یک بار قادر به انجام آبیاری مزرعه گندم باشد، کدام رقم موفق‌تر عمل خواهد نمود. استفاده از این گونه ارقام می‌تواند هم به پایداری تولید گندم در کشور و هم به ارتقای بهره‌وری آب کمک کند.

با توجه به اینکه یک ژنوتیپ ایده‌آل، علاوه بر عملکرد بالا، باید دارای سطوح بالایی از سایر صفات مهم زراعی (اهداف اصلاحی) باشد، می‌توان برای گزینش، از روش گرافیکی بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (GYT[1]) استفاده کرد. این روش، انتخاب ژنوتیپ را بر اساس صفات متعدد تسهیل می‌کند (یان و فرگا-رید ۲۰۱۸). این روش گرافیکی، ژنوتیپ‌ها را بر اساس سطح آن‌ها در ترکیب عملکرد دانه با سایر صفات هدف، رتبه‌بندی می‌کند.

برای این منظور، شش رقم جدید گندم نان مربوط به اقلیم معتدل و معتدل سرد کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت تا: (۱) عملکرد دانه ارقام در شرایط محدودیت آبیاری در دو مرحله مهم رشدی ارزیابی گردد، (۲) دامنه تأثیر و اهمیت مراحل مختلف آبیاری، بر عملکرد دانه ارقام جدید مشخص شود، (۳): با استفاده از بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت، رقمی شناسایی شود که بالاترین عملکرد قابل برداشت را در کنار سایر صفات مهم زراعی در تمامی محیط‌های مورد مطالعه داشته باشد و (۴) اطلاعات بیشتری در مورد فنولوژی این رقم‌ها به دست آید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و مشخصات آزمایش

در تحقیق حاضر از شش رقم جدید گندم نان شامل بهاران، رخشان و سیروان به‌عنوان ارقام زودرس بهاره و میهن، حیدری و پیشگام به‌عنوان ارقام متوسطرس بینابین استفاده شد. آزمایش در دو سال زراعی متوالی (۱۳۹۵-۱۳۹۷) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اسلام‌آبادغرب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه با میانگین بلندمدت ۵۰۰-۵۵۰ میلی‌متر بارندگی سالانه و خاک رسی- لومی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در چهار شرایط مجزا (چهار رژیم متفاوت آبیاری) اجرا شد. هر واحد آزمایشی در مزرعه شامل شش خط کاشت به طول شش متر با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بود. در هر دو سال، عملیات کاشت توسط بذرکار تحقیقاتی غلات مدل وینتراشتایگر[2] صورت گرفت. پیش از کاشت، بذور آماده شده ارقام با قارچ‌کش تبوکونازول و به نسبت یک در هزار ضدعفونی شدند. اراضی تحت آزمایش در سال گذشته زیر کشت نخود پاییزه بود. میزان کودهای پرمصرف و کم‌مصرف مورد نیاز بر اساس آزمون خاک تعیین و مصرف شد. میزان توصیه شده کود ازته همراه با کاشت و باقیمانده در دو مرحله ساقه‌رفتن و ظهور سنبله با توجه به تیمار آبیاری و تنش خشکی مصرف گردید. جهت کنترل علف‌های هرز از علفکش توفوردی + امسی‌پی‌ای و تاپیک و جهت مبارزه با سن گندم از سم دلتامترین استفاده شد.

مراحل رشد گیاه بر اساس مقیاس زادوکس[3] تعیین گردید (زادوکس و همکاران ۱۹۷۴). شرایط آبیاری عبارت بودند از: ۱) آبیاری نرمال، ۲) آبیاری نرمال توأم با اعمال تنش خشکی تنها در مرحله طویل‌شدن ساقه (ZS 33 - ZS 30)، ۳) تنش خشکی آخر فصل (انجام آبیاری‌های ضروری تا اوایل اردیبهشت و قطع آبیاری از مرحله آبستنی – ZS 49 – و تداوم آن تا رسیدن فیزیولوژیک) و ۴) تنش خشکی آخر فصل منضم به یک مرحله آبیاری در موعد شیری پرشدن دانه (ZS 77). با توجه به تیپ رشدی، ارقام مورد بررسی به دو گروه زودرس (سیروان، بهاران و رخشان) و متوسطرس (میهن، پیشگام و حیدری) دسته‌بندی شده و در داخل هر گروه جداگانه تصادفی شدن صورت گرفت تا بتوان به دلیل متفاوت بودن نیاز آبی دو گروه، موعد قطع آبیاری هر گروه از ارقام را در هر بلوک جداگانه مدیریت کرد. در هر یک از مراحل اعمال تنش، برای جلوگیری از ورود

[1] Genotype by yield×trait
[2] Wintersteiger
[3] ZS

بارش باران احتمالی به پلات‌ها و اعمال تیمار تنش خشکی، از محافظ باران[1] آلومینیومی قابل حمل استفاده گردید. ابعاد محافظ باران به صورت 2.5 × 6 × 12 متر بود که تقریباً سه برابر ارتفاع بوته را پوشش داده و سقف آن توسط پلاستیک گلخانه‌ای روشن پوشانیده شد. مشخصات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها (سال × شرایط آبیاری) در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها (سال × شرایط آبیاری)

	نام	سال معرفی	مبدأ	شجره
رقم	بهاران	۱۳۹۳	CIMMYT	KAUZ/PASTOR//PBW343
	رخشان	۱۳۹۴	CIMMYT	SHARP/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/5/VEE/LIRA//BOW/3/BCN/4/KAUZ
	سیروان	۱۳۹۰	CIMMYT	PRL/2*PASTOR
	میهن	۱۳۸۷	ایران	Bkt/90-Zhong87
	حیدری	۱۳۸۹	ایران	Bkt/90-Zhong87
	پیشگام	۱۳۹۴	ایران	Ghk"s"/Bow"s"//90-Zhong87/3/Shiroodi

محیط (ترکیب شرایط آبیاری و سال)	E1	۹۶-۱۳۹۵	شرایط اول	آبیاری نرمال
	E2		شرایط دوم	آبیاری نرمال توأم با اعمال تنش خشکی تنها در مرحله طویل‌شدن ساقه
	E3		شرایط سوم	تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری از مرحله آبستنی و تداوم آن تا رسیدن فیزیولوژیک)
	E4		شرایط چهارم	تنش خشکی آخر فصل منضم به یک مرحله آبیاری در موعد شیری پرشدن دانه
	E5	۹۷-۱۳۹۶	شرایط اول	آبیاری نرمال
	E6		شرایط دوم	آبیاری نرمال توأم با اعمال تنش خشکی تنها در مرحله طویل‌شدن ساقه
	E7		شرایط سوم	تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری از مرحله آبستنی و تداوم آن تا رسیدن فیزیولوژیک)
	E8		شرایط چهارم	تنش خشکی آخر فصل منضم به یک مرحله آبیاری در موعد شیری پرشدن دانه

شرایط آب و هوایی در طول فصل‌های رشد

داده‌های اقلیمی از یک ایستگاه هواشناسی واقع در فاصله کمتر از یک کیلومتری از محل اجرای آزمایش به دست آمد. مجموع بارندگی در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ به ترتیب ۵۱۹ و ۵۸۰ میلی‌متر بود. میانگین دما (از مهر تا تیر) به ترتیب ۱۱/۵۴ و ۱۲/۶۵ درجه سانتی‌گراد در سال‌های زراعی اول و دوم بود.

صفات مورد ارزیابی و تجزیه داده‌ها

صفات مورفولوژیکی و فنولوژیکی در طی مراحل رشد و روی ۱۰ بوته اندازه‌گیری شدند. پس از رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌ها، تمام ردیف‌های کشت هر کرت، توسط کمباین تحقیقاتی مدل وینتراشتایگر[2] برداشت شدند. وزن دانه‌های هر کرت، به کیلوگرم در هکتار تبدیل و به‌عنوان عملکرد دانه در هکتار در نظر گرفته شد. وزن هزار دانه با استفاده از دستگاه بذرشمار (Pfeuffer GmbH, Kitzingen, Germany) اندازه‌گیری شد. پس از حصول داده‌ها و قبل از انجام تجزیه‌ها، نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها بار استفاده از نرم‌افزار SPSS ver.16.0 بررسی شد. تجزیه واریانس ساده و مرکب بر مبنای امید ریاضی و با استفاده از نرم‌افزار SAS ver.9.1 انجام گرفت که در آن، محیط (سال × شرایط آبیاری) و رقم به‌ترتیب به‌عنوان عوامل تصادفی و ثابت در نظر گرفته شدند. جهت مقایسات میانگین داده‌های بدست آمده، از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار[3] استفاده گردید. برای صفاتی که واریانس عامل رقم × محیط معنی‌دار نبود، ادغام[4] واریانس خطا انجام گرفت، بنابراین این اثر از مدل حذف، واریانس خطای جدید محاسبه و مدل اصلاح شد. تمام پلات‌های ارائه شده در این مطالعه

[1] Rain Shelter

۲ Wintersteiger

[3] Least Significant Differences (LSD)

[4] Pooling

از جمله بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (یان و فرگا–رید ۲۰۱۸)، با استفاده از نرم‌افزار GGE-Biplot ve.6.3 ترسیم شدند (یان ۲۰۰۱).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که رقم‌ها دارای اختلاف بسیار معنی‌داری از نظر تمام صفات مورد مطالعه می‌باشند (جدول ۲). اثر محیط (رژیم‌های مختلف رطوبتی) نیز بر تمامی صفات بسیار معنی‌دار بود. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای برخی از صفات از جمله عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله، وزن دانه‌ها در سنبله، تراکم سنبله، روز تا ساقه‌دهی و دوره پر شدن دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. میانگین عملکرد دانه رقم‌ها در کل آزمایش، ۷۹۲۹ کیلوگرم در هکتار بود. ارقام میهن و سیروان با ۸۳۲۱ و ۷۷۲۲ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند. ارقام متوسطرس (میهن، حیدری و پیشگام) دارای بالاترین و ارقام زودرس (بهاران، رخشان و سیروان) دارای پایین‌ترین مقادیر صفات تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله، وزن دانه‌ها در سنبله، تراکم سنبله و صفات فنولوژیک بودند. در مقابل، ارقام زودرس از نظر صفات وزن هزار دانه، تعداد سنبله در متر مربع، ارتفاع بوته و سرعت پرشدن دانه مقادیر بیشتری نسبت به ارقام متوسطرس داشتند. رقم رخشان با ۱۰۶/۰۸ سانتی‌متر و به‌عنوان پابلندترین رقم، دارای بیشترین طول پدانکل، طول سنبله، طول ریشک و سرعت پرشدن دانه بود. طولانی‌ترین دوره پر شدن دانه (۴۰ روز)، برای رقم سیروان ثبت گردید (جدول ۳).

اکثر صفات در مواجهه با تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، کاهش یافتند (جدول ۴). در این مطالعه، بیشترین کاهش در مقدار صفات عملکرد دانه، وزن هزاردانه، وزن سنبله، وزن دانه‌ها در سنبله و دوره پرشدن دانه، در شرایط آبیاری سوم (تنش خشکی آخر فصل) مشاهده شد؛ در حالی که شرایط آبیاری دوم (آبیاری نرمال توأم با اعمال تنش خشکی تنها در مرحله طویل‌شدن ساقه)، بیشتر سبب اثر بر صفات تعداد سنبله در مترمربع، ارتفاع بوته، طول پدانکل و صفات فنولوژیکی گردید. در مطالعات قبلی، یک الگوی کاهشی در صفات مورفولوژیکی مرتبط با عملکرد مانند ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه گندم تحت شرایط خشکی (دیم) نسبت به شرایط آبیاری بهینه تجربه شده است (کیلیچ و یاگباسانلار ۲۰۱۰). انجام آبیاری در مرحله شیری پرشدن دانه (شرایط آبیاری چهارم) سبب بهبود قابل توجه در مقدار اغلب صفات در مقایسه با شرایط آبیاری سوم (تنش خشکی آخر فصل) گردید که نشان‌دهنده اهمیت تأمین آب در این مرحله است. دوره پرشدن دانه به میزان ۱۱/۶۸ درصد در شرایط آبیاری چهارم نسبت به شرایط آبیاری اول (آبیاری نرمال) کاهش نشان داد، درحالی‌که سرعت پرشدن دانه به میزان ۵/۳۵ درصد افزایش یافت. خشکی آخر فصل اغلب چرخه رشد و دوره پرشدن دانه را در گندم کوتاه می‌کند. علاوه‌براین، به نظر می‌رسد کاهش سرعت پرشدن دانه به دلیل کاهش فتوسنتز، تسریع پیری برگ و محدودیت‌های منبع در شرایط تنش خشکی باشد (مدنی و همکاران ۲۰۱۰). تنش خشکی در طول توسعه دانه، از طریق کاهش تخصیص ماده خشک به آن، بر اندازه بالقوه دانه تأثیر گذاشته (مدنی و همکاران ۲۰۱۰ و خاوانی و همکاران ۲۰۱۲) و در نتیجه وزن و عملکرد دانه کاهش می‌یابد. در مطالعه حاضر، کاهش وزن هزاردانه به دلیل تنش خشکی ممکن است به دلیل چروک شدن دانه‌ها ناشی از تداخل در راندمان جذب مواد مغذی و نیز انتقال فتوسنتزی در داخل گیاه باشد. بنابراین، تنش خشکی به ویژه در دوره پرشدن دانه معمولاً وزن دانه را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد که در این مطالعه به خوبی مشاهده شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات در همه محیط‌ها (سال × شرایط آبیاری)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)			
		عملکرد دانه	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه
محیط	۷	۲۶۳۵۵۹۸۰/۷**	۲۰۹۲۴۵/۰۶**	۱۴۳۵/۷۶**	۳۲۸/۰۸۷۸**
تکرار در داخل محیط (Ea)	۱۶	۲۱۸۳۸۱۲/۰	۵۲۴۷/۱۰	۳۱/۹۳	۱۰/۳۹۸۸
رقم	۵	۱۲۴۰۷۱۰/۶**	۸۱۹۰۱/۲۸**	۱۵۲۵/۳۶**	۱۶۰/۶۸۱۹**
رقم × محیط	۳۵	۹۰۸۸۸۸/۸^{ns}	۸۲۶۴/۲۱**	۳۰/۲۴^{ns}	۸/۲۳۶۲*
خطای آزمایشی (Eb)	۸۰	۶۹۷۰۷۷/۵	۲۹۰۱/۱۹	۲۰/۱۲	۴/۷۳۶۸
خطای ادغام شده	۱۱۵	۳۸۰۷۷۰/۹	–	۱۱/۶۰	–
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۰/۵۳	۸/۹۲	۷/۷۲	۴/۶۰

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ادامه جدول ۲

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		وزن سنبله	وزن دانه‌ها در سنبله	تراکم سنبله	ارتفاع بوته	طول پدانکل
محیط	۷	۲/۷۴۰**	۲/۹۲۲۹**	۳۰۶/۱۰**	۱۵۵۱/۶۹**	۲۷۱/۴۱**
تکرار در داخل محیط (Ea)	۱۶	۰/۱۹۸	۰/۱۲۲۹	۲۴/۱۵	۲۲/۰۶	۲/۸۲
رقم	۵	۲/۹۹۵**	۱/۹۳۲۹**	۱۷۲۴/۹۶**	۱۳۵۲/۵۱**	۱۳۳/۳۰**
رقم × محیط	۳۵	۰/۱۲۰^{ns}	۰/۰۷۴۶^{ns}	۱۷/۱۳^{ns}	۲۶/۶۶**	۷/۸۰**
خطای آزمایشی (Eb)	۸۰	۰/۰۹۱	۰/۰۵۴۲	۱۵/۶۸	۱۲/۰۱	۳/۳۵
خطای ادغام شده	۱۱۵	۰/۰۵۰	۰/۰۳۰۲	۸/۰۶	–	–
ضریب تغییرات (٪)	–	۷/۹۲	۸/۵۶	۷/۱۵	۳/۷۱	۵/۳۸

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ادامه جدول ۲

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		طول سنبله	طول ریشک	روز تا ساقه‌دهی	روز تا آبستنی	روز تا سنبله‌دهی
محیط	۷	۱۵/۲۲۶۴**	۳/۵۷۲۸**	۴۰۲۹/۱۷۴**	۲۸۰۳/۷۴۵**	۲۴۷۹/۳۴۹**
تکرار در داخل محیط (Ea)	۱۶	۰/۹۰۶۶	۰/۳۰۳۴	۱/۲۶۴	۶/۰۱۴	۳/۳۸۲
رقم	۵	۱۰/۷۶۴۵**	۱۰/۲۰۴۸**	۴۰/۰۱۳**	۲۴۵/۰۲۹**	۳۰۹/۵۱۱**
رقم × محیط	۳۵	۰/۵۰۲۹**	۰/۲۸۶۸**	۰/۷۲۴^{ns}	۵/۳۸۸**	۴/۵۰۲**
خطای آزمایشی (Eb)	۸۰	۰/۲۲۷۹	۰/۱۴۰۷	۲/۶۸۹	۱/۴۹۷	۰/۸۱۵
خطای ادغام شده	۱۱۵	–	–	۱/۰۴۵	–	–
ضریب تغییرات (٪)	–	۴/۵۵	۰/۳۸	۱/۲۰	۰/۷۳	۰/۵۱

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ادامه جدول ۲

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)			
		روز تا گرده‌افشانی	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	دوره پرشدن دانه	سرعت پرشدن دانه
محیط	۷	۲۱۷۸/۰۶۴**	۹۱۲/۵۷۸**	۴۵۶/۳۱۷**	۰/۱۵۱۶**
تکرار در داخل محیط (Ea)	۱۶	۴/۹۸۶	۸/۰۰۷	۶/۵۷۶	۰/۰۰۹۴
رقم	۵	۲۵۶/۳۶۱**	۳۷۵/۰۹۰**	۵۱/۵۲۹**	۰/۲۳۵۶**
رقم × محیط	۳۵	۳/۴۷۵**	۵/۴۰۵**	۳/۵۹۳**	۰/۰۰۷۸^{ns}
خطای آزمایشی (Eb)	۸۰	۱/۲۶۹	۱/۴۹۰	۱/۸۵۱	۰/۰۰۶۱
خطای ادغام شده	۱۱۵	–	–	–	۰/۰۰۳۳
ضریب تغییرات (٪)	–	۰/۶۲	۰/۵۶	۳/۶۱	۶/۱۸

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

جدول ۳- مقایسه میانگین ارقام از نظر صفات مورد مطالعه در همه محیط‌ها (سال × شرایط آبیاری)

رقم	عملکرد دانه (Kg/ha)	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزاردانه (g)	وزن سنبله (g)	وزن دانه‌ها در سنبله (g)
بهاران	۷۷۵۰	۶۵۰/۸۳	۵۰/۸۲	۴۸/۱۵	۳/۴۶	۲/۴۳۹
رخشان	۷۹۱۰	۶۳۸/۴۲	۵۴/۵۷	۵۰/۰۵	۳/۸۲	۲/۷۱۵
سیروان	۷۷۲۲	۶۵۴/۰۸	۴۹/۰۷	۵۰/۱۵	۳/۴۹	۲/۴۴۸
میهن	۸۳۲۱	۵۳۱/۷۱	۶۶/۳۲	۴۶/۲۹	۴/۲۶	۳/۰۶۰
حیدری	۷۸۱۷	۶۱۷/۹۶	۵۹/۷۴	۴۳/۸۸	۳/۶۴	۲/۶۰۳
پیشگام (شاهد)	۸۰۵۸	۵۲۸/۱۳	۶۸/۱۳	۴۵/۲۲	۴/۲۲	۳/۰۶۸
میانگین	۷۹۲۹	۶۰۳/۵۲	۵۸/۱۱	۴۷/۲۹	۳/۸۲	۲/۷۲۲
LSD 5%	–	۳۰/۹۴	–	۱/۲۵	–	–
LSD 5% (Pooled)	۳۵۳	–	۱/۹۵	–	۰/۱۳	۰/۰۹۹

ادامه جدول ۳

رقم	تراکم سنبله	ارتفاع بوته (cm)	طول پدانکل (cm)	طول سنبله (cm)	طول ریشک (cm)	روز تا ساقه‌دهی
بهاران	۵۱/۸۷	۹۷/۰۶	۳۲/۷۲	۹/۷۹	۷/۵۴	۱۳۴/۵۰
رخشان	۴۶/۵۰	۱۰۶/۰۸	۳۶/۲۲	۱۱/۷۰	۸/۹۸	۱۳۶/۵۰
سیروان	۴۷/۱۵	۹۳/۰۹	۳۴/۹۹	۱۰/۳۷	۷/۱۸	۱۳۷/۴۶
میهن	۶۲/۰۰	۸۸/۰۹	۳۵/۴۷	۱۰/۶۸	۸/۱۷	۱۳۶/۱۳
حیدری	۵۶/۷۷	۹۲/۰۹	۲۹/۸۴	۱۰/۴۵	۸/۳۷	۱۳۵/۳۳
پیشگام (شاهد)	۶۷/۸۲	۸۴/۵۸	۳۴/۸۷	۱۰/۰۱	۸/۴۴	۱۳۷/۹۶
میانگین	۵۵/۳۵	۹۳/۵۰	۳۴/۰۲	۱۰/۵۰	۸/۱۱	۱۳۶/۳۱
LSD 5%	–	۱/۹۹	۱/۰۵	۰/۲۷	۰/۲۲	–
LSD 5% (Pooled)	۱/۶۲	–	–	–	–	۰/۵۸

ادامه جدول ۳

رقم	روز تا آبستنی	روز تا سنبله‌دهی	روز تا گرده‌افشانی	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	دوره پرشدن دانه (day)	سرعت پرشدن دانه (mg/day)
بهاران	۱۶۴/۸۸	۱۷۴/۰۰	۱۷۸/۶۷	۲۱۵/۲۱	۳۶/۵۴	۱/۳۳۷
رخشان	۱۶۴/۷۱	۱۷۴/۷۱	۱۷۹/۳۳	۲۱۴/۷۵	۳۵/۴۲	۱/۴۲۴
سیروان	۱۶۵/۵۴	۱۷۴/۲۵	۱۷۸/۶۷	۲۱۸/۲۵	۳۹/۵۸	۱/۲۷۳
میهن	۱۷۱/۴۶	۱۸۱/۴۶	۱۸۵/۰۴	۲۲۲/۹۶	۳۷/۹۲	۱/۲۳۰
حیدری	۱۶۸/۸۳	۱۷۹/۴۶	۱۸۴/۵۸	۲۲۳/۰۰	۳۸/۴۲	۱/۱۵۳
پیشگام (شاهد)	۱۷۱/۴۶	۱۸۱/۲۹	۱۸۴/۸۸	۲۲۲/۸۸	۳۸/۰۰	۱/۱۹۶
میانگین	۱۶۷/۸۱	۱۷۷/۵۳	۱۸۱/۸۶	۲۱۹/۵۱	۳۷/۶۵	۱/۲۶۹
LSD 5%	۰/۷۰	۰/۵۲	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۷۸	–
LSD 5% (Pooled)	–	–	–	–	–	۰/۰۳۳

عملکرد دانه در شرایط آبیاری دوم، سوم و چهارم، به‌ترتیب ۲۰/۲۷، ۲۷/۹۴ و ۱۴/۳۹ درصد نسبت به شرایط آبیاری آبیاری نرمال کاهش یافت. واضح است که یک بار آبیاری در مرحله شیری پرشدن دانه، موجب کاهش این خسارت تا ۵۰ درصد گردیده است. پاسخ گیاه به تنش خشکی بسیار متغیر بوده و بستگی به مرحله فنولوژیکی،

دوره، شدت و فراوانی خشکی دارد (سارتو و همکاران ۲۰۱۷). ایحسان و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند مراحل آبستنی (بوتینگ) و پر شدن دانه، حساس‌ترین مراحل رشد هستند که به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. اگرچه تنش خشکی ممکن است رشد گندم را در تمام مراحل فنولوژیکی تحت تأثیر قرار دهد، اما مراحل زایشی و پر شدن دانه، حساس‌ترین مراحل هستند که ممکن است به دلیل تسریع پیری برگ، عقیمی گرده، آسیب اکسیداتیو به سیستم جذب نوری و غیره ایجاد شود (فاروغ و همکاران ۲۰۱۴). در مطالعات قبلی، کاهش در صفات مربوط به عملکرد گندم در هنگام اعمال تنش خشکی در مرحله آبستنی (بوتینگ) یا گرده‌افشانی گزارش شده است (خاوانی و همکاران ۲۰۱۲). اعمال تنش خشکی در مرحله رشد زایشی گندم بر باروری دانه گرده تأثیر می‌گذارد. در این مطالعه، اهمیت تنش خشکی در طی طویل شدن ساقه، به خوبی نشان داده شد، زیرا باعث کاهش ۲۰ درصدی عملکرد دانه گردید. وقوع تنش خشکی در مرحله طویل شدن ساقه، سبب ممانعت از تولید سنبله توسط برخی از پنجه‌ها می‌گردد (سارتو و همکاران ۲۰۱۷). طولانی شدن مرحله طویل شدن ساقه، می‌تواند به طور بالقوه سبب افزایش در دسترسی آسمیلات‌ها، باروری گلچه‌ها، گرده‌افشانی و در نهایت تعداد دانه گردد (وایت‌چرچ و همکاران ۲۰۰۷).

جدول ۴- اثر اعمال تنش خشکی بر میانگین صفات و درصد تغییرات آن‌ها نسبت به شرایط آبیاری نرمال

صفت	تنش خشکی تنها در مرحله طویل‌شدن ساقه	تنش خشکی آخرفصل	تنش آخرفصل منضم به یک مرحله آبیاری تکمیلی
عملکرد دانه (kg/ha)	-۲۰/۲۷	-۲۷/۹۴	-۱۴/۳۹
تعداد سنبله در مترمربع	-۱۸/۲۷	-۱۲/۹۸	-۱۰/۹۷
تعداد دانه در سنبله	-۱۰/۴۷	-۸/۳۴	-۱۱/۲۳
وزن هزار دانه (g)	-۲/۲۴	-۱۷/۰۷	-۶/۸۶
وزن سنبله (g)	-۸/۲۲	-۱۸/۹۰	-۱۱/۷۴
وزن دانه‌ها در سنبله	-۱۲/۷۰	-۲۴/۳۰	-۱۸/۱۴
تراکم سنبله	-۷/۵۱	-۵/۶۴	-۸/۶۶
ارتفاع بوته (cm)	-۷/۹۵	-۲/۵۶	-۰/۶۱
طول پدانکل (cm)	-۱۲/۱۹	-۵/۳۷	-۵/۳۷
طول سنبله (cm)	-۲/۹۲	-۳/۰۹	-۳/۴۱
طول ریشک (cm)	-۲/۲۲	-۰/۳۵	۱/۱۴
روز تا ساقه‌دهی	۰/۲۷	۰/۰۰	۰/۰۰
روز تا آبستنی	-۳/۱۴	-۰/۱۱	۰/۲۵
روز تا سنبله‌دهی	-۲/۳۵	۰/۱۱	۰/۵۶
روز تا گرده‌افشانی	-۲/۳۷	-۰/۱۷	۰/۱۱
روز تا رسیدن فیزیولوژیک	-۲/۴۳	-۲/۹۲	-۲/۰۴
دوره پر شدن دانه (day)	-۲/۷۳	-۱۵/۳۰	-۱۱/۶۸
سرعت پرشدن دانه (mg/day)	۰/۵۹	-۲/۲۵	۵/۳۵

از آنجا که عملکرد دانه مهمترین صفت مورد بررسی در این مطالعه است و نیز با توجه به اینکه اثر محیط بر آن معنی‌دار شده است، تجزیه واریانس ساده و مقایسه میانگین آن به صورت جداگانه در هر هشت محیط (ترکیب سال × شرایط آبیاری) در قالب جدول ۵ ارائه شده است. اثر معنی‌دار رقم بر عملکرد دانه، تنها برای محیط E3 (یعنی ژنوتیپ‌هایی که در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل ارزیابی

شدند) مشاهده گردید. البته کمترین عملکرد دانه نیز از این محیط مشاهده گردید. بیشترین عملکرد دانه مربوط به محیط E5 (سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و شرایط نرمال طوبتی) و E1 (سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و شرایط نرمال طوبتی) به‌ترتیب با ۹۷۶۷ و ۹۰۳۴ کیلوگرم در هکتار بود. رقم میهن دارای بیشترین عملکرد دانه در چهار محیط از هشت محیط مورد بررسی بود. رقم بهاران در سال دوم کمترین مقدار عملکرد دانه در هر چهار شرایط آبیاری را داشت، درحالی که ارقام میهن و پیشگام برترین بودند (جدول ۵).

جدول ۵- خلاصه تجزیه واریانس ساده و مقایسه میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) برای همه محیط‌ها

محیط	میانگین ± SE	حداقل	حداکثر	آزمون F	ضریب تغییرات (٪)
E1	۹۰۳۴±۱۱۸	۸۶۶۷ (رخشان)	۹۳۹۵ (میهن)	ns	۱۲/۵۵
E2	۷۰۱۸±۱۴۰	۶۶۲۰ (حیدری)	۷۵۰۴ (سیروان)	ns	۱۱/۵۲
E3	۶۰۶۷±۳۱۱	۵۰۵۵ (رخشان)	۶۰۵۵ (سیروان)	**	۸/۶۳
E4	۷۲۹۸±۸۸	۷۰۹۴ (حیدری)	۷۶۹۵ (میهن)	ns	۱۵/۷۹
E5	۹۷۶۷±۲۳۳	۹۰۷۳ (بهاران)	۱۰۴۱۰ (پیشگام)	ns	۷/۵۵
E6	۷۹۷۲±۴۰۹	۶۷۴۷ (بهاران)	۹۴۵۶ (میهن)	ns	۱۲/۲۶
E7	۷۴۸۱±۱۸۳	۶۷۵۱ (بهاران)	۷۹۲۴ (پیشگام)	ns	۷/۶۲
E8	۸۷۹۸±۱۷۱	۸۲۱۳ (بهاران)	۹۲۶۵ (میهن)	ns	۵/۲۳

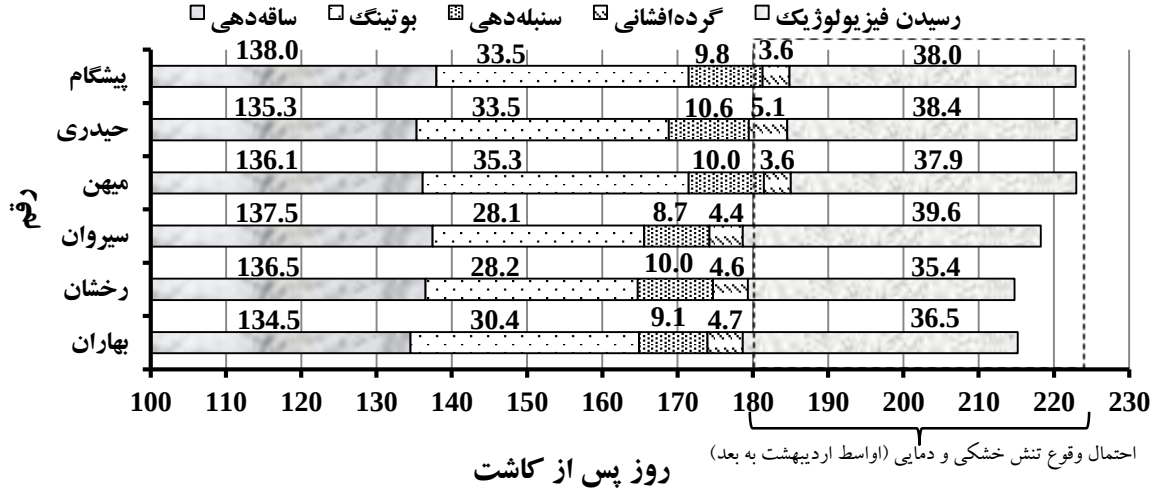
ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد. اطلاعات محیط‌ها (ترکیب سال در شرایط آبیاری)، در جدول ۱ ارائه شده است.

تفاوت ارقام در مراحل فنولوژیکی

تفاوت بین ارقام از نظر مراحل فنولوژیکی، با جزئیات کامل در شکل ۱ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که ارقام (بر اساس همه داده‌ها) از نظر مرحله روز تا ساقه‌دهی تفاوت چندانی ندارند. ارقام بهاران و پیشگام با ۱۳۴/۵ و ۱۳۸ روز، به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را داشتند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، ارقام زودرس (بهاران، رخشان و سیروان) به روزهای کمتری برای رسیدن به مرحله آبستنی نیاز داشتند. ارقام سیروان و میهن با ۲۸/۱ و ۳۵/۳ روز، به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین فاصله زمانی بین ساقه‌دهی و آبستنی بودند. کمترین و بیشترین فاصله زمانی بین آبستنی و سنبله‌دهی، به‌ترتیب مربوط به ارقام سیروان و حیدری با ۸/۷ و ۱۰/۶ روز بود. اگرچه ارقام میهن و پیشگام، دارای کمترین فاصله زمانی (۴ روز) بین سنبله‌دهی و گرده‌افشانی بودند، اما بیشترین (نزدیک به ۱۸۵ روز) تعداد روز از کاشت تا گلدهی متعلق به آن‌ها بود. کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین زمان بین گلدهی و رسیدگی، مربوط به ارقام رخشان و سیروان و به‌ترتیب با ۳۵/۴ و ۳۹/۶ روز بود. در مجموع ارقام رخشان و حیدری با ۲۱۵ و ۲۲۳ روز، به‌ترتیب به‌عنوان ارقام زودرس و دیررس شناسایی شدند. میانگین تعداد روزهای لازم برای رسیدن به مرحله رسیدگی در ارقام زودرس (بهاران، رخشان و سیروان) و متوسطرس (میهن، حیدری و پیشگام) به‌ترتیب برابر ۲۱۶ و ۲۲۳ روز بود که تفاوت قابل‌توجهی دارند.

آگاهی از مراحل فنولوژی گندم برای کشاورزان، متخصصان اصلاح‌نباتات و زراعت، بسیار مهم است و می‌تواند با ارائه تاریخ بهینه عملیات مختلف کشاورزی، به بهبود عملکرد و کیفیت غذا کمک کند. در آزمایش حاضر مشخص شد که مدت زمان رسیدن به هر مرحله فنولوژیک در دو گروه ارقام (شامل زودرس و میان‌رس) مورد مطالعه، متفاوت است. اثرگذاری عوامل محیطی بر تعداد روزهای مورد نیاز برای رسیدن به مراحل مختلف رشد گندم، به دلیل تفاوت‌های ذاتی بین ارقام و ساختار ژنتیکی متفاوت آن‌ها است. رقم سیروان در دو محیط از هشت محیط دارای بیشترین مقدار عملکرد دانه بود. در این رقم، زودسنبله‌دهی و دیررسی سبب شده است که دوره پرشدن دانه طولانی شده (۴۰ روز) و در نتیجه اجزای فتوسنتزی سبز باقی بمانند و سهم آسمیلات‌های

پس از گرده‌افشانی را در پر شدن دانه بهبود بخشند. ارقام بهاران و رخشان به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، به‌عنوان ارقام زودرس (رسیدگی فیزیولوژیک) معرفی شدند. این مهم سبب می‌شود که این دو رقم تاحدودی از تنش خشکی آخرفصل مصون بمانند. بنابراین این موضوع نشان می‌دهد که اصلاح و معرفی ارقام زودرس، یکی از اهداف اصلی متخصصان به‌نژادی در مناطق نیمه‌خشکی مانند ایران است که همواره، تنش‌های خشکی و دمایی آخرفصل در طی دوره پرشدن دانه رخ می‌دهد (بلوم ۲۰۱۰). در مقایسه ۷۵ رقم قدیمی و جدید گندم نان ایرانی، ارقام پرمحصول جدید خصوصیاتی مانند زودگلدهی و زودرسیدگی در شرایط خشکی آخرفصل از خود نشان دادند، اما دوره پر شدن دانه در آن‌ها در مقایسه با ارقام قدیمی طولانی‌تر بود (جودی و همکاران ۲۰۱۴). در کشورهایی با اقلیم مدیترانه‌ای و شیوع تنش خشکی، یک روند تدریجی در حرکت برنامه‌های به‌نژادی گندم به سمت زودگلدهی و زودرسیدگی ارقام مشاهده شده است و پیش‌بینی می‌شود در صورت ادامه پدیده گرمایش جهانی، این روند برای تولید گندم ادامه یابد (شاوروکوف و همکاران ۲۰۱۷).

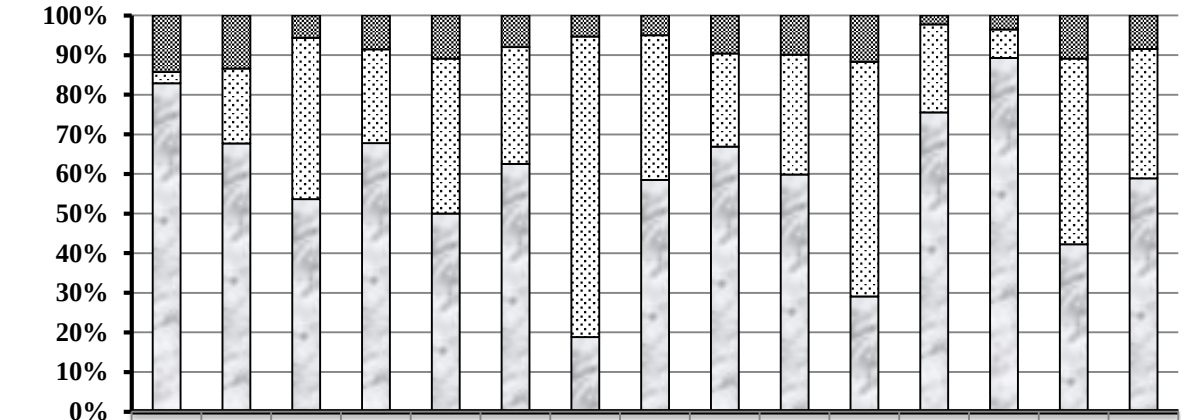


شکل ۱- تفاوت بین ارقام بر اساس مراحل فنولوژیکی در میانگین تمامی محیط‌ها (سال × شرایط آبیاری)

درصد منابع تغییرات حاصل از واریانس مرکب

سهم هر منبع تغییر در تجزیه مرکب (بدون در نظر گرفتن خطاهای آزمایش)، برای صفات مطالعه شده در شکل ۲ به عنوان درصد مجموع مربعات کل نشان داده شده است. دامنه تنوع ژنوتیپی برای صفات تراکم سنبله (۷۵/۸۸ درصد) و طول ریشک (۵۹/۲۸ درصد) بالا، برای صفات تعداد دانه در سنبله (۴۰/۷۱ درصد)، وزن سنبله (۳۹/۰۶ درصد)، ارتفاع بوته (۳۶/۴۴ درصد) و سرعت پر شدن دانه (۴۶/۸۸ درصد) متوسط و برای سایر صفات، مقادیری پایین به دست آمد. برای صفات عملکرد دانه و دوره پر شدن دانه، اثر ژنوتیپی به طور قابل ملاحظه‌ای پایین (کمتر از ۱۰ درصد) بود. اثر محیط درصد بالایی از کل تغییرات را در صفات دوره پر شدن دانه (۸۹/۲۸ درصد)، عملکرد دانه (۸۲/۹۲ درصد) و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (۷۵/۵۷ درصد)، ایجاد کرد که حاکی از تأثیر بیشتر عوامل محیطی بر بیان فنوتیپی این صفات است و نشان می‌دهد که این صفات به اندازه کافی برای معیار انتخاب در نسل‌های اولیه از طریق برنامه‌های اصلاحی، سازگار نیستند. از سوی دیگر، اثر محیط بیش از ۵۰ درصد از واریانس همه صفات به جز تراکم سنبله، طول ریشک و سرعت پرشدن دانه را به خود اختصاص داده است. به این معنی که برای این صفات، فراهم بودن آب در مراحل بحرانی رشد در مقایسه با تغییرات ناشی از ژنوتیپ و اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط به طور قابل

ملاحظه‌ای بالاتر است. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، اثر قابل توجهی بر صفات نداشت، به‌طوری‌که حداکثر اثر آن، روی عملکرد دانه و به میزان ۱۴/۳۰ درصد بود. آخرین ستون سمت راست شکل ۲ که با نام میانگین (Mean) آمده است، نشان‌دهنده میانگین درصد هر منبع تغییرات در صفات است. بر اساس این ستون، تأثیر محیط (۵۸/۹۲ درصد) تقریباً دو برابر ژنوتیپ (۳۲/۵۹ درصد) و هفت برابر بیشتر از اثر متقابل (۸/۴۹ درصد) بوده است.



	KY	NSPm2	NKPS	TKW	SW	KWPS	SD	PLH	PedL	SL	AL	DTPM	KFD	KFR	Mean
Gen × Env	14.30	13.37	5.65	8.51	10.92	7.98	5.27	5.03	9.62	9.89	11.66	2.24	3.51	10.89	8.49
Gen	2.79	18.93	40.71	23.71	39.06	29.52	75.88	36.44	23.47	30.24	59.28	22.19	7.20	46.88	32.59
Env	82.92	67.70	53.64	67.78	50.03	62.50	18.85	58.53	66.91	59.88	29.06	75.57	89.28	42.23	58.92

شکل ۲- منابع تغییرات صفات (پس از حذف خطاهای آزمایش) به صورت درصد مجموع مربعات کل

ستون "میانگین" نشان‌دهنده میانگین صفات است. YLD: عملکرد دانه، $NSPm^2$: تعداد سنبله در مترمربع، NKPS: تعداد دانه در سنبله، TKW: وزن هزاردانه، SW: وزن سنبله، KWPS: وزن دانه‌ها در سنبله، SD: تراکم سنبله، PLH: ارتفاع بوته، PedL: طول پدانکل، SL: طول سنبله، AL: طول ریشک، DTSE: روز تا ساقه‌دهی، DTB: روز تا آبستنی (بوتینگ)، DTH: روز تا سنبله‌دهی، DTA: روز تا گرده‌افشانی، DTPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، KFD: دوره پرشدن دانه، KFR: سرعت پرشدن دانه.

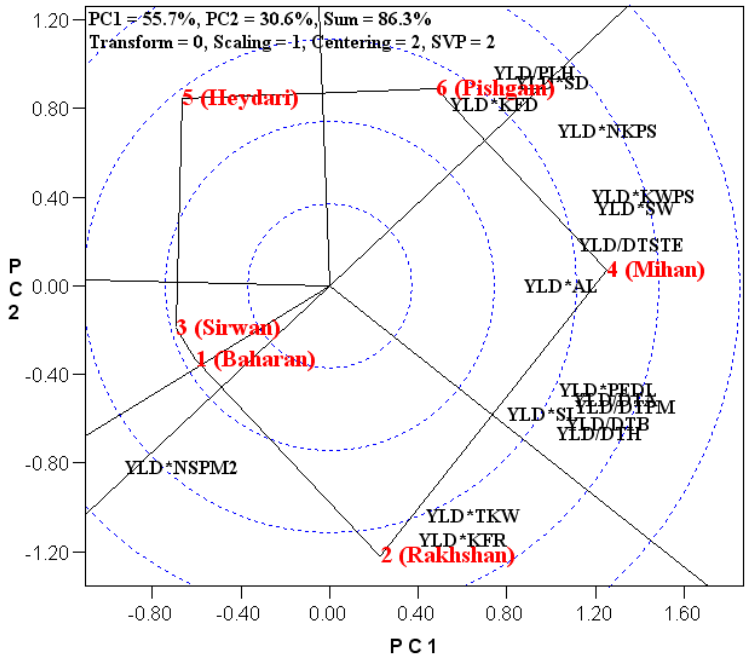
بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (GYT)

در مطالعه حاضر، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه معنی‌دار نبود، اما زمانیکه به مقایسه میانگین‌ها در هشت محیط آزمایشی دقت می‌شود، تفاوت قابل‌توجهی بین میانگین این صفت (از ۶۰۶۷ تا ۹۷۶۷ کیلوگرم در هکتار) ملاحظه می‌گردد. در هر بخش مشخص شده از این بای‌پلات (شکل ۳)، ژنوتیپ برتر روی رأسی قرار می‌گیرد که بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات داشته و دارای بیشترین مقادیر برای ترکیب‌های عملکرد- صفت است. دو مؤلفه اصلی اول به‌ترتیب حدود ۵۵/۷ و ۳۰/۶ درصد از کل تغییرات مجموعه داده را به خود اختصاص دادند. رقم پیشگام بیشترین مقادیر را برای ترکیبات YLD × SD، YLD × KFD و YLD/PLH داشت، به این معنی که این رقم در ترکیب عملکرد دانه با تراکم سنبله، دوره پر شدن دانه و ارتفاع بوته بهترین بود. رقم رخشان بر اساس ترکیبات YLD × TKW، YLD × KFR و YLD × $NSPm^2$ بهترین بود. به عبارت دیگر این رقم، دارای بهترین ترکیب عملکرد دانه با صفات وزن هزاردانه، سرعت پرشدن دانه و تعداد سنبله در مترمربع بود. رقم میهن از نظر بقیه ترکیبات عملکرد- صفت، به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناخته شد.

تجزیه GGE-Biplot

الگوی چند ضلعی"کدام- برتر-کجا" به‌عنوان یکی از مهمترین ویژگی‌های GGE بای‌پلات، در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق این پلات، رقم میهن سازگاری خصوصی بالایی به اغلب محیط‌های مورد بررسی نشان داد. ژنوتیپ‌های موجود در رأس‌های چندضلعی، نمایانگر ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی بالا به محیط‌های واقع در محدوده آن چندضلعی هستند. بنابراین رقم

بهاران دارای سازگاری خصوصی بالا به محیط‌های E2 (سال اول- آبیاری نرمال توأم با اعمال تنش خشکی تنها در مرحله طویل‌شدن ساقه) و E3 (سال اول- تنش خشکی آخر فصل) بود (شکل ۴). رقم رخشان فقط در محیط E5 (سال دوم- آبیاری نرمال) برتری نشان داد. ارقام حیدری و پیشگام نزدیک مرکز پلات قرار گرفتند که

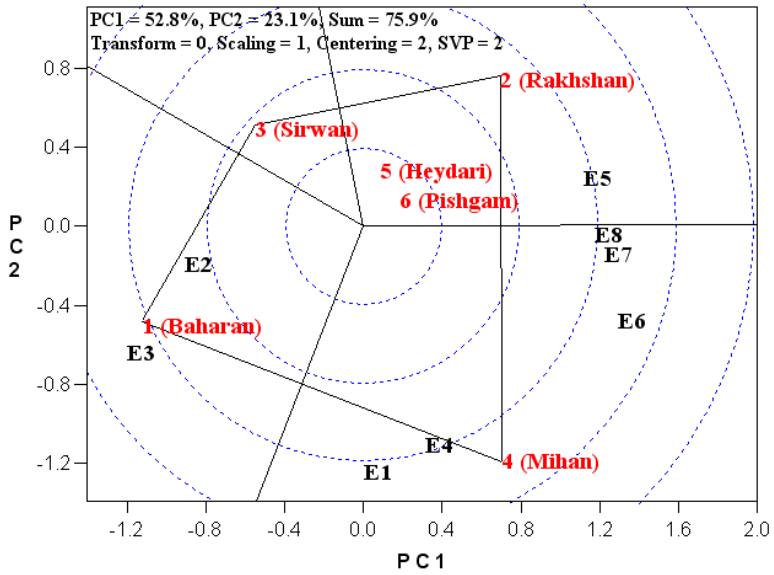


شکل ۳- بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (GYT) در طول تمامی محیط‌ها (سال × شرایط آبیاری)

YLD: عملکرد دانه، $NSPm^2$: تعداد سنبله در مترمربع، NKPS: تعداد دانه در سنبله، TKW: وزن هزاردانه، SW: وزن سنبله، KWPS: وزن دانه‌ها در سنبله، SD: تراکم سنبله، PLH: ارتفاع بوته، PedL: طول پدانکل، SL: طول سنبله، AL: طول ریشک، DTSE: روز تا ساقه‌دهی، DTB: روز تا آبستنی (بوتینگ)، DTH: روز تا سنبله‌دهی، DTA: روز تا گرده‌افشانی، DTPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، KFD: دوره پرشدن دانه، KFR: سرعت پرشدن دانه.

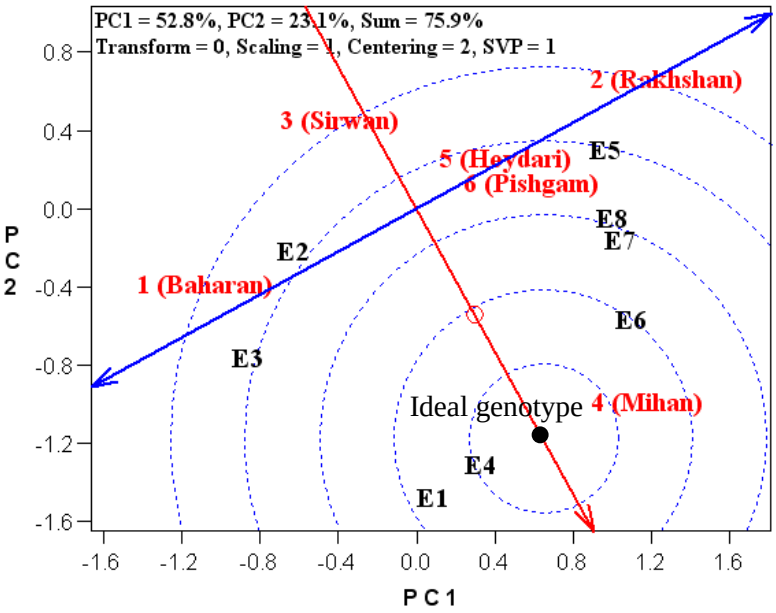
نشان‌دهنده پاسخ کم آن‌ها به تغییرات محیط است. مؤلفه اول و دوم جمعاً ۷۵/۹ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. مشابه با این مطالعه، از تکنیک بای‌پلات GGE به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای تخمین عملکرد ژنوتیپ در محیط‌های مختلف به‌طور گسترده توسط به‌نژادگران در سراسر جهان استفاده شده است (یان و همکاران ۲۰۰۷، محمدی و همکاران ۲۰۱۰، کوتیس و همکاران ۲۰۱۲، امیری و همکاران ۲۰۱۸).

در شکل ۵، رقم میهن با قرار گرفتن در فاصله دور از مبدأ در جهت مثبت، بالاترین میانگین عملکرد را داشت. در این پلات، خطی که دارای دو پیکان در انتهای خود است، نشان دهنده اثرمتقابل بیشتر با محیط‌ها (پایداری ضعیف‌تر) در هر دو جهت است. بنابراین ارقام بهاران و رخشان کمترین پایداری و سایر ارقام بیشترین پایداری را داشتند. همان‌طور که توسط یک دایره سیاه کوچک در شکل ۵ نشان داده شده است، رقم مطلوب رقمی است که کمترین فاصله را با ژنوتیپ ایده‌آل دارد (یان و همکاران ۲۰۰۷). بر این اساس، رقم میهن با کمترین فاصله نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل، به عنوان رقم مطلوب شناخته شد.



شکل ۴- شمای چندضلعی "کدام- برتر-کجا" در بای‌پلات ژنوتیپ × محیط

اطلاعات محیط‌ها (ترکیب سال در شرایط آبیاری)، در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۵- بای‌پلات GGE مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل

اطلاعات محیط‌ها (ترکیب سال در شرایط آبیاری)، در جدول ۱ ارائه شده است.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که تنش خشکی به ویژه در مرحله آبستنی باعث کاهش شدید عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن می‌شود. نتایج حاصله، دانش ما را در خصوص پیشرفت فنولوژیکی این شش رقم گندم نان بهبود بخشید که می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های مختلف تحقیقات کشاورزی بسیار مفید بوده و سبب بهبود حفظ آب در دسترس کشاورزی از طریق انجام آبیاری بر اساس مراحل حساس فنولوژیکی و نیز استفاده از ارقام متحمل به تنش در آن مرحله رشدی گردد. نتایج به وضوح نشان داد که مدل GGE بای‌پلات برای نشان دادن تفاوت‌های ارقام و همچنین توانایی تمایز و بازنمایی محیط‌های آزمایش، بسیار مؤثر بود که با نتایج کوتیس و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر کارا بودن تجزیه و تحلیل

GGE بای‌پلات در تشخیص برخی از ویژگی‌های خاص در ارقام مشخص که در محیط‌های مختلف بیان می‌شود، همخوانی دارد. در مجموع از نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شناخت مراحل حساس رشد و واکنش‌های عملکرد و اجزای عملکرد دانه به آبیاری، نقش مهمی در افزایش تولید گندم دارد. در مجموع، رقم میهن به دلیل دارا بودن ویژگی‌های بالقوه بالا، برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی در شرایط غیرقابل پیش‌بینی پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش برگرفته از پروژه تحقیقاتی به شماره مصوب ۹۶۰۴۱۷-۰۴۰-۰۳-۵۵-۲۴ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد که بدین‌وسیله اعلام قدردانی می‌گردد. همچنین از آقایان دکتر گودرز نجفیان، مهندس مصیب نوروزی، دکتر سیدافشین صفوی و خام دکتر فرحناز صیادی به دلیل همکاری‌های مرتبط با این پروژه، سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

Ahmadi V and Aharizad S. 2014. Evaluation of bread wheat recombinant inbred lines for water deficit stress tolerance indices. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 23(4): 9-22. (In Persian).

Alghabari F, Lukac M, Jones H and Gooding M. 2014. Effect of *Rht* alleles on the tolerance of wheat grain set to high temperature and drought stress during booting and anthesis. Journal of Agronomy and Crop Science, 200: 36-45. https://doi.org/10.1111/jac.12038.

Amiri R, Bahraminejad S and Cheghamirza K. 2018. Estimating genetic variation and genetic parameters for grain iron, zinc and protein concentrations in bread wheat genotypes grown in Iran. Journal of Cereal Science, 80: 16-23. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.01.009.

Blum A. 2010. Plant Breeding for Water-Limited Environments. Springer, London. pp. 1-210. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4

Farooq M, Hussain M and Siddique KHM. 2014. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. Critical Reviews in Plant Sciences, 33: 331-349. https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291.

Foroozanfar M, Bihamta M, Peyghambary A and Zeynali H. 2011. Evaluation of bread wheat genotypes under normal and water stress conditions for agronomic traits. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 21(3): 33-46. (In Persian).

Gouache D, Le Bris X, Bogard M, Deudon O, Page C and Gate P. 2012. Evaluating agronomic adaptation options to increasing heat stress under climate change during wheat grain filling in France. European Journal of Agronomy, 39: 62-70. https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.01.009.

Ihsan MZ, El-Nakhlawy FS, Ismail SM, Fahad S and Daur I. 2016. Wheat phenological development and growth studies as affected by drought and late season high temperature stress under arid environment. Frontiers in Plant Science, 7: 1-14. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00795.

Joudi M, Ahmadi A, Mohammadi V, Abbasi A and Mohammadi H. 2014. Genetic changes in agronomic and phenologic traits of Iranian wheat cultivars grown in different environmental conditions. Euphytica, 196: 237-249. https://doi.org/10.1007/s10681-013-1027-7

Khakwani AA, Dennett MD, Munir M and Abid M. 2012. Growth and yield response of wheat varieties to water stress at booting and anthesis stages of development. Pakistan Journal of Botany, 44: 879-886.

Kilic H and Yağbasanlar T. 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum*) cultivars. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici, 38: 164-170. https://doi.org/10.15835/nbha3814274.

Koutis K, Mavromatis AG, Baxevanos D and Koutsika-Sotiriou M. 2012. Multi environmental evaluation of wheat landraces by GGE biplot analysis for organic breeding. Agricultural Science, 3: 66-74. https://doi.org/10.4236/as.2012.31009.

Madani A, Rad AS, Pazoki A, Nourmohammadi G and Zarghami R. 2010. Wheat (*Triticum estivum* L.) grain filling and dry matter partitioning responses to source: sink modifications under postanthesis water and nitrogen deficiency. Acta Scientiarum Agronomy, 32: 145-151.
https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.6273.

Mohammadi R. 2018. Breeding for increased drought tolerance in wheat: a review. Crop and Pasture Science, 69: 223-241. https://doi.org/10.1071/CP17387.

Mohammadi R, Haghparast R, Amri A and Ceccarelli S. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. Crop and Pasture Science, 61: 92-101. https://doi.org/10.1071/CP09151.

Patil RM, Tamhankar SA, Oak MD, Raut AL, Honrao BK, Rao VS and Misra SC. 2013. Mapping of QTL for agronomic traits and kernel characters in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Euphytica, 190(1): 117-129. https://doi.org/10.1007/s10681-012-0785-y.

Rasheed A, Xia X, Ogbonnaya F, Mahmood T, Zhang Z, Mujeeb-Kazi A and He Z. 2014. Genome-wide association for grain morphology in synthetic hexaploid wheats using digital imaging analysis. BMC Plant Biology, 14: 128. https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-128

Sarto MVM, Sarto JRW, Rampim L, Rosset JS, Bassegio D, Da Costa PF and Inagaki AM. 2017. Wheat phenology and yield under drought: A review. Australian Journal of Crop Science, 11(8): 941-946. https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.08.pne351.

Shavrukov Y, Kurishbayev A, Jatayev S, Shvidchenko V, Zotova L, Koekemoer F, DE Groot S, Soole K and Langridge P. 2017. Early flowering as a drought escape mechanism in plants: how can it aid wheat production? Frontiers in Plant Science, 8: 1-8. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01950.

Shi J-F, Mao X-G, Jing R-L, Pang X-B, Wang Y-G and Chang X-P. 2010. Gene expression profiles of response to water stress at the jointing stage in wheat. Agricultural Sciences in China, 9(3): 325-330. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60100-0.

Stacks WJ, Deryng D, Foley JA and Navin R. 2010. Crop planting dates: an analysis of global patterns. Global Ecology and Biogeography, 19: 607-620. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00551.x.

Tabassum T, Farooq M, Ahmad R, Zohaib A, Wahid A and Shahid M. 2018. Terminal drought and seed priming improves drought tolerance in wheat. Physiology and Molecular Biology of Plants, 24(5): 845-856. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0547-y.

Van Bussel LGJ, Ewert F and Leffelaar PA. 2011. Effects of data aggregation on simulations of crop phenology. Agriculture, Ecosystems & Environment, 142: 75-84.
https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.019.

Venkateswarlu B and Shanker AK. 2012. Dryland agriculture: bringing resilience to crop production under changing climate. In: Venkateswarlu B, Shanker AK, Shanker C and Maheswari M. (Eds), Crop Stress and its Management: Perspectives and Strategies, (Dordrecht: Springer), 19-44. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2220-0_2

Villegas D, Alfaro C, Ammar K, Catedra MM, Crossa J, Garcia Del Moral LF and Royo C. 2016. Daylength, temperature and solar radiation effects on the phenology and yield formation of spring durum wheat. Journal of Agronomy and Crop Science, 202: 203-216. https://doi.org/10.1111/jac.12146.

White JW, Kimball BA, Wall GW, Ottman MJ and Hunt LA. 2011. Responses of time of anthesis and maturity to sowing dates and infrared warming in spring wheat. Field Crops Research, 124: 213-222. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.020.

Whitechurch EM, Slafer GA and Miralles DJ. 2007. Variability in the duration of stem elongation in wheat and barley genotypes. Journal of Agronomy and Crop Science, 193: 138-145.

https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00260.x.

Yan W. 2001. GGEbiplot–a windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal, 93: 1111-1118.
https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351111x.

Yan W and Frégeau-Reid J. 2018. Genotype by yield×trait (GYT) biplot: a novel approach for genotype selection based on multiple traits. Scientific Reports, 8: 8242.
https://doi.org/10.1038/s41598-018-26688-8.

Yan W, Kang M, Ma B, Woods S and Cornelius P. 2007. GGE biplot vs AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Science, 47: 643-655. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374.

Zadoks JC, Chang TT and Konzak CF. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, 14: 415-421. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x.

Zhang X, Wang S, Sun H, Chen S, Shao L and Liu X. 2013. Contribution of cultivar, fertilizer and weather to yield variation of winter wheat over three decades: a case study in the North China Plain. European Journal of Agronomy, 50: 52-59. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.005.

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 85-101

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Impact of Biological and Chemical Fertilizers on some Morphophysiological Traits and Yield of Canola (*Brassica napus* L.)

Yaghoub Raei[1*], Sara Azarnejad[2], Safar Nasrollahzadeh[1], Younes Kheirizadeh-Arough[1]

Received: 02 October 2023	Accepted: 08 February 2024

1- Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- MSc. Graduate of Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
* Corresponding Author; E-mail: yaegoob@yahoo.com

Abstract

Background & Objectives: One of the crops of the *Brassicaceae* family, which is regarded as one of the most significant oil plants in the world because of its oil content and ideal fatty acid composition, is canola. Nitrogen is one of the most crucial components that play a role in the synthesis of amino acids, proteins, nucleic acids, enzymes, chlorophyll, vitamins, secondary metabolites and ATP. Chemical fertilizers used carelessly cause a number of environmental problems, such as groundwater contamination, insect and microbe extinction, and decreased soil fertility. Using biological fertilizers is a crucial step in minimizing the use of chemical fertilizers and preventing the adverse impact caused with their application. Due to its wide range of adaptability to most of the country's climatic conditions, canola, one of the most significant oilseed plants in development, has enormous value in reducing dependence on the import of edible oil. Nevertheless, using biological fertilizers will also significantly reduce the negative environmental effects caused by the excessive use of synthetic inputs, particularly commercial fertilizers, in addition to reducing the use of chemical fertilizers. Due to these reasons, the current study was conducted to determine the best combination for nitrogen with biofertilizers in regards to yield, yield components, and percentage of canola oil.

Materials and methods: The experiment was conducted as a factorial based on randomized complete blocks design with three replications in a farm located in Marand city of East Azarbaijan province in 2019. Experimental treatments include chemical fertilizer at three levels (no application of fertilizer as a control and application of 125 and 250 kg ha^{-1} of urea) and bifertilizers at four levels (without biofertilizers as a control, application of Azoto barvar-1, Phosphate barvar-2 and the combined of Azotobarvar-1 + Phosphate barvar-2).

Results: Application of different levels of urea fertilizer increased plant height, leaf area, and number of pods per plant, number of seeds per pod, harvest index, chlorophyll index, plant dry weight, oil percentage, and green cover percentage of canola. However, it had non-significant effect on oil yield. On the other hand, the application of bifertilizers improved plant dry weight, oil percentage and oil yield, but did not have a significant effect on the other studied traits. The interaction effect between chemical fertilizer and biofertilizer had significant effect on the number of seeds and yield of the plant. The highest number of seeds per plant and grain yield was obtained at the combination of biofertilizers with the application of 250 kg ha-1 of urea. Combined use of Azotobarvar-1 + Phosphate barvar-2 biofertilizers with the consumption of 125 and 250 kg ha-1 of urea improved the yield by 42.9% and 81.4%, respectively.

Conclusion: Based on the results of this study, the combined application of Azotobarvar-1 + Phosphate barvar-2 biofertilizers along with nitrogen fertilizer due to the improvement of yield, yield components and oil content can be recommended for profitable of canola production in fields.

Keywords: Azotobarvar-1, Nitrogen, Oil, Phosphate barvar-2, Yield

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

Copyright@ 2025 Yaghoub Raei E-mail: yaegoob@yahoo.com
https://doi.org/10.22034/saps.2023.58690.3125

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۰۱-۸۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد کلزا (*Brassica napus L.*)

یعقوب راعی[1*]، سارا آذرنژاد[2]، صفر نصراله‌زاده[1]، یونس خیری‌زاده آروق[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

۱- گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
* مسئول مکاتبه: E-mail: yaegoob@yahoo.com

چکیده

مقدمه و هدف: کلزا یکی از گیاهان زراعی خانواده براسیکاسه می‌باشد که به دلیل میزان روغن و ترکیب مناسب اسیدهای چرب به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در دنیا شناخته می‌شود. نیتروژن یکی از عناصر پرمصرف مهم است که در تشکیل اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها، کلروفیل، ویتامین‌ها، متابولیت‌های ثانویه و ATP نقش دارد. استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی منجر به آسیب‌های زیست‌محیطی گوناگونی از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، از بین رفتن میکروارگانیسم‌ها و حشرات مفید و کاهش حاصلخیزی خاک می‌گردد. یکی از روش‌های مهم در راستای کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و جلوگیری از صدمات ناشی از کاربرد آن‌ها استفاده از کودهای زیستی می‌باشد. کلزا یکی از گیاهان دانه روغنی مهم در حال توسعه به دلیل سازگاری وسیع به بخش اعظمی از شرایط اقلیمی کشور، اهمیت بالایی را در کاهش وابستگی به واردات روغن خوراکی دارا است. از طرفی کاربرد کودهای زیستی علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی، در تقلیل اثرات سوء زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های سنتتیک به‌ویژه کودهای تجارتی نیز اثرات قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. این عوامل موجب گردید تا پژوهش حاضر با هدف تعیین مناسب‌ترین ترکیب کود زیستی با نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن کلزا اجرا گردد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در شهرستان مرند استان آذربایجان‌شرقی در سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی شامل کود شیمیایی در سه سطح (عدم مصرف کود به عنوان شاهد، مصرف ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره) و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی به عنوان شاهد، کاربرد ازتوبارور ۱، کاربرد فسفات بارور ۲، کاربرد توأم ازتوبارور ۱ + فسفات بارور ۲) بودند.

یافته‌ها: کاربرد سطوح مختلف کود اوره سبب افزایش ارتفاع بوته، سطح برگ، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، شاخص برداشت، شاخص کلروفیل، وزن خشک بوته، درصد روغن و درصد پوشش سبز کلزا گردید. با این وجود بر عملکرد روغن تأثیر معنی‌داری را نداشت. از طرفی مصرف کودهای زیستی موجب بهبود وزن خشک بوته، درصد و عملکرد روغن گردید، ولی بر روی سایر صفات مورد بررسی تأثیر معنی‌داری نداشت. اثر متقابل کود شیمیایی در کود زیستی نیز بر شاخص‌های تعداد دانه در بوته و عملکرد بوته تأثیرگذار بود. به طوری که بیش‌ترین تعداد دانه در بوته و

عملکرد دانه از ترکیب تیماری کاربرد توأم کودهای زیستی به همراه استفاده از ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره به دست آمد. کاربرد تلفیقی کودهای زیستی ازتوبارور ۱+ فسفات بارور ۲ توأم با مصرف ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در مقایسه با شاهد میزان عملکرد را به ترتیب ۴۲/۹ و ۸۱/۴ درصد بهبود بخشید.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، کاربرد توأم کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ در تلفیق با کود نیتروژنه به دلیل بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای روغن می‌تواند برای سودمندی تولید گیاه کلزا در مزارع توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: ازتوبارور ۱، روغن، عملکرد، فسفات بارور ۲، نیتروژن

مقدمه

دانه‌های روغنی به واسطه تأمین اسیدهای چرب ضروری برای انسان و دام یکی از مهم‌ترین منابع غذایی در جهان به شمار می‌روند. یکی از این دانه‌های روغنی کلزا می‌باشد که پس از سویا و نخل به عنوان سومین گیاه دانه روغنی مورد کشت قرار می‌گیرد (خردمند و همکاران ۲۰۱۴). برگ‌ها و ساقه‌های کلزا به‌دلیل دارا بودن فیبر کم و پروتئین زیاد می‌تواند در تغذیه دام مورد استفاده قرار گیرد (بانولس و همکاران ۲۰۰۲). روغن این گیاه محتوی کم‌ترین میزان اسیدهای چرب اشباع و مقدار زیادی اسید اولئیک به عنوان اسید چرب غیراشباع است که با دارا بودن ترکیبات فعال زیستی مانند پلی‌فنول‌ها، فیتواسترول‌ها، توکوفرول و سایر آنتی‌اکسیدانت‌ها نقش مهمی در جلوگیری از برخی بیماری‌های مزمن مانند بیماری‌های قلبی، سرطان، آرتروز و پیری دارد (سزیدوسکا-سزرنیاک و همکاران ۲۰۱۰؛ مارهوک و همکاران ۲۰۱۹). از طرفی روغن این گیاه به دلیل مقادیر کم اسید اروسیک در آن به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (محمدزاده و نائینی ۲۰۰۷). پروتئین دانه این گیاه با دارا بودن مقدار قابل توجهی از اسید آمینه‌های ضروری از قبیل لیزین، متیونین و سیستئین از ارزش غذایی بالایی برخوردار است (مارهوک و همکاران ۲۰۱۹).

کاربرد اصولی کودها و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه سبب افزایش تولید در واحد سطح خواهد شد. نیتروژن یکی از عناصر پرمصرف می‌باشد که در ساختار رنگدانه‌ها، متابولیت‌های ثانویه، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها نقش دارد (ابراهیم و همکاران ۲۰۱۸). این عنصر نقش کلیدی در متابولیسم و تولید انرژی گیاهان دارد و عملکرد دانه، دوام سطح برگ، شاخص سطح برگ و میزان فتوسنتز گیاهان را افزایش می‌دهد. با این حال مصرف بیش از حد آن نیز نه تنها باعث آلودگی محیط زیست می‌شود، بلکه کاهش عملکرد دانه را در پی خواهد داشت (ارشد و همکاران ۲۰۱۳). مطالعات گوناگون تأثیر مثبت نیتروژن در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کلزا را نشان داده‌اند (لین و همکاران ۲۰۲۰؛ ژو و همکاران ۲۰۲۰). فسفر نقش مهمی را در متابولیسم گیاه مانند توسعه ریشه، فتوسنتز، انتقال مواد غذایی درون گیاه، ساختار دیواره سلولی و اندام‌های زایشی گیاه (شکری-واحد و همکاران ۲۰۱۲)، مقاومت به تنش‌ها (زمانی و همکاران ۲۰۱۴)، تشکیل و انتقال کربوهیدرات‌ها، گلدهی و تشکیل میوه (آلاهی و همکاران ۲۰۱۴) بر عهده دارد و کمبود آن به عنوان یکی از عوامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی به شمار می‌رود (شکری‌واحد و همکاران ۲۰۱۲). عمران و همکاران (۲۰۲۳) اظهار داشتند که کاربرد فسفر سبب افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد روغن و وزن هزار دانه گیاه کلزا گردید.

مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در طول زمان باعث آسیب‌های زیست محیطی گوناگونی از قبیل تخریب و تغییر کیفیت خاک و کاهش حاصلخیزی آن، آلودگی منابع آبی، از بین رفتن میکروارگانیسم‌های مفید، ورود آلودگی به زنجیره‌های غذایی، کاهش کیفیت محصولات

کشاورزی و جلوگیری از عملکرد طبیعی اکوسیستم می-گردد (ناگاناندا و همکاران ۲۰۱۰؛ الیسی و همکاران ۲۰۱۴). کودهای زیستی یک جایگزین مناسب برای کودهای شیمیایی هستند که سبب افزایش رشد و عملکرد گیاه، بهبود خصوصیات خاک (اوجها و همکاران ۲۰۱۶)، کاهش هزینه‌های کودی و انتشار گازهای گلخانه‌ای (حسنی و همکاران ۲۰۱۴) و جلوگیری از صدمات زیست محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی می‌گردند (بارمن و همکاران ۲۰۱۷). یکی از مناسب‌ترین این کودها باکتری‌های افزاینده رشد گیاهی هستند که به صورت بذرمال و یا به صورت ترکیب با خاک مصرف می‌شوند و رشد گیاهان را به طور مستقیم و غیرمستقیم بهبود می‌بخشند (شویبتیز و همکاران ۲۰۱۴). اثر مستقیم آن‌ها می‌تواند از طریق تثبیت نیتروژن، محلول‌سازی فسفر نامحلول خاک، تولید سیانید هیدروژن، تولید فیتوهورمون‌هایی مانند اکسین، سیتوکسین و جیبرلین و کاهش تولید اتیلن باشد (کینس و همکاران ۲۰۱۸). اثر غیرمستقیم باکتری‌ها بر رشد گیاهان از طریق کاهش اثرات زیان‌بار پاتوژن‌ها از طریق تولید آنتی بیوتیک‌ها، آزادسازی سایدروفورها، سنتز متابولیت‌های ضدقارچی و کاهش تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی است (ایتلیما و همکاران ۲۰۱۸). صباغ و همکاران (۲۰۱۵) گزارش نمودند که کاربرد کود شیمیایی و زیستی نیتروژنه موجب بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی کلزا گردید. دەمرده (۲۰۱۳) بیان داشت که کود زیستی فسفر بارور ۲ موجب افزایش تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و ارتفاع بوته کلزا گردید. کولاچی و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند که کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی باعث افزایش رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا می‌شود. افزایش عملکرد دانه، درصد روغن دانه، میزان پروتئین دانه و عملکرد روغن دانه کلزا با کاربرد کود های زیستی به اثبات رسیده است (کیانی و همکاران ۲۰۱۳). اعتمادی و همکاران (۲۰۱۴) بیان داشتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد محتوای کلروفیل گلرنگ را افزا یش داد.

اهمیت کلزا به عنوان یکی از منابع مهم تأمین روغن مورد نیاز کشور و نیز لزوم تأمین نیتروژن و فسفر در بهبود عملکرد کمی و کیفی کلزا از یک سو و نقش کودهای زیستی در کاهش مصرف کودهای شیمیایی و بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی از سوی دیگر موجب شد تا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کود شیمیایی نیتروژن و کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاه کلزا اجرا گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹ در مزرعه‌ای در شهرستان مرند استان آذربایجان‌شرقی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. این منطقه دارای عرض جغرافیایی ۴۳ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۷۷ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۳۴ متر از سطح دریا است. میانگین دمای سالانه ۱۴/۹ درجه سیلسیوس، میانگین حداکثر دمای سالانه ۲۰/۹ درجه سیلسیوس، میانگین حداقل دمای سالیانه ۹/۱ درجه‌ی سیلسیوس و میانگین بارندگی سالانه‌ی این ناحیه ۲۰۹/۵ میلی‌متر است، pH خاک‌های منطقه در محدوده‌ی قلیایی تا متوسط قرار دارد و خطر شوری قابل ملاحظه‌ای در سطح الارض خاک‌ها وجود ندارد. مشخصات فیزیکو-شیمیایی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات فیزیکو- شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق (cm)	pH گل اشباع	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (٪)	کربنات کلسیم معادل (٪)	نیتروژن کل (٪)	عناصر قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)						اجزای معدنی خاک (٪)			کلاس بافت خاک
						P	K	Zn	Fe	Mn	Cu	رس	سیلت	شن	
۰-۳۰	۷/۷	۱/۱	۱/۳	۸/۶	۰/۰۳۹	۱۱	۴۸۵	۱/۰۸	۹/۹	۱۴/۴	۳/۷۵	۱۶	۲۵	۵۹	لوم شنی

تیمارهای آزمایشی شامل کود شیمیایی در سه سطح (عدم مصرف کود به عنوان شاهد، مصرف ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره) و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی به عنوان شاهد، کاربرد ازتوبارور ۱، کاربرد فسفات بارور ۲ و کاربرد توأم ازتوبارور ۱ + فسفات بارور ۲) بودند. نیتروژن از منبع اوره (حاوی ۴۶ ٪ نیتروژن) تأمین گردید. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح بود. هر کرت آزمایشی شامل سه ردیف (جوی و پشته) کاشت به طول ۳ متر و عرض ۲ متر بود. فاصله بین کرت‌های مجاور در یک بلوک نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. بذرها در اوایل بهار پس از ضد عفونی به فاصله ۴ سانتی‌متر در هر ردیف در عمق ۲-۱ سانتی-متری کاشت شدند. بلافاصله پس از کاشت آبیاری صورت گرفت و آبیاری‌های بعدی براساس نیاز گیاهان انجام پذیرفت. مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی و به‌طور مداوم انجام گردید. کودهای زیستی از شرکت زیست فناور سبز تهیه گردیدند و هر کدام از آن‌ها حاوی 10^7 تا 10^8 گرم از جمعیت باکتری در یک گرم از محصول هستند و طبق دستور شرکت سازنده به روش تلقیح با بذر با توجه به‌دستورالعمل مندرج در بسته‌بندی شرکتی آن‌ها استفاده شد. کود زیستی فسفات بارور ۲ حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های پانتوآ آگلومرانس (سویه P25) و سودوموناس پوتیدا (سویه P13) می‌باشد که به ترتیب با کاربرد دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و اسید فسفاتاز باعث تجزیه ترکیبات فسفره نامحلول و در نتیجه قابل جذب شدن آن برای گیاه می‌گردند (توحیدی‌نیا و همکاران ۲۰۱۳). کود زیستی ازتوبارور ۱ دارای باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن است و توانایی ساخت و ترشح مواد بیولوژیکی فعال از قبیل اسید نیکوتینیک، اسید پنتوتنیک، بیوتین، ویتامین‌های B، اکسین، جیبرلین و غیره را در محیط ریشه گیاه دارا هست که این مواد محرک رشد در توسعهٔ سیستم ریشه-ای گیاه نقش اساسی دارند و با بهبود جذب آب و عناصر غذایی، عملکرد گیاهان زراعی و خصوصیات خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند (شاتا و همکاران ۲۰۰۷).

در زمان رسیدگی به‌منظور تعیین اجزای عملکرد، نیم مترمربع از هر واحد آزمایشی برداشت گردید و از بین بوته‌های برداشت شده، تعداد ۵ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب گردید و ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و تعداد دانه در بوته در بوته‌های انتخابی اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل از آن‌ها به‌عنوان ارزش آن صفت در جدول تجزیه واریانس منظور گردید. وزن خشک بوته از طریق توزین وزن خشک شده ۵ بوته در آون الکتریکی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت توسط ترازو تعیین و میانگین آن‌ها ثبت شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از هر کرت در اواسط مرحله‌ی گلدهی (کد فنولوژی ۶۰ بر اساس مقیاس BBCH) ۵ بوته نمونه‌برداری و سپس تمامی برگ‌های بوته‌ها جدا گردید و اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از رابطه سطح و وزن برگ‌ها انجام شد. بدین منظور بعد از توزین برگ‌ها، دیسک‌هایی با استفاده از لوله مسی با مساحت دهانه مشخص تهیه و توزین گردید. با استفاده از داده‌های مربوط به وزن کل برگ‌ها، وزن دیسک‌ها و مساحت دیسک‌ها و با ایجاد تناسب، مساحت برگ‌ها محاسبه شد(عدل ۲۰۰۷؛ صادقی و میری ۲۰۲۲). برای اندازه‌گیری درصد پوشش سبز از چارچوبی به ابعاد ۵۰ ×۵۰ سانتی‌متر استفاده گردید. سطح داخلی این چارچوب به‌وسیله ریسمانی به۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم و چهار پایه متحرک نیز در گوشه-های آن تعبیه شده بود که این وسیله در داخل هر واحد آزمایشی طوری قرار داده می‌شد که با مشاهده پوشش گیاهی از قسمت فوقانی آن، ارزیابی امکان‌پذیر باشد. به هریک از تقسیمات صدتایی چارچوب که حداقل نصف آن با سطح سبز گیاه اصلی پر شده بود، نمره یک و در غیر این صورت نمره صفر داده میشد. مجموع تعداد خانه‌های پر، درصد پوشش سبز را مشخص کرد (یعقوبیان و همکاران ۲۰۱۸). شاخص کلروفیل در مرحله آغاز گلدهی با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (SPAD) در بالاترین برگ ۵ بوته اندازه‌گیری شد و از میانگین داده‌ها در محاسبات آماری استفاده شد. در زمان برداشت نهایی، خورجین بوته‌های موجود در مساحتی معادل یک متر

مربع برداشت و پس از خرمن‌کوبی وزن دانه‌های حاصل بعد از هوا خشک کردن به عنوان عملکرد دانه در واحد سطح در نظر گرفته شد.

شاخص برداشت

شاخص برداشت با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (نتانوس و کوتروباس ۲۰۰۲).

[رابطه ۱] ۱۰۰× عملکرد بیولوژیک / عملکرد دانه = شاخص برداشت

سنجش درصد روغن

جهت اندازه‌گیری درصد روغن ۵ گرم دانه کلزا داخل کاغذ صافی وزن گردید، سپس کاغذ صافی تا شده و در داخل قسمت استخراج کننده دستگاه سوکسله قرار گرفت. از حلال هگزن، بترولیوم اتر یا دی اتیل اتر استفاده شد. به این صورت که آنقدر حلال اضافه گردید تا یک مرتبه از قسمت استخراج شونده تخلیه شود. سپس جریان آب را بر قرار کرده و حداقل ۳ ساعت حرارت داده شد تا عمل استخراج تکمیل شود. در نهایت کاغذ صافی حاوی نمونه داخل آون خشک و توزین گردید. درصد روغن با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (کوبساد و همکاران ۲۰۰۸). عملکرد روغن نیز از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد روغن محاسبه گردید.

[رابطه ۲] W_2-W_1/W_2 = درصد روغن

در این رابطه W_2 وزن کاغذ صافی و نمونه در ابتدای کار و W_1 وزن کاغذ صافی و نمونه در انتهای کار

محاسبات آماری

قبل از تجزیه آماری، تست نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها انجام شد. برای تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار MSTAT-C استفاده گردید و میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردیدند. برای ترسیم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات (جدول ۲)، ارتفاع بوته تحت تأثیر سطوح کود شیمیایی قرار گرفت، ولی این صفت تحت تأثیر کاربرد کود زیستی قرار نگرفت. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها مشخص گردید که بیش‌ترین ارتفاع بوته (۷۳/۸ سانتی-متر) از تیمار کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و کم-ترین آن نیز متعلق به تیمار شاهد (۵۶/۴ سانتی‌متر) بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که کاربرد ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی اوره ارتفاع بوته را در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۶/۱ و ۳۰/۸ درصد افزایش داد (جدول ۳). اوزر (۲۰۰۳) گزارش داد که ارتفاع بوته کلزا با کاربرد کود نیتروژن افزایش می‌یابد. بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد کود نیتروژنه، در کنار کودهای فسفر و پتاسیم میزان فتوسنتز گیاهان را افزایش می‌دهد (زینگ و وو ۲۰۱۴) و از آن‌جایی که رشد طولی ساقه وابسته به انتقال آسیمیلات‌ها از برگ به ساقه‌ها است (پورتر و همکاران ۲۰۱۱)، بنابراین با افزایش میزان فتوسنتز بر رشد طولی ساقه کلزا افزوده می‌شود. هم‌چنین عنوان شده است که نیتروژن به دلیل افزایش رشد رویشی و افزایش تقسیم سلولی، سبب افزایش ارتفاع بوته می‌شود (حمزه‌ای و همکاران ۲۰۱۵).

سطح برگ و درصد پوشش سبز

جدول تجزیه واریانس نشان داد که سطح برگ و درصد پوشش سبز به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر اصلی کودهای شیمیایی قرار گرفت، ولی کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر این شاخص‌های کلزا نداشت (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل، بین تیمارهای عدم کاربرد کود شیمیایی و کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره از نظر سطح برگ اختلاف آماری معنی داری وجود نداشت، تیمار کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره سبب افزایش سطح برگ کلزا به میزان ۳۸/۱ درصد گردید (جدول ۳). بر این اساس بیش ترین سطح برگ (۴۵۶/۷ سانتی‌متر مربع) تحت شرایط کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی و کم‌ترین این شاخص

در حالت عدم کاربرد کود (۳۳۰/۷ سانتی‌متر مربع) مشاهده گردید (جدول ۳). هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر درصد پوشش سبز در کاربرد ۲۵۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار اوره (به ترتیب ۷۶/۳۲ و ۷۲/۸۶ درصد) و حداقل آن در تیمار عدم کاربرد کود

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر صفات رشدی، اجزای عملکرد، عملکرد و محتوای روغن کلزا

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	سطح برگ	درصد پوشش سبز	وزن خشک بوته	تعداد خورجین	تعداد دانه در خورجین	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	شاخص محتوای کلروفیل	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن
تکرار	۲	۸۸/۰۹	۱۱۵۱۸/۶۷	۲۲/۹۴	۱/۲۰۴	۱۳۷/۳۳	۱۳/۸۷	۲۸۹۳۶۴/۲۷	۰/۱۵	۲۳/۳۴	۰/۵۲	۵/۵۷۴	۱/۳۰۲	۰/۰۲
کود شیمیایی (A)	۲	۹۰۸/۹۷ **	۵۲۸۷۳/۸۳ **	۲۴۷/۳۴ **	۷۴/۲۶ **	۲۷۹۷/۸۶ **	۱۰۲/۶ **	۶۰۰۷۷۲۴/۵۷ **	۰/۰۲ns	۶۴/۶۹ *	۲۸/۰۹ **	۳/۱۸۸ **	۴۲/۶۱ *	۰/۰۲۵ ns
کود زیستی (B)	۳	۲۴۲/۵۴ ns	۱۰۰۸۶/۰۷ ns	۱۱۹/۶۸ ns	۴۵/۴۱ **	۵۸۲/۴۷ ns	۲۵/۴۶ ns	۱۳۵۷۲۳۷/۳۹ **	۰/۰۵ ns	۴/۹۲ ns	۶/۶ ns	۰/۴۴۳ **	۵۵/۹۳ **	۰/۰۴۹ *
A × B	۶	۲۹۳/۸ ns	۱۳۱۲۸/۴۵ns	۳/۵۵ ns	۳/۷۹ ns	۲۱۸/۹۷ ns	۱۱/۲۰۳ ns	۶۳۳۸۲۵/۶۹ *	۰/۰۹ ns	۳۹/۵ ns	۵/۵۸ ns	۰/۴۱۴ **	۶/۷۱ ns	۰/۰۲۸ ns
خطا	۲۲	۱۲۷/۴۵	۵۳۸۸/۲۵	۴۲/۳	۴/۸۵	۲۰۵/۷۹	۱۰/۵۶	۱۹۵۸۴۳/۴۶	۰/۰۴	۱۷/۵	۲/۰۶	۰/۰۱۲	۷/۶۹	۰/۰۱۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۷/۳	۱۹/۲۳	۹/۰۱	۱۳/۹۸	۸/۹۲	۱۹/۳	۱۶/۱۶	۷/۲۶	۱۲/۲۶	۶/۱۲	۳/۲۶	۷/۷۳	۱۰/۵۴

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

(۶۷/۳۲ درصد) مشاهده گردید (جدول ۳). کاربرد ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در مقایسه با عدم کاربرد کود درصد پوشش سبز گیاه کلزا را به ترتیب ۸/۲ و ۱۳/۳ درصد افزایش داد (جدول ۳) که می‌توان دلیل آن را به افزایش ارتفاع بوته و رشد رویشی بهتر گیاه و نیز افزایش سطح برگ گیاه تحت تأثیر کاربرد کود نیتروژن نسبت داد که در نتیجه موجب بهبود سطح پوشش سبز در مزرعه گردیده است. در پژوهشی مشخص گردید که کاربرد کود نیتروژنی تأثیر قابل ملاحظه‌ای را بر افزایش سطح برگ گیاهان دارد و کمبود آن از طریق تسریع پیری برگ‌ها و کاهش تعداد برگ‌های تولیدی سبب کاهش سطح برگ می‌شود (اکمل و همکاران ۲۰۱۰). از طرفی نیتروژن به واسطه افزایش تقسیم سلولی و افزایش رشد سلول‌های برگی موجب افزایش سطح برگ می‌شود (اوزتورک ۲۰۱۰). احمد و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که کود نیتروژنی با افزایش تولید اجزای سلولی و پتانسیل آبی گیاه، رشد سلول‌های برگ و در نتیجه سطح برگ و درصد پوشش سبز گیاه ذرت را افزایش می‌دهد (احمد و همکاران ۲۰۱۷). مقصودی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای گیاه جهت جذب عناصر غذایی و هم‌چنین بهبود حاصلخیزی خاک در شرایط استفاده از کودهای شیمیایی و زیستی سبب افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه درصد پوشش سبز گیاهی می‌شود .

تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین

اثر اصلی کود زیستی بر تعداد دانه در خورجین کلزا غیرمعنی‌دار بود، در صورتی که اثر اصلی کودهای شیمیایی تأثیر معنی‌داری را بر این صفت باعث گردید (جدول ۲). در دو تیمار کاربرد ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره تعداد خورجین در بوته به ترتیب ۱۶۱/۵ و ۱۷۵/۸ عدد بود که در مقایسه با عدم کاربرد کود شیمیایی (۱۴۵/۳ عدد) به ترتیب به میزان ۱۱/۱ و ۲۱ درصد بیش‌تر بود (جدول ۳). هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، دارای بالاترین تعداد دانه در خورجین بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را با کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نشان نداد (جدول ۳). عدم کاربرد کود (شاهد) نیز پایین ترین تعداد دانه در خورجین (۱۳/۷۶ عدد) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). نتایج نشان داد که کاربرد ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار در مقایسه با شاهد تعداد دانه در بوته را به ترتیب ۲۴/۹ و ۴۲/۲ درصد بهبود بخشید (جدول ۳). تعداد خورجین در بوته مشخصه تعیین‌کننده پتانسیل عملکرد کلزا است، زیرا خورجین‌ها از یک طرف در برگیرنده تعداد دانه‌ها و از طرف دیگر

تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز دانه‌ها و تعیین-کننده وزن آن‌ها هستند (آدامز و گرافیوس ۲۰۰۱). زانگ و سدوم (۲۰۰۵) بیان داشتند که افزایش کاربرد نیتروژن سبب افزایش تعداد خورجین در بوته گردید. ایشان بیان داشتند که کمبود نیتروژن سبب افزایش درصد ریزش گل‌ها در حین تلقیح و یا پس از آن سبب کوتاه شدن مرحله‌ی گلدهی شده و از این طریق سبب کاهش تعداد خورجین در بوته می‌شود. اوزتورک (۲۰۱۰) و مدنی و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده نمودند که تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین با کاربرد کود شیمیایی افزایش می‌یابد. یین و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش نمودند که تعداد خورجین با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزایش پیدا کرد. عجم‌نوروزی و میرزایی (۲۰۰۷) نشان دادند که افزایش مصرف نیتروژن از طریق دسترسی بهتر نیتروژن و کاهش رقابت در پر شدن دانه‌ها سبب افزایش تعداد دانه در خورجین می‌گردد. کاربرد نیتروژن، به دلیل افزایش سطح سبز گیاهی و تعداد شاخه فرعی در کلزا، منجربه افزایش تولید مواد فتوسنتزی و باروری گل‌ها و در نتیجه افزایش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین می‌شود (بایبوردی ۲۰۱۰).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح کود اروه بر برخی صفات گیاه کلزا

سطح اوره	ارتفاع بوته (cm)	سطح برگ (cm^2)	تعداد خورجین در بوته (no/plant)	تعداد دانه در خورجین (no/m^2)	شاخص برداشت (%)	شاخص کلروفیل	درصد پوشش سبز (%)
شاهد	۵۶/۴۳ b	۳۳۰/۷ b	۱۴۵/۳ c	۱۳/۷۶ b	۳۱/۵۴ b	۲۷/۳۳ b	۶۷/۳۲ b
۱۲۵ کیلوگرم در هکتار	۶۵/۵۵ ab	۳۵۷/۶ b	۱۶۱/۵ b	۱۷/۱۹ a	۳۴/۸۱ ab	۲۸/۱۷ ab	۷۲/۸۶ a
۲۵۰ کیلوگرم در هکتار	۷۳/۸۳ a	۴۵۶/۷ a	۱۷۵/۸ a	۱۹/۵۸ a	۳۶/۰۳ a	۳۰/۳ a	۷۶/۳۲ a

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

شاخص برداشت و شاخص کلروفیل

نتایج حاکی از آن است که بین سطوح مختلف تیمارهای کود شیمیایی از نظر شاخص برداشت و شاخص کلروفیل تفاوت معنی‌داری وجود دارد، با این وجود اثر کودهای زیستی مورد بررسی بر روی این شاخص‌ها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها بیش‌ترین شاخص برداشت کلزا (۳۶/۰۳ درصد) و شاخص کلروفیل (۳۰/۳) در شرایط کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و کم ترین این شاخص‌ها (به ترتیب ۳۱/۵۴ درصد و ۲۷/۳۳) تحت شرایط بدون کاربرد کود حاصل شد (جدول ۳). مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره شاخص برداشت و شاخص کلروفیل را در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۴/۲ و ۱۰/۸ درصد و مصرف ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره میزان این شاخص‌ها را نسبت به شاهد به ترتیب ۱۰/۳ و ۳ درصد بهبود بخشید (جدول ۳). یین و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده نمودند که کود شیمیایی نیتروژنه، فسفره و پتاسه سبب افزایش شاخص برداشت کلزا گردید و اظهار داشتند که بهبود شاخص برداشت با کاربرد کود شیمیایی را می‌توان به اثر مثبت آن بر عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد بیولوژیکی نسبت داد، بدین صورت که اثر مثبت کود بر رشد زایشی، بیش‌تر از رشد رویشی آن بوده است. افزایش شاخص برداشت تحت تأثیر نیتروژن به نقش مؤثر آن در توزیع آسیملات-ها و افزایش عملکرد اقتصادی نسبت داده شده است (نورالدین و همکاران ۲۰۰۳). محمدی و همکاران (۲۰۱۱) نیز در پژوهشی بر روی کلزا به این نتیجه رسیدند که کاربرد کود شیمیایی افزایش معنی‌داری را در شاخص کلروفیل باعث گردید. نیتروژن از مهم ترین عواملی است که بر روی میزان کلروفیل برگ‌ها تأثیر می‌گذارد و از طریق شرکت در ساختار کلروفیل باعث ایجاد شرایط مناسب برای تولید کلروفیل می‌گردد (باراری تاری و

همکاران ۲۰۱۳). زنجانی و همکاران (۲۰۲۱) در کلزا و حکمعلی‌پور و دربندی (۲۰۱۱) در ذرت نشان دادند که کاربرد کود نیتروژن سبب بهبود شاخص کلروفیل گردید.

وزن خشک بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی کود شیمیایی و کود زیستی بر وزن خشک بوته معنی‌دار گردید، در صورتی که اثر متقابل این تیمارها تأثیر معنی-داری را بر روی این صفت نشان نداد (جدول ۲). کود شیمیایی اوره و کود زیستی سبب افزایش وزن خشک بوته‌های کلزا گردید. به طوری که بیش‌ترین وزن خشک بوته (۱۸/۲۳ گرم) در شرایط کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و کم‌ترین وزن خشک بوته (۱۳/۲۶ گرم) در شرایط بدون کاربرد کود به دست آمد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها مشخص کرد که کاربرد ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در مقایسه با عدم مصرف کود وزن خشک بوته را به ترتیب ۱۹ و ۳۷/۴ درصد افزایش داد (جدول ۴). اثر اصلی کودهای زیستی نیز نشان داد که حداکثر وزن خشک بوته (۱۸/۷۴ گرم) در حالت کاربرد توأم کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ مشاهده گردید (جدول ۴). تیمار عدم کاربرد کود زیستی (شاهد) نیز حداقل وزن خشک بوته (۱۳/۳۴ گرم) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). بر این اساس مصرف کودهای زیستی ازتوبارور ۱، فسفات بارور ۲ و مصرف همزمان آن‌ها وزن خشک بوته را به ترتیب ۱۳/۴، ۱۸/۵ و ۴۰/۴ درصد در مقایسه با عدم کاربرد کود زیستی بهبود بخشید (جدول ۴). افزایش وزن خشک کلزا تحت تأثیر نیتروژن در مطالعات متعدد به اثبات رسیده است (یاهبی و همکاران ۲۰۲۲؛ محمد و همکاران ۲۰۲۲). گزارش گردیده است که کاربرد نیتروژن از طریق افزایش سطح و دوام برگ سبب افزایش میزان فتوسنتز در واحد سطح شده و در نتیجه تجمع ماده خشک در گیاه را افزایش می‌دهد (مجد و امام ۲۰۱۳). همچنین عنوان شده است که نیتروژن در فعالیت‌های فتوسنتزی و ساخت کربوهیدرات‌ها و کلرفیل نقش مهمی را ایفا می‌کند و منجر به افزایش رشد رویشی و تجمع ماده خشک در گیاه می-شود (خمدی و همکاران ۲۰۱۵). راهی (۲۰۱۳) نشان دادند که کاربرد کود زیستی سبب افزایش وزن خشک بوته کلزا گردید و بیان داشت که کودهای زیستی از طریق افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی و تولید مواد محرک رشد، بر میزان تولید ماده خشک گیاهان می افزایند. پاتل و همکاران (۲۰۱۶) اظهار داشتند که باکتری-های موجود در کودهای زیستی با متعادل کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی مورد نیاز گیاه، سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه و هم‌چنین ترشح اسیدهای آمینه مختلف و انواع آنتی‌بیوتیک موجب رشد و توسعه ریشه و اندام هوایی می‌شوند.

درصد و عملکرد روغن

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی کود زیستی بر درصد و عملکرد روغن کلزا معنی‌دار گردید. با این وجود اثر اصلی کود شیمیایی تنها بر درصد روغن تأثیر معنی‌داری را دارا بود. اثر متقابل کود شیمیایی در کود زیستی نیز تأثیر معنی‌داری را بر درصد و عملکرد روغن نداشت (جدول ۲). تیمارهای کاربرد ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به ترتیب باعث افزایش ۴ و ۱۰/۸ درصدی روغن دانه کلزا در مقایسه با شرایط بدون کود شدند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین درصد روغن (۳۷/۹۲ درصد) در حالت مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره مشاهده گردید. کم‌ترین درصد روغن (۳۴/۲ درصد) متعلق به تیمار شاهد (بدون مصرف کود شیمیایی) بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را با تیمار مصرف ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار اوره نشان نداد (جدول ۴). اثر اصلی کودهای زیستی مشخص کرد که بالاترین درصد روغن (۳۹/۰۴ درصد) در تیمار کاربرد توأم کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ و پایین‌ترین میزان آن (۳۳/۰۱ درصد) در تیمار بدون کاربرد کود زیستی به دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها مشخص کرد که بیش‌ترین عملکرد روغن (۱/۱۵۶ تن در هکتار) متعلق به کاربرد همزمان کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ بود که از لحاظ آماری با تیمار کاربرد فسفات بارور ۲ اختلاف معنی‌داری را نداشت. تیمار عدم مصرف کود زیستی نیز

کم‌ترین عملکرد روغن (۰/۹۸۸ تن در هکتار) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). مصرف کودهای زیستی ازتوبارور ۱، فسفات بارور ۲ و کاربرد توأم آن‌ها درصد روغن کلزا را به ترتیب ۷، ۹/۶ و ۱۸/۲ درصد و عملکرد روغن را نیز به ترتیب ۱۱/۳، ۱۴/۶ و ۱۷ درصد در مقایسه با شاهد بهبود بخشید (جدول ۴). اوزتورک (۲۰۱۰) نشان داد که کاربرد کود نیتروژن موجب افزایش معنی‌دار درصد روغن کلزا گردید. مدنی و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که کاربرد کود زیستی منجر به افزایش درصد روغن کلزا شد. شهاتا و الخواز (۲۰۰۳) نشان دادند که کاربرد کود زیستی در مقایسه با عدم کاربرد آن باعث افزایش میزان روغن و پروتئین دانه آفتابگردان گردید. عباس‌دخت و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند که درصد روغن گیاه سویا با کاربرد کود زیستی افزایش می‌یابد. افزایش عملکرد روغن گیاه گلرنگ در شرایط کاربرد تلفیقی کود زیستی و نیتروژن در مطالعات سیدشریفی و همکاران (۲۰۱۷) نشان داده شده است. چودهاری و کندی (۲۰۰۴) گزارش کردند که استفاده از کودهای زیستی از جمله باکتری‌های محرک رشد از طریق دسترسی بهتر گیاه به فسفر بالا سبب افزایش درصد روغن دانه می‌گردد. همچنین مام‌نبی و همکاران (۲۰۲۰) اظهار داشتند که بهبود عملکرد روغن کلزا در نتیجه کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند ناشی از افزایش درصد روغن و عملکرد دانه باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی کود شیمیایی و کود زیستی بر وزن خشک بوته، درصد و عملکرد روغن کلزا

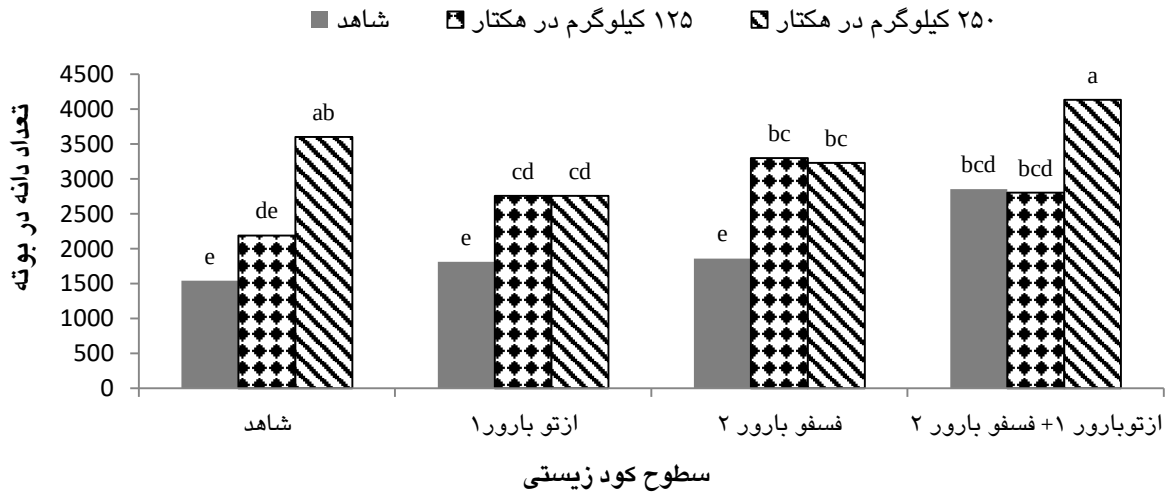
تیمار	وزن خشک بوته (g)	روغن دانه (%)	عملکرد روغن ($ton.ha^{-1}$)
شاهد	۱۳/۲۶ c	۳۴/۲ b	-
۱۲۵ کیلوگرم در هکتار	۱۵/۷۹ b	۳۵/۵۷ b	-
۲۵۰ کیلوگرم در هکتار	۱۸/۲۳ a	۳۷/۹۲ a	-
شاهد	۱۳/۳۴ c	۳۳/۰۱ c	۰/۹۸۸ b
ازتوبارور ۱	۱۵/۱۳ bc	۳۵/۳۳ bc	۱/۱ ab
فسفات بارور ۲	۱۵/۸۲ b	۳۶/۲ b	۱/۱۳۳ a
ازتوبارور ۱+ فسفات بارور ۲	۱۸/۷۴ a	۳۹/۰۴ a	۱/۱۵۶ a

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

تعداد دانه در بوته

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر متقابل کود شیمیایی در کود زیستی اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در بوته کلزا داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در بوته (۴۱۳۳ عدد) تحت شرایط کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره همراه با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ به دست آمد. کم‌ترین این شاخص (۱۵۴۲ عدد) نیز متعلق به عدم کاربرد کود شیمیایی و زیستی می‌باشد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را با عدم کاربرد کود اوره تحت شرایط استفاده از ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ نشان نداد (شکل ۱). نتایج نشان داد که تحت شرایط تیمار ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره کاربرد کودهای زیستی ازتوبارور ۱، فسفات بارور ۲ و مصرف تلفیقی این دو کود تعداد دانه در بوته را در مقایسه با شاهد به ترتیب ۷۹، ۱۱۳/۹ و ۸۱/۹ درصد افزایش داد. از طرفی در شرایط کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم کود، استفاده از ازتوبارور ۱، فسفات بارور ۲ و کاربرد توأم آن‌ها تعداد دانه در بوته را به ترتیب ۷۸/۹، ۱۰۹/۶ و ۱۶۸ درصد بهبود بخشید (شکل ۱). نتایج این پژوهش حاکی از آن است که استفاده از کود زیستی و کود شیمیایی سبب افزایش تعداد دانه در بوته کلزا گردید و این افزایش در شرایط کاربرد کود زیستی محسوس‌تر از کاربرد کود اوره می‌باشد که مطابق با یافته‌های سایر محققان می‌باشد (محمدی و همکاران ۲۰۱۲). بالا بودن تعداد دانه در بوته کلزا تحت شرایط استفاده از کودهای زیستی و

نیتروژن در این پژوهش را می‌توان به بهبود تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در حالت استفاده از این کودها نسبت داد. بهبود تعداد دانه در خورچین و تعداد خورجین در بوته تحت تأثیر کود نیتروژن مشاهده شده است (کائور و همکاران ۲۰۲۳). سیدشریفی و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که نیتروژن به دلیل نگهداری طولانی مدت برگ‌ها و حفظ جریان مواد غذایی به سوی گل‌ها و غلاف‌ها موجب افزایش تعداد دانه در بوته کلزا می‌شود. نقش مثبت کود زیستی در افزایش تعداد دانه در بوته گیاه سویا گزارش شده است (مصطفویان و همکاران ۲۰۰۸). راج (۲۰۲۲) بیان داشت که کاربرد کودهای زیستی (ازتوباکتر و باکتری‌های حل-کننده فسفر) موجب افزایش تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته گیاه کلزا گردیدند.



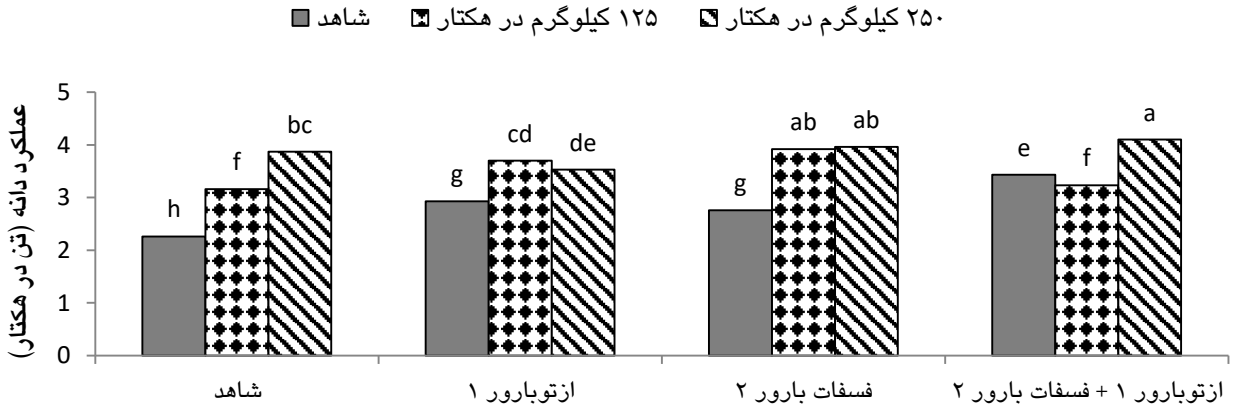
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری کودهای اوره و زیستی بر تعداد دانه در بوته کلزا

میانگین‌های با حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

عملکرد دانه

در این مطالعه عملکرد دانه کلزا به طور معنی‌داری تحت تأثیر بر همکنش کود شیمیایی و زیستی قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد دانه با ۴/۱ تن در هکتار در کاربرد توأم ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به همراه مصرف تلفیقی ازتوبارور ۱ فسفات بارور ۲ به دست آمد. کم‌ترین آن نیز با ۲/۲۶۷ تن در هکتار مربوط به عدم کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی بود (شکل ۲). تیمار کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در تمامی ترکیبات تیماری کود زیستی اثر افزایشی معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت. بین سطوح کودی ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره تحت شرایط کاربرد جداگانه کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت که خود تأییدی بر کاهش نیاز کلزا به کود شیمیایی با کاربرد کود زیستی است (شکل ۲). بنابراین می‌توان بیان داشت که حدود ۵۰ درصد کاهش در مصرف کود نیتروژنی با کاربرد کود زیستی حاصل شده است. هم‌چنین مشخص شد در شرایط عدم کاربرد کود شیمیایی، تیمارهای کاربرد ازتوبارور ۱ و کاربرد فسفات بارور ۲ و کاربرد تلفیقی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ افزایش به ترتیب ۲۹/۶، ۲۲/۱ و ۵۱/۷ درصدی را در عملکرد دانه باعث شدند (شکل ۲). در کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود، کاربرد ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ اثر افزایش معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند، در حالی که کاربرد کاربرد تلفیقی این کودهای زیستی تأثیری بر این صفت نداشت. به نظر می‌رسد در کاربرد همزمان کود زیستی، بدون کاربرد کود شیمیایی، اثرات مکملی مثبت این دو کود با یکدیگر منجر به بهبود ۵۰ درصدی عملکرد دانه شده است، در

حالی که با مصرف کود شیمیایی اوره، اعم از کاربرد ۱۲۵ و یا ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار از این اثر به شدت کاسته شده است. در کل مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تحت شرایط مصرف ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره استفاده از ازتوبارور ۱ میزان عملکرد را به ترتیب ۶۳/۷ و ۵۶/۱ درصد، استفاده از فسفات بارور ۲ به ترتیب ۷۳/۴ و ۷۵/۲ درصد و کاربرد تلفیقی کودهای زیستی به ترتیب ۴۲/۹ و ۸۱/۴ درصد بهبود بخشید (شکل ۲). کسرایی و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر کود شیمیایی و زیستی نیتروژنه بر عملکرد کلزا گزارش دادند که بیشترین عملکرد دانه کلزا با کاربرد بالاترین سطح کود نیتروژنی به دست آمد، در حالی که در شرایط کاربرد کود زیستی بیش‌ترین عملکرد دانه کلزا در سطوح پایین‌تری از کود شیمیایی نیتروژنه به دست آمد و حتی مقادیر بالای کود نیتروژنی کاهش معنی‌داری را در عملکرد دانه کلزا باعث شد. یین و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند که استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم سبب افزایش عملکرد کلزا شد. کاپن و همکاران (۲۰۰۰) در بررسی اثر پنج سطح نیتروژن روی عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا به این نتیجه دست یافتند که با افزایش نیتروژن عملکرد کلزا افزایش یافته و بیشترین عملکرد دانه با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل گردید. مطالعات نشان داده است که کاربرد کودهای زیستی ازتوباکتر و آزوسپریلیوم موجب افزایش عملکرد دانه کلزا (یساری و همکاران ۲۰۰۹) و آفتابگردان (سلیمان‌زاده و همکاران ۲۰۱۰) شده است. دلیل افزایش عملکرد در اثر تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد گیاهی ناشی از تثبیت نیتروژن، فسفات، پتاسیم و آهن، بهبود توزیع آب در گیاه و افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز اعلام شده است (کادر و همکاران ۲۰۰۲).



سطوح کود زیستی

شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری کودهای اوره و زیستی بر عملکرد دانه کلزا

میانگین‌های با حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش اثر کود شیمیایی اوره و کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ بر عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای روغن گیاه کلزا مورد بررسی قرار گرفت. کاربرد تیمارهای کودی به‌خصوص کاربرد توأم کود اوره و زیستی از طریق بهبود دسترسی و جذب نیتروژن و فسفر منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کلزا گردید. درصد روغن نیز در شرایط استفاده از کود اوره و کودهای زیستی افزایش یافت. افزایش درصد روغن و عملکرد دانه در نهایت موجب افزایش

عملکرد روغن گیاهان کلزا گردید. کاربرد تلفیقی کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ و مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره بیش‌ترین تأثیر مثبت را بر عملکرد دانه دارا بود. با این وجود از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را با کاربرد سطوح کود اوره تحت شرایط کاربرد جداگانه کود زیستی فسفات بارور ۲ دارا نبود و از آن‌جایی که بین سطوح ۱۲۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره تحت شرایط کاربرد فسفات بارور ۲ تفاوتی وجود ندارد، بنابراین می‌توان کاربرد کود زیستی فسفات بارور ۲ توأم با ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره را برای دستیابی به عملکرد بالا و کاربرد کودهای زیستی بدون مصرف نیتروژن را در راستای دستیابی به درصد و عملکرد روغن بالا در کلزا توصیه کرد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که استفاده ترکیبی از کودهای زیستی و نیتروژن می‌تواند جایگزین مناسبی در راستای کاهش استفاده از کودهای شیمیایی باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مساعدت‌های گروه اکوفیزیولوژی گیاهی و کارشناسان آزمایشگاه‌های غلات و نباتات صنعتی، تکنولوژی بذر و فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به خاطردر اختیار قرار دادن امکانات آزمایشگاهی، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Abbasdokht H, Salmanzadeh S and Gholami A. 2015. The comparison of qualitative and quantitative of soybean (*Glycine max* L.) affected by double inoculation with Barvar-2 and Rhizobium japonicum bacteria at hydro- osmo priming condition. Iranian Journal of Field Crop Science, 46(4): 569-581. (In Persian). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2015.56807

Adams MW and Grafius JE. 2001. Yield compensation alternative interperation. Crop Science, 11: 33-35. https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100010011x

Adl HR. 2007. Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(4): 417-426 (In Persian).

Ahmed NU, Ferdous Z, Uddin Mahmud N, Hossain A, Asad MD and Zaman UZ. 2017. Effect of split application of nitrogen fertilizer on the yield and quality of potato (*Solanum tuberosum*). International Journal of Natural and Social Sciences, 4(2): 60-66.

Ajam Nowroozy H and Mirzaei H. 2007. Effects of planting date and different amounts of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield yield components, quality and quantity oil of canola (Talaeieh cultivar) in gorgan. Abstracts of Crop Science and Plant Breeding Congress. Mazandaran. Iran. (In Persian).

Alahi A, Hossain MI, Kabir K, Shahjahan M, Arefin SMA and Hosain MT. 2014. Effect of phosphorus and plant spacing on the growth and yield of lettuce. Advance in Agriculture and Biology, 2(1): 1-7. https://doi.org/ 10.15192/PSCP.AAB.2014.2.1.17

Arshad MJ, Freed S, Akbar S, Akmal M and Tahira Gul H. 2013. Nitrogen fertilizer application in maize and its impact on the development of chilo partellus (Lepidoptera: Pyralidae). Pakistan Journal of Zoology, 45(1): 141-147.

Banuelos GS, Bryla DR and Cook CG. 2002. Vegetative production of kenaf and canola under irrigation in central California. Industrial Crops and Products, 15: 237-245. https://doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00119-4

Barari Tari D, Daneshian J, Amiri E, Hosein A, Rad S and Moumeni A. 2013. Investigation chlorophyll condition at different nitrogen fertilization methods in rice by applied mathemathics relations (*Oryza sativa*). Middle-East Journal of Scientific Research, 14(8): 1056-1058. https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2013.14.8.586

Barman M, Paul S, Guha Choudhury A, Roy P and Sen J. 2017. Biofertilizer as prospective input for sustainable agriculture in India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6(11): 1177-1186. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.141

Bybordi A. 2010. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae, 2(2): 92-97. https://doi.org/10.15835/nsb223532

Choudhury A and Kennedy IR. 2004. Prospects and potentials for systems of biological nitrogen fixation in sustainable rice production. Biology and Fertility of Soils, 39: 219-227. https://doi.org/10.1007/s00374-003-0706-2

Dahmardeh M. 2013. Effect of different bio fertilizers on growth and yield of canola (*Brassica napus* L) var RGS 003. Journal of Agricultural Science, 5: 56-67. http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n9p143

El-Lithy M, El-Batanony N, Moreno S and Bedmar E. 2014. A selected rhizobial strain isolated from wildgrown *Medicago monspeliaca* improves productivity of non-specific host *Trifolium alexandrinum*. Applied Soil Ecology, 73: 134-139. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.013

Etemadi F, Madah Hosseini S, Dashti H and Akhgar A. 2014. Investigation of the effect of plant growth promoting rhizobacteria on some growth indices and yield parameters of safflower under different soil salinity levels. Journal of Crop Production and Processing, 4(11): 77-87. (In Persian)

Hamzei J, Seyedi M and Babaei M. 2015. Effect of density and nitrogen on seed quantity and quality of winter rapeseed in Hamedan conditions. Crop Production, 8(1): 143-159. (In Persian). DOR: 20.1001.1.2008739.1394.8.1.8.8

Hassani F, Ardakani M, Asgharzade A, Paknezhad F and Hamidi A. 2014. Efficiency of mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria on phosphorus uptake and chlorophyll index in potato plantlets. International Journal of Biosciences, 4: 244-251. http://dx.doi.org/10.12692/ijb/4.1.244-251

Hokmalipour S and Darbandi MH. 2011. Effects of nitrogen fertilizer on chlorophyll content and other leaf indicate in three cultivars of maize (*Zea mays* L.). World Applied Sciences Journal, 15(12): 1780-1785.

Ibrahim MEH, Zhu X, Zhou G, Yousif Adam Ali A, Ahmad I and Ali Farah G. 2018. Nitrogen fertilizer alleviated negative impacts of nacl on some physiological parameters of wheat. Pakistan Journal of Botany, 50(6): 2097-2104.

Imran A and Al-Tawaha AR. 2023. Regenerating potential of dual purpose rapeseed (*Brassica napus* L.) as influenced by decapitation stress and variable rates of phosphorous. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 54(4): 534-543. https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2118297

Itelima JU, Bang WJ, Onyimba IA, Sila MD and Egbere OJ. 2018. Bio-fertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: A review. Direct Research Journal of Agriculture and Food Science, 6(3): 73-83. http://hdl.handle.net/123456789/1999

Kader MA, Main MH and Hoque MS. 2002. Effects of Azotobacter inoculant on the yield nitrogen uptake by wheat. Online Journal of Biological Sciences, 2(4): 259-261.

Kappen L, Schultz G, Gruler T and Widmoser P. 2000 .Effect of N-fertilization on shoots and roots of rape (*Brassica napus* L.) and consequences for the soil matric potential. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 163(5): 481- 489. https://doi.org/10.1002/1522-2624(200010)163:5<481::AID-JPLN481>3.0.CO;2-7

Kasraie P, Nasri M, Khalatbari M and Zakerin HR. 2013. The effects of application of plant growth promoting rhizobacteria on physiological characteristics and yield of canola. Technical Journal of Engineering and Applied Sciences, 3: 121-125.

Kaur G, Brar SS, Singh CB, Dhingra M and Singh KB. 2023. Impact of tillage, irrigation regimes and nitrogen levels on soil moisture dynamics, growth and productivity of canola (*Brassica napus*). International Journal of Plant & Soil Science, 35(17): 320-336. https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i173214

Kenneth OC, Chibuzor Nwadibe E, Uchenna Kalu A and Victor Unah U. 2018. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A novel agent for sustainable food production. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 14: 35-54. https://doi.org/10.3844/ajabssp.2019.35.54

Khamadi F, Mesgarbashi M, Hasibi P, Farzaneh M and Enayatzamir N. 2015. Influence of crop residue and nitrogen levels on nutrient content in grain wheat. Applied Field Crops Research, 28(4): 158-166. (In Persian). https://doi.org/10.22092/AJ.2016.106753

Kheradmand MA, Shahmoradzadeh Fahraji S, Fatahi E and Mahdi Raoofi M. 2014. Effect of water stress on oil yield and some characteristics of brassica napus. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 8: 1447-1453.

Kiani M, Farnia A and Shaban M. 2013. Changes of seed yield, seed protein and seed oil in rapeseed (*Brassica napus* L.) under application of different bio fertilizers. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1: 1170-1178.

Kubsad VS, Naik VR, Hanumantharaya L and Nekar MM. 2008. Phosphorus management in mungbean-safflower sequence cropping in vertisols under rainfed conditions. In Safflower: unexploited potential and world adaptability. 7th International Safflower Conference, Wagga Wagga, New South Wales, Australia, 3-6 November, 2008. (pp. 1-4). Agri-MC Marketing and Communication.

Kulachi MNK, Zaib Jamali A, Waheed Solangi A, Ali Siyal M, Ali Siyal Z and Rais N. 2016. Integrated effects of n-p-k and bio-fertilizer on the growth and yield of rapeseed varieties. Science International, 28(5): 4973-4979.

Lin Y, Watts DB, Torbert HA and Howe JA. 2020. Influence of nitrogen rate on winter canola production in the southeastern United States. Agronomy Journal, 112: 2978–2987. https://doi.org/10.1002/agj2.20197

Madani H, Malboobi MA, Bakhshkelarestaghi K and Stoklosa A. 2011. Biological and chemical phosphorus fertilizers effect on yield and p accumulation in rapeseed (*Brassica napus* L.). Notulae Botanicae *Horti* Agrobotanici Cluj-Napoca, 40(2): 210-214. https://doi.org/10.15835/nbha4026079

Maghsudi E, Ghalavand A and Aghaalikhan M. 2014. The effect of different levels of fertilizer (organic, biological and chemical) on morphological traits and yield of maize single cross hybrid 704. Applied Field Crops Research, 27(104): 129-135. https://doi.org/10.22092/AJ.2014.101820

Majd S and Emam Y. 2013. Effects of cycocel and nitrogen application on yield and yield components of autumn-grown oilseed rape at different plant densities. Journal of Crop Production and Processing, 3(7): 123-132. (In Persian)

Mamnabia S, Nasrollahzadeh S, Ghassemi-Golezani G and Raei Y. 2020. Morpho-physiological traits, grain and oil yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) affected by drought stress and chemical and bio-fertilizers. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(3): 359-378. (In Persian). DOR: 20.1001.1.24764310.1399.30.3.21.6

Marchuk A, Likhanov VA and Lopatin OP. 2019. Alternative energy: methanol, ethanol and alcohol esters of rapeseed oil as eco-friendly biofuel. Theoretical and Applied Ecology, 3: 80-86. https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-080-086

Mohamed D, Fergany M, Elhabbasha EF and El-temsah M. 2022. Productivity improvement of canola genotypes under salinity stress conditions by integration between mineral and nano-Scale forms of nitrogen fertilizer. Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 30(2): 1-16. https://doi.org/10.21608/ajs.2022.140893.1481

Mohammadi K, Heidari G, Khalesro S and Sohrabi Y. 2011. Soil management, microorganisms and organic matter interactions: A review. African Journal of Biotechnology, 10(84): 19840-19849. https://doi.org/10.5897/AJBX11.006

Mohammadi K, Sohrabi Y, Heidari G, Khalesro S and Majidi M. 2012. Effective factors on biological nitrogen fixation. African Journal of Agricultural Research, 7(12): 1782-1788. https://doi.org/10.5897/AJARX11.034

Mohammadzadeh H and Naeini B. 2007. Effects of salinity stress on morphology and yield of two cultivars of canola (*Brassica napus* L.). Journal of Agronomy, 6(3): 409-414.

Mostafavian SR, Pirdashti H, Ramzanpour MR, Andarkhor A and Shahsavari A. 2008. Effect of mycorrhizae, thiobacillus and sulfur nutrition on the chemical composition of soybean (*Glycine max* L.) seed. Pakistan Journal of Biological Science, 11(6): 826-835. https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.826.835

Nagananda GS, Das A, Bhattacharya S and Kalpana T. 2010. In vitro studies on the effects of bio-fertilizers (*Azotobacter* and *Rhizobium*) on seed germination and development of *Trigonella foenum-graecum* L. using a novel glass marble containing liquid medium. International Journal of Botany, 6(4): 394-403.

Noreldin NA, Habbal MS, Hamad MA and Hamed MA. 2003. Yield response of two rapeseed cultivars to irrigation intervals and nitrogen fertilizer under sandy soil conditions. Annals of Agricultural Science, 38(2): 511-519.

Ntanos DA and Koutroubas SD. 2002. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. Field Crops Research, 74(1): 93-101. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00203-9

Ojha SK, Benjamin JC and Kumar AK. 2016. Effect of compost in combination with pgpr on growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plant. International Journal of Agricultural Science and Research, 6: 63-72.

Ozer H. 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. European Journal of Agronomy, 19(3): 453-463. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00136-3

Öztürk Ö. 2010. Effects of source and rate of nitrogen fertilizer on yield, yield components and quality of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). Chilean Journal of Agricultural Research, 70(1): 132-141. https://hdl.handle.net/20.500.12395/24868

Patel HD, Krishnamurthy R and Azeez MA. 2016. Effect of biofertilizer on growth, yield and bioactive component of Plumbago zeylanica (Lead Wort). Journal of Agricultural Science, 8(5): 142-155. http://dx.doi.org/10.5539/jas.v8n5p141

Poorter H, Niklas KJ, Reich PB, Oleksyn J, Poot P and Mommer L. 2011. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. New Phytologist, 193: 30-50. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x

Rahi AR. 2013. Effect of nitroxin biofertilizer on morphological and physiological traits of *Amaranthus retroflexus*. Iranian Journal of Plant Physiology, 4(1): 899-905. (In Persian)

Raj A. 2022. Effect of biofertilizer and sulphur on growth and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). The Pharma Innovation Journal, 11(7): 1503-1505

Sabagh A, Elhamid Omar A, Saneoka H and Barutçular C. 2015. Evaluation agronomic traits of canola (*Brassica napus* L.) under organic, bio- and chemical fertilizers. Dicle University Institute of Natural and Applied Science Journal, 4(2) : 59-67.

Sadeghi SMM and Miri N. 2022. Ground-based methods for direct measuring of leaf area index (LAI). Human and Environment, 20(1): 105-116. (In Persian)

Schoebitz M, Mengual C and Roldan A. 2014. Combined effects of clay immobilized *Azospirillum brasilense* and *Pantoea dispersa* and organic olive residue on plant performance and soil properties in the revegetation of a semiarid area. Science Total Environment, 466: 67-73. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.012

Seyed Sharif R, Seyyedi MN and Zaefizadeh M. 2012. Influence of various levels of nitrogen fertilizer on grain yield and nitrogen use efficiency in canola cultivars. Journal of Crops Improvement, 13(2), 51-60. (In Persian). DOR: 20.1001.1.83372008.1390.13.2.5.1

Seyed Sharifi R, Namvar A and Seyed Sharifi, R. 2017. Grain filling and fatty acid composition of safflower fertilized with integrated nitrogen fertilizer and biofertilizers. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 52: 236-243. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000400003

Shata SM, Mahmoud SA and Siam HS. 2007. Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 3: 733-739.

Shehata MM and El-Khawas SA. 2003. Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower (*Helianthus annus* L. cv. Vedock) yield. Pakistan Journal of Biological Sciences, 6(14): 1257-1268. https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.1257.1268

Shokri Vahed H, Shahinrokhsar P and Heydarnezhad F. 2012. Performance of phosphate solubilizing bacteria for improving growth and yield of rice (*Oryza Sativa* L.) in the presence of phosphorus fertilizer. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4: 1228-1232.

Soleimanzadeh H, Habibi D, Ardakani MR, Paknejad F and Rejali F. 2010. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to inoculation with azotobacter under different nitrogen levels. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science, 7 (3): 265-268.

Szydłowska-Czerniak A, Karlovits G, Hellner G, Dianoczki C and Szłyk, E. 2010. Effect of enzymatic and hydrothermal treatments of rapeseeds on quality of the pressed rapeseed oils: Part I: Antioxidant capacity and antioxidant content. Process Biochemistry, 45(1): 7-17. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.09.014

Tohidinia MA, Mazaheri D, Bagher-Hosseini SM and Madani H. 2013. Effect of biofertilizer Barvar-2 and chemical phosphorus fertilizer application on kernel yield and yield components of maize (*Zea mays* cv. SC704). Iranian Journal of Crop Sciences, 15(4). 295-307. (In Persian)

Xing D and Wu Y. 2014. Effect of phosphorus deficiency on photosynthetic inorganic carbon assimilation of three climber plant species. Botanical Studies, 55(1): 1-8. https://doi.org/10.1186/s40529-014-0060-8

Yaghoubian I, Ghassemi-Golezani K and Raei Y. 2018. Changes in green cover and chlorophyll and carotenoid contents of milk thistle (*Silybum marianum* L.) in response to seed hydro-priming and water deficit. Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 5(2), 59-70. (In Persian). https://doi.org/10.22124/JMS.2018.2911

Yahbi M, Nabloussi A, Maataoui A, El Alami N, Boutagayout A and Daoui, K. 2022. Effects of nitrogen rates on yield, yield components, and other related attributes of different rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties. OCL, 29: 8. https://doi.org/10.1051/ocl/2022001

Yasari E, Azadgoleh MR, Mozafari S and Alashti M. 2009. Enhancement of growth and nutrient uptake of rapeseed (*Brassica napus* L.) by applying mineral nutrients and bio fertilizers. Pakistan Journal of Biological Science, 15: 12(2): 127-33. https://doi.org/10.3923/pjbs.2009.127.133

Yin W, Tao L, Xiao-Kun L, Tao R, Ri-Huan C and Jian-Wei L. 2015. Nutrient deficiency limits population development, yield formation, and nutrient uptake of direct sown winter oilseed rape. Journal of Integrative Agriculture, 14(4): 670-680. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60798-X

Zamani Z, Zeinali H, Masood Sinaki J and Madani H. 2014. Effect of nitrogen and phosphorous fertilizers on the yield and secondary metabolites of medicinal plant *Rubia tinctorum* L. under saline conditions. Iranian Journal of Plant Physiology, 4(2): 949-955. (In Persian)

Zang PH and Sedum PJ. 2005. Interactions among phosphorous, nitrogen and growth in oilseed rape. Canadian Journal of Plant Science, 74(3): 173-181.

Zangani E, Afsahi K, Shekari F, Mac Sweeney E and Mastinu A. 2021. Nitrogen and phosphorus addition to soil improves seed yield, foliar stomatal conductance, and the photosynthetic response of rapeseed (*Brassica napus* L.). Agriculture, 11(6): 483. https://doi.org/10.3390/agriculture11060483

Zuo Q, Liu J, Wang L, Yang G and Leng S. 2020. Yield, dry matter and N characteristics in canola as affected by fertilizer N rate and split-application ratio under high soil fertility condition. Journal of Plant Nutrition, 43(5): 655-666. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1701026

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 103-124

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Combined effects of Biochar and Nitrogen on some Agronomical Triats of Rapseed and Water Use Efficiency under Water Deficit Conditions

Asad Ghaderpoor[1], Adel Reyhanitabar[2*], Nosratollah Najafi[2], Davoud Zarehaghi[3], Soheil Salimi Trazoj[4]

Received: 24 June 2024	Accepted: 10 October 2024

1- Master of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4- Master of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author: Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background& Objective: In this research, the effects of combined application of biochar and nitrogen (N) fertilizer on some agronomical traits of rapeseed (*Brassica napus* L.), under water deficit stress conditions were studied in pot culture with a calcareous sandy loam soil.

Methods & Maerials: A factorial experiment was done in a completely randomized design with three replicates. The factors were organic matter at five levels (0, 0.75, and 1.5 g 100 g^{-1} from two sources of biochar and wheat straw), N at two levels (150 and 300 mg kg^{-1} as urea), and moisture at two levels (without stress or optimum, 85–100 percent of field capacity, and stress, 50-60 percent of field capacity). Before the plants harvesting, leaf chlorophyll index, leaf water potential, stomatal conductance, and leaf area were measured. After the plant harvesting, water use efficiency, and some agronomical triats were determined.

Results: Application of nitrogen and biochar significantly increased leaf chlorophyll index, leaf water potential, stomatal conductance, shoot dry matter weight, grain dry matter weight, weight of one thousand seeds, water use efficiency and seed oil content. Wheat straw application decreased leaf chlorophyll index, number of leaves, relative water content, leaf water potential and leaf water use efficiency, but at the same time increased plant height, , stem diameter, stomatal conductance, shoot dry matter weight, , dry weight of seed, and thousand seed weight compared to the treatment without organic matter. Water defecit stress decreased the plant height, leaf number, stem diameter, stomatal conductance, relative water content, leaf water potential, pod number, fresh and dry weights of shoot, fresh and dry weights of root, fresh and dry weights of seed and weight of one thousand seed, except for water use efficiency and leaf chlorophyll index.

Conclusion: In this greenhouse study, $B_{1.5}$ N_{150} $FC_{0.5}$ treatment reduced nitrogen use compared to the same treatment with 300 mg $N.kg^{-1}$ soil ($B_{1.5}$ N_{300} $FC_{0.5}$) without significant yield loss. The application of organic matter including wheat straw and biochar at both levels of 0.75% and 1.5% caused a significant increase in most of the agronomical traits of rapeseed plants, especially the seed oil content in a calcareous soil, and of course, future research in the field is recommended.

Keywords: Biochar, Drought, Nitrogen Fertilizer, Rapeseed, Wheat Straw

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Adel Reyhanitabar E-mail: areyhani@tabrizu.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2024.62239.3241

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۲۴-۱۰۳

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تأثیر مصرف توأم بیوچار و نیتروژن بر برخی خصوصیات زراعی بوته کلزا و کارایی مصرف آب در شرایط تنش کم‌آبی

اسعد قادر پور [۱]، عادل ریحانی تبار [۲*] نصرت اله نجفی [۲]، داود زارع حقی [۳]، سهیل سلیمی ترازوج [۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱۹

۱-کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲-استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳-دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴-کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
*مسئول مکاتبه: areyhani@tabrizu.ac.ir :Email

چکیده

مقدمه و اهداف: این پژوهش با هدف بررسی اثر برهمکنش نیتروژن و بیوچار در شرایط تنش کم‌آبی بر برخی خصوصیات زراعی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط گلخانه‌ای در یک خاک آهکی با بافت لوم شنی انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل ماده آلی در پنج سطح (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد از دو منبع بیوچار (B) و کاه گندم (St))، نیتروژن (N) در دو سطح (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره) و رطوبت در دو سطح بدون تنش (۸۵ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (FC)) و تنش (۵۰ تا ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) بود. قبل از برداشت بوته‌ها شاخص کلروفیل برگ، پتانسیل آب برگ، هدایت روزنه‌ای و سطح برگ اندازه‌گیری شدند. بعد از برداشت بوته‌ها نیز کارایی مصرف آب و برخی خصوصیات زراعی اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: با مصرف بیوچار و نیتروژن شاخص کلروفیل برگ، پتانسیل آب برگ، هدایت روزنه‌ای، ماده خشک شاخساره، ماده خشک ریشه و دانه، تعداد غلاف، وزن هزار دانه، کارایی مصرف آب و مقدار روغن دانه به‌طور معناداری نسبت به شاهد افزایش یافتند. مصرف کاه گندم، شاخص کلروفیل برگ، پتانسیل آب برگ و کارایی مصرف آب برگ را کاهش داد ولی همزمان سبب افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، وزن ماده خشک شاخساره، ریشه و دانه، تعداد غلاف و وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین، اعمال تنش کم‌آبی به‌جز کارایی مصرف آب و شاخص کلروفیل برگ سبب کاهش بقیه صفات اندازه‌گیری شده شد.

نتیجه‌گیری: در این تحقیق گلخانه‌ای تیمار $B_{1.5}N_{150}FC_{0.5}$ بدون افت عملکرد در مقایسه با تیمار $B_{1.5}N_{300}FC_{0.5}$ باعث صرفه جویی در مصرف نیتروژن شد. مصرف ماده آلی اعم از کاه گندم و بیوچار در هر دو سطح ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد سبب افزایش معنادار اکثر صفات زراعی بوته کلزا به ویژه مقدار روغن دانه در یک خاک آهکی شد و البته تحقیقات آتی در مزرعه توصیه می شود.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، کود نیتروژن، کاه گندم، کلزا، کم‌آبی

مقدمه

کشور ایران به استثنای ساحل دریای خزر دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و با گرم شدن کره زمین، وقوع تنش کم‌آبی در طول دوره رشد گیاهان امری اجتناب‌ناپذیر است. تنش خشکی از محدودکننده‌ترین عوامل تولید کلزا در نواحی خشک و نیمه‌خشک مثل آذربایجان شرقی است و بر فرایندهای حیاتی بوته نظیر فتوسنتز، فشار تورمی سلول‌ها و رشد سلول‌ها اثر منفی دارد (یوسفی و همکاران ۲۰۱۸). اثر تنش خشکی بر گیاه کلزا بسته به رقم، شدت و دوام تنش و شرایط آب و هوایی و شرایط حاصلخیزی فیزیکی و شیمیایی خاک متفاوت است. در نتیجه، انتظار می‌رود که این پدیده بر تولید محصول تأثیر گذارد (نورقلی پور و همکاران ۲۰۱۴). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که وقوع تنش کم‌آبی در مرحله رشد طولی ساقه کلزا و مرحله گل‌دهی به‌شدت بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه کلزا اثر منفی دارد. بنابراین، وقوع تنش کم‌آبی در مراحل یاد شده سبب کاهش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین می‌گردد (یوسفی و همکاران ۲۰۱۸).

نیاز کلزا به نیتروژن زیاد است و مدیریت این عنصر مهم‌ترین عامل پایداری تولید به حساب می‌آید. کود نیتروژن مورد نیاز کلزا برای دستیابی به عملکرد مطلوب بسته به وضعیت خاک از ۵۰ تا ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار متفاوت گزارش شده است. البته بدیهی است در کنار نیتروژن سایر عناصر غذایی پرمصرف به ویژه فسفر و پتاسیم و عناصر غذایی کم‌مصرف به قدر کفایت برای رسیدن به تولید مطلوب گیاه کلزا نیاز است (نور قلی‌پور و همکاران ۲۰۱۴). مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه بسته به گونه، اندام و سن بوته متفاوت است، ولی در مجموع ۱/۵ تا ۵ درصد وزن خشک بوته را نیتروژن تشکیل می‌دهد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل کمبود مواد آلی، کمبود نیتروژن عامل محدود کننده رشد گیاهان بوده و مهم‌ترین روش تأمین نیتروژن استفاده از کودهای نیتروژنی است (ملکوتی و همایی ۲۰۰۴). بااین‌حال، مصرف بی‌رویه این عنصر موجب تلفات و بروز مسائل محیط‌زیستی مانند کاهش تنوع زیستی، اسیدی شدن خاک و افزایش انتشار گاز اکسید نیتروژن می‌شود. در حال حاضر ۹۸ میلیون تن کود نیتروژن به‌صورت انواع کودهای شیمیایی در جهان مصرف می‌شود. در ایران نیز از ۴/۲ میلیون تن کود مصرفی بیش از ۶۰ درصد آن را کود نیتروژنی تشکیل می‌دهد و متاسفانه کارایی مصرف آن به‌ندرت از ۳۰ درصد تجاوز می‌کند (ملکوتی و همایی ۲۰۰۴). پژوهش‌های اخیر نشان داده است که استفاده از کودهای آلی به جای کودهای شیمیایی می‌تواند موجب افزایش محصول و جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی و افزایش کارایی مصرف آب گردد. استفاده از مواد آلی پایدار مانند بیوچار می‌تواند یک ایده مناسب برای افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود تولید محصولات کشاورزی و کارایی مصرف عناصر غذایی در این مناطق باشد. بیوچار یا زغال زیستی یک ماده غنی از کربن است که از زیست‌توده‌های مختلف طی فرایند پیرولیز تهیه می‌شود. با توجه به ویژگی‌های بیوچار به‌عنوان یک اصلاحگر و بهبود دهنده کیفیت خاک تصور بر این است که باعث بهبود کیفیت محصول نیز خواهد شد. بیوچار با تأثیر مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و بهبود شاخص‌های کیفیت خاک در تعدیل تنش‌کم‌آبی نقش مهمی ایفا می‌کند. بیوچار به‌عنوان عاملی برای ذخیره آب در مواقع خشکسالی به‌ویژه در خاک‌های شنی مطرح است. وانگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که بیوچار با افزایش ظرفیت نگهداری آب توسط خاک و در نتیجه آب قابل استفاده بوته سبب بهبود رشد بوته در شرایط کم‌آبی شد. همچنین این ماده نقش مهمی در کربن اندوزی در خاک و کاهش گرمایش جهانی ایفا می‌کند. با وجود مدت زمان کوتاه پژوهش‌های انجام شده در مورد بیوچار، مشخص شده است که این ماده بر چرخه همه عناصر از جمله نیتروژن تأثیرگذار است. همچنین، این اثر قطعاً به نوع خاک، اقلیم و بوته بستگی دارد (لهمان و همکاران ۲۰۱۱). گزارش شده است که با افزودن بیوچار حاصل از کودهای دامی به خاک‌های مزارع کشاورزی

کاهش بارزی در آبشویی عناصر غذایی مانند نیتروژن به‌ویژه در خاک های شنی و اقلیم‌های مرطوبت ایجاد می‌شود و بیوچار می‌تواند به‌طور آهسته نیتروژن غیر متحرک را آزاد و در دسترس بوته قرار دهد (تقی‌زاده طوسی و همکاران ۲۰۱۲). قربانی و همکاران (۲۰۲۲) برهمکنش بین بیوچار، کودهای شیمیایی، زیستی و نیتروژن را بررسی و گزارش کردند که بیوچار با کود اوره، کمپوست و کود سبز (لگوم) برهمکنش هم‌افزایی داشت؛ به‌طوری که کاربرد بیوچار همراه با هر یک از کودهای اوره، کمپوست و کود سبز توانست جذب نیتروژن توسط بوته گندم و عملکرد آن را در مقایسه با کاربرد کود اوره، کمپوست و یا کود سبز به‌صورت تنها افزایش دهد. اخیراً عظیم‌زاده (۲۰۲۳) در یک مطالعه مروری چنین نتیجه گرفت که بیوچار دارای سطوح با بار الکتریکی منفی بوده و می‌تواند یون‌های آمونیوم و مولکول‌های آلی کوچک دارای نیتروژن را جذب و نگهداری کند. همچنین، با رهاسازی مقادیری نیتروژن به خاک و با تغییر نسبت کربن به نیتروژن می‌تواند تعادل معدنی‌شدن – آلی‌شدن نیتروژن را در خاک تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر آن، بیوچار با تغییر pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت هدایت الکتریکی، فعالیت زیستی، فراهمی عناصر غذایی، تخلخل و تهویه به طور غیرمستقیم چرخه و پویایی نیتروژن را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نهایت عظیم‌زاده (۲۰۲۳) چنین نتیجه‌گیری کردند که بیوچار با نیتروژن دارای برهمکنش هم‌افزایی بوده و می‌تواند میزان مصرف کودهای نیتروژنی را کاهش دهد.

هدف پژوهش

تغییرات در چرخه نیتروژن در خاک با افزودن بیوچار به خاک، به ویژه خاک‌های آهکی هنوز به‌خوبی مشخص نشده و پژوهش‌های بیشتری نیاز است تا تأثیر بیوچارهای تولید شده از زیست‌توده‌ها و شرایط دمایی مختلف بر تحرک و فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در خاک‌های آهکی ایران که عموما دچار کمبود ماده آلی هستند مورد بررسی قرار گیرد. در همین راستا تأثیر مصرف توأم بیوچار و نیتروژن بر برخی خصوصیات زراعی و کارایی مصرف آب در بوته کلزا در شرایط تنش کم‌آبی هدف پژوهش حاضر بود.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه در این پژوهش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری یک مزرعه در ایستگاه تحقیقاتی کرکج دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به صورت مرکب تهیه شد که پس از هوا خشک کردن و کوبیدن، مقداری از آن از الک دو میلی‌متری برای اندازه‌گیری خصوصیات خاک و از الک ۴/۷۶ سانتی‌متر برای پر کردن گلدان‌ها و کاشت بوته عبور داده شد. برای تعیین رطوبت معادل ظرفیت مزرعه (FC) از دستگاه صفحات فشاری در مکش ۳۰ کیلوپاسکال (۰/۳ بار) استفاده گردید (بلک و ایوانس ۱۹۶۵). برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند بافت خاک به روش هیدرومتری چهار زمانه (گی و بادر ۱۹۸۶)، کربن آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز ۱۹۸۲)، غلظت قابل‌جذب عناصر غذایی کم‌مصرف کاتیونی (آهن، روی، مس و منگنز) به روش DTPA (لیندزی و نورول ۱۹۷۸)، نیتروژن کل به روش میکروکجلدال (جونز ۲۰۰۱)، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن (اولسن و سامرز ۱۹۸۲)، پتاسیم قابل‌جذب با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیوم (جونز ۲۰۰۱)، pH در گل اشباع (رودز ۱۹۹۶) و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (توماس ۱۹۹۶) تعیین شدند (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این پژوهش.

بافت خاک	شن	سیلت	رس	OC	$CaCO_3$-eq	FC	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)
	(٪)							
لوم شنی	۶۲/۶	۲۲/۷	۱۴/۷	۱/۱	۱۳/۴	۱۴	۷/۷	۰/۶۹

ادامه جدول ۱

نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	منگنز
($g\ 100g^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)					
۰/۱۳	۴/۸	۱۸۰/۵	۴/۳	۰/۵	۱/۱	۸/۴

کاه گندم از ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان دانشگاه تبریز تهیه و برای حذف مواد زائد و گرد و غبار، ابتدا با آب شهری شستشو و سپس در داخل آب مقطر قرار داده شد و به‌منظور همگن‌سازی نمونه‌ها پس از خشک شدن، به‌وسیله آسیاب خرد و از الک یک میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های کاه گندم مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ آمده است.

برای تولید بیوچار، ابتدا مواد اولیه در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت آون خشک شدند (دونگ و همکاران ۲۰۱۱). سپس نمونه‌ها در داخل کوره قرار داده شده و درب آن کاملاً بسته شد تا از ورود اکسیژن جلوگیری شود. گاز آرگون با دبی پنج لیتر بر دقیقه به داخل کوره تزریق شد و شرایط برای انجام فرایند پیرولیز فراهم شد. سپس مواد اولیه بعد از حصول دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس (با سرعت انتقال گرمای ۱۰ درجه سلسیوس در هر دقیقه) به مدت یک ساعت نگهداری شد. پس از رساندن دمای کوره حاوی بیوچار به‌طور تدریجی به دمای اتاق، بیوچار تولیدی از کوره خارج و از الک یک میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار ازجمله غلظت عناصر کربن، هیدروژن و نیتروژن با استفاده از دستگاه CHN Elemental Analyzer (Carlo-Erba NA-1500)، قابلیت هدایت الکتریکی و pH در نسبت ۱:۱۰ بیوچار به آب (سونگ و گو ۲۰۱۲)، فسفر و پتاسیم کل به روش هضم در اسید (اسید کلریدریک و اسید نیتریک) (اولسن وسامرز ۱۹۸۲ و جونز ۲۰۰۱)، درصد خاکستر و عملکرد بیوچار بر طبق (سونگ و گو ۲۰۱۲) تعیین شدند (جدول ۲).

جدول۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کاه گندم و بیوچار مورد استفاده در این پژوهش

عناصر اندازه‌گیری شده	کاه گندم	بیوچار
$pH_{(1:10)}$	۷/۵	۶/۳۱
$EC_{(1:10)}$ ($dS\ m^{-1}$)	۰/۶۸	۴/۴۸
مقدار خاکستر (درصد)	۱۶/۶	۲۲/۶۷
کربن کل (درصد)	۳۹/۷	۴۷/۷۳
هیدروژن کل (درصد)	۶/۲	۲/۲۱
C/N	۶۶/۱	۷۰/۱۹
H/C	۰/۱۵	–
عملکرد بیوچار (درصد)	–	۳۷/۴۲
نیتروژن کل (درصد)	۰/۶	۰/۶۸
فسفر ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۷۹	۱/۱۸
پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)	۲/۶۶	۴۰/۶۵
کلسیم ($g\ kg^{-1}$)	۳/۲۷	۲۶/۶۸
منیزیم ($g\ kg^{-1}$)	۱/۹۲	۵/۸۴
آهن ($mg\ kg^{-1}$)	۴۲۰	۴۵۰
روی ($mg\ kg^{-1}$)	۱۶/۵۹	۱۸/۰۹
مس ($mg\ kg^{-1}$)	۷/۶۲	۸/۷۱
منگنز ($mg\ kg^{-1}$)	۳۰/۰۵	۳۰/۴۴

طرح آزمایشی

طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور و ۲۰ تیمار در سه تکرار و با مجموع ۶۰ گلدان اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل ماده آلی در پنج سطح (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد از دو منبع کاه گندم و بیوچار حاصل از آن)، نیتروژن در دو سطح (۱۵۰ و ۳۰۰ میلیگرم نیتروژن برکیلوگرم خاک از منبع اوره) و رطوبت در دو سطح (۵۰ تا ۶۰ و ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC) بود.

سطوح ماده آلی (کاه و بیوچار) این پژوهش بر طبق نتایج سلیمی (۲۰۱۹) انتخاب شدند؛ چرا که وی گزارش کرده بود که سطوح دو و چهار درصد کاه گندم باعث کاهش برخی خصوصیات زراعی بوته کلزا در شرایط گلخانه شد. به خاک با کلاس بافتی لوم شنی، ماده آلی در پنج سطح به همراه ۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات آمونیوم افزوده شد و به مدت ۶۰ روز در دامنه رطوبتی بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد FC و در دمای ۵±۲۵ درجه سلسیوس در شرایط گلخانه نگهداری شد تا مواد آلی مصرفی با خاک کاملاً مخلوط شود. بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه‌های رایج کودی، مقدار شش میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن (FeEDDHA)، ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (K_2SO_4)، ۲۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از منبع سوپر فسفات‌تریپل، ۱۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$)، با در نظر گرفتن وزن خاک هر گلدان (سه کیلوگرم خاک) به صورت محلول موقع کشت مصرف شد. کود نیتروژن در دو سطح (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره) و در سه نوبت در طول دوره رشد (نوبت اول موقع کشت، نوبت دوم ۳۰ روز پس از کشت و نوبت سوم ۵۰ روز پس از کشت بوته) مصرف گردید. نه عدد بذر جوانه‌دار شده کلزا کشت شد. بعد از سبز شدن و اطمینان از استقرار آن‌ها، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به سه عدد کاهش یافت. رطوبت خاک تا مرحله روزت (چند برگی شدن) بوته‌ها در محدوده ۸۰ تا ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه ای به روش وزنی نگه داشته شد. بعد از رسیدن بوته‌ها به مرحله روزت تنش کم آبی (۵۰ تا ۶۰ درصد FC) اعمال شد و تا پایان دوره رشد ادامه داده شد. در طول دوره رشد، شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech، مدل CL–01)، سطح برگ با استفاده از دستگاه مربوطه[۱](LAM، مدل LI -3100C) ساخت کشور آمریکا، هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتور انتشاری AP4 Porometer (Delta-T Devices, Cambridge, UK) و پتانسیل آب برگ قبل از برداشت بوته توسط محفظه فشاری بین ساعت ۱۲ تا ۱۴ اندازه‌گیری شد. بعد از اتمام دوره رشد (سه ماه)، برخی صفات زراعی همچون ارتفاع بوته، قطر ساقه در محل طوقه، ماده خشک شاخساره، ریشه و دانه، تعداد غلاف، وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب بر اساس نسبت محصول تولید شده به مقدار آب مصرفی اندازه‌گیری شد (کرامر ۱۹۸۳). همچنین، در دانه کلزا درصد روغن به روش سوکسله[۲] اندازه‌گیری شد(اونای و همکاران۲۰۱۶). تجزیه واریانس با نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و ترسیم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام شدند.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. کلاس بافت خاک مورد استفاده لوم شنی، فقیر از ماده آلی و نیتروژن بود. این نوع کلاس بافت در خاک‌های کشور غالب است. فسفر، آهن و روی قابل‌جذب نیز کمتر از سطح بحرانی تعیین شده در خاک‌های ایران برای اکثر گیاهان زراعی بود؛ اما از نظر مس و منگنز قابل‌جذب خاک تقریباً در وضعیت مطلوبی قرار داشت. از

[۱] Leaf area meter
[۲] Soxhlet

نظر عنصر پتاسیم نیز برای اکثر گیاهان زراعی به ویژه غلات سطح بحرانی همین عدد ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تعیین شده است. هرچند که برای برخی گیاهان پر نیاز مثل نیشکر و آفتابگردان سطح بحرانی بسیار بیشتر از این عدد می‌باشد (شهبازی و بشارتی ۲۰۱۳). همچنین، خاک مورد استفاده از نظر شوری مشکل نداشت.

برخی ویژگی‌های کاه و بیوچار مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ آمده است. بیوچار حاوی گروه‌های عاملی اسیدی همانند هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم و عامل‌های آلی همانند اسیدهای فنولی است و اگر فلزات قلیایی، قلیایی خاکی در مقادیر کم در بیوچار وجود داشته باشد انتظار می‌رود که pH بیوچار اسیدی قوی باشد (سینگ و لهمان ۲۰۱۷). واکنش بیوچار مورد استفاده در این پژوهش نیز اسیدی ضعیف بود که در خاک های آهکی و قلیایی ایران یک نوع امتیاز مثبت تلقی می‌شود. البته هدایت الکتریکی آن به‌دلیل حضور فلزات قلیایی و خاکستر زیادتر از مواد اولیه بود. از نظر شکل قابل‌جذب عناصر نیز بیوچار مورد استفاده دارای مقداری پتاسیم، فسفر و عناصر کم‌مصرف به‌ویژه آهن و روی بود که در خاک‌های آهکی می‌توانند باعث بهبود رشد گیاهان شوند، همچنین، بر اثر حرارت دادن زیست-توده اولیه اندکی آمونیوم و نیترات در بیوچار تولید می-شود که به‌عنوان نیتروژن قابل‌جذب بیوچار شناخته می-شوند (ریحانی‌تبار و همکاران ۲۰۲۰).

شاخص کلروفیل برگ‌ها

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی، نیتروژن، سطوح رطوبتی و اثر متقابل نیتروژن × رطوبت در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل ماده آلی × رطوبت و ماده آلی × نیتروژن × رطوبت در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص کلروفیل برگ‌ها معنادار بود، اما اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن غیرمعنادار بود (جدول ۳).

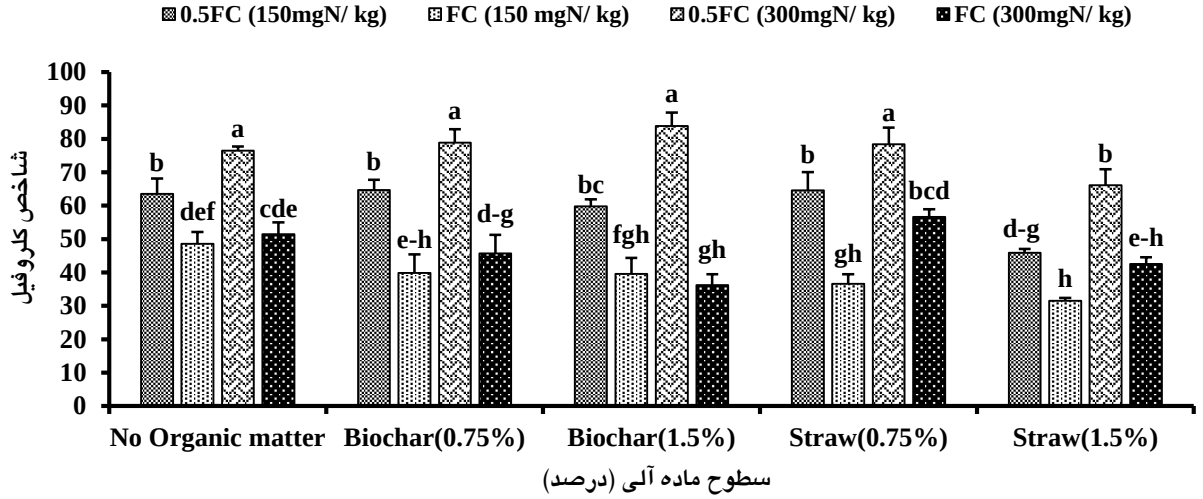
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر ماده آلی، نیتروژن و رطوبت بر شاخص کلروفیل، کارایی مصرف آب، وزن خشک بذر و غلظت روغن

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		شاخص کلروفیل	کارایی مصرف آب	ماده خشک بذر	غلظت روغن
ماده آلی	۴	۳۵۰/۷۵**	۰/۳۲۶**	۰/۹۹۲**	۹۲/۰۵**
نیتروژن	۱	۲۲۲۶/۷۴**	۰/۶۶۴**	۲/۰۳۵**	۳۲۶/۲۹**
ماده آلی × نیتروژن	۴	۴۵/۲۰۳^{ns}	۰/۱۱۰**	۰/۱۴۳^{ns}	۳۳/۲۱۶^{ns}
رطوبت	۱	۹۶۴۸/۹۷**	۰/۰۱۱^{ns}	۳۸/۳۸**	۸۱/۰۶۱*
ماده آلی × رطوبت	۴	۱۱۷/۷۲*	۰/۱۴۱**	۰/۱۵۲^{ns}	۶/۸۵۶^{ns}
نیتروژن × رطوبت	۱	۳۵۸/۱۹**	۰/۱۶۷**	۰/۳۷۰*	۳۰/۱۰۴^{ns}
ماده آلی × نیتروژن × رطوبت	۴	۱۰۶/۲۷*	۰/۱۰۳**	۰/۲۲۵*	۴۰/۳۰۷*
خطا	۴۰	۳۸/۸۷	۰/۰۱۵	۰/۰۶۹	۱۴/۸۹۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۲	۱۱/۵۳	۱۶/۳۷	۱۵/۵۹

ns، ** و * به‌ترتیب غیرمعنادار، معنادار در سطح احتمال یک و پنج درصد است.

مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × رطوبت، نشان داد که بیشترین میزان شاخص کلروفیل در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC اندازه‌گیری شد که ۱۰ درصد نسبت به تیمار بدون ماده آلی در همان سطح نیتروژن و رطوبت بیشتر بود. کمترین شاخص کلروفیل نیز مربوط به تیمار ۱/۵ درصد کاه و کلش با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC بود که نسبت به تیمار بدون ماده آلی با ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر

کیلوگرم خاک در سطح رطوبت FC، ۱۶ درصد کاهش نشان داد (شکل ۱). افزایش شاخص کلروفیل برگ‌ها بر اثر تنش کم‌آبی را می‌توان به بیشتر بودن سرعت تشکیل کلروفیل نسبت به سرعت رشد بوته یا وقوع پدیده اثر تغلیظ (افزایش تعداد مولکول‌های کلروفیل در واحد سطح برگ) نسبت داد (مارشنر ۲۰۱۱) که با نتایج محمودی و همکاران (۲۰۱۵) در گیاه یونجه مطابقت داشت. البته کاهش شاخص کلروفیل برگ به‌عنوان نشانه‌ای از تنش کم‌آبی نیز در محصولات مختلف از قبیل خار مریم و آفتابگردان گزارش شده است که دلیل آن هم اختلال سنتز کلروفیل یا تشدید تجزیه کلروفیل عنوان شده است (بری دمایر و شمید هالتر ۲۰۰۵). در یک بررسی گزارش شد که تنش کم‌آبی سبب افزایش غلظت نیتروژن اندام هوایی اسفناج شد. آنان بیان کردند نیتروژن در



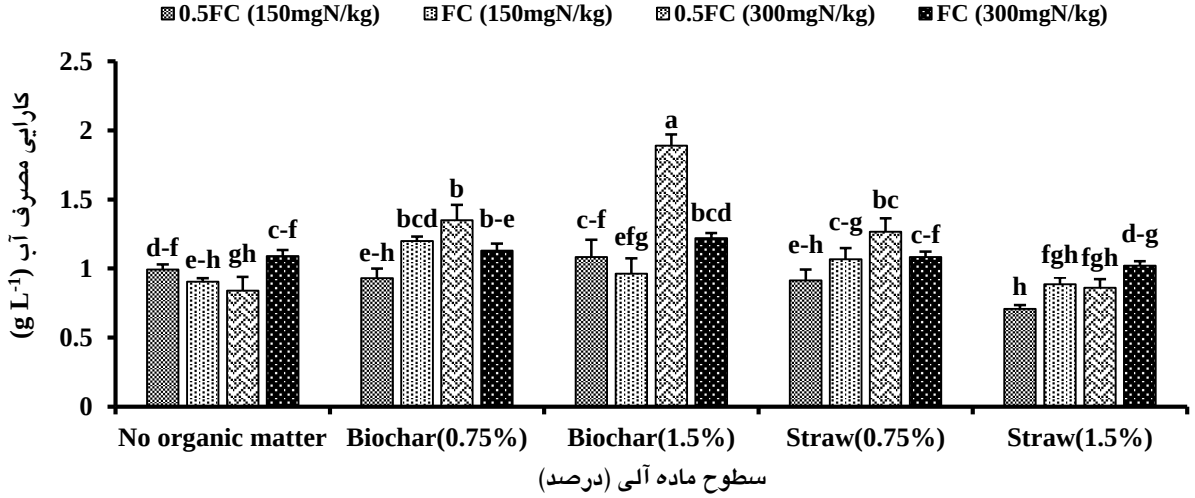
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل برای ترکیبات تیماری ماده آلی × نیتروژن × رطوبت

ساختار گیاه و کلروفیل نقش داشته و بین مقدار نیتروژن و کلروفیل همبستگی مثبت وجود دارد. با این‌حال کاربرد بیوچار سبب افزایش مقدار کلروفیل به‌دلیل تأثیر مثبت آن در جذب عناصر ضروری ازجمله منیزیم که جزء مهمی از رنگدانه‌های کلروفیل است، می‌شود (آبر و همکاران ۲۰۱۵). در پژوهشی سان و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی اثر بیوچار کاه گندم در سطوح مختلف (صفر، ۱، ۳، ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد) بر شاخص‌های فیزیولوژیکی بوته ذرت گزارش کردند که بیوچار در سطوح یک و پنج درصد سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ شد، در حالی‌که سایر سطوح مصرفی (۳، ۱۵ و ۳۰ درصد) سبب کاهش میزان کلروفیل برگ شدند. آنان گزارش کردند که دلایل این امر می‌تواند افزایش رشد گیاه و اثر رقت و ناپویا شدن نیتروژن معدنی خاک باشد. گویلی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که سطوح تنش کم‌آبی (۷۰ و ۵۵ درصد FC) سبب افزایش ۱۱ و ۲۰ درصدی شاخص کلروفیل برگ گیاه سویا نسبت به سطح رطوبت ۱۰۰ درصد FC شد. این پژوهشگران گزارش کردند که مصرف بیوچار کود گاوی سبب افزایش شاخص کلروفیل بوته در شرایط تنش کم‌آبی شد؛ به‌طوری‌که بیشترین شاخص کلروفیل را در تیمار ۵ درصد بیوچار مصرفی در سطح رطوبت ۵۵ درصد FC گزارش کردند. همچنین، این پژوهشگران بیان کردند که اعمال سطوح تنش کم‌آبی سبب کاهش وزن خشک بوته و در نتیجه افزایش غلظت نیتروژن و شاخص کلروفیل در شاخساره بوته شد. سلیمی (۲۰۱۹) کاهش شاخص کلروفیل برگ را در سطوح دو و چهار درصد بیوچار و کاه گندم گزارش و بیان کرد که کاهش شاخص کلروفیل در سطوح حاوی کاه بیش‌تر از بیوچار تهیه شده از آن بود. ایشان دلیل این امر را افزایش رشد بوته و اثر رقت، ناپویا شدن نیتروژن معدنی، کاهش غلظت و جذب نیتروژن و برخی عناصر دیگر گزارش کرد. در پژوهش حاضر نیز بین سطوح بیوچار و کاه تفاوت معنادار از لحاظ اثر بر شاخص کلروفیل وجود نداشت و یکی از

دلایل این نتیجه نسبت به پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) احتمالاً کاهش سطح مقدار ماده آلی مصرفی می‌باشد. با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که شاخص کلروفیل برگ با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی در تمام سطوح ماده آلی افزایش یافت که با توجه به نقش نیتروژن در ساختمان کلروفیل کاملاً مورد انتظار بود (مارشنر ۲۰۱۱).

کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب بر اساس نسبت محصول تولید شده به مقدار آب مصرفی تعریف و محاسبه می‌شود. نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که به‌جز اثر اصلی سطوح رطوبتی سایر اثرات اصلی و متقابل در سطح احتمال یک درصد معنادار بودند (جدول ۳).



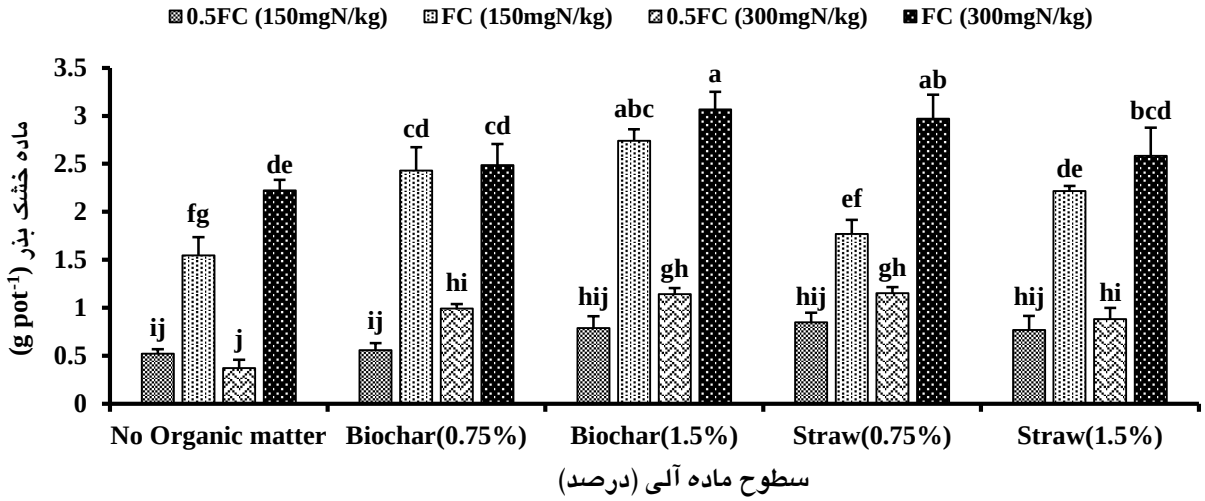
شکل ۲- مقایسه میانگین‌های کارایی مصرف آب برای ترکیبات تیماری ماده آلی × نیتروژن × رطوبت

مقایسه میانگین‌های کارایی مصرف آب برای اثر متقابل سه جانبه ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی برای کارایی مصرف آب نشان داد که اثر هر یک از تیمار-ها بستگی به دو تیمار دیگر داشت. بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FCحاصل شد. کمترین کارایی مصرف آب نیز در تیمار ۱/۵ درصد کاه با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC به‌دست آمد (شکل ۲). وفابخش و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثر تنش آبی بر کارایی مصرف آب در کلزا گزارش کردند که با افزایش شدت تنش، کارایی مصرف آب افزایش یافت؛ به‌طوری‌که آنان بیشترین کارایی مصرف آب را در تیمار ۵۵ درصد FC و کمترین مقدار را در تیمار ۱۰۰ درصد FC گزارش کردند. این پژوهشگران بیان کردند که اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب در کلزا به نوع رقم بوته بستگی داشت و نقش رقم در زراعت کلزا در شرایط تنش خشکی مهم به نظر می‌رسد. ایجاد تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد می‌شود ولی روند کاهش مصرف آب ممکن است بیش از کاهش عملکرد باشد و این موضوع سبب افزایش کارایی مصرف آب شود (حسنی و همکاران ۲۰۰۹). با این حال، نجفی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که با کاهش مقدار رطوبت خاک، کارایی مصرف آب به‌وسیله گیاه یونجه کاهش یافت، زیرا مقدار کاهش ماده خشک بوته در شرایط تنش خشکی بیشتر از مقدار کاهش آب مصرفی بود. نتیجه مشابهی به‌وسیله مطلبی فرد و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شد. گویلی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که افزودن بیوچار تولید شده از کود گاوی در دو سطح ۱/۲۵ و ۲/۵ درصد در شرایط تنش کم‌آبی سبب افزایش کارایی مصرف آب در سویا شد، در حالی که افزایش مقدار بیوچار مصرفی به ۵ درصد به‌دلیل افزایش شوری خاک سبب کاهش کارایی مصرف آب گردید. سلیمی (۲۰۱۹) افزایش معنادار کارایی مصرف آب را با کاربرد دو و چهار درصد بیوچار کاه گندم در بوته کلزا را گزارش کرد. در شرایط این پژوهش گلدانی با افزایش میزان نیتروژن مصرفی

کارایی مصرف آب افزایش یافت که می‌توان دلیل این امر را افزایش رشد ریشه و بهبود جذب آب و عناصر غذایی به وسیله بوته بیان کرد. همچنین، سلیمی (۲۰۱۹) افزایش معنادار کارایی مصرف آب را با کاربرد بیوچار کاه گندم در بوته کلزا را گزارش کرد.

ماده خشک بذر

در شرایط این تحقیق اثر اصلی ماده آلی، نیتروژن و سطوح رطوبتی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل نیتروژن × سطوح رطوبتی و ماده آلی × نیتروژن × رطوبت در سطح احتمال پنج درصد بر ماده خشک بذر معنادار ولی سایر اثرات متقابل غیرمعنادار بودند (جدول ۳).



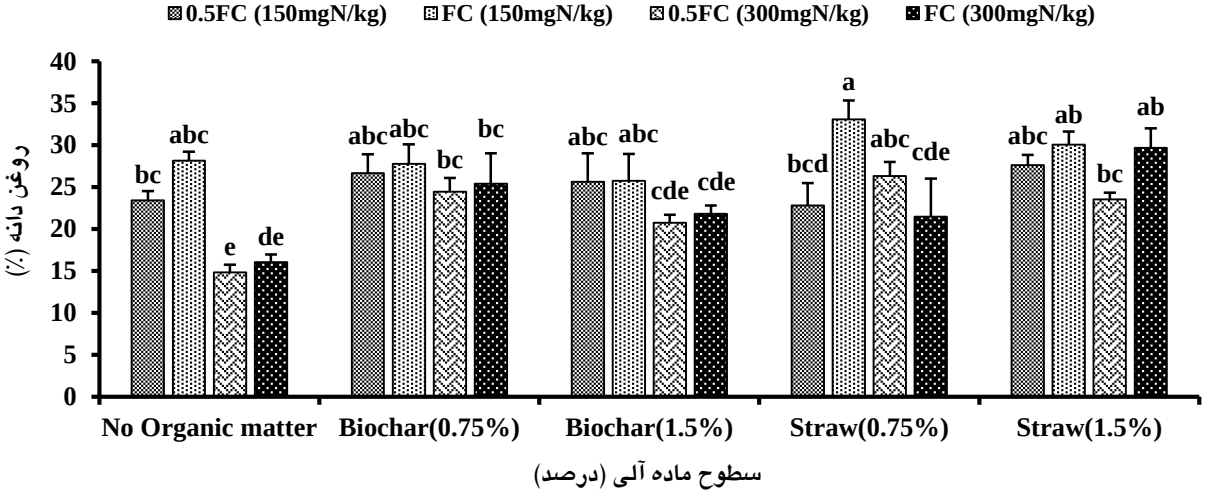
شکل ۳- مقایسه میانگین‌های ماده خشک بذر برای ترکیبات تیماری ماده آلی × نیتروژن × رطوبت

مقایسه میانگین‌های ماده خشک بذر برای اثر متقابل سه جانبه ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین ماده خشک بذر در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC به‌دست آمد. هر چند که با تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC و ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC تفاوت معناداری نداشت. کمترین میزان ماده خشک بذر نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC مشاهده شد که نشان دهنده عدم کارایی کود نیتروژن در شرایط تنش آبی و عدم مصرف ماده آلی می‌باشد (شکل ۳). همانند نتایج سلیمی (۲۰۱۹) در این پژوهش گلدانی نیز مصرف بیوچار سبب افزایش معنادار وزن خشک بذر شد که دلیل آن را می‌توان بهبود جذب آب و عناصر توسط بیوچار بیان کرد. خالصی و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی تأثیر بیوچار و نیتروژن بر برخی صفات ذرت در شرایط تنش کم‌آبی، گزارش کردند هنگامی که بیوچار و نیتروژن با هم استفاده می‌شوند افزایش معناداری در ماده خشک بذر نسبت به کاربرد تنهایی نیتروژن ایجاد می‌شود. آنان دلیل این برهمکنش مثبت را به افزایش کارایی کود نیتروژن توسط بیوچار که نتیجه کاهش هدر روی نیتروژن به دلیل افزایش CEC خاک است نسبت دادند. همچنین، بیان کردند که تنش کم‌آبی از طریق تأثیر بر میزان باز بودن روزنه‌ها و فعالیت آنزیم‌ها بر تولید مواد فتوسنتزی تأثیرگذار بوده و موجب چروکیدگی و کاهش ماده دانه می‌گردد. پورمنصور و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر بیوچار و کم‌آبیاری بر ماده خشک بذر باقلا گزارش کردند که بیوچار کاه گندم در مقادیر کم (۲۵ تن در هکتار) سبب افزایش ماده خشک بذر می‌شود، در

حالی که با افزایش مقدار آن (۸۰ تن در هکتار) به دلیل افزایش شوری خاک سبب کاهش رشد بوته و در نتیجه کاهش ماده خشک بذر می‌شود. شبان و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند که افزودن ۴۰ تا ۸۰ تن در هکتار بیوچار در خاک سبب افزایش ماده خشک گندم شد.

غلظت روغن دانه

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی کلزا درصد روغن دانه است. روغن با ارزش‌ترین جزء دانه است که دارای مصارف صنعتی و خوراکی است. آبیاری مطلوب می‌تواند باعث افزایش روغن دانه در گیاه شود، درحالی که تنش کم‌آبی منجربه کاهش درصد روغن می‌گردد. افزایش نیتروژن سبب طولانی‌تر شدن نمو خورجین شده در نتیجه دانه از رسیدن به بلوغ کامل باز مانده و غلظت روغن کاهش می‌یابد. بر طبق نتایج حاصله اثر اصلی ماده آلی و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی رطوبت و اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × رطوبت در سطح احتمال پنج درصد بر درصد روغن دانه معنادار شدند ولی اثر متقابل دو جانبه غیرمعنادار بودند (جدول ۳).



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های غلظت روغن دانه برای ترکیبات تیماری ماده آلی × نیتروژن × رطوبت

با توجه به مقایسه میانگین‌های روغن دانه برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی در شکل ۴ مشاهده می‌شود که بیشترین درصد روغن در تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC و کمترین درصد روغن نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC به‌دست آمد (شکل ۴). در این پژوهش نیز همانند پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) بین کاه گندم و بیوچار حاصله به رغم تفاوت کمیت مصرفی از لحاظ اثر بر درصد روغن دانه تفاوت معنادار مشاهده نشد. نوراله خان و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی، عملکرد دانه افزایش ولی درصد روغن دانه کاهش یافت، زیرا با افزایش مقدار نیتروژن در محیط کشت بوته، پیش زمینه‌های پروتئینی نیتروژن دار بیشتر سنتز شده و مواد در دسترس برای سنتز اسیدهای چرب کاهش یافته و در نتیجه غلظت روغن دانه کم می‌شود. فرجی و صادقی (۲۰۱۳) بیان کردند که تنش کم‌آبی باعث افزایش مقدار پروتئین و کاهش درصد روغن دانه کلزا گردید. هم‌چنین با بررسی نتایج اثر متقابل نیتروژن و تنش کم‌آبی مشاهده کردند که درصد روغن دانه کاهش یافت، اما این کاهش معنادار نبود.

ماده خشک شاخساره

یکی از مهم‌ترین صفات زراعی وزن ماده خشک شاخساره است. مقایسه میانگین‌های ماده خشک

شاخساره برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین وزن ماده خشک شاخساره در تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FCبه‌دست آمد، ولی با برخی تیمارهای دیگر همچون تیمار۱/۵ درصد کاه، بیوچار۰/۷۵ درصد و بیوچار ۱/۵ درصد در همان سطح نیتروژن و رطوبت اختلاف آماری معنادار نداشت. کمترین مقدار ماده خشک نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC اندازه‌گیری شد. این موضوع نشان می‌دهد در شرایط تنش آبی و عدم مصرف ماده آلی، کود نیتروژن از کارایی لازم برخوردار نبوده است (جدول ۴). در جدول ۴ مشاهده می‌شود که با اعمال تنش کم‌آبی وزن ماده خشک شاخساره در تیمار بدون ماده آلی نسبت به سایر سطوح ماده آلی کمتر

جدول ۴- مقایسه میانگین ترکیب تیماری برخی صفات زراعی تحت تاثیر فاکتورهای مورد مطالعه

عامل	سطوح	ماده خشک شاخساره ($g\ pot^{-1}$)	ماده خشک ریشه ($g\ pot^{-1}$)	ارتفاع گیاه (cm)	قطر ساقه (mm)	سطح برگ ($cm^2\ pot^{-1}$)
ماده آلی (درصد)	۰	۴/۳۸۸^{c}	۰/۴۴۷۵^{b}	۳۶/۶۹^{b}	۳/۰۴^{b}	۱۳/۰۷^{c}
	B (۰/۷۵)	۶/۰۰۷^{ab}	۰/۶۳۳۳^{ab}	۳۹/۵۰^{b}	۳/۵۱^{a}	۱۶/۳۱^{b}
	B (۱/۵)	۶/۲۶۹^{ab}	۰/۶۸۷۵^{ab}	۳۸/۹۷^{b}	۳/۵۲^{a}	۱۶/۵۴^{b}
	St (۰/۷۵)	۶/۴۲۷^{a}	۰/۷۱۹۲^{a}	۴۴/۷۲^{a}	۳/۴۷^{a}	۱۹/۴۴^{a}
	St (۱/۵)	۵/۵۴۹^{b}	۰/۶۱۵۸^{b}	۴۴/۹۲^{a}	۳/۳۳^{ab}	۱۶/۱۵^{b}
نیتروژن ($mg\ kg^{-1}$)	۱۵۰	۵/۳۷۷^{b}	۰/۵۵۳^{b}	۳۷/۲۸^{b}	۳/۱۳^{b}	۱۴/۹۱^{b}
	۳۰۰	۶/۰۸۰^{a}	۰/۶۸۸^{a}	۴۴/۲۷^{a}	۳/۶۲^{a}	۱۷/۷۳^{a}
رطوبت (درصد)	$FC_{0.5}$-$FC_{0.6}$	۳/۹۹۴^{b}	۰/۵۵۲^{b}	۳۱/۴۲^{b}	۳/۲۳^{b}	۱۴/۹۴^{b}
	$FC_{0.85}$-FC	۷/۴۶۳^{a}	۰/۶۸۹^{a}	۵۰/۱۴^{a}	۳/۵۲^{a}	۱۷/۷۰^{a}

در هر ستون اعداد با حروف یکسان از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معناداری ندارند

است. ملا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که افزودن ۱۵ تن بیوچار به خاک سبب افزایش ماده خشک شاخساره بوته تاج خروس شد. شبان و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی سطوح مختلف بیوچار در شرایط گلخانه‌ای گزارش کردند که افزودن ۴۰ تن در هکتار سبب افزایش کارایی مصرف آب و وزن ماده خشک شاخساره گندم شد. همچنین، آنان گزارش کردند که افزایش سطح بیوچار مصرفی (۸۰ تن در هکتار) به‌دلیل افزایش شوری سبب کاهش وزن خشک بوته شد. گویلی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که مصرف ۱/۲۵ درصد بیوچار کود گاوی در شرایط تنش کم‌آبی سبب افزایش معنادار وزن خشک بوته سویا شد، در حالی که با مصرف ۲/۵ درصد بیوچار وزن ماده خشک بوته کاهش یافت. این پژوهشگران بیان کردند که افزایش ماده خشک شاخساره بوته بر اثر کاربرد بیوچار می‌تواند به دلیل افزایش دسترسی عناصر غذایی در خاک باشد. همچنین، کاهش وزن ماده خشک شاخساره با افزایش بیوچار مصرفی را به افزایش شوری خاک در سطوح بالای بیوچار نسبت دادند. افزایش مصرف نیتروژن سبب افزایش جذب آن توسط بوته و در نتیجه سبب بهبود رشد می‌شود (ضابط و همکاران ۲۰۱۴). کاهش رشد شاخساره بوته یونجه بر اثر کاهش مقدار آب خاک و وقوع تنش خشکی در بوته یونجه به‌وسیله نجفی و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش شده است. ضابط و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تنش کم‌آبی سبب کاهش وزن خشک شاخساره ارزن می‌شود، در حالی که افزایش نیتروژن خاک تا حدودی این کاهش را جبران و با افزایش میزان نیتروژن خاک وزن خشک شاخساره افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی رشد بوته و در نتیجه ماده خشک شاخساره

کاهش یافت (جدول ۴). اثر تنش آبی بر توسعه سلولی آشکارتر از تقسیم سلولی است زیرا بزرگتر شدن سلول به دنبال فشار تورژسانس ناشی از جذب آب است. لذا هر گونه کاهش در مقدار آب موجب توقف رشد و کاهش وزن بوته می‌شود (جوادی و جعفری ۲۰۱۶). سلیمی (۲۰۱۹) گزارش کرد که بیشترین ماده خشک شاخساره کلزا در سطح چهار درصد بیوچار و کمترین آن نیز در تیمار چهار درصد کاه به‌دست آمد. با مقایسه نتایج پژوهش حاضر که سطوح کاه و بیوچار ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد بودند با نتایج سلیمی (۲۰۱۹) که سطوح کاه و بیوچار ۲ و ۴ درصد بودند اثر مقدار مصرف بیوچار و کاه بر این صفت مهم مشخص می‌شود. سلیمی (۲۰۱۹) برای تاثیر منفی کاه دلایلی همچون تولید اسیدهای آلی با جرم مولکولی بالا (اسیدهای فولیک) بر اثر تجزیه را عنوان کرد. این اسیدها در غلظت کم برای رشد طولی ریشه مفید اما در غلظت‌های زیاد از رشد ریشه جلوگیری می‌کنند. همچنین، ایجاد شرایط بی‌هوازی یا بی‌هوازی موضعی در خاک به هنگام تجزیه کاه و تولید اسیدهای فنولیک، آلیفاتیک و اسیدهای چرب، اختلال در تنفس ریشه و اختلال در تشکیل تارهای کشنده از عواقب مصرف زیاد کاه عنوان شده است (مارشنر ۲۰۱۱). برخلاف پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) با کاهش سطح مصرف کاه از دو و چهار درصد به ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد در این پژوهش، مشاهده شد که اثرات مثبت تجزیه کاه در حضور نیتروژن کافی همانند افزایش فعالیت میکروبی و احتمالاً فعالیت آنزیم‌های خاک بر اثرات منفی غلبه کرده و کاه تأثیر مثبتی بر ماده خشک شاخساره داشته است.

ماده خشک ریشه

مقایسه میانگین‌های ماده خشک ریشه برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین ماده خشک ریشه در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC به‌دست آمد. همچنین، کمترین ماده خشک ریشه نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که تیمارهای بیوچار و کاه و کلش با افزایش میزان نیتروژن مصرفی سبب افزایش در ماده خشک ریشه بوته نسبت به تیمار بدون ماده آلی شده‌اند. همچینین در شرایط تنش کم‌آبی وزن خشک ریشه کاهش یافت ولی مصرف ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد بیوچار و ۰/۷۵ درصد کاه سبب افزایش وزن ماده خشک ریشه در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به تیمار بدون ماده آلی شد. ابراهیم و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثر بیوچار و کودهای شیمایی (NPK) در شرایط تنش کم‌آبی بر عملکرد گندم گزارش کردند که بیوچار سبب افزایش ماده خشک ریشه شد. در پژوهشی شعبان و همکاران (۲۰۱۳) اثر تنش کم‌آبی و کود نیتروژن بر خصوصیات ریشه نخود را بررسی و گزارش کردند که تنش کم‌آبی سبب کاهش ماده تر و خشک ریشه شد، در مقابل سطوح نیتروژن مصرفی با افزایش رشد و توسعه ریشه سبب افزایش ماده خشک ریشه شد. از نتایج قابل توجه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود این است که هر دو تیمار کاه و بیوچار مصرفی در هر دو سطح مصرفی (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد) با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در سطح رطوبت FC سبب افزایش قابل توجه ماده خشک ریشه نسبت به تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن مصرفی شده‌اند. بر خلاف نتایج سلیمی (۲۰۱۹) در این پژوهش با توجه به سطوح مصرفی، تیمار کاه تقریباً همانند تیمار بیوچار عمل کرده و هر چهار سطح ماده آلی سبب افزایش وزن خشک ریشه نسبت به تیمار عدم مصرف ماده آلی شده‌اند.

ارتفاع بوته

مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × رطوبت نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC برابر با ۶۲/۸ سانتی‌متر بود و کمترین ارتفاع بوته نیز مربوط به تیمار ۰/۷۵ درصد بیوچار با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC

به‌دست آمد (جدول ۴). سلیمی (۲۰۱۹) افزایش معنادار ارتفاع بوته را در سطوح دو و چهار درصد بیوچار حاصل از کاه گندم نسبت به سطوح کاه گزارش کرد. در پژوهش گلخانه‌ای حاضر با توجه به کاهش درصد ماده آلی مصرفی نسبت به پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) ارتفاع بوته در تیمارهای کاه بیشتر بود و به‌جز تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC بین سایر سطوح بیوچار و کاه تفاوت معنادار وجود نداشت. اعمال تنش کم‌آبی با کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود و به طور کلی در بسیاری از بوتهان تنش کم‌آبی سبب تأخیر در طویل شدن ساقه می‌شود که این امر سبب کاهش فاصله میان گره‌ها و در نتیجه کاهش ارتفاع بوته می‌شود که با نتایج مارکاریان و همکاران (۲۰۱۶) در یونجه مطابقت داشت. در مطالعه‌ای سان و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد بیوچار کاه ذرت در سطح یک و پنج درصد سبب افزایش ارتفاع بوته ذرت شد. صالحی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که مصرف کاه گندم به میزان ۱/۵ تا ۳ تن در هکتار باعث افزایش تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش ارتفاع بوته لوبیا شد، درحالی‌که افزایش مقدار مصرفی کاه به ۴/۵ تن در هکتار به‌دلیل افزایش نسبت C/N سبب کاهش تثبیت زیستی نیتروژن شد. آگبنا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که مصرف بیوچار کاه گندم در خاک آهکی طی دو فصل زراعی سبب افزایش ارتفاع بوته گوجه فرنگی شد، اما اثر متقابل بیوچار و رطوبت غیرمعنادار بود. همچنین، گزارش کردند که در طی فصل دوم ارتفاع و رشد بوته کمتر از فصل اول بود. نتایج نشان داده است که سطح رطوبت بهینه در خاک سبب پویایی نیتروژن در خاک شده و سبب جذب بهتر آن توسط بوته می‌شود (برکات و همکاران ۲۰۱۶). جهانشاهی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی اثر نیتروژن و کم‌آبی بر ارتفاع بوته بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) گزارش کردند که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به سطح بدون تنش و مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و بیشترین درصد اسانس بوته مربوط به سطح دارای تنش کم‌آبی و مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک بود. در مطالعه‌ای دیگر گویلی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که بیوچار کود گاوی (۱/۲۵ درصد) در شرایط تنش کم‌آبی سبب افزایش ارتفاع بوته سویا شد، درحالی‌که با افزایش میزان مصرف بیوچار (۵ درصد) ارتفاع بوته نسبت به شاهد کاهش یافت. این پژوهشگران دلیل کاهش ارتفاع بوته در سطح ۵ درصد بیوچار را افزایش شوری خاک بیان کردند.

قطر ساقه در محل طوقه

یکی از صفات مهم کلزا که در پایداری آن و جلوگیری از خوابیدگی بوته مهم است، قطر ساقه است. مقایسه میانگین‌های قطر ساقه برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × رطوبت نشان داد که بیشترین قطر ساقه برابر با ۳/۹۹ میلی‌متر در تیمار ۰/۷۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC حاصل شد. کمترین قطر ساقه برابر با ۲/۵۵ میلی‌متر در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به جدول ۴ بدون در نظر گرفتن سطوح رطوبتی مشاهده می‌شود که بیشترین قطر ساقه در تیمار ۰/۷۵ درصد بیوچار به همراه ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک حاصل شده است و کاهش در مقدار نیتروژن مصرفی منجربه کاهش قطر ساقه گردیده است. همچنین، مشاهده می‌شود که تنش کم‌آبی سبب کاهش در قطر ساقه بوته شده است، درحالی‌که بیوچار مصرفی منجربه افزایش ظرفیت نگهداری آب قابل استفاده در خاک شده و در نتیجه سبب افزایش قطر ساقه شده است. سان و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه تأثیر بیوچار حاصل از کاه ذرت در یک خاک اسیدی بر رشد و عملکرد ذرت گزارش کردند که کاربرد پنج درصد بیوچار سبب افزایش ۳۸ درصدی قطر ساقه بوته نسبت به تیمار بدون ماده آلی شد. خالصی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که در شرایط تنش کم‌آبی قطر ساقه بوته ذرت کاهش یافت، درحالی‌که کاربرد بیوچار حاصل از چوب درخت توت سبب افزایش قطر ساقه ذرت شد. آنان

افزایش قطر ساقه با کاربرد بیوچار را به‌دلیل ساختار متخلخل بیوچار و جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی و در نتیجه کاهش اثرات تنش کم‌آبی اعلام کردند. درگاهی و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی اثر کود نیتروژن و تنش خشکی در بوته ذرت گزارش کردند که تنش کم‌آبی سبب کاهش قطر ساقه بوته ذرت شد، درحالی‌که اثر نیتروژن بر قطر ساقه غیرمعنادار شد. این پژوهشگران بیان کردند که در شرایط تنش کم‌آبی جذب مواد و عناصر غذایی کاهش یافته و در نتیجه سبب کاهش رشد بوته می‌شود و با محدود شدن رشد بوته در شرایط کمبود آب، ارتفاع، قطر ساقه، وزن دانه و تعداد شاخه‌های فرعی بوته کاهش می‌یابد. همانند پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) که افزایش قطر ساقه کلزا را با کاربرد سطوح دو و چهار درصد بیوچار گزارش کرد، در این پژوهش نیز بیوچار سبب افزایش قطر ساقه در محل طوقه بوته شد.

سطح برگ

سطح برگ می‌تواند بر میزان ماده خشک تولید شده در طول فصل رشد تأثیر زیادی داشته باشد. مقایسه میانگین‌های سطح برگ برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × رطوبت نشان داد که بیشترین سطح برگ در تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC مشاهده شد. کمترین سطح برگ نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC مشاهده شد (جدول ۴). در جدول ۴ مشاهده می‌شود که با اعمال تنش کم‌آبی سطح برگ بوته کاهش یافت، درحالی که مصرف بیوچار در هر دو سطح (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد) و کاه در سطح ۰/۷۵ درصد سبب افزاش سطح برگ نسبت به تیمار بدون ماده آلی شد. نکته قابل توجه در جدول ۴ این است که تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC سبب افزایش ۲۰ درصدی سطح برگ بوته نسبت به تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC شد. این موضوع نشان دهنده نقش مثبت بیوچار در جذب و نگهداری آب قابل استفاده بوته است. احمد (۲۰۱۸) گزارش کرد که مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن تحت شرایط آبیاری کامل سبب افزایش سطح برگ بوته کلزا شد. همچنین، ایشان بیان کرد که افزایش مصرف نیتروژن علاوه بر اینکه می‌تواند سبب افزایش اندازه سلول شده و سطح برگ بوته را افزایش دهد، باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی نیز می‌گردد. در مطالعه‌ای دیگر تاکاراگاوا و همکاران (۲۰۱۷) اثر بیوچار مصرفی بر شاخص‌های فیزیولوژیک آفتابگردان را بررسی و گزارش کردند که بیوچار در طول مرحله رشد بوته تأثیر مثبتی داشته و سبب افزایش سطح برگ بوته شد. کاهش سطح برگ‌ها از اولین علائم تنش کم‌آبی است. بر اثر تنش کم‌آبی ممکن است که باز شدن برگ‌ها و توسعه سطح برگ کاهش و یا حتی متوقف شود. گویلی (۱۳۹۵) گزارش کرد که کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوچار (تولید شده از کود گاوی) سبب کاهش اثرات تنش کم‌آبی (کاهش سطح برگ، کاهش وزن‌تر و خشک) و افزایش شاخص‌های رشد بوته در مقایسه با تیمار شاهد شد. در حالی که سطح پنج درصد بیوچار به‌دلیل افزایش شوری خاک سبب کاهش سطح برگ بوته سویا شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در مقایسه با سلیمی (۲۰۱۹) که بیان کرد مصرف سطوح دو و چهار درصد بیوچار حاصل از کاه در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس سبب افزایش سطح برگ بوته شد. اما هر دو سطح کاه سبب کاهش سطح برگ شده است در پژوهش گلخانه‌ای ما بین سطوح بیوچار و کاه تفاوت معنادار وجود نداشت. مصرف ماده آلی سبب افزایش سطح برگ نسبت به تیمار بدون ماده آلی شد. که این موضوع نشان دهنده اهمیت مقدار یا دوز مصرف ماده آلی اعم از کاه یا بیوچار است.

جدول ۵- مقایسه میانگین ترکیب تیماری فاکتورهای مورد مطالعه بر تعداد غلاف، وزن هزار دانه، هدایت روزنه ای، پتانسیل آب برگ و مقدار روغن.

عامل	سطوح	تعداد خورجین	وزن هزار دانه ($g\ pot^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای (cm^2/s)	پتانسیل آب برگ (-bar)	مقدار روغن ($g\ pot^{-1}$)
	۰	۴۴/۵۰^{c}	۲/۸۷۰^{b}	۰/۶۱۵^{a}	۱۳/۷۶^{b}	۲/۴۲۰^{b}
ماده آلی (درصد)	B (۰/۷۵)	۵۰/۵۸^{b}	۲/۹۹۳^{b}	۰/۵۸۸^{ab}	۱۴/۰۱^{bc}	۴/۱۸۹^{a}
	B (۱/۵)	۷۳/۴۲^{a}	۳/۲۵۰^{a}	۰/۶۳۳^{a}	۱۲/۸۹^{a}	۴/۵۳۷^{a}
	St (۰/۷۵)	۶۹/۵۸^{a}	۳/۰۹۶^{ab}	۰/۵۳۷^{b}	۱۴/۱۷^{bc}	۴/۲۸۸^{a}
	St (۱/۵)	۵۸/۱۷^{b}	۳/۱۲۲^{ab}	۰/۶۲۸^{a}	۱۴/۷۵^{c}	۴/۶۷^{a}
نیتروژن ($mg\ kg^{-1}$)	۱۵۰	۵۱/۵۰۰^{b}	۲/۸۵۸^{b}	۰/۵۰۵^{b}	۱۴/۲۹۴^{b}	۳/۹۴۶۲^{a}
	۳۰۰	۷۰/۲۰۰^{a}	۳/۲۴۷^{a}	۰/۶۹۷^{a}	۱۳/۵۳۹^{a}	۴/۰۹۷^{a}
رطوبت (درصد)	$FC_{0.5}$-$FC_{0.6}$	۴۰/۰۶۷^{b}	۲/۶۸۴^{b}	۰/۴۹۷^{b}	۱۵/۳۶۱^{b}	۱/۹۲۴۳^{b}
	$FC_{0.85}$-FC	۸۰/۶۳۳^{a}	۳/۴۴۸^{a}	۰/۷۰۴^{a}	۱۲/۴۷۲^{a}	۶/۱۱۸^{a}

در هر ستون اعداد با حروف یکسان از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معناداری ندارند.

تعداد خورجین در گلدان

در بوته کلزا تعداد خورجین یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد است که تابعی از طول دوره گل‌دهی، تعداد شاخه‌های فرعی و شرایط اقلیمی در هنگام گل‌دهی است. هر گونه تنش در طول دوره رشد بوته سبب کاهش تعداد گل، تعداد غلاف، تعداد برگ، اختلال در گرده افشانی و تعداد دانه در بوته می‌شود (غنایی ۲۰۱۳). مقایسه میانگین‌های تعداد خورجین برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FCبه‌دست آمد و تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC سبب افزایش تعداد خورجین نسبت به تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC خاک شد. کمترین تعداد نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FCحاصل شد (جدول ۵). با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که تنش کم‌آبی سبب کاهش معنادار تعداد غلاف شده است و این کاهش نیز در تیمار بدون ماده آلی بیشتر از سایر تیمارها بود. مصرف نیتروژن اثر خود را بیشتر از راه افزایش تعداد غلاف در بوته نشان می‌دهد و تغیرات تعداد دانه در غلاف قابل توجه نیست (نور قلی‌پور و همکاران ۲۰۱۴). راب و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر معنادار افزودن بیوچار بر افزایش تعداد غلاف در لوبیای بالدار (*Vigna radiate*) را گزارش کردند. آنان دلیل افزایش تعداد غلاف در بوته را در تیمارهایی که میزان متوسطی بیوچار (۱۰ تن در هکتار) مصرف شده بود، افزایش نسبت C/N و اثر آن بر رشد زایشی بوته گزارش کردند. همچنین، بیان کردند که در تیمارهای دیگر با افزایش میزان بیوچار مصرفی (۲۰ تن در هکتار) افزایش نسبت C/N موجب ناپویا شدن نیتروژن شد. در مطالعه‌ای گویلی و همکاران (۲۰۱۹) اثر بیوچار کود گاوی در شرایط تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد بوته سویا بررسی و گزارش شد که تنش کم‌آبی سبب کاهش تعداد غلاف سویا شد، اما مصرف بیوچار منجربه افزایش تعداد غلاف در بوته سویا شد. همچنین، این پژوهشگران بیان کردند که مصرف ۱/۲۵ درصد بیوچار سبب افزایش تعداد غلاف شد در حالی که افزایش سطح بیوچار مصرفی به ۵ درصد سبب کاهش در تعداد غلاف شد و دلیل این امر را افزایش شوری خاک حاصل از کاربرد مقادیر زیاد بیوچار در خاک عنوان کردند. سلیمی (۲۰۱۹) بیان کرد که کاربرد دو و چهار درصد بیوچار کاه گندم سبب افزایش تعداد غلاف در بوته کلزا شد. در این پژوهش گلدانی نیز همانند نتایج سلیمی (۲۰۱۹) بیوچار کاه گندم

سبب افزایش تعداد غلاف کلزا شد و با افزایش سطح کاه مصرفی تعداد غلاف کاهش یافت.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه بیان کننده اهمیت نمو دانه است و نقش مهمی را در میان اجزای عملکرد برای نشان توان عملکرد یک رقم نشان می‌دهد (نورقلی پور و همکاران ۲۰۱۴). مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه برای اثر متقابل سه جانبه ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC به‌دست آمد، ولی با سایر تیمارهای ماده آلی و بدون ماده آلی ولی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در سطح رطوبت FC تفاوت معناداری نداشت. کمترین وزن هزار دانه نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در تنش رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC اندازه‌گیری شد (جدول ۵). با توجه به جدول ۵ می‌توان گفت که استفاده از ماده آلی (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد بیوچار و ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد کاه) و مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبت FC می‌تواند سبب تولید وزن هزار دانه به همان اندازه تیمار بدون ماده آلی همراه با ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک شود، در نتیجه می‌توان در حضور ماده آلی در مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه صرفه‌جویی کرد. در مقایسه با پژوهش سلیمی (۲۰۱۹) که کاهش معنادار وزن هزار دانه کلزا را با کاربرد کاه گندم البته در سطح دو و چهار درصد نسبت به بیوچار حاصل از آن گزارش کرد در پژوهش حاضر بین تیمارها تفاوت معنادار وجود نداشت که دلیل آن کاهش کمیت ماده آلی اعم از کاه و بیوچار به ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد می‌باشد. پارسیوند و همکاران (۲۰۱۱) کاهش معنادار وزن هزار دانه در شرایط تنش کم‌آبی، به دلیل زودرس شدن بوته به منظور فرار بوته از خشکی را گزارش و بیان کردند که زودرسی همراه با کاهش دوره پر شدن دانه باعث کاهش زمان مورد نیاز بوته برای رشد و یا انتقال عناصر غذایی به دانه‌ها شده در نتیجه سبب کاهش وزن دانه و چروکیدگی آن می‌شود. همچنین، آنان بیان کردند که تنش کم‌آبی پس از مرحله گل‌دهی سبب کاهش معنادار وزن هزار دانه در گندم شد.

هدایت روزنه‌ای

روزنه‌ها مجاری مبادله گازی بین گیاه و اتمسفر هستند و وظیفه کلیدی آنها تنظیم جذب دی اکسید کربن از اتمسفرو انتشار آب و گازهای دیگر به خارج از بوته برای ابقاء فشار تورمی و جلوگیری از از دست رفتن آب بوته است. مقایسه میانگین‌های هدایت روزنه‌ای برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC حاصل شده است که نسبت به تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC افزایش ۱۳ درصدی داشته است، اما با سایر تیمارها با همان مقدار نیتروژن مصرفی در سطح رطوبت FC تفاوت معنادار نداشت (جدول ۵). همچنین، کمترین هدایت روزنه‌ای نیز به تیمار ۰/۷۵ درصد کاه با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC مربوط می‌شود. میزان گشودگی روزنه‌ها در طی تنش خشکی کاهش یافته و در نتیجه سنتز ماده خشک در اندام هوایی به دلیل کمبود دی اکسید کربن وارده از طریق روزنه تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به دنبال آن، وزن ماده خشک بوتهان کاهش می یابد. اختر و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل سبب کاهش هدایت روزنه‌ای در بوته گوجه‌فرنگی شد، در حالی که مصرف بیوچار کاه برنج با افزایش ظرفیت نگهداری آب قابل استفاده منجربه افزایش هدایت روزنه‌ای گردید. گویلی و همکاران (۲۰۱۹) افزایش هدایت روزنه‌ای با مصرف بیوچار کود گاوی در شرایط تنش کم‌آبی در بوته سویا را گزارش کردند. با اعمال تنش کم‌آبی به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها، تبادلات گازی و هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد، در حالی که بیوچار با نگهداری و افزایش

رطوبت خاک سبب کاهش اثرات تنش کم‌آبی بر بوته می‌شود.

پتانسیل آب برگ

مقایسه میانگین‌های پتانسیل آب برگ برای اثر متقابل سه جانبه ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین پتانسیل آب برگ در تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC برابر با ۱۲/۳۹- بار به‌دست آمد که البته با تیمار ۱/۵ درصد بیوچار با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC تفاوت معناداری نداشت. کمترین مقدار پتانسیل آب برگ نیز در تیمار ۱/۵ درصد کاه با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC برابر با ۱۶/۲۲- بار اندازه‌گیری شد (جدول ۵). البته افزایش پتانسیل آب برگ با مصرف نیتروژن را می‌توان به افزایش رشد بوته بر اثر افزودن نیتروژن نسبت داد. (فیل و همکاران ۲۰۰۵). احمد و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی اثر بیوچار تولید شده از کاه گندم بر عملکرد و جذب آب توسط بوته ذرت در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کردند که کاربرد بیوچار با افزایش رطوبت خاک سبب بهبود پتانسیل آب برگ بوته در شرایط تنش کم‌آبی و بهبود رشد و عملکرد ذرت شد.

مقدار روغن دانه

مقدار روغن از حاصلضرب غلظت روغن دانه در وزن خشک دانه محاسبه گردید. مقایسه میانگین‌های مقدار روغن دانه برای اثر متقابل ماده آلی × نیتروژن × سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین مقدار روغن دانه در تیمار ۱/۵ درصد کاه با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد FC به‌دست آمد که البته با برخی از تیمارها تفاوت معنادار نداشت. کمترین مقدار روغن دانه نیز در تیمار بدون ماده آلی با مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در سطح رطوبتی ۵۰ تا ۶۰ درصد FC حاصل شد (جدول ۵). در جدول ۵ مشاهده می‌شود که اعمال تنش کم‌آبی سبب کاهش مقدار روغن دانه شده است، در حالی که مصرف ۰/۷۵ درصد کاه و هر دو سطح بیوچار با ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک سبب افزایش معنادار مقدار روغن نسبت به تیمار شاهد شده است. نکته قابل توجه در جدول ۵ این است که هر دو سطح بیوچار با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن سبب افزایش مقدار روغن دانه شده‌اند و با تیمار ۱/۵ درصد کاه که دارای بیشترین مقدار روغن بود، تفاوت معناداری نداشتند. نیتروژن از طریق افزایش رشد بوته، افزایش وزن دانه، درصد روغن و تعداد بذر بوته سبب افزایش مقدار روغن دانه می‌شود. فرجی و صادقی (۲۰۱۳) بیان کردند که تنش آبی سبب کاهش مقدار روغن دانه کلزا شد. همچنین، این پژوهشگران بیان کردند که برهمکنش نیتروژن و تنش کم‌آبی سبب افزایش مقدار روغن در دانه شد اما این افزایش از لحاظ آماری معنادار نشد. کاتچر (۲۰۰۵) گزارش کرد که مصرف آب در زمان گل‌دهی و پر شدن غلاف‌ها مقدار روغن دانه را در اکثر دانه‌های روغنی افزایش می‌دهد و مقدار روغن دانه زمانی که رطوبت خاک در مرحله رسیدن غلاف‌ها در حد ظرفیت مزرعه باشد افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد تنش کم‌آبی، تنش گرمایی را تشدید و مقدار روغن را کاهش می‌دهد. همچنین، این محقق بیان کرد که مصرف سطوح نیتروژن مقدار روغن دانه را از طریق افزایش عملکرد دانه افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد بیوچار حاصل از کاه گندم تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس باعث بهبود اکثر صفات رویشی بوته کلزا شد. برخلاف سلیمی (۲۰۱۹) که در سطوح دو و چهار درصد کاه گندم نتایج منفی در صفات زراعی بوته کلزا بدست آورده بود، در این پژوهش در سطوح ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد، مصرف کاه گندم نه تنها تأثیر منفی نداشت بلکه همانند بیوچار تأثیر مثبت در صفات زراعی داشت. اعمال تنش کم‌آبی به استثنای کارایی مصرف آب و شاخص کلروفیل برگ سبب کاهش سایر صفات زراعی بوته کلزا شد. مصرف ماده آلی اعم از کاه و بیوچار در هر دو سطح (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد) سبب افزایش معنادار مقدار روغن دانه نسبت به شاهد شد. بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده از

این پژوهش، به‌رغم تأثیر مشابه بیوچار و کاه گندم، به دلیل اقامت طولانی مدت کربن بیوچار در خاک و نیمه‌عمر طولانی و ترسیب کربن مصرف بیوچار قابل‌توصیه است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.همچنین از کلیه داوران ناشناس این مقاله به دلیل ارایه نکته نظرات ارزشمند تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Abeer H, Abd_Allah EF, Alqarawi AA and Egamberdieva D. 2015. Induction of salt stress tolerance in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] by arbuscular mycorrhizal fungi. Legume Research: An International Journal, 38: 579-588. https://doi.org/10.18805/lr.v38i5.5933

Agbna GH, Dongli S, Zhipeng L, Elshaikh NA, Guangcheng S and Timm LC. 2017. Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. Scientia Horticulturae, 222: 90-101. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.004

Ahmed F, Arthur E, Plauborg F, Razzaghi F, Kørup K and M.N. Andersen. 2018. Biochar amendment of fluvio-glacial temperate sandy subsoil: Effects on maize water uptake, growth and physiology. Journal of Agronomy and Crop Science, 204:123-136. https://doi.org/10.1111/jac.12252

Akhtar SS, Li G, Andersen MN and Liu F. 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. Agricultural Water Management, 138: 37-44. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.02.016

Barakat M, Cheviron B and Angulo-Jaramillo R. 2016. Influence of the irrigation technique and strategies on the nitrogen cycle and budget: A review. Agricultural Water Management, 178:225-238. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.09.027

Azimzadeh Y. 2023. The role of biochar in soil nitrogen cycle. Journal of Land Management, 11: 265-285. https://doi.org/10.22092/lmj.2023.360183.319

Black CA and Evans DD. 1965. Particle size analysis. Pp. 770. In: White JL, Ensminger LE and Clark FE (eds). Methods of Soil Analysis: Part 1, Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. American Society of Agronomy, Inc: Madison. https://lccn.loc.gov/65015800

Bredemeier C and Schmidhalter U. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing to determine biomass and nitrogen uptake of winter wheat under controlled environment and field conditions. Precision Agriculture, 5: 273-280. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-549-9_034

Dargahi S, Zand A, Baghestani MA and Shirani Rad AH. 2013. Investigating the effect of different levels of nitrogen fertilizer and drought stress on corn weed competition. National Conference on Passive Defense Agriculture. (In Persian). https://civilica.com/doc/323618

Dong X, Ma LQ and Li Y. 2011. Characteristics and mechanisms of hexavalent chromium removal by biochar from sugar beet tailing. Journal of Hazardous Materials, 190: 909-915. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.008

Faraji A and Sadeghi S. 2013. Investigating the effect of nitrogen and irrigation on yield and yield components of two canola cultivars in Gonbad. Abstract of articles of the 8th Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran. Gilan University Press, 422. (In Persian). Magiran.com/p310413

Feil B, Moser SB, Jampatong S and Stamp P. 2005. Mineral composition of the grain of tropical maize varieties as affected by pre-anthesis drought and rate of nitrogen fertilization. Crop Science. 45: 516-523. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0516

Gavili E, Moosavi AA and Haghighi AAK. 2019. Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean?. Industrial Crops and Products, 128:445-454. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.047

Ghanai S. 2013. The mutual effect of drought and phosphorus on rapeseed in Gonbad region. National Conference on Climate Change and Engineering Sustainable Development of Agriculture and Natural Resources, Tolo Farzin Science and Industry Company. Tehran, Iran. (In Persian). https://civilica.com/doc/282354

Ghorbani M, Konvalina P, Neugschwandtner RW, Kopecký M, Amirahmadi E, Bucur D and Walkiewicz A. 2022. Interaction of biochar with chemical, green and biological nitrogen fertilizers on nitrogen use efficiency indices. Agronomy. 12: 211-220. https://doi.org/10.3390/agronomy12092106

Gee GW and Bauder JW. 1986. Particle size analysis, hydrometer methods. Pp. 383-411. In: Sparks DL (eds). Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods, Inc: Madison. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15

Hassani G, Noorjoo A and Henareh M. 2009. Effects of Rootstock and Different Irrigation Levels on Yield and Fruit Quality of Apple cv. Golden Delicious. Seed and Plant Production Journal, 25: 51-62 . (In Persian). Magiran.com/p712959

Ibrahim OM and Elewa TA. 2015. Evaluating the role of Bio-char application under two levels of water requirements on wheat production under sandy soil conditions. Global Journal of Advanced Research, 2: 411-418.

Jahanshahi RA, Jafari AR, Jafari Haghighi B and Rahimi A. 2016. Effect of drought stress and nitrogen fertilizer on morphological traits and essential oil content of german chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). The Second National Congress for the Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Science of Iran. (In Persian). https://civilica.com/doc/520724

Javadi T and Jafari M. 2016. Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of Sour Cherry cv. "Mykrez" saplings. Research in Pomology, 70-88. (In Persian).

Jones JB. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis: CRC press, Boca Raton, FL.

Khalasi K, Amirian MR, Asghari H and Rahimi R. 2014. The effect of biochar and nitrogen on some quantitative traits of corn under low irrigation conditions. International conference on sustainable development, strategies and challenges With a focus on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism. (In Persian). https://civilica.com/doc/355176

Kramer PJ. 1983. Water Relations of Plants. Academic Press, Inc, Florida, USA.

Kutcher HR, Malhi SS and Gill KS. 2005. Topography and management of nitrogen and fungicide affects diseases and productivity of canola. Agronomy Journal, 97: 533-541. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0533

Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC and Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota–A review. Soil Biology and Biochemistry, 43: 1812-1836. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022

Lindsay WL and Norvell W. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal, 42: 421-428. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x

Mahmoudi S, Najafi N and Reyhanitabar A. 2015. Effects of soil moisture and sewage sludge compost on leaf chlorophyll index and some growth traits of alfalfa in greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 5: 207-220. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.20089082.1393.5.4.16.4

Malakouti MJ and Homaee M. 2004. Soil fertility of Arid and semi - Arid Regions difficulties and solutions. Second edition with full revision, Tarbiat Modares University Press, Tehran, Iran. (In Persian).

Markarian Sh, Najafi N, Aliasgharzad N and Oustan S. 2016. Interactive effects of *Ensifer meliloti* (*Sinorhizobium meliloti*) and phosphorus on some growth characteristics of alfalfa under soil water deficit conditions. Journal of Soil Biology, 3: 163-178. https://doi.org/10.22092/sbj.2016.105967

Marschner H. 2011. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2th Edition, Academic Press. London.

Motalebifard R, Najafi N and Oustan S. 2013. Effects of zinc sulphate and monocalcium phosphate fertilizers on extractable Zn and Fe under different soil moisture conditions. Iran Agricultural Research, 32: 71-88. https://doi.org/10.22099/iar.2014.2006

Molla MS, Akhter M, Maniruzzaman M, Lipi NJ, Rabiul A and Tisam A. 2017. Response of biochar to plant nutrients and yield of *Amaranthus tricolor*. International Journal of Innovative Research, 2: 13–17.

Najafi N, Mahmoudi Sh, Neyhabouri M and Reyhanitabar A. 2020. Effects of soil moisture and sewage sludge on water use efficiency and concentrations of some elements in alfalfa. Iranian Journal of Soil Research, 34: 61–80. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijsr.2020.122141

Nelson DW and Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp: 539-579. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. SSSA, Madison, WI. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29

Noorullah Khan AJ, Ahmad Khan I and Khan N. 2002. Response of canola to nitrogen and sulphur nutrition. Asian Journal of Plant Sciences.1: 516-518.

Noorgholipour F, Rezaei H, Mirzashahi K, Hakitnia H, Ramzanpour MR, Arzanesh MJ, Asadi Rahmani H, Mirzapour MH, Afzali H, Tehrani MM and Ghaibi MN. 2014. The recipe for the integrated management of soil fertility and rapeseed nutrition. Soil and Water Research Institute of Iran. 10-30. (In Persian).

Olsen S and Sommers L. 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. In: Miller RH and Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. SSSA, Madison, WI.

Onay, M., C. Sonmez, H. A. Oktem, and M. Yucel. 2016. Evaluation of various extraction techniques for efficient lipid recovery from thermo-resistant microalgae, hindakia, scenedesmus and micractinium species—Comparison of lipid extraction methods from microalgae. American Journal of Analytical Chemistry, 7 (02):141.150. https://doi.org/10.4236/ajac.2016.72012

Pourmansour S and Razaghi F. 2016. The effect of different levels of biochar and low irrigation on the efficiency of water use in beans. 2nd Iranian National Congress of Irrigation and Drainage. Isfahan, Iran. (in Persian). https://sid.ir/paper/874046/fa

Parzivand A, Ghooshchi F, Momayezi M and Tohidimoghadam MH. 2011. Effects of zinc spraying and nitrogen fertilizer on yield amd some seed qualitative traits of wheat under drought stress conditions. Journal of Crop Production Research. 3: 56-69. https://sid.ir/paper/182247/en

Rab A, Khan MR, Haq SU, Zahid S, Asim M, Afridi MZ, Arif M and Munsif F. 2016. Impact of biochar on mungbean yield and yield components. Pure and Applied Biology, 5: 632-640. http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2016.50082

Reyhanitabar A, Frahadi E, Ramezanzadeh H and Oustan S. 2020. Effect of pyrolysis temperature and feedstock sources on physicochemical characteristics of biochar. Journal of Agricultural Science and Technology, 22: 547-561. http://dx.doi.org/20.1001.1.16807073.2020.22.2.21.9

Rhoades J. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-435. In: Sparks DL (eds). Methods of soil analysis, Part 3. Chemical methods. SSSA, Madison, WI. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14

Salehi f, Bahrani MJ, Kazemieni SA, Pak Nit H and Karimian N. 2013. Influence of soil incorporating wheat residue rates on seed yield components and biological nitrogen fixation in two red bean cultivars in greenhouse. Journal of Applied Crop Research, 26: 34. (In Persian).

Shaaban M, Lak M, Abdoli M and Khodayi F. 2013. Investigating the effect of drought stress and nitrogen fertilizer on main root length, total length of roots, root to stem ratio and number of nodes of chickpea

cultivars. The first national conference on agriculture in hard environmental conditions, seedling and seed cropping magazine, 7: 451-470. (In Persian). https://civilica.com/doc/352293

Shaban MR and Razzaghi F. 2017. The effect of different levels of biochar, low irrigation and salinity on water use efficiency and wheat yield in greenhouse conditions, Shahid Bahonar University of Kerman. (in Persian). https://civilica.com/doc/693417

Shahbazi K and Besharati H. 2013. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. Land Management Journal, 1: 1-15. (In Persian).

Salimi S. 2019. Dual application effects of biochar and phosphorus on rapeseed (*Brassica napus* L.) growth and nutrition in greenhouse conditions. Master of Science. Thesis University of Tabriz

Singh B, Camps-Arbestain M and Lehmann J. 2017. Biochar: A guide to analytical methods. Csiro Publishing.

Song W and Guo M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 94: 138-145. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.11.018

Sun C, Chen X, Cao M, Li M and Zhang Y. 2017. Growth and metabolic responses of maize roots to straw biochar application at different rates. Plant and Soil, 416: 487-502. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3229-6

Taghizadeh-Toosi A, Clough TJ, Sherlock RR and Condron LM. 2012. A wood based low-temperature biochar captures NH_3-N generated from ruminant urine-N, retaining its bioavailability. Plant and Soil, 353: 73-84. https://doi.org/10.1007/s11104-011-1010-9

Takaragawa H, Yabua S, Watanabe K and Kawamitsu Y. 2017. Effects of Application of Bagasse-and Sunflower Residue-derived Biochar to Soil on Growth and Yield of Oilseed Sunflower. Tropical Agriculture and Development, 61: 32-39. https://doi.org/10.11248/jsta.61.32

Thomas GW. 1996. Soil pH and soil acidity. Pp. 475-490. In: Sparks DL (eds). Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. SSSA, Madison WI.

Vafabakhsh J, Nassiri Mahallati M, Koocheki A and Azizi M. 2009. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of Canola cultivars (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 7: 295-302. https://doi.org/20.1001.1.20081472.1388.7.1.28.6

Wang T, Camps-Arbestain M, Hedley M and Bishop P. 2012. Predicting phosphorus bioavailability from high-ash biochars. Plant and Soil, 357: 173-187. https://doi.org/10.1007/s11104-012-1131-9

Yousefi M, Daneshian J, Shirani Rad AH, Valadabadi SAR and Sayfzadeh S. 2018. Yield and nitrogen use efficiency of rapeseed (*Brassica napus* L.) influenced by nitrogen rates and irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, *28*: 29-41. (In Persian).

Zabit M, Bahamin S, Qureshi S, Sadeghi H and Mousavi AR. 2014. The effect of low irrigation and nitrogen fertilizer on the quantitative yield of fodder millet shoots in Birjand. Environmental Stresses in crop sciences. 7: 187-194. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2015.175

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 125-137

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Morphological and Physiological Response of gladiolus (*Gladiolus grandiflora*) to the Application of humic acid and amino acid

Zahra Mostafanezhad[1], Mahnaz Karimi[2*], Vida Chalavi[2]

Received: 28 February 2023	Accepted: 09 November 2023

1- M.Sc. Student, Dept. of Horticultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2- Assoc. Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
*Corresponding Author Email: karimi@sanru.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Proper fertilization has an important effect on the production of ornamental plants. The present study was carried out in order to investigate the effect of humic acid and amino acid on improving the growth and reproductive characteristics of gladiolus.

Materials and Methods: The experiment was conducted as factorial in completely randomized design with two factors of humic acid (0, 0.25 and 0.5 $g.L^{-1}$) and amino acid (0, 0.05 and 0.1 $g.L^{-1}$). The number of cormlets, root length, stem diameter, stem height, number of leaves and florets, flowering time, flower life, chlorophyll, carotenoid, anthocyanin and the content of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium elements in leaf were investigated.

Results: The highest stem height and the shortest flowering time were observed in humic acid 0.25 $g.L^{-1}$+ amino acid 0.05 $g.L^{-1}$. The highest number of cormlets, the highest leaf calcium concentration and chlorophyll content in humic 0.25 g. L^{-1} + amino acid 0.1 g L^{-1} were obtained. The maximum root length (15 cm) and the carotenoid content related to humic content were 0.5 g. L^{-1}+ amino acid 0.1 g. L^{-1}. The highest number of florets was found in humic 0.5 g L^{-1} + amino acid 0.05 g L^{-1}. The highest amount of anthocyanin and the highest percentage of leaf phosphorus were recorded in humic acid 0.5 g. L^{-1}+ amino acid 0.05 g. L^{-1}. The highest percentage of nitrogen and potassium was obtained in humic 0.25 g L^{-1}+ amino acid 0.1 g. L^{-1}.

Conclusion: The use of humic acid and amino acid improved the vegetative and reproductive characteristics of gladiolus

Keywords: Anthocyanin, Chlorophyll, Cut Flower, Organic Fertilizer, Stem Height

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Mahnaz Karimi E-mail: karimi@sanru.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.55629.3009

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۳۷-۱۲۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

پاسخ مورفوفیزیولوژیک گلایول (*Gladiolus grandiflora*) به کاربرد مواد هیومیکی و آمینواسید

زهرا مصطفی‌نژاد نشلی[۱]، مهناز کریمی[۲*]، ویدا چالوی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۹	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۸

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*مسئول مکاتبه: Email: karimi@sanru.ac.ir

چکیده

اهداف: تغذیه متعادل تأثیر به‌سزایی بر تولید گل و گیاهان زینتی دارد. پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر اسید هیومیک و آمینو اسید بر بهبود ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی گلایل انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با دو فاکتور اسید هیومیک (صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵گرم در لیتر) و آمینواسید (صفر، ۰/۰۵ و ۰/۱ گرم در لیتر) با سه تکرار انجام گرفت. تعداد پداژک، طول ریشه، قطر ساقه، ارتفاع ساقه ، تعداد برگ و گلچه، زمان گلدهی، عمر گلجای، کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین و عناصر برگی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم بررسی شد.

یافته‌ها: بیشترین ارتفاع ساقه گلدهنده (۹۴/۷۵ سانتی‌متر) و کوتاهترین زمان گلدهی (۹۶ روز) در اسید هیومیک ۰/۲۵ گرم در لیتر + آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر مشاهده شد. بیشترین تعداد پداژک (۳ عدد)، بالاترین غلظت کلسیم برگ (۰/۷۹ درصد) و محتوای کلروفیل (۱/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در هیومیک ۰/۲۵ گرم در لیتر + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر به‌دست آمد. بیشترین طول ریشه (۱۵ سانتی‌متر) و محتوای کاراتنوئید (۰/۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر بود. بیشترین تعداد گلچه (۱۲ عدد) در هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر + آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر مشاهده شد. بیشترین میزان آنتوسیانین (۵/۰۶ میکرومول بر وزن تر) و بالاترین عنصر فسفر برگ (۰/۲۶ درصد) در اسید هیومیک ۰/۵ + آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر ثبت شد. درصد نیتروژن (۱/۳۰ درصد) و پتاسیم (۴/۴۳ درصد) در هیومیک ۰/۲۵ + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر در حداکثر بود.

نتیجه‌گیری: اسید هیومیک و اسید آمینه در مقایسه با شاهد سبب بهبود بیشتر صفات مورد بررسی در گلایل شدند.

واژه های کلیدی: آنتوسیانین، ارتفاع ساقه، شاخه‌بریدنی، کود آلی، کلروفیل

مقدمه

گلایول با نام علمی *Gladiolus grandiflora* گیاهی چند ساله از خانواده زنبقیان[1] یکی از مهمترین گل‌های شاخه‌بریدنی در جهان می‌باشد. رنگ گل در ارقام مختلف دارای تنوع زیادی بوده و اندازه گلچه‌ها از حد مینیاتور تا انواع درشت وجود دارد. در ایران پرورش گلایل در مناطقی که دارای آب و هوای ملایم و تابستان

[1] Iridaceae

خشک باشد در هوای آزاد صورت می‌گیرد. در منطق گرمتر گل‌های گلایل پیش‌رس می‌شوند ولی به دلیل بالا بودن دما پوسیدگی سریع پداژه اتفاق می‌افتد (نیکبخت و اشرفی ۲۰۱۹).

تغذیه مناسب با کودهای آلی علاوه بر تاثیر مثبت بر رشد رویشی و زایشی گیاهان زینتی می‌تواند استفاده از کودهای شیمیایی را نیز کاهش دهد. اسید هیومیک به عنوان کود آلی دوستدار طبیعت نام برده می‌شود که مقادیر بسیار کم آن، به دلیل داشتن ترکیبات شبه هورمونی، اثرات مفیدی در افزایش و بهبود تولید محصولات کشاورزی دارد (سماوات و ملکوتی ۲۰۰۵). این ترکیب بیشتر به صورت خاکی و محلول‌پاشی مورد مصرف قرار می‌گیرد. مواد هیومیکی سبب بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه شده و در توسعه ریشه موثر هستند (چن و همکاران ۲۰۰۴). در بررسی اکبرپور و همکاران (۲۰۲۳) کاربرد اسید هیومیک در گیاه نرگس (*Narcissus jonquilla* cv. German) سبب بهبود ارتفاع ساقه گل‌دهنده، قطر غنچه، وزن تازه و خشک ریشه، محتوای کلروفیل و غلظت عناصر برگ شد. کاربرد اسید هیومیک در گیاه لیلیوم (*Longiflorum* × *Asiatic*) به دلیل بهبود جذب عنصر کلسیم سبب افزایش ماندگاری گل بعد از برداشت شد (رحمانی و همکاران ۲۰۲۰). در گیاه زینتی کالاتا (*Calathea Insignis*)، اسید هیومیک باعث افزایش رشد رویشی شد و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع گیاه، عرض طوقه، تعداد برگ، طول ریشه، محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم و کلروفیل برگ‌ها را افزایش داد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۴).

آمینو اسید ترکیب آلی دارای نیتروژن است و محصولات با پایه آمینو اسید در دهه گذشته به‌وسیله کشاورزان استفاده شده است و باعث بهبود عملکرد و رشد گیاهان مختلف شده است. مزایای استفاده از آمینو اسید با محتوای نیتروژن آلی در ارتباط با تعامل مثبت و سازنده با در دسترس بودن برخی مواد معدنی و مغذی است (کردنا و همکاران ۲۰۰۹). در واقع گیاهان در شرایط نامساعد محیطی می‌توانند آمینو اسید تولید کنند، اما این سنتز انرژی زیادی مصرف می‌کند، بنابراین آمینو اسیدهای آماده جذب، نیاز ساخت آن را توسط گیاه برطرف نموده و این امکان را به گیاه می‌دهد که انرژی ذخیره شده خود را صرف رشد بیشتر و بالا بردن عملکرد و کیفیت محصول نماید (پوپکو و همکاران ۲۰۱۸). آمینو اسیدها در افزایش غلظت کلروفیل، تأثیر در فتوسنتز، سنتز پروتئین و رشد گیاه مؤثر هستند (سانی خانی و همکاران ۲۰۲۲). پژوهشگران اثر محلول‌پاشی برگی آمینو اسیدها را بر گل میمون و گلایول بررسی و نشان دادند که محلول‌پاشی آمینو اسید باعث افزایش ارتفاع و افزایش تعداد گل در گیاه میمون و باعث افزایش طول ساقه گلدهنده و تعداد گل در گلایول شده است (ناهد و همکاران ۲۰۰۹).

با توجه به اهمیت گل شاخه بریدنی گلایل استفاده از ترکیباتی آلی که بتواند علاوه بر بهبود رشد رویشی و زایشی در کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیز موثر باشد ضروری به نظر می‌رسد. لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی تقش اسید هیومیک و ترکیبات آمینو اسیدی بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمایی گلایل بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با دو فاکتور شامل اسید هیومیک (صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵گرم در لیتر) و آمینواسید (صفر، ۰/۰۵ و ۰/۱ گرم در لیتر) با سه تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام گرفت. پداژهای یکدست و سالم گلایول رقم لوئیس (با محیط حدود ۱۰-۸ سانتی‌متر) از شرکت ارم گل پارسه تهران خریداری شد سپس به مدت ده دقیقه در محلول قارچکش کاربندازیم دو در هزار جهت ضدعفونی قرار گرفتند. پداژه‌ها در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متری حاوی پیت ماس و پرلیت (به نسبت حجمی ۲ به ۱) در عمق ۷ سانتی‌متری کشت شدند. گیاهان در محیط کنترل شده‌ی گلخانه‌ای با دمای ۱۸-۲۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بعد از جوانه‌زنی پداژه‌ها و زمانی که ارتفاع گیاه به اندازه تقریبی ۱۰ سانتی‌متر از سطح بستر رسید محلول‌دهی آغاز شد. اسید هیومیک

(برند پلنت چویس محصول آمریکا حاوی ۶۰ درصد اسید هیومیک) و آمینو اسید (برند آمینو سورن محصول یونان حاوی ۹۰٪ آمینو اسید کل/آزاد حاوی ۱۹ آمینو اسید) از شرکت بذر بازار تهران خریداری شدند. اسید هیومیک و آمینو اسید به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر با توجه به غلظت تعیین شده در آزمایش، هر ۲ هفته یکبار پای بوته اعمال شد.

به منظور افزایش استحکام ساقه گلایول کود کامل (برند اومکس) به میزان ۵ میلی‌گرم در لیتر و کود نیترات کلسیم (برند ژیگاس) به میزان یک گرم در لیتر هر ماه یکبار برای همه گیاهان استفاده شد. آبیاری بسته به نیاز آبی گیاه صورت می‌گرفت. صفات اندازه‌گیری شده شامل تعداد پداژک، طول ریشه، قطر ساقه، ارتفاع ساقه گلدهنده، تعداد برگ، تعداد گلچه، زمان گلدهی، کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، محتوای فنل و عناصر برگی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم بود. برداشت گل‌ها با باز شدن دو سوم گل‌ها در هر ساقه گلدهنده با یک چاقوی تیز صورت گرفت. همزمان با برداشت گل‌ها و قبل از اینکه برگ‌ها زرد شوند، برداشت برگ انجام شد. برداشت پداژها هم قبل از زرد شدن برگ‌ها صورت گرفت.

رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به روش کارتر و کناپ (۲۰۰۱)، میزان رنگیزه آنتوسیانین به روش وانگر (۱۹۹۷) و محتوای فنل به روش قاسمی و همکاران (۲۰۰۹) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر، نمونه‌ی برگ جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. نمونه‌ها در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک گردیده و به‌صورت پودر درآمدند. پس از تهیه عصاره، پتاسیم با استفاده از دستگاه فلایم‌فتومتر و کلسیم از عصاره حاصل از سوزاندن خشک و ترکیب با اسید به‌روش واهینگ و همکاران (۱۹۸۹) محاسبه گردید. فسفر از روش چاپمن و پرات (۱۹۶۱) به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری نیتروژن از روش کجلدال استفاده شد. ۰/۲ گرم از برگ خشک را با کمک اسید سولفوریک غلیظ در دمای ۳۶۰ درجه سانتی گراد به کمک کاتالیزور هضم و سپس درصد نیتروژن با دستگاه کجلدال اتوماتیک مدل ۳۲۰ قرائت گردید (شرف و النگار ۲۰۰۳).

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تعداد پداژک : با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) تعداد پداژک تحت‌تأثیر برهمکنش اسید هیومیک و آمینو اسید قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر ساده اسید هیومیک و آمینو اسید نیز در سطح احتمال یک درصد بر تعداد پداژک معنی‌دار شد. بیشترین تعداد پداژک با ۳ عدد در تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ گرم در لیتر + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر به‌دست آمد لذا این تیمار تفاوت معنی‌داری با اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر نداشت (جدول ۲).

طول ریشه: برهمکنش اسید هیومیک و آمینو اسی، و اثر ساده این دو تیمار بر طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین طول ریشه با ۱۵ سانتی‌متر در تیمار اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر حاصل شد که نسبت به طول ریشه در تیمار شاهد ۲۱۵/۷۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرکاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید بر برخی صفات مورفولوژیکی گلایول

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد پداژک	طول ریشه	قطر ساقه
اسید هیومیک (**A**)	۲	۱۱/۸۶**	۸۸/۸۶**	۰/۴۷**
آمینو اسید (**B**)	۲	۷/۴۴**	۱۲۷/۲۱**	۰/۷۷**
A*B	۴	۱۵/۱۹**	۸/۶۹**	۰/۱۱ ns
خطا	۲۷	۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۰۸

ضریب تغییرات (٪)	۱۸/۰۷	۶/۰۳	۱۱/۳۱

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

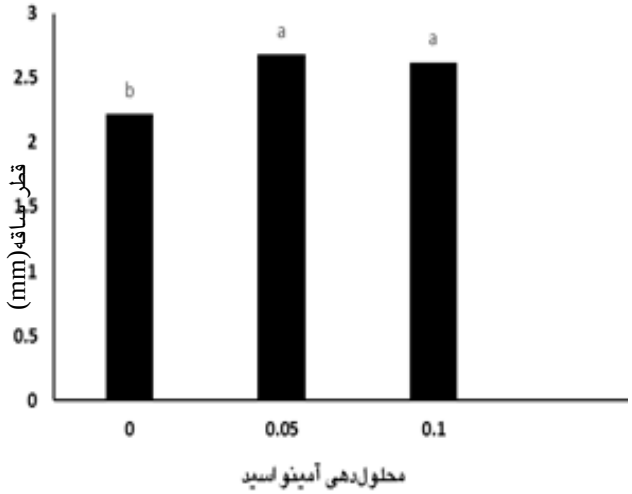
جدول ۲- مقایسه میانگین اثرکاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید بر برخی صفات مورفولوژیکی گلایول

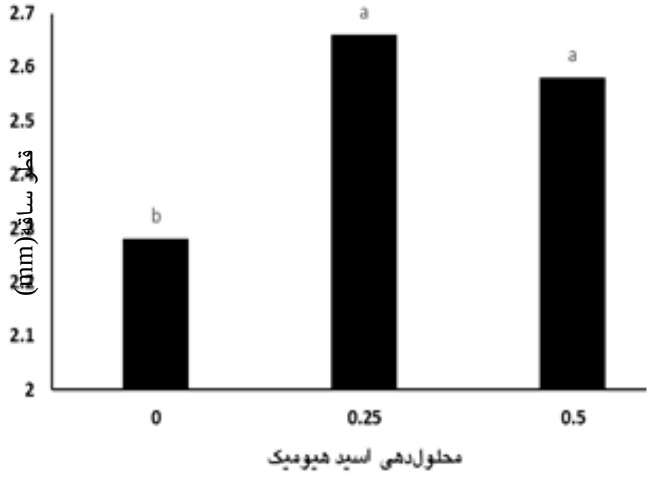
اسید هیومیک ($g.l^{-1}$)	آمینو اسید ($g.l^{-1}$)	تعداد پداژک	طول ریشه (cm)
۰	۰	۰/۲۵ e	۴/۷۵h
	۰/۰۵	۲ c	۸/۳۷ ef
	۰/۱	۱ d	۹ e
۰/۲۵	۰	۱ d	۷/۶۲gf
	۰/۰۵	۱ d	۱۱/۵۰ d
	۰/۱	۳ a	۱۲/۵ c
۰/۵	۰	۲/۲۵ bc	۷/۳۷g
	۰/۰۵	۱/۷۵ c	۱۴ b
	۰/۱	۲/۷۵ab	۱۵ a

در هر ستون اعدادی با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند

قطر ساقه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) برهمکنش تیمارها بر قطر ساقه معنی‌دار نبود. اثر ساده اسید هیومیک و اثر ساده آمینو اسید در سطح احتمال یک درصد بر قطر ساقه معنی‌دار شد. بیشترین قطر ساقه در تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ گرم در لیتر و بیشترین قطر ساقه در آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر به دست آمد که با آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱).

ارتفاع ساقه گلدهنده: برهمکنش اسید هیومیک و آمینو اسید و اثر ساده این دو تیمار در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع ساقه گل‌دهنده معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین ارتفاع ساقه (۹۴/۷۵ سانتی‌متر) در تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ گرم در لیتر و آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر به‌دست آمد که با تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ گرم در لیتر و آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر (۹۴/۵۰ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری نداشت.





شکل ۱- اثر اسید هیومیک و آمینو اسید بر قطر ساقه گلایول

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرکاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید بر برخی صفات مورفولوژیکی، گلدهی و عمر گلجای گلایل

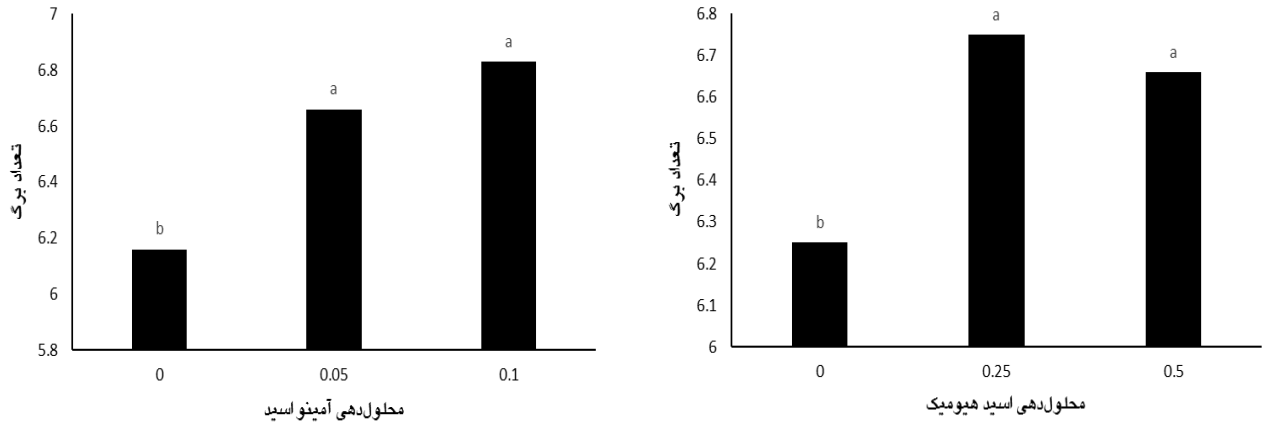
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع ساقه گل‌دهنده	تعداد برگ	تعداد گلچه	زمان گلدهی
اسید هیومیک (**A**)	۲	۳۳۶/۸۶**	۰/۸۶*	۲۲/۱۸**	۴۴/۳۳**
آمینو اسید (**B**)	۲	۴۱۶/۸۶**	۱/۴۴**	۱۲/۷۲**	۱۲۷/۵۸**
A*B	۴	۳۳/۹۴**	۰/۴۴ ns	۳/۶۱*	۱۰/۴۱**
خطا	۲۷	۷/۴۴	۰/۲۴	۰/۴۹	۱/۱۵
ضریب تغییرات (٪)		۳/۲۳	۷/۴۸	۲۱/۱۲	۱/۰۸

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

تعداد برگ: برهمکنش اسید هیومیک و آمینو اسید بر تعداد برگ معنی‌دار نبود. اثر ساده تیمار اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد و اثر ساده آمینو اسید در سطح احتمال یک درصد بر تعداد برگ معنی‌دار شد (جدول۳). اسید هیومیک با غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر بیشترین تعدا برگ را داشتند. آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر باعث افزایش تعداد برگ بیشتری نسبت به شاهد شد اما با تیمار ۰/۰۵ گرم در لیتر آمینو اسید اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲).

تعداد گلچه: طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) برهمکنش اسید هیومیک و آمینو اسید بر تعداد گلچه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر ساده اسید هیومیک و آمینو اسید بر تعداد گلچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین تعداد گلچه در تیمار اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر + آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر به دست آمد.

زمان گلدهی: زمان گلدهی تحت‌تأثیر برهمکنش و اثر ساده اسید هیومیک و آمینو اسید قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (۳). طولانی ترین مدت زمان گلدهی در شاهد دیده و کوتاه‌ترین زمان گلدهی در تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ گرم در لیتر + آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر به‌دست آمد. کمترین تعداد گلچه در تیمار شاهد ثبت شد (جدول۴).



شکل ۴-۲- اثر محلول‌دهی اسید هیومیک و آمینو اسید بر تعداد برگ

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرکاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید بر ارتفاع ساقه، تعداد گلچه و زمان گلدهی گلایول

اسید هیومیک ($g.l^{-1}$)	آمینو اسید ($g.l^{-1}$)	ارتفاع ساقه گل‌دهنده (cm)	تعداد گلچه	زمان گلدهی (day)
	۰	۷۴/۷۵ f	۶/۵۰ d	۱۰۵/۲۵ a
۰	۰/۰۵	۸۳ cd	۸/۲۵ c	۹۸/۵۰ bc
	۰/۱	۷۹/۵۰ de	۸/۷۵ c	۹۹ b
	۰	۷۹/۷۵ de	۹/۷۵ b	۹۸/۷۵ b
۰/۲۵	۰/۰۵	۹۴/۷۵ a	۱۰/۵ ab	۹۶d
	۰/۱	۹۴/۵۰ a	۱۰/۵ ab	۹۶/۵۰d
	۰	۷۸/۵۰ ef	۱۲/۲۵ c	۱۰۴/۵۰ a
۰/۵	۰/۰۵	۸۹/۵۰ b	۱۲ a	۹۶/۲۵d
	۰/۱	۸۳/۷۵ c	۹/۷۵ b	۹۷ cd

در هر ستون اعدادی با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند

کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید کل: برهمکنش تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر کلروفیل a، b و کل و در سطح احتمال پنج درصد بر میزان کاروتنوئید اثر داشت (جدول ۵). اثر ساده اسید هیومیک و آمینو اسید بر محتوای کلروفیل و کاراتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان کلروفیل در تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر مشاهده شد. بیشترین کاروتنوئید در تیمار اسید هیومیک ۰/۵ + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر در گیاه تجمع داشت که با تیمارهای اسید هیومیک ۰/۲۵ + آمینو اسید ۰/۰۵ و ۰/۱، اسید هیومیک ۰/۵ + آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

آنتوسیانین: برهمکنش اسید هیومیک و آمینو اسید و اثر ساده این دو تیمار در سطح احتمال یک درصد بر میزان آنتوسیانین معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین میزان آنتوسیانین در تیمار اسید هیومیک ۰/۵ + آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر به دست آمد که با تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ + آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثرکاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی وآنتوسیانین گلایول

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	آنتوسیانین
اسید هیومیک (**A**)	۲	۰/۱۴**	۰/۰۲۵**	۰/۲۹**	۰/۰۰۲۷**	۴/۳۴**
آمینو اسید (**B**)	۲	۰/۴۱**	۰/۰۷۳**	۰/۸۳**	۰/۰۰۷۹**	۱۱/۷۶**
A*B	۴	۰/۰۲**	۰/۰۰۳۶**	۰/۰۴**	۰/۰۰۰۳۶*	۰/۲۹**
خطا	۲۷	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۸۹	۰/۰۲
ضریب تغییرات (٪)		۴/۱۱	۶/۰۷	۳/۳۵	۳/۸۸	۴/۳۷

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

عناصر: برهمکنش تیمارها بر میزان عناصر نیتروژن، فسفر و کلسیم برگ در سطح احتمال یک درصد و عنصر پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). اثر ساده اسید هیومیک بر عنصر نیتروژن و فسفر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و بر میزان پتاسیم و کلسیم غیر معنی‌دار بود. اثر ساده آمینو اسید بر هر چهار عنصر مورد بررسی معنی‌دار بود. بیشترین درصد نیتروژن و پتاسیم در تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر، بیشترین درصد فسفر در تیمار اسید هیومیک ۰/۵ + آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر و بیشترین درصد کلسیم در تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ + آمینو اسید ۰/۱

گرم در لیتر و تیمار آمینو اسید ۰/۱ گرم بدون اسید هیومیک به‌دست آمد (جدول ۸).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرکاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان آنتوسیانین گلایول

اسید هیومیک ($g.l^{-1}$)	آمینو اسید ($g.l^{-1}$)	کلروفیل **a** ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل **b** ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل کل ($mg.g^{-1}$ FW)	کاروتنوئید ($mg.g^{-1}$ FW)	آنتوسیانین (micro $mol.g^{-1}$ FW)
	۰	۰/۶۷^{g}	۰/۲۶^{f}	۰/۹۳^{g}	۰/۱۸^{f}	۱/۸۹^{g}
۰	۰/۰۵	۰/۹۲^{de}	۰/۴۱^{c}	۱/۳۳^{d}	۰/۲۵^{bc}	۴/۰۶^{d}
	۰/۱	۰/۹۰^{d}	۰/۳۷^{d}	۱/۲۷^{e}	۰/۲۳^{cd}	۳/۸۹^{d}
	۰	۰/۷۶^{f}	۰/۳۲^{e}	۱/۰۹^{f}	۰/۲۳^{de}	۳/۵۷^{e}
۰/۲۵	۰/۰۵	۱/۱۴^{b}	۰/۴۸^{ab}	۱/۶۲^{b}	۰/۲۶^{ab}	۴/۹۷^{ab}
	۰/۱	۱/۲۴^{a}	۰/۵۱^{a}	۱/۷۵^{a}	۰/۲۶^{a}	۴/۷۷^{b}
	۰	۰/۷۱^{gf}	۰/۳۲^{e}	۱/۰۴^{f}	۰/۲۲^{e}	۳/۰۳^{f}
۰/۵	۰/۰۵	۱/۰۶^{c}	۰/۴۵^{b}	۱/۵۱^{c}	۰/۲۶^{ab}	۵/۰۶^{a}
	۰/۱	۰/۹۷^{d}	۰/۳۹^{cd}	۱/۳۶^{d}	۰/۲۷^{a}	۴/۳۵^{c}

در هر ستون اعدادی با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند

جدول ۷- تجزیه واریانس اثرکاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید بر میزان عناصر برگ گلایول

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم
اسید هیومیک (**A**)	۲	۰/۰۴**	۰/۰۰۲۳**	۰/۲۸^{ns}	۰/۰۰۰۲۵^{ns}
آمینو اسید (**B**)	۲	۱/۲۹**	۰/۰۲**	۱/۲۰**	۰/۰۵**
A*B	۴	۰/۲۶**	۰/۰۰۹۶**	۰/۳۸*	۰/۰۰۵۶**
خطا	۲۷	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۹	۰/۱۲	۰/۰۰۰۱۸
ضریب تغییرات (٪)		۶/۶۰	۵/۷۷	۸/۷۹	۱/۸۸

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرکاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید بر میزان عناصرگلایول

اسید هیومیک ($g.l^{-1}$)	آمینو اسید ($g.l^{-1}$)	نیتروژن (٪)	فسفر (٪)	پتاسیم (٪)	کلسیم (٪)
	شاهد	۰/۳۳^{h}	۰/۰۷^{g}	۳/۱۸^{b}	۰/۶۱^{g}
۰	۰/۰۵	۰/۶۶^{e}	۰/۱۶^{de}	۴/۱۰^{a}	۰/۷۲^{c}
	۰/۱	۰/۹۳^{c}	۰/۲۱^{b}	۴/۴۱^{a}	۰/۸۰^{a}
	۰	۰/۴۰^{g}	۰/۱۵^{e}	۴/۰۴^{a}	۰/۶۶^{e}
۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۵۵^{f}	۰/۱۵^{e}	۴/۰۶^{a}	۰/۷۰^{d}
	۰/۱	۱/۳۰^{a}	۰/۱۸^{c}	۴/۴۳^{a}	۰/۷۹^{a}
	۰	۰/۳۵^{gh}	۰/۱۰^{f}	۳/۹۵^{a}	۰/۶۴^{f}
۰/۵	۰/۰۵	۱/۰۷^{b}	۰/۲۶^{a}	۴/۳۳^{a}	۰/۷۶^{b}
	۰/۱	۰/۸۰^{d}	۰/۱۷^{cd}	۴/۱۸^{a}	۰/۷۳^{c}

در هر ستون اعدادی با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند

بحث

افزایش تعداد پداژک یا سوخک در گیاهان سوخوار نقش موثری در تولید نسل‌های بعدی این گیاهان و

ازدیاد دارد. در پژوهش حاضر اسید هیومیک ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر در ترکیب با آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر سبب افزایش تعداد پداژک تولیدی در گلایل شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از کودهای آلی سبب افزایش میزان جذب عناصر غذایی شده در نتیجه در تولید سوخک و پداژک موثر می‌باشند (چمنی و همکاران ۲۰۰۸). در پژوهشی تأثیر اسید آمینه پوترسین، اسید آسکوربیک و تیامین روی گلایول مثبت گزارش شد و موجب بهبود صفات رویشی ازجمله ارتفاع، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ‌ها و نیز افزایش تعداد پداژه و وزن تر و خشک کورم‌ها شد (ابدول عزیز ناهید و همکاران ۲۰۰۹).

داشتن اندام رویشی و زایشی با عملکرد مناسب مستلزم گسترش و توسعه مناسب اندام‌های زیرزمینی از جمله ریشه می‌باشد. در پژوهش حاضر کاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید در بهبود رشد ریشه موثر بود بطوریکه حداکثر طول ریشه در اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر در ترکیب با آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر بدست آمد. نتایج بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد اسید هیومیک مانند اکسین عمل می‌کند و اثرات شبه هورمونی دارد. با تقسیم سلولی تحت تأثیر اکسین، رشد ریشه افزایش پیدا می‌کند (بایس و راویشنکر ۲۰۰۲). همچنین بیان شده است اسید هیومیک از طریق فعال کردن آنزیم‌های مسیر چرخه نیتروژن سبب افزایش فعالیت میکروبی و از طریق فعالیت پمپ‌های ATP-ase در پلاسمالما، تونوپلاست و واکوئل باعث طویل شدن ریشه‌ها می‌گردد (زندونادی و همکاران ۲۰۰۷؛ کالوو و همکاران ۲۰۱۴). مطابق با نتایج پژوهش حاضر کاربرد آمینواسیدها روی گیاه فیلودندرون طول ریشه را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (دهاب و العزیز ۲۰۰۶).

در گل‌های بریدنی داشتن ساقه بلند یکی از شاخص‌های مهم در درجه‌بندی است. بطریکه هرچقدر ارتفاع ساقه بلندتر و ساقه مستحکم‌تر باشد ارزش بازارپسندی بیشتری دارد. در پژوهش حاضر بیشترین ارتفاع ساقه در تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ گرم در لیتر در ترکیب با آمینو اسید ۰/۰۵ و ۰/۱ گرم در لیتر به‌دست آمد. تأثیر آمینو اسیدها بر افزایش شاخص‌های رویشی از جمله ارتفاع ساقه می‌تواند به‌دلیل نقش مثبت این مواد در اثر افزایش تقسیمات سلولی، توسعه و کشیدگی سلول باشد. همچنین آمینو اسیدها می‌توانند به طور غیر مستقیم با اثر بر تنظیم‌کننده‌های رشدی باعث افزایش رشد رویشی گیاهان شوند (ماژر و همکاران ۲۰۱۱). در آزمایشی کاربرد آمینو اسید پوترسین ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید آمینه تیامین در گیاه کوکب منجر به افزایش ارتفاع گیاه و قطر ساقه نسبت به شاهد شد (مهقوب و همکاران ۲۰۱۱). در پژوهشی کاربرد اسید هیومیک و نانوکلات کلسیم طول و قطر ساقه گل ژربرا را افزایش داد (میرزایی و همکاران ۲۰۱۹). ناهد و همکاران (۲۰۰۹) اثر محلول‌پاشی برگی آمینو اسیدها را بر گل میمون و گلایول بررسی و نشان دادند که محلول‌پاشی آمینو اسید باعث افزایش ارتفاع و افزایش تعداد گل در گیاه میمون و باعث افزایش طول ساقه گل‌دهنده و تعداد گل در گلایول شده است.

در گل‌های زینتی داشتن گل‌های فراوان با رنگ و اندازه مناسب نقش مهمی در بازارپسندی و افزایش قیمت دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر کاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید تاثیر معنی-داری در افزایش تعداد گلچه در هر خوشه در مقایسه با شاهد داشت بطوریکه بیشترین تعداد گلچه در تیمار اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر در ترکیب با آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر به‌دست آمد. اسید هیومیک در گیاه موجب افزایش هورمون‌های جیبرلین، اکسین و سیتوکینین می‌شود. سایتوکنین نقش مهمی در گلدهی گیاهان زینتی دارد. پلی آمین‌ها در فرآیندهای گل‌انگیزی، توسعه اندام گل و گلدهی، نقش دارند (بایس و راویشنکر ۲۰۰۲). محلول‌پاشی برگی آمینو اسیدها روی گل میمون و گلایول باعث افزایش تعداد گل شد (ناهد و همکاران ۲۰۰۹، بالدوتو و لیلیان ۲۰۱۳).

در پژوهش حاضر محتوای کلروفیل، رنگدانه کارتنوئید و آنتوسیانین در گیاهان تیمار شده با اسید هیومیک و آمینو اسید در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشت. مواد هیومیکی با افزایش دادن قابلیت جذب مواد

غذایی از جمله نیتروژن که نقش مهمی در فتوسنتز و تنظیم رشد گیاهی دارد سبب افزایش رنگدانه از جمله کلروفیل در گیاه می‌گردد (زینلی و مرادی ۲۰۱۵؛ رادکوواسکی ۲۰۱۸). بازدارندگی از تجزیه کلروفیل توسط پلی‌آمین‌ها به کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت داده می‌شود (بایس و راویشنکر ۲۰۰۲). همچنین علت جلوگیری از تخریب رنگیزه‌های گیاهی توسط آمینو اسیدها احتمالا به دلیل مهار فعالیت آنزیم پراکسیداز است که با تاثیر بر کاهش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک بر غشای کلروپلاست اثر می‌گذارند و از تخریب رنگیزه‌ها به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن ممانعت می‌کنند (شکوه و همکاران ۲۰۱۸). مطابق با یافته‌های پژوهش حاضر محلول‌پاشی اسید هیومیک در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به طور معنی‌داری محتوای کلروفیل در گل همیشه بهار را افزایش داد (اله وردی‌زاده و نظری دلجو ۲۰۱۴). کاربرد اسید هیومیک روی گل رز، شاخص کلروفیل را افزایش داد (حسینی فرحی و همکاران ۲۰۱۷). محلول‌پاشی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک نقش مؤثری در افزایش کلروفیل و کاروتنوئید برگ ژربرا و برگ گل نرگس داشت (قربانعلی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰؛ اکبرپور و همکاران ۲۰۲۳). استفاده از اسید هیومیک و اسید فولویک میزان آنتوسیانین کل گل گاوزبان را نسبت به شاهد ۹۸ و ۹۹ درصد افزایش نشان داد (امیری و همکاران ۲۰۱۷).

در پژوهش حاضر کاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید سبب افزایش فنل کل در گیاهان شد. ترکیبات فنلی از اجزاء سیستم دفاعی غیرآنزیمی و آنتی‌اکسیدانی سلول‌های گیاهی می‌باشند که مهار اتوکسیداسیون لیپیدها، تجزیه رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پراکسیدها را به عهده دارند. این ترکیبات می‌توانند در افزایش ماندگاری گل موثر باشند. کاربرد کودهای آلی به دلیل افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی بویژه کربن و نیتروژن موجب افزایش ترکیبات فنلی می‌گردد (قربانلی و همکاران ۲۰۱۱). برای ساخت و سنتز ترکیبات فنلی، حضور کربوهیدرات‌ها لازم و ضروری می‌باشد افزایش در مقدار کربوهیدرات‌ها، سبب افزایش سنتز ترکیبات فنلی می‌گردد که دلیل این امر ممکن است به اختصاص یافتن بیشتر کربن به مسیر شیکمیک اسید (مسیر ساختن ترکیبات فنلی) مربوط باشد (فونگ و همکاران ۲۰۱۰). در پژوهشی با کاربرد اسید هیومیک فنل کل در گیاه همیشه بهار افزایش پیدا کرد (عابدینی و همکاران ۲۰۱۵). همچنین افزایش ترکیبات فنلی با افزایش میزان کربوهیدرات‌ها در گیاه ارتباط مستقیم دارد، از آنجا که کربوهیدرات‌ها از اجزای مورد نیاز برای ساخت ترکیبات فنلی می‌باشند مشخص شده است کاربرد اسیدهای آمینه روی متابولیسم ترکیبات فنلی گیاه تأثیرگذار است (نگوین و نیمایر ۲۰۱۰؛ پورتو ۲۰۱۵). آمینو اسید تریپتوفان سبب افزایش کربوهیدرات و فنل کل گیاه فیکوس شد (سوعاد و همکاران ۲۰۱۶).

در پژوهش حاضر بیشترین درصد نیتروژن و پتاسیم در تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر، بیشترین درصد فسفر در تیمار اسید هیومیک ۰/۵ + آمینو اسید ۰/۰۵ گرم در لیتر و بیشترین درصد کلسیم در تیمار اسید هیومیک ۰/۲۵ + آمینو اسید ۰/۱ گرم در لیتر و تیمار آمینو اسید ۰/۱ گرم بدون اسید هیومیک به‌دست آمد. گزارش شده است اسید هیومیک نفوذپذیری غشاء سلولی را افزایش می‌دهد با کاربرد اسید هیومیک جذب پتاسیم، نیتروژن، آهن و منیزیم به دلیل افزایش نفوذپذیری غشای سلولی افزایش می‌یابد (عصری و همکاران ۲۰۱۵). اسید هیومیک سبب افزایش نیتروژن و فسفر در چمن بنت گراس گردید (مکویک و همکاران ۲۰۰۱). مصرف غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، سبب افزایش معنی‌دار محتوای NPK و کلسیم در برگ‌های گل نرگس شد (محمدی و همکاران ۲۰۲۱). به‌نظر می‌رسد که نقش اسیدهای آمینه در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان به علت اثر آنتی‌اکسیدانی، کمک به تعادل یونی و افزایش دسترسی به نیتروژن بوده است (سیاهمنصور و همکاران ۲۰۲۰). در پژوهش حاضر نیز محتوای عنصر نیتروژن برگ با کاربرد آمینواسید افزایش یافته است. در گزارشی آمده است آمینو اسیدهای پوتریسین، اسید آسکوربیک و تیامین موجب افزایش محتوای NPK در گلایول شدند (ناهید و همکاران، ۲۰۰۹). در بررسی

محمدی و همکاران (۲۰۲۱) اسید هیومیک در گیاه نرگس (*Narcissus jonquilla* cv. German) غلظت عناصر برگ را افزایش داد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید سبب بهبود بیشتر صفات رویشی و فیزیولوژیکی در مقایسه با تیمار شاهد شد. همچنین کاربرد اسید هیومیک و آمینو اسید سبب افزایش تعداد گلچه شد. افزایش تولید پداژک در گیاهان تیمار شده با اسید هیومیک و آمینو اسید مشاهده شد. کاربرد اسید هیومیک ۰/۲۵ و آمینو اسید ۰/۰۵ تأثیر معنی‌داری در مقایسه با دیگر غلظت‌های مورد استفاده در بهبود بیشتر صفات مورد بررسی داشت لذا برای پرورش گلایول توصیه می‌شود.

سپاسگزاری:

بدین‌وسیله از حمایت‌های دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در طول اجرای این پژوهش قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Abd El-Aziz Nahed G, Lobna T and Ibrahim M. 2009. Some studies on the effect of putrescine, Ascorbic acid and Thiamine on growth, Flowering and some chemical constituents of Gladiolus plants at Nubaria. Ozean Journal of Applied Sciences, 2: 169-179.

Abedini T, Moradi P and Hani A. 2015. Effect of organic fertilizer and foliar application of humic acid on some quantitative and qualitative yield of pot marigold. Journal of Novel Applied Sciences, 4(10): 1100-1103.

Akbarpour M, Karimi M and Jalili B. 2023. Morphological and Physiological Response of Daffodil (*Narcissus jonquilla* cv. German) to Water Hyacinth Compost and Humic Acid. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 32(4):129- 142 (In Persian). doi: 10.22034/SAPS.2022.47818.2731.

Allahvirdizadeh N and Nazari Deljou M. 2014. Effect of humic acid on morph-physiological traits. Nutrients uptake and postharvest vase life of pot marigold cut flower (*Calendula officinalis* cv. Crysantha) in hydroponic system. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 5(18): 133-143. (In Persian). dor.20.1001.1.20089082.1393.5.2.12.6

Amiri MH, Rezvani P and Moghaddamand Jahan M. 2017. Effects of organic acids, mycorrhiza and rhizobacteria on yield and some phytochemical characteristics in low-input cropping system. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 27(1): 45-61. (In Persian). dor:20.1001.1.24764310.1396.27.1.4.4

Asri F, Demirtas E and Ari N. 2015. Changes in fruit yield, quality and nutrient concentrations in response to soil humic acid applications in processing tomato. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 21(3): 585-591.

Bais HP and Ravishankar GA. 2002. Role of polyamines in the ontogeny of plants and their biotechnological applications. Plant Cell Tissue Organ Culture. 69: 1– 34. doi: 10.1023/A:1015064227278.

Baldotto MA and Lilian EB. 2013. Gladiolus dvelopment in response to bulb treatment Whit different concenterations of humic acids. Revista Ceres. 60(1): 138-142. doi: 10.1590/S0034-737X2013000100020.

Calvo P, Nelson L and Kloepper J W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and Soil 1(2): 383-391. doi: 10.1007/s11104-014-2131-8

Carter GA and Knapp AK. 2001. Leaf optical properties in highest plants: Linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. American Journal of Botany 88(4): 677-684. doi:10.2307/2657068

Cerdna M, Snchez A, Oliver M, Juarez M and Snchez Andreu JJ. 2009. Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. Acta Horticulturae, 830: 438-488.doi: 10.17660/ActaHortic.2009.830.68

Chapman HD and Pratt PF .1961. Method of analysis for soils, plants and waters. University of California. Division of Agricultureal Sciences.

ChenY, De Nobili M and Avaid T. 2004. Stimulatory effects of humic substances on plant growth. pp 131-165. In: Magdoff, F and Weil, R. (Eds), Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture, CRC Press, Boca Raton, FL.

Dahab TA and El-Aziz NGA. 2006. Physiological effect of Diphenylamin and Tryptophan on the growth and chemical constituents of Philodendron erubescens plants. World Journal of Agricultural Sciences. 2(1): 75-81.

Ghasemi K, Ghasemi Y and Ebrahimzadeh MA. 2009. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 Citrus specis peels and tissues. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 22(3): 277-281.

Ghorbanalizade F, Karimi M, Ghasemi K, Hatami M. 2020. Evaluation the Effect of Water Hyacinth and Humic Acid Compost on some Morphophysiological and Biochemical Properties of Gerbera (Gerbera jamesonii Bolus. cv. Artist). Iranian Journal of Horticultural Science, 34(2): 335-347. (In Persian). doi.org/10.22067/jhorts4.v34i2.87001

Ghorbanli M, Saadatmand L and Niakan M. 2011. Study the effects of natural habitats on flavonoids poly phenols, anthocyanin and their related antioxidant activity in *Elaeagnus agustifolia*. The first congress on advanced Agricultural finding, Islamic Azad University Saveh, Iran. (In Persian).

Hosseini Farahi SM, Aboutalebi A and Jowkar MM. 2017. Effect of different media substrate and humic acid on growth and nutrient absorption of soilless cultured cut rose flowers. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 8(2): 89-103. (In Persian). doi: 10.18869/acadpub.ejgcst.8.2.89

Mackowiak CL, Grossl PR and Bugbee BG. 2001. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. Soil Science Society of America Journal, 65: 174-1750. doi.org/10.2136/sssaj2001.1744.

Mahgoub MH, Abd El-Aziz NG and Mazhar AM. 2011. Response of *Dahlia pinnata* L. to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences10 (5): 769- 775.

Mazher AA, Zaghloul SM, Mahmoud SA and Siam HS. 2011. Stimulatory effect of kinetin, ascorbic acid and glutamic acid on growth and chemical constituents of *Codiaeum variegatum* L. plants. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 10(3): 318-323.

Mirzaei N, Jabbarzadeh Z and Rasouli Sadaghiani M. 2019. Investigation of some morphological and biochemical characteristics and vase life of *Gerbera jamesonii* cv. Dune cut flower using humic acid and nano calcium chelate. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 20(2): 157-170. Dor: 20.1001.1.16807154.1398.20.2.8.7.

Mohammadi M, Karimi M and Moradi H. 2021. Effect of Azolla Compost and Humic Acid on Growth and Flowering of Daffodil (*Narcissus jonquilla* cv. German). Journal Soil and Plant Interactions, 12(1):35-48. (In Persian). dor: 20.1001.1.20089082.1400.12.1.6.7

Nahed GAA, Mahgoub MH and Mazher AM. 2009. Physiological effect of phenylalanine and tryptophan on the growth and chemical constituents of Antirrhinum majus plants. Ozean Journal of Applied Sciences, 2: 399-407.

Nahed GAA, Mazher AAM and Farahat MM. 2010. Response of vegetative growth and chemical constituents of Thuja orientalis L. plant to foliar application of different amino acids at Nubaria. The Journal of American Science 6: 295-301. doi.org/10.22059/jci.2021.320460.2530

Nguyen PHM, Kwee EM and Niemeyer ED. 2010. Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. Food Chemistry, 123(4): 1235-1241. doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.092.

Nikbakht A and Ashrafi N. 2019. Cut flowers, scientific and practical principles of growing. Jahad Daneshgahi press, Esfahan. 434 p. (In Persian).

Pandy S, Randas SA, Nagar PK and Kumar N. 2000.Role of polyamines and ethylene as modulators of plant senescence. Journal of Biosciences, 25(3): 291-299. doi: 10.1007/BF02703938.

Phuong M, Nguyen EM and Niemeyer KED. 2010. Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. Food Chemistry, 123: 1235–1241. doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.092

Popko M, Michalak I, Wilk R, Gramza M, Chojnacka H and Gorecki H. 2018. Effect of the New Plant Growth Biostimulants Based on Amino Acids on Yield and Grain Quality of Winter Wheat. Molecules. 23; 470. doi: 10.3390/molecules23020470

Portu J, López-Alfaro I, GómezAlonso S, López R and GardeCerdán T. 2015. Changes on grape phenolic composition induced by grapevine foliar applications of phenylalanine and urea. Food chemistry, 180: 171-180.

Radkowski A and Radkowsk I. 2018. Influence of foliar fertilization with amino asid preparations on morphological traits and seed yield of timothy. Plant Soil Environ. 64 (5): 209-213. doi: 10.17221/112/2018-PSE

Rahmani F, Karimi M and Moradi H. 2020. Effect of Wood Chips Compost and Humic Acid on Growth, Flowering and Vase Life of Lily (*Longiflorum* × *Asiatic*) cv. Nashville. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 30(3):185-202. (In Persian). doi: 20.1001.1.24764310.1399.30.3.11.6.

Samavat S and Malakuti M. 2005. Important use of organic acid (humic and fulvic) for increase quantityand quality of agriculture productions. Water and Soil Research. 463: 1-13.

Sanikhani M, Akbari A and Kheiry A. 2020. Effect of phenylalanine and tryptophan on morphological and physiological characteristics in colocynth (*Citrullus colocynthis* L.). Journal of Plant Process and Function, 9 (35): 317-328. (In Persian).

Sharaf AI and El-Naggar AH 2003. Response of Carnation plant to phosphorus and boron foliar fertilization under greenhouse conditions. Alexandria Journal of Agricultural Sciences. 48(1): 147-158.

Shokouh AR. Mehrafarin A, Abdossi V and Naghdi Badi H. 2018. Morpho-physiological and biochemical responses of bladder cherry (Physalis alkekengi L.) induced by multienzymatic biostimulant, IBA, and citric acid. Folia Horticulturae, 30(1): 79-92. doi: 10.2478/fhort-2018-0009

Siahmansour S, Ehtesham-Nia A and Rezaeinejad A. 2020. Effect of salicylic acid foliar application on Morphophysiological and biochemical traits of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) under salinity stress condition. Journal of Plant Production Research, 27(1): pp.165-178. (In Persian). doi: 10.22069/JOPP.2020.16087.2448

Soad M, Ibrahim M and Lobna Taha S. 2016. Assimilation of Ficus microcarpa "Hawaii" (v) plant growth and chemical constituents to peptone and tryptophan foliar application. International Journal of PharmTech Research, 2455-9563.

wagner GJ. 1997. Content and vacuole/extra cacuole distribution of neutral sugars free amino acids, and anthocyanins in protoplast. Plant physiology, 64: 88-93. doi: 10.1104/pp.64.1.88.

Wahing IW, Van VJG, Houba JJ and Van der l.1989.Soil and plant analysis, a series of syllabi .part 7, plant analysis procedure. Wageningen Agriculture University.

Zandonadi DB, Canellas LP and Facmana AR. 2007. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H+ pumps activation. Planta, 225: 1583-1595. doi: 10.1007/s00425-006-0454-2.

Zeinali, A and Moradi, P. 2015. The effects of humic acid and ammonium sulfate foliar spraying and their interaction effects on the qualitative and quantitative yield of native garlic (*Allium sativum* L). Journal of Applied Environmental and Biological Science, 4(12): 205-211.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 139-152

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

The Effect of Humic Acid on Physiological and Growth Parameters of Two-year-old Jujube Seedlings (*Ziziphus jujuba* Mill.) in Nursery Conditions

Iman Sahebalam[1], Davoud Kartoolinejad[2*], Alireza Zare[3], Ebrahim Ganji Moghaddam[4]

Received: 28 January 2024	Accepted: 24 October 2024

1-Dept., of Aridland Forestry, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Semnan, Iran.
2-Assist. Prof., Dept of Arid Region Forestry, Semnan University, Semnan, Semnan, Iran.
3-Assist. Prof., Natural Resources Engineering, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi Province, Mashad, Mashad,Iran.
4-Assoc. Prof., of Agricultural Engineering, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi Province, Mashad, Mashad,Iran.
*Corresponding Author Email: kartooli58@semnan.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Today, the excessive use of chemical fertilizers in order to produce more agricultural products has faced many risks to the health of the environment, soil and surface and underground water. Therefore, considering the positive effect of organic fertilizers such as humic acid in agriculture, the present research was conducted with the aim of studying the effect of humic acid on the growth and gas exchange of two-year-old jujube seedlings.

Materials and Methods: Two-year-old jujube seedlings with the same size were planted in the beds prepared in the nursery of Mashhad green belt seedling production center in the form of pits and with 1.5 x 1.5 meters intervals. In 5 separate experimental plots, nursery soil was mixed with animal manure completely and uniformly. Then, in addition to animal manure, humic acid fertilizer with concentrations of 50 and 300 $mg.L^{-1}$ was applied in two plots, and in two other plots, foliar spraying was done on the leaf surfaces of seedlings with the mentioned concentrations at the beginning of the growing season. After 180 days of applying the treatments, the growth and physiological characteristics of the seedlings, including the seedlings height, collar diameter, root length, number of leaves and twigs, dry weight of shoot and root, the amount of gas exchange, the intensity of photosynthesis and the survival of the seedlings were measured and compared statistically.

Results: The results showed that the use of humic acid was completely effective on vegetative variables, photosynthesis and gas exchange of two-year-old jujube seedlings and improved them. According to the findings of this research, humic acid treatment with a concentration of 300 $mg.L^{-1}$ added to the soil caused the highest amount of seedling growth in diameter (4 mm) and height (71 cm), the number of leaves (56) and twigs (14), dry weight of roots (43 g) and aerial parts (61 g), photosynthesis rate (12.9 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$), transpiration (4.3 $mmol.m^{-2}.s^{-1}$) and stomatal conductance (1.38 $mol.m^{-2}.s^{-1}$). Increasing humic acid in the soil has a better performance than spraying on the leaf surface. In all evaluated variables, animal manure treatment created the lowest average.

Conclusion: Considering the positive effects of humic acid on gas exchange and improving the vegetative characteristics of jujube seedlings and the effect on increasing biomass, adding humic acid fertilizers with a concentration of 300 $mg.L^{-1}$ to the soil are recommended during planting the jujube seedlings in urban green spaces, horticulture and green belts of cities.

Keywords: Gas Exchange, Growth Characteristics, Jujube, Organic Manure, Photosynthesis Intensity, Transpiration

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Davoud Kartoolinejad E-mail: kartooli58@semnan.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2024.60299.3172

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۵۲-۱۳۹

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر هیومیک اسید بر پارامترهای فیزیولوژیک و رویشی دانهال‌های دوساله عناب (*Ziziphus jujuba* Mill.) در شرایط نهالستان

ایمان صاحب علم[۱]، داود کرتولی نژاد[۲*]، علیرضا زارع[۳]، ابراهیم گنجی مقدم[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته علوم جنگل دانشگاه سمنان
۲-استادیار گروه جنگلداری مناطق خشک دانشگاه سمنان
۳-استادیار مهندسی منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی
۴-دانشیار مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی
*مسئول مکاتبه: Email: Kartooli58@semnan.ac.ir

چکیده

اهداف: امروزه استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی به‌منظور تولید بیشتر محصولات کشاورزی، سلامت محیط‌زیست، خاک و آب‌های سطحی و زیرزمینی را با مخاطرات بسیار زیادی مواجه نموده است. از اینرو باتوجه‌به تأثیر مثبت کودهای آلی نظیر اسید هیومیک در کشاورزی، پژوهش حاضر با هدف مطالعه اثر هیومیک بر رویش و تبادلات گازی نهال‌های دوساله عناب صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: دانهال‌های دوساله و هم اندازه عناب در بسترهای آماده شده در نهالستان مرکز تولید نهال کمربند سبز مشهد به‌صورت گودالی و با فواصل ۱/۵×۱/۵ متر کاشته شد. در ۵ کرت آزمایشی مجزا، خاک نهالستان با کود حیوانی به طور کامل و یکنواخت مخلوط گردید. سپس در دو کرت علاوه بر کود حیوانی، کود هیومیک اسید با غلظت‌های ۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در دو کرت دیگر نیز، محلول‌پاشی بر سطوح برگ دانهال‌ها با غلظت‌های مزبور در ابتدای فصل رویش انجام گرفت. پس از گذشت ۱۸۰ روز از اعمال تیمارها، خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی نهال از جمله ارتفاع نهال، قطر یقه، طول ریشه، تعداد برگ و شاخه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، مقدار تبادلات گازی، شدت فتوسنتز و زنده‌مانی نهال‌ها اندازه‌گیری و مورد مقایسه آماری قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که استفاده از هیومیک اسید بر متغیرهای رویشی، فتوسنتز و تبادلات گازی نهال‌های دوساله عناب کاملاً اثرگذار بوده و باعث بهبود آن‌ها شد. بر اساس یافته‌های این تحقیق، تیمار هیومیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اضافه شده به خاک باعث ایجاد بیشترین مقدار رویش قطری (۴ میلی‌متر) و ارتفاعی نهال (۷۱ سانتیمتر)، تعداد برگ (۵۶) و گره (۱۴)، وزن ریشه (۴۳ گرم) و اندام‌های هوایی (۶۱ گرم)، فتوسنتز (۱۲/۹ میکرومول بر متر مربع در ثانیه)، تعرق (۴/۳ میلی مول بر متر مربع در ثانیه) و هدایت روزنه‌ای (۱/۳۸ مول بر متر مربع در ثانیه) شد. افزایش هیومیک اسید در خاک عملکرد بهتری را نسبت به محلول‌پاشی بر سطح برگ داشت. در تمامی متغییرهای ارزیابی شده، کود حیوانی، کمترین میانگین را ایجاد نمود.

نتیجه‌گیری: باتوجه‌به اثرات مثبت هیومیک اسید بر تبادلات گازی و بهبود ویژگی‌های رویشی نهال‌های گونه عناب و تأثیر بر افزایش زیست‌توده، اضافه کردن کودهای هیومیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به خاک در هنگام نهال‌کاری گونه عناب در فضاهای سبز شهری، باغداری و کمربندهای سبز شهرها توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تبادلات گازی، تعرق، عناب، کودهای آلی، ،شدت فتوسنتز، متغیرهای رویشی

مقدمه و کلیات

کودهای شیمیایی از مواد تقویت‌کننده گیاه در کشاورزی به‌حساب می‌آیند که نقش عمده‌ای در افزایش تولید محصولات کشاورزی بر واحد سطح ایفا می‌کنند. با مصرف این کودها اگرچه میزان عملکرد محصولات زراعی و باغی افزایش می‌یابد؛ اما با افزایش عملکرد، میزان برداشت عناصر توسط گیاه زیادتر شده و خاک از سایر عناصر تخلیه می‌گردد. کودهای شیمیایی به دلیل معدنی بودن، بلافاصله تجزیه شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرند و همین عامل باعث می‌شود گیاه در زمان کمتر و با سرعت بیشتری رشد کند (پاهالوی و همکاران ۲۰۲۱). مصرف درازمدت و فراوان کودهای شیمیایی رایج، علاوه بر افزایش آلودگی و صدمات زیست‌محیطی می‌تواند عواقبی همچون برهم خوردن تعادل اسیدیته، تجمع عناصر سنگین در خاک، کاهش حلالیت عناصر ریز مغذی و تخریب ساختمان خاک را در پی داشته باشد (خان و همکاران ۲۰۱۸). علاوه بر این، واکنش محصولات زراعی به کودهای شیمیایی نیز کاهش یافته است. به‌طوری‌که مصرف هر تن کود شیمیایی در سال ۱۹۵۰ منجر به تولید ۹ تن غله شده، درحالی‌که این میزان برای سال ۱۹۸۴، به ۲ تن رسیده است (یوگانادا و همکاران ۲۰۱۹). در کل استفاده از کودها بایستی به گونه‌ای باشد که بتواند علاوه بر افزایش تولید، کیفیت محصولات کشاورزی را نیز ارتقا بدهد و ضمن آلوده نکردن محیط‌زیست، تجمع مواد آلاینده نظیر نیترات را نیز در اندام‌های مصرفی محصولات زراعی به حداقل برساند. علاوه بر این کود باید سلامتی انسان و دام را نیز تأمین نماید (روسوس و همکاران ۲۰۱۷).

در دهه‌های گذشته استفاده از انواع کودهای شیمیایی برای تولید محصولات کشاورزی بسیار افزایش یافت. اما امروزه به دلیل آشکار شدن آسیب‌های زیست‌محیطی متعدد ناشی از مصرف کودهای شیمیایی متخصصین را بر آن داشت که به کاهش مصرف کودهای شیمیایی، تلفیق و یا جایگزینی آن‌ها با انواع کودهای آلی و بیولوژیک به‌منظور رسیدن به تولید پایدار در کشاورزی توجه نمایند (نورمند موید و همکاران ۲۰۲۴). در این راستا، استفاده از انواع کودهای آلی یکی از راهکارهای مهم بهبود تولیدات کشاورزی و کاهش خطر بروز آلودگی‌های محیطی موردتوجه قرار گرفته است. در این میان، هوموس یکی از انواع کودهای آلی و نوعی ماده آلی تثبیت شده می‌باشد که از اسید هیومیک، اسید فولویک و هیومین تشکیل شده است. مواد آلی از طریق عواملی نظیر بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک، بهبود نفوذپذیری آب، باعث کاهش رواناب و سهولت توسعه ریشه و همچنین افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شوند. مواد هیومیکی یک ترکیب شیمیایی آلی هستند که از تجزیه مواد آلی گیاهان و حیوانات حاصل می‌شوند. این مواد در تمام محیط‌های خاکی و آبی یافت می‌شوند و یکی از فراوان‌ترین مواد آلی در سطح زمین به‌حساب می‌آیند (مک کارتی ۲۰۰۱). هیومیک اسید یک ترکیب و اسید آلی است که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند به‌عنوان ترکیب شبه هورمونی اکسین باعث افزایش جذب عناصر غذایی خاک بشود. علاوه بر این، استفاده از هیومیک اسید برای محصولات زراعی می‌تواند به رشد بهتر گیاهان کمک نماید و بدین صورت میزان تولید را افزایش داده و کیفیت محصول را نیز بهبود بخشد (کشاورز و همکاران ۲۰۱۹). نتایج بررسی‌ها نشان داده که مصرف هیومیک اسید در خاک موجب افزایش جذب عناصر غذایی مغذی از خاک و همچنین تنظیم pH خاک نیز می‌شود (بل لو و همکاران ۲۰۱۹).

در طول تاریخ درختان و درختچه‌ها در هر منطقه جغرافیایی و اقلیمی از دیرباز جهت تولید محصولات غذایی و تأمین نیازهای مختلف بشر اهمیت زیادی داشته‌اند. متأسفانه، گونه‌های درختی و درختچه‌ای که با هدف تولید محصولات باغی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار می‌گیرند از تنوع بالایی برخوردار نیستند و بسیاری از آن‌ها به خشکی، شوری، سرما و گرما حساس بوده و در اغلب موارد نیز به آب

بسیار زیادی نیاز دارند. رشد فزاینده جمعیت شهری در سطح استان خراسان (شهر مشهد) و توسعه صنعتی این شهر، نیاز به گسترش فضای سبز و کمربند سبز بیشتر شده است. بر این اساس، استفاده از انواع گونه‌های درختی ارزشمند، چند منظوره و پر کاربرد باغی و محصول ده نظیر عناب، توت و... در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه مدیران کمربند سبز و فضای سبز شهری قرار گرفته است. عناب با نام علمی Ziziphus jujuba .Mill از مهم‌ترین و تجاری‌ترین گونه‌های خانواده Rhamnaceae است که علاوه بر تولید میوه با خواص دارویی، مقاومت آن به شرایط سخت محیطی همچون خشکی، سرما و شوری باعث شده که در اکثر مناطق جهان کشت شود (پادل و همکاران ۲۰۲۳، ژو و همکاران ۲۰۲۴). این درخت بومی آسیای جنوب شرقی، مرکزی و قفقاز است و در کشورهای چین، هند، افغانستان، پاکستان و ایران بسیار کشت شده است. در حال حاضر در کشورهای سوریه، ایتالیا، فرانسه، اسپانیا و شمال آفریقا نیز کشت می‌شود. در حال حاضر چین بیشترین میزان تولید و تجارت میوه این گونه را در دست دارد (مودی و همکاران ۲۰۲۱؛ راد و همکاران ۲۰۲۲). در واقع محصولات این گونه به دلیل خواص دارویی و ارزش غذایی نیاز ساکنین اطراف مشهد را به‌صورت رایگان فراهم نموده و در زمان تولید میوه به یکی از کانون‌های تفرجی بسیاری از ساکنان این کلان‌شهر تبدیل کرده است. باتوجه‌به اهمیت کاربرد کودهای آلی در کشاورزی پایدار و جایگاه ویژه گونه عناب در احداث کمربند سبز مشهد، مطالعه حاضر به‌منظور ارزیابی توان رویشی این گونه در پاسخ به سطوح مختلف کود آلی هیومیک اسید به شکل محلول‌پاشی و اضافه کردن به خاک مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق به دلیل نیاز به توصیه کاشت در شرایط سرد و خشک از رقم مقاوم و بومی عناب سیرجان استفاده شد. دانهال‌های دوساله و هم اندازه عناب به‌صورت ریشه لخت تهیه گردید. سپس به بسترهای آماده شده در نهالستان مرکز تولید نهال کمربند سبز مشهد منتقل گردیدند. نحوه کاشت نهالها به‌صورت گودالی و با فواصل ۱/۵×۱/۵ متر بود که در سال ۱۴۰۱ انجام شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک نهالستان در جدول ۱ ذکر شده است. در ۵ کرت آزمایشی مجزا، خاک نهالستان با کود حیوانی به مقدار ۵ تن در هکتار به طور کامل و یکنواخت مخلوط گردید. کود مورد استفاده در این تحقیق هیومیک اسید مایع ۱۴٪ برند تجاری گرومور آمریکا بود. ترکیبات اصلی این کود شامل: ۱۴٪ هیومیک اسید، ۱۶٪ ماده آلی، ۵٪ اسید فولویک، ۹/۸٪ کربن، ۷٪ پتاسیم بود. در دو کرت علاوه بر کود حیوانی مزبور، از کود هیومیک اسید مزبور با غلظت‌های ۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با خاک هر گودال نهال مخلوط گردید. در دو کرت دیگر نیز، محلول‌پاشی بر سطوح برگ دانهال‌ها با غلظت‌های مزبور در ابتدای فصل رویش انجام گرفت؛ بنابراین، در این پژوهش تعداد ۵ تیمار مختلف کودی، با ۳ دانهال به‌عنوان تکرار در هر تیمار بررسی شدند. دانهال‌ها به طور یکنواخت در طی یک دوره رویشی و به مدت ۶ ماه و هر سه روز یکبار آبیاری و سپس جهت بررسی نهایی اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک نهالستان محل انجام آزمایش

سنگ‌ریزه (٪)	اسیدیته	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	مواد خنثی شونده (آهک) %	ماده آلی (٪)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)
٪۵۰	۸/۰۶	۱/۴۷۸	۱۰/۸۸	۰/۳۰۹	۲/۱۴۲	۵۱/۶۶	۶۵	۲۶	۹

پس از گذشت ۱۸۰ روز از اعمال سطوح مختلف تیمار کوددهی، خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی نهال از جمله ارتفاع نهال، قطر یقه، طول ریشه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه، مقدار تبادلات گازی، شدت

فتوسنتز و زنده‌مانی نهال‌های عناب اندازه‌گیری و ثبت گردید (کرتولی نژاد و همکاران ۲۰۱۷، بهمنی و همکاران ۲۰۲۲). به‌منظور اندازه‌گیری زیست‌توده در پایان آزمایش، نهال‌ها به آرامی از خاک خارج شده و پس از شست‌وشوی خاک اطراف ریشه و شمارش تعداد گره، هر یک از نهال‌ها از محل یقه به دو قسمت ریشه و ساقه جدا شده و سپس در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و با ترازوی دیجیتال توزین شدند. در پایان، نسبت وزن ساقه به ریشه محاسبه شد. نرخ زنده-مانی و رویش ارتفاعی از طریق فرمول‌های اشاره شده در روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند (بهمنی و همکاران ۲۰۱۶، رحیمی و همکاران ۲۰۱۶).

رابطه (۱) $$\text{درصد زنده‌مانی} = \frac{n}{N} \times 100$$

رابطه (۲) $$\text{رویش ارتفاعی} = H_2 - H_1$$

n = تعداد نهال زنده مانده در پایان دوره؛ N = تعداد کل نهال‌ها؛ H_2 = ارتفاع ثانویه (cm)، H_1 = ارتفاع اولیه (cm)

اندازه‌گیری میزان تبادلات گازی (هدایت روزنه‌ای) و نرخ فتوسنتز در هوای آزاد و تحت شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا با دستگاه قابل‌حمل اندازه‌گیری تبادلات گازی LI-(LiCor Inc., Lincoln, USA) 6400 انجام گرفت. برای این منظور از هر تکرار ۶-۳ برگ بالغ انتخاب شد. اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۹ تا ۱۲ صبح در یک روز آفتابی با شدت نور ۱۴۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه انجام شد. برگ دانهال‌ها در اتاقک کوچک این دستگاه که دارای محیط کاملاً کنترل شده است قرار گرفت. کنسول اصلی دستگاه، هوا را با غلظت قابل کنترل CO_2 و H_2O و با مقدار اندازه‌گیری شده به محفظه برگ تأمین می‌کند. غلظت CO_2 وH_2O اندازه‌گیری شده و از طریق جریان هوا به هر دو سطح برگ قرار داده شده درون اتاقک، هدایت می‌شود. هوای تخلیه شده پس از استفاده برگ، از اتاقک تخلیه شده و غلظت CO_2 (که به طور طبیعی در طی فرآیند فتوسنتز کاهش یافته) و غلظت H_2O (که پس از انجام فتوسنتز برگ مزبور افزایش یافته) مجدداً اندازه‌گیری و آنالیز می‌شود. از تفاوت‌های میان غلظت اولیه و غلظت نهاییِ (پس از مصرف) گازهای CO_2 و H_2O آنالیز شده در اتاقک و نیز نرخ جریان هوا، نرخ جذب (آسیمیلاسیون) و تعرق به‌صورت مداوم محاسبه می‌شود. کارایی مصرف آب از تقسیم فتوسنتز به تعرق، و هدایت مزوفیلی از تقسیم فتوسنتز به غلظت CO_2 بین سلولی محاسبه گردید (صادقی پور و کرتولی نژاد ۲۰۱۷). شدت فتوسنتز و نرخ تعرق توسط دستگاه مزبور از روابط زیر محاسبه شده است:

رابطه (۳) $$A = u_s \times \Delta c$$

رابطه (۴) $$E = \frac{\Delta e \times u_s}{p}$$

A: نرخ فتوسنتز بر حسب میکرو مول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع در ثانیه

E: نرخ تعرق بر حسب مول بخار آب بر مترمربع در ثانیه

us: میزان جریان جرم هوای ورودی اتاقک برگ در هر مترمربع از سطح برگ بر حسب مول بر مترمربع در ثانیه

Δc: اختلاف در غلظت CO2 درون اتاقک قبل و بعد از اندازه‌گیری بر حسب میکرو مول بر مول

Δe: اختلاف غلظت بخار آب درون اتاقک قبل و بعد از اندازه‌گیری بر حسب میلی بار

p: فشار جوی بر حسب میلی بار

محاسبات آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با یک فاکتور کوددهی در قالب ۵ تیمار (۴ تیمار هیومیک اسید و کود حیوانی به‌عنوان شاهد) و در ۳ تکرار نهال انجام شد. پس از برداشت داده‌ها آزمون نرمالیته، همگنی واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به ترتیب توسط آزمون کولموگروف اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov)، لِوِن (Levene) و توکی (Tukey) انجام گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS و رسم جداول از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج

نتایج حاصل از بررسی درصد زنده‌مانی دانهال‌های عناب حاکی از آن بود که همگی دانهال‌ها فارغ از هرگونه تیمار کودی، زنده باقی ماندند (زنده‌مانی در تمامی تیمارها ۱۰۰٪). جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس مربوط به اثرات تیمارهای کود بر متغیرهای رویشی و فیزیولوژیک در دانهال‌های گونه عناب را نشان می‌دهد.

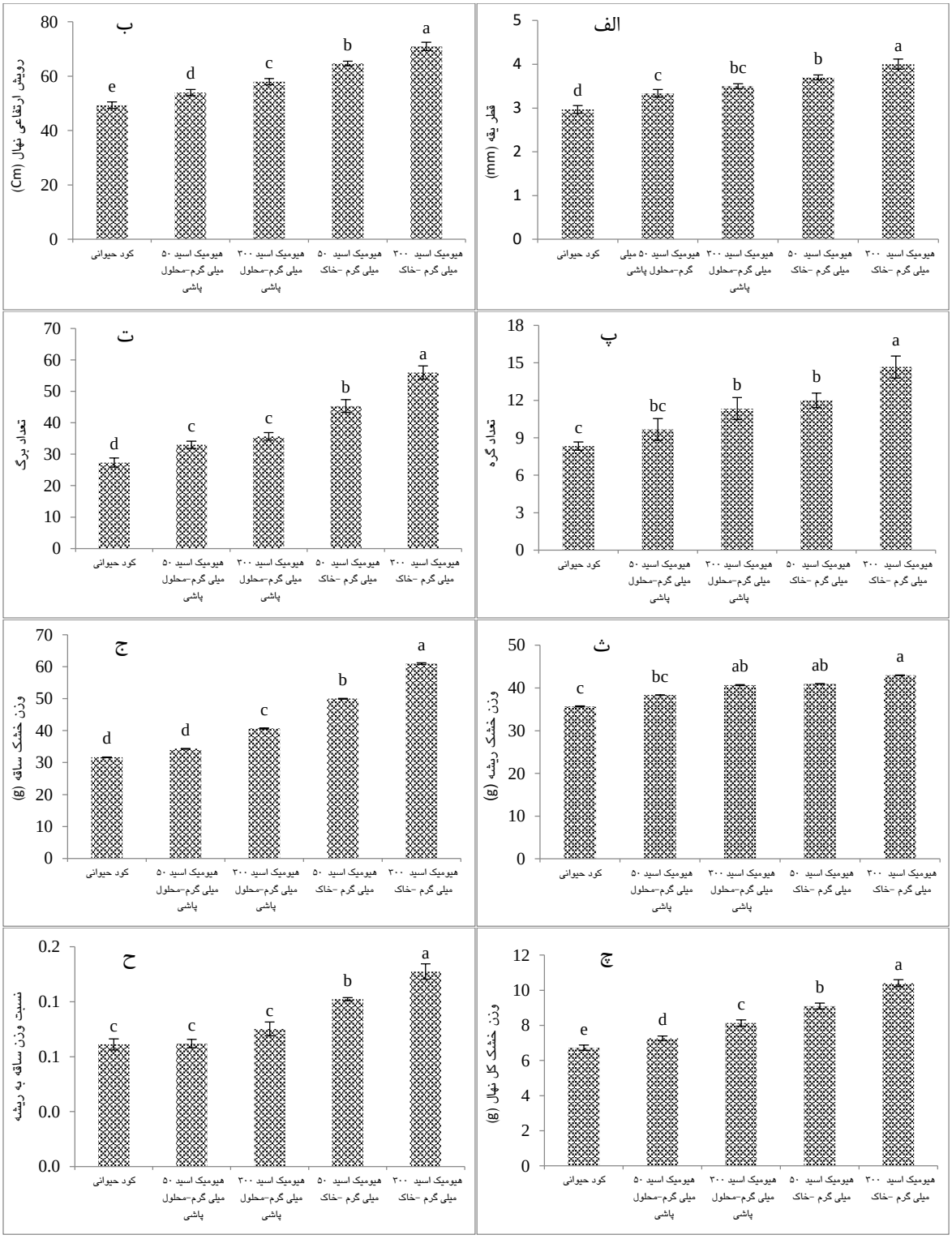
جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر انواع تیمارهای مختلف هیومیک اسید بر متغیرهای رویشی و فیزیولوژیک عناب رقم سیرجان

متغیرها	منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
ارتفاع نهال	تیمار	۸۸۴/۲۷	۴	۲۲۱/۰۷	۵۱/۰۲**
	اشتباه	۴۳/۳۳	۱۰	۴/۳۳	
قطر یقه	تیمار	۱/۸۱	۴	۰/۴۵	۲۱/۱۷**
	اشتباه	۰/۲۱	۱۰	۰/۰۲	
تعداد برگ	تیمار	۱۵۳۳/۷۳	۴	۳۸۳/۴۳	۴۷/۹۳**
	اشتباه	۸۰	۱۰	۸	
تعداد گره	تیمار	۷۳/۶۹	۴	۱۷/۴۳	۱۰/۴۶**
	اشتباه	۱۶/۶۷	۱۰	۱/۶۷	
وزن خشک ساقه	تیمار	۱۷/۴۲	۴	۴/۳۵	۷۲/۵۷**
	اشتباه	۰/۶	۱۰	۰/۰۶	
وزن خشک ریشه	تیمار	۰/۹۵	۴	۰/۲۴	۱۰/۷۹**
	اشتباه	۰/۲۲	۱۰	۰/۰۲	
نسبت وزن ساقه به ریشه	تیمار	۰/۶۳	۴	۰/۱۶	۳۱/۵۱**
	اشتباه	۰/۰۵	۱۰	۰/۰۰۵	
وزن کل	تیمار	۲۵/۷۹	۴	۶/۴۵	۷۶/۷۵**
	اشتباه	۰/۸۴	۱۰	۰/۰۸	
تعرق برگ	تیمار	۱/۶۸	۴	۰/۴۲	۱۰۱/۵۶**
	اشتباه	۰/۰۴	۱۰	۰/۰۰۴	
هدایت روزنه‌ای	تیمار	۵/۲۳	۴	۱/۳۱	۱۹۹۴/۶۰**
	اشتباه	۰/۰۰۷	۱۰	۰/۰۰۱	
فتوسنتز	تیمار	۴۷/۱۰	۴	۱۱/۷۸	۸۴/۷۸**
	اشتباه	۱/۳۹	۱۰	۰/۱۴	

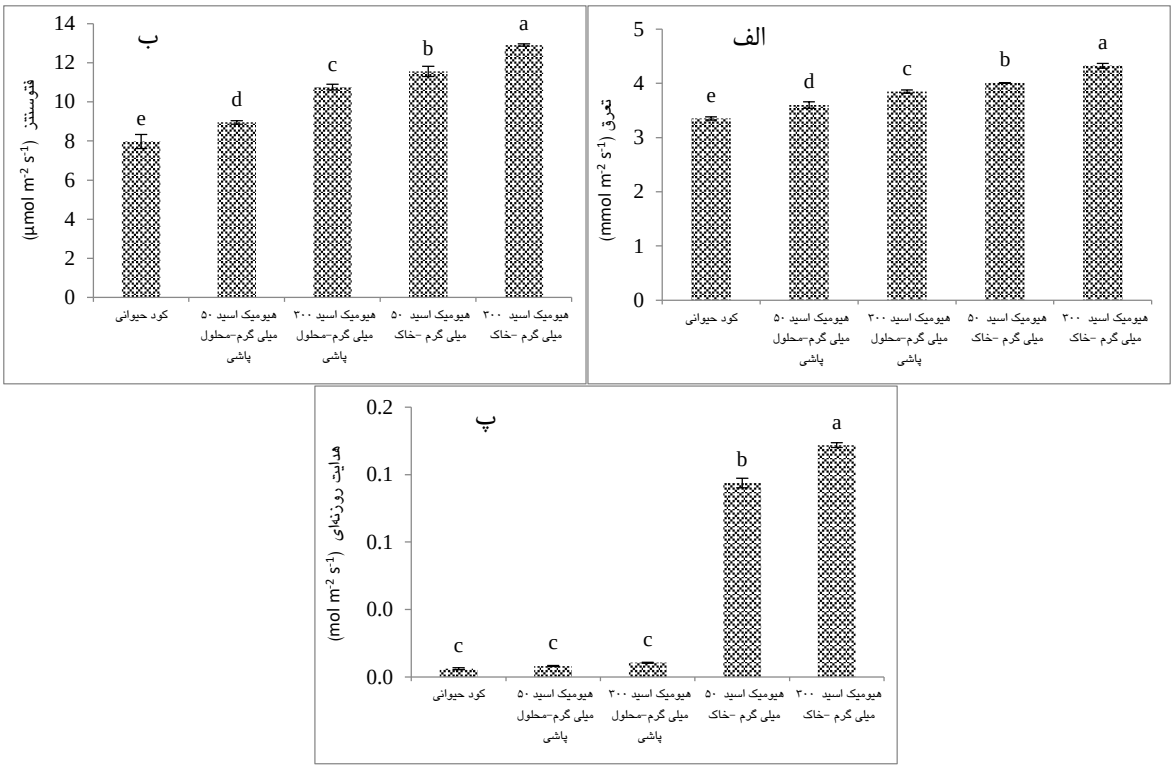
** اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۹۹ درصد

اثر کود هیومیک اسید بر متغیرهای رویشی دانهال‌های عناب

نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه (جدول ۱) نشان می‌دهد که اثر تیمارهای مختلف کود بر ارتفاع نهال عناب معنی‌دار است و بیشترین ارتفاع مربوط به دانهال‌های تیمار شده با هیومیک اسید در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اضافه شده به خاک و کمترین ارتفاع مربوط به دانهال‌های تیمار شده با کود حیوانی بود (شکل ۱ الف).



شکل ۱- تاثیر تیمارهای مختلف هیومیک اسید بر متغیرهای رویشی عناب رقم سیرجان (میانگین ± اشتباه معیار)



شکل ۲- تاثیر تیمارهای مختلف هیومیک اسید بر متغیرهای رویشی عناب رقم سیرجان (میانگین ± اشتباه معیار)

بحث و نتیجه‌گیری

فتوسنتز فرایندی است که در آن گیاهان، جلبک‌ها و برخی از باکتری‌ها، انرژی نورانی خورشید را به انرژی شیمیایی به شکل قند یا گلوکز تبدیل و از آن به‌عنوان سوخت در فعالیت‌های سلولی استفاده می‌نمایند. محصولات جانبی همچون اکسیژن، گلوکز و فروکتوز در طی فرایند فتوسنتز تولید شده که گیاهان از آن‌ها به‌عنوان منبع انرژی جهت رشد اندام‌های رویشی و زایشی خود استفاده می‌نمایند (صادقی پور و کرتولی نژاد ۲۰۱۷). تحقیقات پیشین نشان داده که اسید هیومیک از طریق افزایش آنزیم روبیسکو سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (دلفاین و همکاران ۲۰۰۵). با کاربرد اسید هیومیک و افزایش عناصر ریزمغذی مانند منگنز و آهن که از عناصر ضروری جهت تشکیل و پایداری کلروپلاست و سنتز برخی پروتئین‌ها محسوب می‌شوند و اثرگذاری این مواد بر فعالیت آنزیم‌ها، افزایش عملکرد و فتوسنتز در گیاهان مشاهده می‌شود (مارشنر ۱۹۹۵)؛ لذا باتوجه‌به اینکه اسید هیومیک می‌تواند فتوسنتز گیاهان را افزایش دهد، به‌عنوان یک راهکار جهت کاهش تنش خشکی در گیاهان به‌حساب می‌آید (شن و همکاران ۲۰۲۰). نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن است که بیشترین میزان فتوسنتز مربوط به تیمار هیومیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر است و کمترین میزان فتوسنتز در دانهال‌های بدون هیومیک اسید بوده است (شکل ۲ الف). به طور مشابه نتایج شعاع داودلی و مطلبی (۲۰۲۰) غلظت ۳۵۰۰ گرم در هکتار هیومیک اسید برای نهال ماگونیا، حاتمی و همکاران (۲۰۲۰) غلظت‌های ۵ و ۷ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید برای پایه‌های بادام، چمنی و همکاران (۱۳۹۴) غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید در گیاه دارویی پروانش و شن و همکاران (۲۰۲۰) غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید برای گیاه ارزن بهترین تیمار در جهت بهبود و افزایش متغیرهای رویشی و فتوسنتز با کاربرد هیومیک

اسید نشان دادند که بسیار هم سو با نتایج این مطالعه می‌باشد.

هدایت روزنه‌ای پیوند دهنده فتوسنتز و تعرق گیاه بوده و از آن به‌عنوان شاخص کلیدی جهت کمی کردن برهم‌کنش گیاهان و اقلیم در مدل‌های اقلیمی طراحی شده استفاده می‌گردد (نایتانی و همکاران ۲۰۱۲). هدایت روزنه‌ای با تنظیم سرعت فرایندهای تعرق، جذب دی اکسید کربن (آسیمیلاسیون) و تنفس یکی از ویژگی‌های متابولیکی گیاه است که به دلیل تأثیرپذیری از تنش‌های کمبود آب در گیاه، به‌عنوان شاخص تنش خشکی نیز به‌حساب می‌آید (ناصری و همکاران ۲۰۲۰). در این مطالعه بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به دانهال‌های تیمار شده با هیومیک اسید در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در خاک و کمترین مقدار نیز مربوط به تیمار محلول‌پاشی با هیومیک اسید در غلظت‌های ۳۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد (کود حیوانی) بود (شکل ۲ پ). نتایج مطالعات چمنی و همکاران (۱۳۹۴) در گیاه زینتی دارویی پروانش، حاتمی و همکاران (۲۰۲۰) در پایه‌های بادام در شرایط تنش شوری، عباس زاده فاروجی و همکاران (۲۰۲۰) در گیاه شمعدانی، مان-هونگ و همکاران (۲۰۲۰) در سیب زمینی و همتی و همکاران (۲۰۲۲) در گیاه کانولا نیز مطابق با نتایج این مطالعه افزایش هدایت روزنه‌ای گیاه را با استفاده از هیومیک اسید نشان داد.

از دست دادن آب گیاه از طریق تعرق باعث پلاسمولیز و تخریب غشای سلولی می‌شود. به نظر می‌رسد که افزایش نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی به دلیل بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در نتیجه استفاده از کودهای آلی باشد (خراسانی نژاد و همکاران ۲۰۱۸). باتوجه‌به این که هیومیک اسید در توانایی جذب آب و مواد غذایی اثرگذار است، می‌توان انتظار داشت که اثر مثبتی در حفظ آب گیاه داشته باشد. در این تحقیق میزان تعرق برگ در گونه عناب در تیمارهای هیومیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در خاک نیز بیشترین مقدار مشاهده شده بود (شکل ۲ ب). هم سو با این نتیجه در پژوهش‌های دیگری اثر کودهای مختلف افزایش تعرق را نشان داده‌اند. در مطالعه نقاش زاده و همکاران (۲۰۱۴) اثر کود زیستی میکوریز (*Glomus intraradices*) در برگ گیاه ذرت نشان داد که افزایش محتوای آب گیاه در گیاهان همزیست با میکوریز باعث افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق در گیاه نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) شده است. در مطالعه دیگر نتایج بررسی صفری و همکاران (۱۴۰۱) حاکی از آن است که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای و تعرق برگ انگور شد؛ بااین‌حال با کاربرد کودهای سولفات پتاسیم، کمپوست و بایوچار اثر تنش خشکی جبران و تعرق افزایش یافت.

هیومیک اسید به طور مستقیم با افزایش جذب آهن و سنتز کلروفیل، افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش فتوسنتز، افزایش جذب عناصر مفید و کاهش جذب عناصر سمی، با خاصیت کلات کنندگی، رشد و تولید گیاه را افزایش می‌دهد و به طور غیرمستقیم با تغییر ساختار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، بر رشد گیاهان اثر مثبتی می‌گذارد (پاراندیان و ساماوات ۲۰۱۲). در آزمایش حاضر، بیشترین ارتفاع در دانهال‌های تیمار شده با هیومیک اسید در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد (شکل ۱ الف). هم سو با این تحقیق در مطالعه شعاع داودلی و مطلبی (۲۰۲۰) اثرات تیمار اسید هیومیک و تیوباسیلوس بر ارتفاع درخت ماگنولیا دارای اختلاف معنی‌داری بوده است؛ به گونه‌ای که با کاربرد تیمارهای مذکور، ارتفاع درخت افزایش یافت. رضوی نسب و همکاران (۲۰۱۷) افزایش ارتفاع دانهال‌های پسته و مشایخی و همکاران (۲۰۱۹) افزایش ارتفاع بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) را با استفاده از هیومیک اسید مشاهده کردند. در تحقیق عبدی (۲۰۱۹) مصرف هیومیک اسید سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع نهال‌های آتریپلکس (*Atriplex canescens* .L) گردید. در مطالعه امیری و همکاران (۱۴۰۱) کاربرد هم‌زمان ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک به همراه اسید سالیسیلیک اکثر صفات موردمطالعه را بهبود بخشید؛ طور یکه بیشترین ارتفاع بوته گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor L.*) در تیمار کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در شرایط

آبیاری کامل مشاهده شد. همچنین در مطالعه صبوری و همکاران (۲۰۱۸)، بیشترین ارتفاع بوته گیاه مرزه در شرایط آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی با ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید مشاهده شد. استفاده از اسید هیومیک در گیاه پروانش نیز سبب افزایش معنی‌دار در صفات رویشی گیاه، نظیر ارتفاع شد (بیانلو و همکاران ۲۰۲۰).

مطالعات زیادی در رابطه با توانایی مواد هیومیکی در افـزایش رشد ساقه در ارقام متفاوت گونه‌های گیـاهی تحـت شـرایط مختلف ارائه شده است. اثر تسریع کنندگی مواد هیومیکی بر رشـد سـاقه در وهله اول به دلیل تأثیر بر فعالیت H^+-ATPase ریشه و توزیـع نیترات ریشه در ساقه بوده که سبب تغییراتی در توزیـع مشخص سایتوکینین‌ها، پلی آمین‌ها و ATP می‌گردد و در نتیجه بر رشد ساقه اثر خواهد گذاشت (روبیو و همکاران ۲۰۰۹).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هیومیک اسید در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در خاک بیشترین وزن ساقه، ریشه و وزن کل نهال را تولید کرد. در مطالعه دلفاین و همکاران (۲۰۰۵) و طاهیر و همکاران (۲۰۱۱) سطوح مختلف استفاده از هیومیک اسید موجب افزایش وزن ساقه در گندم شده است. در پژوهش تورکمن و همکاران (۲۰۰۴) نیز کـاربرد هیومیک اسید در غلظت‌های مختلف موجب افزایش قطر و طول ساقه در گیاه گوجه فرنگی شد. همچنین در مطالعه رهی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از هیومیک اسید در گونه مرتعی *Festuca arundinacea* وزن تر و خشک ساقه افزایش یافت که نتایج مطالعات ذکر شده هم راستا با نتایج این پژوهش در ارتباط با افزایش وزن ساقه در گونه عناب می‌باشد. هیومیک اسید قابلیت تولید گیاه و حاصلخیزی خاک را با افزایش جذب عناصر غذایی مورد نیاز از طریق تشکیل کلات‌های عناصر کم مصرف و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی زیستی آن‌ها و افزایش رشد گیاه و به دنبال آن افزایش سیستم ریشه و ترشحات آن، افزایش خواهد داد (رضوی نسب و همکاران ۲۰۱۷). هیومیک اسید سبب تحریک رشد قسمت‌های هوایی و ریشـه گیـاه می‌شود (رهی و همکاران ۲۰۱۳)؛ در حالیکه در این تحقیق اثـر آن بر رشد اندام‌های هوایی برجسـته‌تـر بوده است.

در مطالعات پژوهشگران همچون میرزایی اسگندیان و همکاران (۲۰۲۰) افزایش وزن تر و خشک ریشه گل ژربرا (*Gerbera jamesonii*)، حسینی چنارستان علیا و همکاران (۲۰۱۷) افزایش وزن تر و خشک ریشه نهال پرتقال والنسیا با پایه نارنج، دلفاین و همکاران (۲۰۰۵) افزایش وزن خشک ریشه گندم و در مطالعه پادم و همکاران (۱۹۹۹) افزایش وزن خشک ریشه گیاهان بادمجان و فلفل با استفاده از هیومیک اسید مشاهده شد. در مطالعه رهی و همکاران (۲۰۱۳) در گونه مرتعی فستوکا اثر هیومیک اسید بـر وزن تـر و خشـک ریشه نیز در سطوح مختلف هیومیک اسید معنی‌دار بود. سانگیتا و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه دست یافتند که هیومیک اسید مـی‌توانـد با افزایش جذب NPK و رشد اندام‌هـای گیـاهی سبب افزایش ویژگی‌های مورفولوژیکی ریشه گردد. باتوجه‌به نتایج مطالعات فوق که هم راستا با نتایج مطالعه حاضر است می‌توان گفت هیومیک اسید به دلیل خاصیت شبه اکسینی و سیتوکینینی (حاتمی و همکاران ۲۰۲۰) تأثیر بسیار مثبتی بر فیزیولوژی گیاه دارد و باعث توسعه ریشه و افزایش وزن آن می‌گردد (رهی و همکاران ۲۰۱۳).

صفت تعداد برگ به‌صورت ژنتیکی تنظیم می‌شود؛ اما شرایط محیطی نیز بر آن اثرگذار است (صبوری و همکاران ۲۰۱۸). هیومیک اسید اثر شبه هورمونی دارد و استفاده به‌صورت خاکی و یا محلول‌پاشی از آن می‌تواند سبب افزایش غلظت تنظیم کننده‌های رشد بخصوص اکسین، سیتوکینین و جیبرلین در بافت‌های گیاهی گردد (عبدل ماوگود و همکاران ۲۰۰۷). باتوجه به نقش سیتوکینین در تقسیم سلولی و اثری که اکسین و جیبرلین در بزرگ شدن سلول‌ها و افزایش تعداد و اندازه سلول‌ها ایفا می‌کنند، افزایش تعداد برگ و ارتفاع بوته دور از انتظار نمی‌باشد (چن و اویاد ۱۹۹۰). نتایج این پژوهش حاکی از آن است که استفاده از هیومیک اسید اضافه شده به خاک در غلظت بالا موجب افزایش تعداد برگ در دانهال‌های عناب می‌شود (شکل ۱ پ). در مطالعه رضوی نسب و همکاران (۲۰۱۷) استفاده از هیومیک اسید

به‌صورت محلول‌پاشی ۲/۵ لیتر در هکتار سبب افزایش تعداد برگ در نهال‌های پسته در شرایط مزرعه شد. همچنین لوتس و همکاران (۱۹۹۶) و پادم و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی هیومیک اسید سبب افزایش معنی‌دار تعداد برگ در گیاهان بادمجان و فلفل شد. در مطالعه رهی و همکاران (۲۰۱۳) استفاده از کود هیومیک اسید به‌صورت گرانولی سبب افزایش معنی‌دار تعداد برگ شد. عباس زاده و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه به این نتیجه رسیدند که تأثیر غلظت‌های مختلف ترکیب کود آلی (اسید هیومیک و اسید فلوویک) بر تعداد برگ رقم زیتون زرد معنی‌دار بوده است. در پژوهش‌های دیگر نیز اثر سطوح مختلف هیومیک اسید بر گیاه همیشه بهار (محمدی پور و همکاران ۲۰۱۲)، درخت زرآلو (فتحی و همکاران ۲۰۱۰) و گیاه مرزه (صبوری و همکاران ۲۰۱۸) بر افزایش تعداد برگ مثبت و معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مطالعات پیشین می‌توان گفت هیومیک اسید موجب دسترسی گیاه به عناصر غذایی شده و در نتیجه سبب افزایش اندام‌های هوایی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

آنچه که از نتایج این تحقیق برمی‌آید این است استفاده از هیومیک اسید بر تبادلات گازی و ویژگی‌های مورفولوژیکی گونه عناب کاملاً اثرگذار بوده و آن‌ها را بهبود بخشیده است. همچنین بر اساس یافته‌های این مطالعه تیمار هیومیک اسید ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اضافه شده به خاک در تمام شاخص‌های مورد اندازه‌گیری عملکرد بهتری را نسبت تمام تیمارها و حتی نسبت به محلول‌پاشی بر سطح برگ با غلظت مشابه از خود نشان داده است. تیمار محلول‌پاشی با هیومیک اسید ۵۰ میلی-گرم در لیتر و کود حیوانی نیز در اکثر متغیرها، کمترین میانگین را ایجاد نمود. بنابراین اضافه کردن هیومیک اسید به همراه کود حیوانی در زمان کاشت نهال به ویژه در مناطقی که خاک ضعیف از مواد غذایی می‌باشد جهت بهبود رشد و عملکرد نهال‌های عناب و یا گونه‌های مشابه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم می‌دانند که از همکاری صمیمانه مدیریت و مسئولین محترم کمربند سبز شهرداری مشهد و سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرستان مشهد به دلیل در اختیار قرار دادن نهالستان، تهیه نهال‌های مورد استفاده و تأمین نیروی انسانی جهت رسیدگی به نهالها در طی مدت آزمایش، کمال تشکر و قدردانی را به جای آورند.

منابع مورد استفاده

Abbas Zadeh B, Asadi Sanam S and Layegh Haghighi M. 2019. Enhancement of phenoilc compounds of olive (*Olea europaea* L.) leaf with soil application of chemical and organic fertilizers. Journal of Plant Production Research, 26(3): 179-98. (In Persian). doi: 10.22069/jopp.2019.15532.2395

Abbaszadeh Faruji R, Shoor M, Tehranifar A and Abedi B. 2020. Effects of Humic and Fulvic Acids on Some Physiological Characteristics of Two Ornamental Plants of Granium (*Plargonium* spp.) and Scindapsus (*Scindapsus* spp.). Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology, 11(1): 45-58. (In Persian). doi: 10.47176/jspi.11.1.18081

Abdel Mawgoud AMR, El Greadly NHM, Helmy YI and Singer M. 2007. Responses of tomato plants to different rates of humic based fertilizer and NPK fertilization. Journal of Applied Sciences Research, 3(2): 169-174.

Abdi N. 2019. Effects of the Zeolite, Plant Growth Promoting Rhizobactria (PGPR) and Humic Acid on early growth of Atriplex canescens L. seedlings in Arak. Journal of Arid Biome, 8(2): 27-35. (In Persian). doi: 10.29252/aridbiom.2019.1402

Amiri MB, Esmaeilian Y and Alboghobiesh M. 2022. Effect of humic and salicylic acids spraying on some morphological characteristics, yield and yield components of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in different levels of irrigation. Iranian Journal of Field Crop Science, 53(1): 55-67. (In Persian). doi: 10.22059/ijfcs.2020.311183.654757

Bahmani M, Tabari M, Jalali SG and Kartoolinejad D. 2022. Morphological and physiological changes in *Calotropis procera* seedlings under water stress conditions. Desert Ecosystem Engineering, 4(7): 43-52. (In Persian)

Bahmani M, Yousefi S and Kartoolinejad D. 2016. The effects of gamma radiation on seed germination and vigour of caper (*Capparis spinosa* var. *parviflora*) medicinal plant. Iranian Journal of Seed Research, 3(1):15-26. (In Persian). doi:10.29252/yujs.3.1.15

Bayanloo E, Aelaei M and Khani MS. 2020. Effect of ϒ-aminobutyric acid (GABA), humic acid and salicylic acid on some morphophysiological responses and antioxidant characters of *Catharanthus roseus* L. (G.Don). Iranian Journal of Horticultural Science, 50(4): 993-1008. (In Persian). doi: 10.22059/ijhs.2018.251946.1397

Bello WB, Adejuyigbe CO, Adigun JA and Dare MO. 2019. Soil fertility status, nutrient uptake and maize (*Zea mays* L.) yield as influenced by animal manure and compost. Journal of Organic Agriculture and Environment, 7(1): 9-16. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35784

Chamani E, Bonyadi M and Ghanbari A. 2016. Effects of Salicylic acid and Humic acid on Vegetative Indices of Periwinkle (*Catharanthus roseus* L.). Journal of Horticultural Science, 29(4): 631-641. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v29i4.33521

Chen Y and Aviad T. 1990. Effect of humic substances on plant growth. In: Humic substances in soil and crop sciences. Soil Science Society of America Journal, 161-187. https://doi.org/10.2136/1990.humicsubstances.c7

Delfine S, Tognetti R, Desiderio E and Alvino A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. Agronomy for Sustainable, 25: 183-191. https://doi.org/10.1051/agro:2005017

Fathy MA, Gabr MA and El Shall A. 2010. Effect of humic acid treatments on 'Canino' apricot growth, yield and fruit quality. New York Science Journal, 3: 109-115. (In Persian)

Hatami E, Shokouhian AA, Ghanbari AR and Naseri L. 2020. Investigation the effect of humic acid on some morphhophysiological and biochemical characteristics of almond rootstocks under salinity stress. Iranian Journal of Horticultural Science, 51(3): 523-536. (In Persian). doi: 10.22059/ijhs.2019.277630.1615

Hemati A, Alikhani HA, Babaei Ajdanian L, Asgari Lajayer B and van Hullebusch ED. 2022. Effects of foliar application of humic acid extracts and indole acetic acid on important growth indices of canola (*Brassica napus* L.). Scientific Report, 12: 20033. https://doi.org/10.1038/s41598-022-21997-5

Hoseini Chenarestani Olia M, Hoseini Farrehi M and Aboutalebi AH. 2017. Effect of diffrent media culture and humic acid on some important vegetative properties of orange seedling cv. Valencia (*Citrus sinensis*) using sour orange (*C. aurantium*) rootstock. Iranian Journal of Horticultural Science, 48(3): 487-502. (In Persian). doi: 10.22059/ijhs.2017.139777.913

Kartoolinejad D, Rahimi D, Nourmohammadi K and Naghdi R. 2017. The Effect of carbon nanotubes on drought resistance of caucasian alder (*Alnus subcordata* CA Mey) in germination stage. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 6(2): 17-28. (In Persian). doi: 10.22034/ijsst.2018.108709.1033

Keshavarz H, Modarres-Sanavy SA, Sefidkon F and Mokhtassi-Bidgoli A. 2019. Effect of organic fertilizers and urea fertilizer on phenolic compounds, antioxidant activity, yield and yield components of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 17(4): 661-672. (In Persian). doi: 10.22067/gsc.v17i4.80548

Khan MN, Mobin M, Abbas ZK and Alamri SA. 2018. Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. Encyclopedia of the Anthropocene, 5: 225-240.

Khorasaninejad S, Alizadeh Ahmadabadi A and Hemmati K. 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. Scientia Horticulturae, 239: 314-323. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.015

Lutts S, Kinet JM and Bouharmont J. 1996. Na Clinduced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annul Botony, 78: 389-398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134

MacCarthy P. 2001. The principles of humic substances. Soil science, 166(11): 738-751.

Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Academic Press. Ltd. London. Pp: 245.

Mashayekhi S, Abdali Mashhadi A, Bakhshandeh A, Lotfi Jalal Abadi A and Seyyed Nejad SM. 2019. Relationship of salicylic acid and humic acid foliar spray and harvesting times with yield and quality of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(1): 209-222. (In Persian)

Mirzaee N, Jabbarzadeh Z and Rasouli-Sadaghiani M. 2020. Influence of humic acid and nano-calcium chelate application on photosynthetic pigments and nutrient uptake of *Gerbera jamesonii* cv. Dune. Plant Process and Function, 9(39): 61-76. (In Persian). doi: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.9.8

Mohammadipour E, Golchin A, Mohammadi J, Negahdar N and Zarchini M. 2012. Effect of humic acid on yield and quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). Annals of Biological Research, 3: 5095-5098.

Moudi M, Mousavi kouhi SM, Ghollasi mood S and Ayoobi A. 2021. DNA barcoding of *Ziziphus jujuba* Mill. in Iran using chloroplast genes (rbcL and matK). Journal of Plant Production Research, 28(2): 115-130. doi: 10.22069/jopp.2021.17976.2669 (In Persian). doi: 10.22069/jopp.2021.17976.2669

Naghashzadeh MR, Sharifabad HH, Heravan EM, Rafiee M, Rejali F and Imantalab N. 2014. Evaluation of maize leaf gas exchanges with application of mycorrhizal biofertilizer under drought stress conditions. Seed and Plant Production Journal, 30(1): 47-59. (In Persian)

Naithani KJ, Ewers BE and Pendall E. 2012. Sap flux-scaled transpiration and stomatal conductance response to soil and atmospheric drought in a semi-arid sagebrush ecosystem. Journal of Hydrology, 464-465: 176-185. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.07.008

Nasseri A, Khorshidi MB, Faramarzi A and Mottaghifard Z. 2020. Determination of Irrigation Time by Measuring Stomatal Conductance in Corn Leaves. Water Management in Agriculture 6(2): 37-46. (In Persian)

Noormand Moaied F, Abbaszadeh B, Sefidkon F, Valizadeh N and Shaikhzadeh J. 2024. Performance and quality Response of Satureja Spicijera Essential Oil to Organic and Chemical Fertilizers. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 33(4): 51-64. (In Persian)

Padem H, Ocal A and Alan R. 1999. Effect of humic acid added foliar fertilizer on quality and nutrient content of eggplant and pepper seedlings. ISHS Acta Hort, 491: 241-246. doi: 10.17660/ActaHortic.1999.491.35

Pahalvi HN, Rafiya L, Rashid S, Nisar B and Kamili AN. 2021. Chemical fertilizers and their impact on soil health. Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly Tools for Reclamation of Degraded Soil Environs, 1-20.

Parandian F and Samavat S. 2012. Effects of fulvic acid and humic acid on anthocyanin, soluble sugar, α-amylase enzyme and some micronutrients in lilium. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3(5): 924-929. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55702760

Paudel MR, Poudeyal MR and Devkota HP. 2023. *Ziziphus* spp. (*Ziziphus jujuba* mill., *Ziziphus mauritiana* lam.). In Himalayan Fruits and Berries (pp. 491-497). Academic Press.

Rad MH, Assareh MH, Vazifehshenas MR, Kavand A and Soltani M. 2022. The effect of Sustained Deficit Irrigation (SDI) on yield and some morphological and biochemical indicators of jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill.). Research in Pomology, 7(1): 145-155. doi: 10.30466/rip.2021.53329.1159 (In Persian). doi: 10.30466/rip.2021.53329.1159

Rahi A, Mirzaie-Nodoushan H, Danaee M and Azizi F. 2013. Effects of humic acid on vegetative characteristics of Festuca arundinacea. Iranian Journal of Range and Desert Research (IJRDR), 19(4): 722-736. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijrdr.2013.3061

Rahimi D, Sadeghipour A, Kartoolinejad D. 2016. Effects of priming with different concentrations of potassium nitrate salt on seed germination and vigor indices of *Capparis cartilaginea*. Rangeland, 10(2):180-190. (In Persian). doi: 20.1001.1.20080891.1395.10.2.5.7

Razavi Nasab A, Fotovat A, Astaraie AR and Tajabadipour A. 2017. Effect of organic and chemical amendment matters and humic acid on morpho-physiologic parameters of pistachio seedlings in field conditions. Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization, (Scientific Journal of Agriculture), 40(1): 107-24. (In Persian). doi: 10.22055/agen.2017.13081

Roussos PA, Gasparatos D, Kechrologou K, Katsenos P and Bouchagier P. 2017. Impact of organic fertilization on soil properties, plant physiology and yield in two newly planted olive (*Olea europaea* L.) cultivars under Mediterranean conditions. Scientia horticulturae, 220: 11-19. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.019

Rubio V, Bustos R, Irigoyen ML, Cardona-Lopez X, Rojas-Triana M and Paz-Ares J. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. Plant Molecular Biolojy, 69(4): 361-373.

Sabouri F, Sirousmehr A and Gorgini Shabankareh H. 2018. Effect of irrigation regimes and application of humic acid on some morphological and physiological characteristics of Savory (*Satureja hortensis* L.). Iranian Journal of Plant Biology, 9(4): 13-24. (In Persian). doi: 10.22108/ijpb.2018.22437

Sadeghipour AS and Kartoolinejad D. 2017. Carbon uptake and leaf gas exchange of ash tree (*Fraxinus excelsior*) affected by different intensities of photosynthetically active radiation (case study: Central Europe forests). Journal of Natural Environment, 70(2): 373-384. (In Persian). doi: 10.22059/jne.2017.124954.928

Safari A, Fatemi A, Saiedi M and Kolahchi Z. 2022. Effect of drought stress on water use efficiency of grapevines (*Vitis vinifera* L.) cultivar 'Bidaneh Ghermrz'under different fertilizer treatments. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology) , 35(4): 836-47. (In Persian). doi: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.10.0

Sangeetha M, Singaram P and Uma Devi R. 2006. Effect of lignite humic acid and fertilizer on yield of onion and nutrient availability, Proceeding of 18th World Congress of Soil science 9-15. Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Shen J, Guo MJ, Wang YG, Yuan XY, Wen YY, Song XE, Dong SQ and Guo PY. 2020. Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. Plant Signaling & Behavior, 15(8): e1774212. https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1774212

Shoa Davoud Li A and Motalebi E. 2020. The effect of application of humic acid and sulfur together with Thiobacillus bacteria on the morphological characteristics of magnolia plant. Plant and Biotechnology of Iran, 14(4): 11-19. (In Persian). doi: 10.34172/ajehe.2023.5284

Tahir MM, Khurshid M, Khan MZ, Abbasi MK and Kazmi MH. 2011. lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils, Pedosphere, 21: 124-131. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:95713102

Türkmen Ö, Dursun A, Turan M and Erdinç Ç. 2004. Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditionspp. Acta Agriculture Scandinavica, 7: 168-174. doi: 10.1080/09064710310022014

Xue TT, Ruan KH, Xu HB, Liu HB, Tang ZS, Yang YG, ... and Song ZX. 2024. Effect of different drying methods on the drying characteristics, chemical properties and antioxidant capacity of *Ziziphus jujuba* var. *Spinosa* fruit. *LWT*, *196*, 115873. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115873

Yogananda SB, Parama VR, Prakash SS and Thimmegowda MN. 2019. Effect of biodegradable urban waste compost on growth and yield of maize (*Zea mays* L.). Indian Journal of Agricultural Research, 53(6): 703-707. doi: 10.18805/IJARe.A-4737.

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 153-171

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Effect selenium on Growth, Physiology and Secondary Metabolites of Basil *(Ocimum basilicum* L.*)* under Frought Dtress Condition

Masome Moradi[1], Behrooz Esmaielpour[*2], Saeid Alipour[3], Mosa Torabi Giglou[4]

Received: 10 July 2022	Accepted: 22 April 2024

1-M.Sc. Dept. of Horticultural Sciences, , University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- Dept. of Horticultural Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3- Dept.of Horticultural Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
4-Assist. Prof., Dept. of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.
*Corresponding Author Email: behsmaiel@yahoo.com

Abstract

Background and Objective:: Basil (*Ocimum basilicum* L.) is a annual herbaceous plant belongs to the mint family and the genus Ocimum, which includes many species. O. basilicum species is the most important economic species and like other the mint family plants, it is known as a source of important cyclic compounds and essential oils, as well as a rich source of phenolic compounds and flavonoids. The most important compounds of the basil essential oil are Linalool, methyl chavicol, citral, euginol, cineole, geraniol, and camphor and methyl cinnamate. Drought stress is one of the most important abiotic stresses, it plays an important role in reducing the performance of medicinal plants and causes many morphological and biochemical changes in plants. This study attempts to investigate the effect of foliar application selenium on basil (*Ocimum basilicum* L.), the ative population "Shahre-ray", under drought stress conditions.

Materials and Methods: In order to investigation the effect of selenium foliar spraying on the basil plant of the native Shahr Ray variety under drought stress conditions, a factorial experiment was conducted in layout of a randomized complete block design with four replications in the research field of the Department of Horticultural Sciences of Mohaghegh Ardabili University. The experimental factors include different levels of drought stress (full irrigation and irrigation cut-off at the beginning of reproductive growth and irrigation cut-off at 50% of flowering) and spraying with selenium in four concentrations of 0, 0.5, 1 and 2 mM

Results: The results showed that with increasing drought stress severity, morphological traits including plant height, number of lateral branches, and biochemical traits including chlorophyll a, chlorophyll b decreased, but the content of leaf proline and essential oil increased. Selenium foliar application improved the growth of basil plants under drought stress conditions. During this study, the use of selenium foliar application created a type of resistance in the basil plant that maintained the plant under stress conditions. With lower levels of selenium, this resistance was higher, but with higher levels, the resistance was lower.

Conclusion: In the current situation and despite the lack of water resources and the abundant need of plants for water, it is possible to use some non-toxic elements that are necessary for plants in the form of foliar application, to make plants resistant to stress conditions.

Keywords: Drought, Morphological Traits, Selenium, Ocimum Basilicum, Physiological Traits

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Behrooz Esmaielpour E-mail: behsmaiel@yahoo.com
https://doi.org/10.22034/SAPS.2022.52460.2897

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۷۱-۱۵۳

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

تأثیر سلنیوم بر رشد، فیزیولوژی و متابولیت‌های ثانویه گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی

معصومه مرادی[۱]، بهروز اسماعیل پور*[۲]، سعید علی‌پور[۳]، موسی ترابی گیگلو[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۹	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۳

۱-کارشناس ارشد، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۲-استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۳-استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
۴-دانشیارگروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
*مسئول مکاتبه: behsmaiel@yahoo.com

چکیده

مقدمه و اهداف: ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاهی علفی و یکساله از تیره نعنا و جنس Ocimum بوده که گونه‌های زیادی را شامل می‌شود. گونه *O.basilicum* ، مهمترین گونه اقتصادی این تیره و مانند دیگر گیاهان خانواده نعناعیان دارای ترکیبات مهم حلقوی، اسانس و منبع غنی از ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها است. ترکیبات اسانس ریحان شامل لینالول، متیل چاویکول، سیترال، اوژینول، سینئول، ژرانیول، کامفور و متیل سینامات می باشد. تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی است که سبب ایجاد تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان گشته و عملکرد ماده موثره در گیاهان دارویی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این پژوهش به منظور بررسی اثر محلول پاشی سلنیوم روی گیاه ریحان بومی شهر ری، تحت شرایط تنش خشکی، انجام گردید.

مواد و روش ها: جهت بررسی تاثیر سلنیوم بر روی گیاه ریحان رقم بومی شهر ری در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفت. فاکتورهای مورد آزمایش شامل سطوح مختلف تنش خشکی(آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع رشد زایشی و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی) و محلول‌پاشی با سلنیوم در چهار غلظت صفر، ۰/۵، یک و دومیلی مولار بود.

یافته ها: نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی صفات ارتفاع گیاه، تعداد شاخه جانبی، و کلروفیل a، کلروفیل b، کاهش و محتوای پرولین برگ و اسانس افزایش یافت. محلول‌پاشی با سلنیوم موجب بهبود رشد گیاهان ریحان در شرایط تنش خشکی شد. ، استفاده از محلول‌پاشی سلنیوم باعث ایجاد مقاومت در گیاه ریحان و حفظ گیاه در شرایط تنش شد. با استفاده از مقادیر پایین سلنیوم این مقاومت بیشتر و در مقادیر بالاتر مقاومت کمترشد.

نتیجه‌گیری: در شرایط کنونی و با وجود کمبود منابع آبی و نیاز فراوان گیاهان به آب، می‌توان با محلول¬پاشی برخی عناصر غیرسمی که وجود آن‌ها برای گیاهان لازم و ضروری است ، سبب شد تا مقاومت گیاهان به شرایط تنش افزایش یابد.

واژه های کلیدی: تنش خشکی، ریحان، سلنیوم، صفات فیزیولوژیک، صفات مورفولوژیک

مقدمه

آب ماده‌ای حیاتی برای رشد و نمو گیاه می‌باشد و خشکی از مهم‌ترین عامل تنش‌زای غیر زیستی مؤثر بر فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است (آندرو و همکاران ۲۰۰۰). بررسی شاخص‌های پایداری در وضعیت فعلی حاکی از ناپایداری منابع آبی بوده و تغییر اقلیم، شرایط سختی را برای رشد و نمو گیاهان ایجاد خواهد کرد (دشتی و همکاران ۲۰۲۱). کم آبی به‌عنوان یکی از مضرترین تنش‌های محیطی است که تولید و عملکرد را در گیاهان محدود می‌کند (قاسمی و همکاران ۲۰۲۱). تنش ناشی از کمبود آب چه به شکل مستمر و چه به صورت موقت، رشد و توزیع پوشش گیاهی را محدود و بیش از هر عامل محیطی دیگری بر گیاهان کشت شده تأثیر دارد (مک دوول و همکاران ۲۰۰۸ و پورقاسمیان و مرادی ۲۰۱۷). در بین عوامل بازدارنده محیطی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی و دارویی، خشکی مهم‌ترین عامل کاهش تولید، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و معمولاً به‌عنوان یک عامل خارجی با تأثیر منفی بر زندگی گیاه تعریف می‌شود (فاروق و همکاران ۲۰۰۹، فتحی و تیری ۲۰۱۶، ردی و همکاران ۲۰۰۴ و جابری و همکاران ۲۰۱۶).

تنش خشکی می‌تواند برخی فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند تعرق، فتوسنتز، طویل شدن بافت و فعالیت‌های آنزیمی سلول را مختل و حتی موجب توقف آن‌ها شود (گل ۲۰۰۵ و خیری و همکاران،۲۰۰۷). تنش خشکی روی پیدایش و تشکیل گل، گرده افشانی و لقاح و تشکیل دانه اثرات شدیدی می‌گذارد (زو و همکاران ۲۰۰۷). تنش خشکی از بین عوامل ایجادکننده تنش مانند بیماری‌ها، آفات، علف‌های هرز، غرقابی، شوری و سرما به‌تنهایی عامل کاهش ۴۵ درصدی عملکرد دانه است (ینگ و همکاران، ۲۰۲۰). بررسی‌ها نشان داده است که خشکی و تنش آب به همراه تغییر در الگوهای بارندگی و حرارتی از فاکتورهای مهم کاهش عملکرد به‌شمار می‌آید (جعفرزاده و همکاران ۲۰۱۰). عموماً خشکسالی مهمترین عامل محدود کننده رشد گیاه و تولید محصول در سراسر نقاط جهان است (عابدی و پاک نیت ۲۰۱۰ و پیرجلیلی و امیدی ۲۰۱۷). اثر تنش کم‌آبی بر کلیه‌ی مراحل رشد و نمو یکسان نبوده و در گیاهان بعضی مراحل نسبت به تنش رطوبتی بسیار حساس و در برخی مراحل کم‌تر تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند (کافی و همکاران ۲۰۰۹). کاهش رشد تحت تنش خشکی، در تمام ابعاد گیاه مشاهده و کاهش رشد در مراحل اولیه تنش می‌تواند به‌علت کاهش توسعه سلولی ناشی از کاهش فشار آماس و تقسیم سلولی، کاهش فتوسنتز به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و تخصیص بیشتر مواد به بخش زیرزمینی باشد (زو و همکاران، ۲۰۰۷). برخی مطالعات نشان داده است که تنش ناشی از کمبود آب می‌تواند به کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از ریشه‌ها و اندام‌های هوایی، کاهش سطح برگ، ارتفاع، وزن خشک، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، تعرق، تخریب آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و تغییر در سنتز پروتئین‌ها، تجمع اسیدهای آمینه و کاهش کلروفیل منجر شود (امیری ده احمدی ۲۰۱۲). اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه‌ی سلول به خصوص در ساقه و برگ‌ها بوده و اثر محسوس کم آبی روی گیاهان، اندازه‌ی کوچک‌تر برگ‌هاست که با کاهش سطح برگ، گیاه آب کم‌تری را از طریق تعرق از دست داده و محدود شدن سطح برگ را می‌توان به عنوان اولین سازوکار دفاعی گیاه در برابر خشکی در نظر گرفت (لویت ۱۹۸۰). تنش‌های محیطی از جمله خشکی، عملکرد متابولیت‌های ثانویه در گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اگرچه تولید متابولیت‌های ثانویه به‌طور مستقیم تحت تاثیر فرایندهای متابولیکی اولیه مانند فتوسنتز، تنفس و تعرق نیست (بلیتز و سامز ۲۰۰۷) اما عملکرد مواد مؤثره تحت تأثیر عملکرد اقتصادی گیاه و در نتیجه تابع شرایط محیطی می‌باشد (زنگانی و همکاران، ۲۰۱۷). خشکی سبب کاهش محتوای رنگیزه‌های سلول‌های گیاهی (کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها) شده و فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (حسن ۲۰۰۵). یکی از عوامل مهم در کاهش فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها در شرایط کمبود آب هست که نتیجه آن کاهش هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2در فضای بین سلولی برگ و در نهایت کاهش

میزان فتوسنتز می‌باشد که به نوبه خود سبب جلوگیری از متابولیسم می‌شود (لاولور ۲۰۰۲). روزنه‌ها نقش کلیدی در مسیرهای اتلاف آب و جذب گاز دی اکسید کربن دارند و طی فرایند فتوسنتز در گیاهان، روزنه‌ها مسئول جلوگیری از اتلاف آب هستند (کافی و همکاران، ۲۰۱۷). تنش‌های محیطی از جمله خشکی، رشد و توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش و در تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن اختلال ایجاد کرده که منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ros) و القای تنش اکسیداتیو، خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌شود (فو و هوانگ ۲۰۰۱). یکی از سازوکارهای دفاعی در مقابل تنش‌های گوناگون، تولید ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی است. به این ترتیب گیاهان با افزایش فعالیت گونه‌های اکسیژن فعال از طریق آنزیم‌ها و مولکول‌های آنتی اکسیدانی، از خود محافظت می‌کنند (یلدیز آکداش و همکاران ۲۰۰۷). تنش خشکی از طریق اختلال در فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها موجب تغییراتی در میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه شده و در ادامه نمو گیاه، وزن میوه و وزن هزاردانه در گیاهان تحت تنش کاهش می‌یابد (آقایی و احسان‌زاده ۲۰۱۱). آب به‌عنوان مهم‌ترین و بیشترین ترکیب (۸۵٪ و ۹۰٪) اندام گیاهی، از جمله عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای بر روند رشد و نمو و همچنین مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد (حکمت‌شعار ۱۹۹۳ ومحتشمی و همکاران ۲۰۱۵). افزایش عملکرد در گیاهان مختلف به دنبال رفع تنش کمبود آب توسط (سیف زاده و همکاران ۲۰۲۱، و احمدپور ابنوی و همکاران، ۲۰۱۹) گزارش شده است. محققان در تحقیقات خود نشان دادند که تنش‌های محیطی موجب افزایش سطوح متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی می‌شود (زبیده و همکاران ۲۰۰۷، زبیده و همکاران ۲۰۰۵ و جمشیدی و همکاران ۲۰۱۲). گیاهان در واکنش به تنش خشکی ، مواد محلول با وزن مولکولی کم را تجمع داده که به طور کلی مواد محلول سازگار نامیده می‌شوند و این مواد حل شونده سازگار شامل اسیدهای آمینه (پرولین، گلایسین)، قندها (ساکارز، گلوکز)، الکل‌های قندی (مانیتول، سوربیتول)، یون‌ها، اسیدهای آلی، آمیدها، آمین‌ها و گروه‌های بتائین می‌باشند. مواد محلول سازگار با واکنش‌های بیوشیمیایی عادی سلول، تداخل نداشته و به عنوان محافظان اسمزی در طی تنش عمل می‌کنند و تجمع این مواد سبب کاهش پتانسیل آب اندام‌های گیاهی و به دنبال آن ایجاد شیب پتانسیل آب نسبت به محیط خارج شده، که در چنین حالتی جذب آب توسط گیاه امکان‌پذیر می‌گردد (خاکشور مقدم و همکاران ۲۰۱۱). در میان ترکیب‌های آلی، پرولین یکی از مهم‌ترین تنظیم کننده‌های اسمزی که (ردی و همکاران ۲۰۰۴) در همه اندام‌های گیاه کامل در طی تنش خشکی تجمع می‌یابد و سریع‌ترین انباشت را در برگ‌ها دارد. تجمع پرولین در ریشه‌ها با تأخیر زمانی نسبت به تجمع در برگ‌ها صورت می‌گیرد(ردی و همکاران ۲۰۰۴).

سلنیوم به عنوان یک ریزمغذی برای بسیاری از موجودات زنده از جمله انسان و سایر حیوانات ضروری و تحقیقات زیادی روی اثرات بیولوژیکی سلنیوم بر محیط و زنجیره غذایی در حال انجام است (بای بوردی ۲۰۱۶). متابولیسم سلنیوم در گیاهان اهمیت زیادی از نظر تغذیه انسان‌ها و حیوانات دارد (زوهو و همکاران ۲۰۰۹). مطالعات متعددی نشان داده است که احتمالا غلظت‌های پایین سلنیوم اثرات مفید متنوعی همچون تحریک فعالیت‌های رشدی داشته که برخی گونه‌های گیاهی رشد یافته در محیط غنی از سلنیوم در برابر تنش-های غیرزیستی مانند خشکی (یاهو و همکاران ۲۰۰۹)، شوری (هاریلاک-نواک و همکاران ۲۰۰۹)، سرمازدگی (هاریلاک-نواک و همکاران ۲۰۱۰)، فلزات سنگین (سیرواستوا و همکاران ۲۰۰۹) و تشعشع ماوراء بنفش (یاهو و همکاران ۲۰۰۹) مقاومت نشان می‌دهند. غلظت-های کم سلنیوم از طریق بهبود ظرفیت آنتی اکسیدانی اثرات مفیدی بر رشد و تحمل گیاهان به تنش ایجاد می-نماید. سلنیوم موجب جلوگیری از تخریب کلروفیل در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود. (سپنن و همکاران ۲۰۰۳) مطالعات مختلف، اثر مفید سلنیوم را بر رشد و عملکرد گیاهان اثبات و سلنیوم پیری حاصل از گل‌دهی در گیاهان علفی را به تعویق می‌اندازد (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۱۹). حبیبی (۲۰۱۳) با بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد سلنیوم روی فعالیت انتی اکسیدانی و فیزیولوژیکی جو دریافت که گیاهان کشت شده تحت

شرایط تنش خشکی با کاربرد سلنیوم در مقابل آسیب ناشی از تنش، تحمل بهتری به دلیل افزایش فعالیت کاتالاز و پراکسیداز و کاهش پراکسیده شدن لیپیدها نشان می‌دهند. این نتایج نشان داد که کاربرد این ماده، سیستم دفاعی گیاه را تحت تنش، افزایش می‌دهد. کاربرد خارجی سلنیوم در غلظت‌های کم، از پراکسیده شدن لیپیدها و فعالیت آنزیم‌های کاهشی، جلوگیری و وضعیت اکسیداسیون-احیای سلول را تغییر و مقاومت به تنش را افزایش می‌دهد (ویخاروا و همکاران ۲۰۰۲).

ریحان گیاهی از راسته لامیال‌ها[1]، تیره نعناع و جنس *Ocimum* می‌باشد. این گیاه به سرما بسیار حساس و در طول رویش به هوای گرم و نور و آب کافی نیاز دارد و از مرحله سبز شدن بذر تا برداشت پیکره رویشی به ۵۰۰ تا ۵۵۰ میلی‌متر بارندگی (آبیاری) و ۱۵۰۰ ساعت روشنایی نیاز دارد. آبیاری منظم برای تولید محصول اقتصادی لازم است و می‌توان از روش آبیاری قطره‌ای یا غرقابی استفاده کرد. درجه حرارت مطلوب برای جوانه زنی بذر ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و در گلخانه بهتر است دمای شب از ۱۰ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر نرود. در صورت افزایش دما به بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد رشد بوته‌ها متوقف و کنار برگ‌ها به حالت سوخته در می‌آید. خاک مناسب ریحان دارای بافت شنی سبک تا ماسه‌ای لومی با pH ۶/۴ و هدایت الکتریکی ۳-۲ میلی‌موس بر سانتی‌متر است. عملکرد پیکره رویشی تازه و خشک به ترتیب ۸ تا ۱۰ و ۱/۲ تا ۲ تن در هکتار می‌باشد که در شرایط مساعد تا ۱۲ تن در هکتار نیز می‌رسد. عملکرد اسانس ۸ تا ۱۰ کیلوگرم و عملکرد بذر نیز ۶۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (امیدبیگی، ۲۰۰۰). با توجه به گستردگی کم آبی و تنش خشکی در اکثر مناطق کشور و تاثیر شدید این تنش در رشد گیاهان، لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر سلنیوم بر رشد، فیزیولوژی و متابولیت‌های ثانویه گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی، استان اردبیل (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۱۱ متری از سطح دریا) انجام گرفت. فاکتورهای مورد آزمایش شامل تنش خشکی (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع رشد زایشی و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی) و محلول‌پاشی سلنیوم در چهار غلظت (صفر، ۰/۵، یک و دو میلی مولار) بود.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین قبل از اجرای آزمایش صورت گرفت. پس از آماده‌سازی زمین اقدام به ایجاد کرت‌هایی به طول و عرض یک متر گردید. بذور در سه خط با فواصل بوته‌ها ۱۵ (روی ردیف) و ۲۵ سانتی‌متر(فاصله بین بوته‌ها) کشت شدند و برای پوشاندن بذور از کود دامی با ضخامت ۴-۳ سانتی‌متر استفاده و اولین آبیاری به‌صورت غرقابی صورت گرفت. در آبیاری‌های بعدی، آبیاری تیمار شاهد و تیمارهای قطع آبیاری تا قبل از اعمال قطع آبیاری، پس از تخلیه ۵۰ ٪ رطوبت قابل استفاده خاک انجام شد بطوریکه پس از فرارسیدن موعد آبیاری در هریک از تیمارهای مورد آزمایش، با توجه به رطوبت موجود خاک، مقدار آب مورد نیاز بر اساس رابطه ۱ و ۲ (Farsh *et al*, 2003) برآورد و سپس با استفاده از سیستم تیپ مقدار آب محاسبه شده بطور یکنواخت وارد کرت‌های آزمایشی شد.

$$WMC(\%) = \left(\frac{FSW - DSW}{DSW}\right)*100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن WMC مقدار رطوبت محتوای خاک، FSW وزن خاک تر و DSW وزن خاک خشک است. پس از تعیین میزان رطوبت وزنی خاک با استفاده از

1. Lamiales

رابطه ۲ مقدار آبی مورد نیاز جهت حصول ظرفیت زراعی برآورد شد.

$$Is = \left(\frac{(FC - AW) * Bd * D}{100}\right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن Is عمق آب جهت حصول ظرفیت زراعی (سانتی‌متر)، FC حد ظرفیت زراعی (۳۱/۶،درصد)، Bd وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب ، AW درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری و D عمق توسعه ریشه (متر) است. پس از تعیین عمق آب آبیاری از رابطه بالا، با توجه به مساحت هر کرت حجم آب لازم جهت آبیاری برآورد و سپس با استفاده از سیستم نوار تیپ اعمال شد. در طول دوره رشد و نمو عملیات وجین و تنک‌کردن بوته‌ها انجام و در این مدت صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری و ثبت گردید.

ارتفاع کل بوته در پایان دوره رشد از محل طوقه تا انتهای شاخه گلدهنده بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. بعد از خارج کردن بوته‌ها از خاک ، ریشه از محل طوقه جدا و پس از شست‌وشو، طول ریشه بر حسب سانتی‌متر تعیین گردید. تعداد شاخه جانبی در هر بوته در پایان دوره رشد شمارش و جهت تعیین میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش آرنون (۱۹۴۹) استفاده شد. برای این منظور مقدار ۰/۱ گرم از بافت برگ با استون ۸۰ درصد ساییده و در نهایت حجم محلول با استون ۸۰ درصد به ۲ سی‌سی رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ گردید و در نهایت عصاره استونی شفاف جدا و پس از نیم ساعت تاریکی مقدار ۰/۵ سی‌سی از محلول رویی برداشته و در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵، ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. مقدار کلروفیل طبق معادله‌های زیر به دست آمد. در این معادله‌ها، V حجم نهایی استون و W وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645})\ V/100W$$
$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663})\ V/100W$$
$$\text{Carotenoides} = 100(A470) + 3.27(\text{mg chl.A}) - 104(\text{mg chl.B})/227$$

جهت تعیین میزان پرولین از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) استفاده گردید و به کمک رسم منحنی استاندارد غلظت پرولین از رابطه زیر تعیین و بر حسب میکروگرم برگرم محاسبه شد.

$$\text{پرولین (µmol/gFw)} = [\text{µg پرولین / ml} \times \text{ml تولوئن} / 115/5\ \text{µg / µmol})\ ] / [(\text{g}) / ۵)]$$

استخراج اسانس از روش تقطیر با دستگاه کلونجر بود و جهت انجام این کار مقدار ۵۰ گرم از نمونه گیاهی خشک در بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ریخته و به آن حدود ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به مدت سه ساعت جوشانده شد. اسانس به‌دست آمده در میکروتیوپ‌های شیشه‌ای نگهداری و برای شناسایی ترکیبات از دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC) استفاده گردید که پس از تزریق اسانس‌ها و یافتن مناسب‌ترین برنامه‌ریزی حرارتی ستون DB-5، جهت دستیابی به بهترین جداسازی، نمونه اسانس‌ها با دی‌کلرومتان رقیق و به دستگاه گاز کروماتوگراف کوپل شده با طیف سنجی جرمی (GC/MS) تزریق گردید و طیف‌های جرمی و کروماتوگرام‌های مربوطه به‌دست آمد که با استفاده از زمان بازداری، اندیس بازداری کواتس، مطالعه طیف‌های جرمی و مقایسه ترکیب‌های استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در نرم افزار SATURN ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس‌ها، مورد شناسایی کمی و کیفی قرار گرفت. برای محاسبه اندیس‌های بازداری از تزریق هیدروکربن‌های نرمال ۹ تا ۲۲ کربنه، در شرایط برنامه‌ریزی حرارتی ستون (مشابه با تزریق نمونه) استفاده گردید.

.داده‌ها با نرم‌افزار SAS9.1 مورد تجزیه آماری قرار

گرفت و میانگین‌های به‌دست آمده به وسیله آزمون دانکن در سطح ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی گیاه ریحان (جدول ۱) نشان داد که صفات ارتفاع کل بوته، طول ریشه، طول ساقه در سطح ۱٪ درصد معنی‌دار شد، اثر متقابل تنش خشکی و محلول-پاشی در صفات ارتفاع کل بوته، طول ریشه، طول ساقه، در سطح ۵٪ معنی‌دار و برای صفت تعداد شاخه جانبی در سطح ۱٪ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی بر شاخص‌های مورفولوژیک ریحان در شرایط تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		ارتفاع بوته	طول ریشه	طول ساقه	تعداد شاخه جانبی
تکرار	۲	۱۹/۲۳	۵/۵	۸/۷۵	۵۲۴/۳۳
تنش خشکی	۲	۱۱۵۱/۶۸**	۳۲۰/۳۶**	۴۴۵/۵۲**	۱۰۵/۲۵**
محلول پاشی	۳	۱۵۸/۱۲**	۲۸/۳۵**	۴۸/۲۴**	۹/۰۶**
تنش خشکی × محلول پاشی	۶	۳/۵۸*	۵/۲۲*	۷/۵۴*	۵/۰۸**
خطا	۳۳	۱/۹۸	۱/۳۸	۲/۸۳	۰/۹۵
ضریب تغییرات (٪)		۲/۸۰	۷/۴۹	۱۰/۳۹	۸/۷۸

ns ،* و** به ترتیب غیر معنی دار بودن و تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می دهد

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد در جدول (۲) آورده شده است. به‌طور کلی با افزایش تنش خشکی از ارتفاع کل بوته کاسته و محلول پاشی سلنیوم توانست اثر تنش خشکی در کاهش ارتفاع کل بوته را تعدیل نماید. بیشترین ارتفاع کل بوته (۸۹/۱۶ سانتی متر) در گیاهان تحت آبیاری کامل و محلول پاشی شده با غلظت ۰/۵ میلی مولار سلنیوم حاصل شد و پس از آن در غلظت یک میلی مولار سلنیوم با ارتفاع ۱۶ /۸۸ سانتی‌متر ارتفاع قرار داشتند. و کمترین مقدار برای این صفت در گیاهان محلول پاشی نشده و در تیمار قطع آبیاری از ابتدای رشد زایشی مشاهده شد. در تنش قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی نیز گیاهان محلول پاشی شده با غلظت ۰/۵ میلی مولارسلنیوم بیشترین ارتفاع (۷۷/۵ سانتی‌متر) را داشتند که با سایر غلظت های این ماده تفاوت معنی‌داری نداشتند. کمترین ارتفاع کل بوته در این سطح از آبیاری در گیاهان محلول پاشی نشده حاصل شد. در شرایط تنش شدید نیز بیشترین ارتفاع برای غلظت ۰/۵ میلی مولار سلنیوم حاصل شد که بعد از آن گیاهان تیمارشده با غلظت یک میلی مولار از سلنیوم قرار داشتند و کمترین ارتفاع کل بوته در گیاهان محلول‌پاشی نشده حاصل شد.

طول ساقه و ریشه

مطابق نتایج بدست آمده، بیشترین طول ساقه مربوط به شرایط آبیاری کامل و غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی مولار سلنیوم می‌باشد. بین شاهد در شرایط آبیاری کامل و نیز محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم تفاوت معنی-داری وجود نداشت. در شرایط تنش تا ۵۰٪ گلدهی غلظت یک میلی مولار سلنیوم بیشترین طول ساقه (۶۱/۵۰) را داشت. در تنش شدید بیشترین طول برای سلنیوم ۰/۵ میلی مولار بدست آمد. طبق نتایج بدست آمده با افزایش میزان تنش، طول ریشه افزایش یافته و محلول‌پاشی با سلنیوم منجر به کاهش تنش شده و بیشترین طول ریشه برای شاهد و تحت آبیاری کامل بدست آمد. در شرایط تنش تا ۵۰٪ گلدهی در محلول‌پاشی با سلنیوم بیشترین طول ریشه با ۱۹/۸۳ سانتی‌متر برای غلظت ۰/۵ میلی

مولار بدست آمد. در شرایط تنش از ابتدای گلدهی بیشترین طول ریشه مربوط به غلظت ۱ میلی مولار سلنیوم با ۱۶/۵۰ سانتی متر بود و بین غلظت‌های دیگر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر شاخص‌های رشد ریحان

آبیاری	محلول-پاشی	ارتفاع کل بوته (Cm)	طول ریشه (Cm)	طول ساقه (Cm)	تعداد شاخه جانبی
آبیاری کامل	شاهد	۸۰/۸۳$^{a-d}$	۱۲/۰۰$^{c-g}$	۶۵/۸۳^{abc}	۱۱/۶۶$^{b-e}$
	سلنیوم ۰/۵	۸۹/۱۶^{a}	۱۰/۶۶^{efg}	۷۳/۱۶^{a}	۱۵/۳۳^{a}
	سلنیوم ۱	۸۸/۱۶^{ab}	۱۱/۰۰$^{e-g}$	۷۱/۶۶^{a}	۱۲/۸۳^{ab}
	سلنیوم ۲	۸۱/۰۰$^{a-d}$	۱۰/۰۰^{g}	۶۵/۶۶^{abc}	۱۱/۰۰$^{c-f}$
تنش مرحله ۵۰ درصد گلدهی	شاهد	۷۰/۰۰$^{a-f}$	۱۳/۸۳$^{b-g}$	۵۶/۱۶$^{b-e}$	۱۳/۵۰$^{a-c}$
	سلنیوم ۰/۵	۷۷/۵۰$^{a-e}$	۱۹/۸۳^{a}	۵۷/۶۶$^{a-d}$	۱۱/۵۰$^{b-e}$
	سلنیوم ۱	۷۶/۰۰$^{a-e}$	۱۴/۵۰$^{b-f}$	۶۱/۵۰$^{a-d}$	۱۱/۵۰$^{b-e}$
	سلنیوم ۲	۷۳/۱۶$^{a-e}$	۱۳/۰۰$^{b-g}$	۶۰/۱۶$^{a-d}$	۱۰/۸۳$^{c-f}$
تنش از ابتدای گلدهی	شاهد	۵۱/۶۶^{f}	۱۵/۰۰$^{b-e}$	۳۹/۶۶^{e}	۱۰/۶۶$^{c-f}$
	سلنیوم ۰/۵	۷۰/۰۰$^{a-f}$	۱۶/۰۰^{abc}	۵۹/۳۳$^{a-d}$	۱۰/۱۶^{efd}
	سلنیوم ۱	۶۸/۳۳$^{b-f}$	۱۶/۵۰^{ab}	۵۷/۶۶$^{a-d}$	۷/۱۶^{gh}
	سلنیوم ۲	۶۳/۱۶^{def}	۱۵/۳۳^{bcd}	۵۳/۱۶$^{b-e}$	۵/۸۳^{h}

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (Duncan, α=0.05)

تعداد شاخه جانبی

طبق نتایج مشاهده شده، که با افزایش میزان تنش از تعداد شاخه‌های جانبی و تعداد برگ کاسته شد. درشرایط آبیاری کامل گیاهان محلول‌پاشی شده با سلینوم غلظت ۰/۵ میلی مولار بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۵/۳۳)، و سلنیوم ۱ میلی مولار ، و شاهد با گیاهان محلول‌پاشی شده با سلنیوم ۲ میلی مولار تفاوت معنی داری نداشتند. در شرایط تنش ابتدای گلدهی بیشترین و کمترین تعداد شاخه جانبی به ترتیب مربوطه به شاهد با ۱۰/۶۶ و گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم با ۵/۸۳ بود.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش تنش خشکی کلیه صفات رویشی روند کاهشی داشتند و بیشترین کاهش در رشد گیاه در شرایط تنش خشکی شدید و قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی حاصل شد. نتایج حاصله با یافته‌های سایر محققین به شرح زیر سازگار است. در اثر تنش رطوبتی (۱۰۰، ۹۰، ۸۰ ۷۰، ۶۰، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) ارتفاع گیاه، ضخامت ساقه، تعداد و سطح برگ، شاخص سطح برگ (LAI) و محتوای کلروفیل گیاه ریحان بنفش کاهش یافت (علیشا و همکاران ۲۰۰۶). همچنین تنش خشکی منجر به کاهش تعداد شاخه فرعی در ریحان (حسنی و امیدبیگی ،۲۰۰۲) و بادرشبو (صفی خانی ، ۲۰۰۶) شد. بررسی اثر تنش خشکی بر شاخص‌های رشد بادرنجبویه نشان داد که تنش خشکی بر شاخص سطح برگ، ماده خشک، سرعت رشد گیاه و سرعت رشد نسبی و درصد و عملکرد اسانس گیاه مؤثر است (اردکانی و همکاران، ۲۰۱۰). عربی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و خصوصیات مرفولوژیک گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) شد. . کمبود آب در جریان تولید گیاهان می‌تواند صدمات سنگینی به رشد و نمو گیاهان وارد نماید (امید بیگی، ۲۰۰۰ و بابایی و همکاران ۲۰۱۰). تنش خشکی با محدودیت‌هایی که در جذب آب توسط گیاه و همچنین جذب عناصر غذایی برای گیاه ایجاد می‌کند موجب کاهش بیوماس تولیدی می‌شود. در طول دوره تنش سطح کل برگ برای هر گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و کاهش سطح برگ در اثر تنش آبی، دلیل اصلی کاهش عملکرد می‌باشد (عقلمند و همکاران، ۲۰۱۸). محدود شدن طول ساقه‌های جانبی در شرایط تنش خشکی را می‌توان

به‌عنوان مکانیسم سازگاری در نظر گرفت، زیرا در مواقع بحرانی مانند کم‌آبی، گیاه تلاش می‌کند رشد رویشی خود را سریع‌تر تمام کرده تا به مرحله زایشی و گلدهی برسد تا بقای نسل خود را حفظ کند. همچنین از طرفی وقتی گیاه با تنش خشکی مواجه می‌گردد، ریشه یکی از اندام‌های است که شروع به گسترش می‌کند تا سطح جذب‌کننده گیاه را افزایش دهد، درنتیجه هر چه طول ریشه گسترش می‌یابد قدرت جذب آب افزایش‌یافته و اثر تنش خشکی کم می‌شود. کاهش در جذب آب منجر به کاهش در مقدار آب بافت می‌شود. درنتیجه تورم سلول‌ها از بین می‌رود. به همین ترتیب، تنش خشکی همچنین جذب نوری و مواد فتوسنتزی موردنیاز برای تقسیم سلولی را کاهش می‌دهد. به‌عنوان یک نتیجه، اختلال در میتوز، توسعه و طویل شدن سلول منجر به کاهش رشد می‌شود. اختلال در تقسیم میتوزی، توسعه و طویل شدن سلول منجر به کاهش طول گیاه، سطح برگ و رشد محصول تحت تنش خشکی می‌شود(بابایی و همکاران ۲۰۱۰). آنجوم و همکاران(۲۰۱۱)، بیان داشتند که تنش خشکی موجب ایجاد اختلال در تقسیم میتوز و از طرفی طویل و حجیم شدن سلول و کاهش رشد گیاه می‌گردد.کاهش در ارتفاع، سطح برگ و نیز طول گل آذین تحت شرایط تنش خشکی برای گیاه سلوی زینتی گزارش گردیده است(بورنت و همکاران، ۲۰۰۵). می‌توان چنین بیان داشت که کاهش سطح برگ در نتیجه کاهش سرعت گسترش سلول‌ها و یا به علت کاهش سرعت تقسیم سلولی به دلیل کم شدن آماس سلولی می‌باشد که عکس‌العملی در پاسخ به تنش خشکی است و می‌تواند موجب کاهش تعرق و افزایش تحمل گیاهان به شرایط تنش خشکی شود(ولکمار و همکاران، ۱۹۹۸). تحقیقات بیانگر آن است که سلنیوم می‌تواند در غلت‌های مناسب موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی گردد(دیجاناگویرامان و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین سلینوم می‌تواند از با افزایش جذب پتاسیم از طریق اکسین، سبب طویل شدن سلول و نیز ایجاد پتانسیل اسمزی مورد نیاز جهت جذب آب و در نهایت ایجاد یک فشار تورگر در داخل سلول شود که همین عامل گسترش سلول را موجب می‌شود(الومالایی و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج پژوهش‌های نمالی و وان ایرسل(۲۰۰۴)، نشان داد که تنش کم آبی در گل جعفری می‌تواند کاهش در پارامترهای رشدی از جمله وزن خشک شاخساره، سطح برگ، تعداد برگ و ارتفاع گیاه را ایجاد کند.

تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر صفات فیزیولوژیک گیاه ریحان

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر شاخص‌های فیزیولوژیک ریحان (جدول ۳) نشان داد اثر متقابل تنش قطع آبیاری و محلول پاشی با سلنیوم بر صفت میزان پرولین در سطح ۱% معنی‌دار و اثر متقابل برای صفات میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل و میزان کاروتنوئید معنی دار نبود. تأثیر تنش خشکی بر صفات میزان پرولین، میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و میزان کاروتنوئید در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. تأثیر محلول‌پاشی با سلنیوم نیز بر صفات میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و میزان پرولین در سطح ۱% معنی دار بود.

جدول ۳- مقایسه تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد ریحان در شرایط تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید(mg/g DW)
تکرار	۲	۰/۰۰۰۲۹	۱/۹۸	۱/۰۱۸	۱/۴۸۸	۰/۶۳۱
تنش خشکی	۲	۹۵۸۲۷/۳۰**	۱/۰۰۱۳**	۰/۰۰۰۰۰۱۸**	۰/۰۰۰۵۰**	۰/۰۳۴۲**
محلول پاشی	۳	۱۸۵۴۱۸/۳**	۱/۰۰۲۳**	۱/۰۰۰۰۰۲۲**	۰/۰۰۰۰۷۵**	۰/۰۴۴۸**
تنش خشکی × محلول پاشی	۶	۱۳۵۲/۰۰۸۵**	۱/۰۰۰۴۵ns	۱۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ns	۱/۰۰۰۰۰۰۹۷ns	۱/۰۰۰۲۴ns
خطا	۳۳	۰/۰۰۰۱۵	۱/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۲۰
ضریب تغییرات (٪)	–	۸/۱۴	۹/۷۰	۱۲/۲۰	۷/۶۱	۱۱/۸۲

ns ،* و** به ترتیب غیر معنی‌دار بودن و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند

نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر صفات فیزیولوژیک گیاه ریحان

پرولین

باتوجه به نتایج بدست آمده در اثر متقابل تنش و محلول‌پاشی بیشترین میزان پرولین برای غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم با ۸۰/۶۳۰ بود. میزان پرولین با افزایش شدت تنش افزایش پیدا کرد بطوریکه در شرایط آبیاری کامل بیشترین و کمترین میزان پرولین به ترتیب برای شاهد (۱۸/۸۰۸) و غلظت ۲ میلی‌مولار سلنیوم (۴۲/۷۵۰) به‌دست آمد. در تنش ۵۰٪ گلدهی با افزایش تنش بر میزان پرولین افزوده شد. همچنین در تنش از ابتدای گلدهی بیشترین میزان در محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم (۱۴۳/۶۴) به‌دست آمد. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که با افزایش شدت تنش خشکی بر میزان پرولین برگ افزوده شد بطوریکه بیشترین میزان پرولین درشرایط تنش تا ۵۰% مرحله گلدهی بدست آمد.

پرولین محافظت کننده اسمزی می‌باشد و در هنگام تنش‌های خشکی مقدار آن در گیاه افزایش می‌یابد. پرولین علاوه بر تنظیم اسمزی، وظایف دیگری مانند حفاظت از غشای پلاسمایی، از بین بردن رادیکال‌های هیدروکسیل و اکسیژن فعال دارد و می‌تواند منبعی برای نیتروژن و کربن باشد(ساکیهاما و همکاران، ۲۰۰۲). وانگ و همکاران(۲۰۱۴) بیان داشتند که تجمع پرولین در هنگام تنش خشکی یکی از عوامل حفظ ساختار و جلوگیری کننده از آسیب‌های سلولی است. بر اساس گزارشات بابایی و همکاران(۲۰۱۰)، با افزایش میزان تنش خشکی بر مقدار پرولین نیز افزوده می‌گردد. نقش پرولین به عنوان یک آنتی اکسیدان در توانایی آن جهت غیر فعال کردن رادیکال‌های هیدروکسیل و نیز سایر ترکیبات دارای فعالیت بالا که در شرایط تنش تولید شده‌اند و در انتقال الکترون در کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها اختلال ایجاد می‌کنند، ظاهر می‌گردد و از این طریق موجب حفاظت از پروتئین‌ها و غشاها در برابر آسیب‌ها می‌شود(بوهنرت و جنسن، ۱۹۹۶).

وانگ و همکاران (۲۰۱۴) بیان داشتند تجمع پرولین هنگام تنش خشکی یکی از عوامل حفظ ساختار و جلوگیری از آسیب‌های سلولی می‌باشد. .یائو و همکاران (۲۰۰۹) طی مطالعه‌ای بیان کردند در اثر محلول‌پاشی سلنیوم در شرایط تنش خشکی بر روی گیاه گندم سبب افزایش میزان پرولین شد. بابایی و همکارن (۲۰۱۰) بیان کردند که با افزایش تنش میزان پرولین نیز افزوده می‌شود. نقش آنتی اکسیدانی پرولین در توانایی آن برای غیرفعال کردن رادیکال‌های هیدروکسیل و سایر ترکیبات دارای فعالیت بالا که تحت شرایط تنش تولید شده و درانتقال الکترون در کلروپلاست ها و میتوکندری ها اختلال ایجاد می‌کنند، تظاهر می‌یابد و از این طریق پروتئین‌ها و غشاها را در برابرآسیب محافظت می‌نماید (بهنرت و جانسن، ۱۹۹۶).

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر شاخص‌های فیزیولوژیک ریحان

تیمار	سطح	پرولین
آبیاری کامل	شاهد	۱۸/۸۰۸^{o}
	سلنیوم ۰/۵	۲۴/۱۰۶^{no}
	سلنیوم ۱	۳۱/۴۳۴^{mno}
	سلنیوم ۲	۴۲/۷۵۰^{klm}
تنش ۵۰٪ گلدهی	شاهد	۴۸/۵۳۷^{jkl}
	سلنیوم ۰/۵	۵۸/۵۰۱^{ij}
	سلنیوم ۱	۷۱/۶۸۰^{ghi}
	سلنیوم ۲	۸۰/۶۳۰^{g}
تنش از ابتدای گلدهی	شاهد	۸۵/۰۹۱^{fg}
	سلنیوم ۰/۵	۱۰۵/۴۹۶^{de}
	سلنیوم ۱	۱۲۰/۶۲۷^{bc}
	سلنیوم ۲	۱۴۳/۶۴^{a}

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (Duncan, α=0. 05)

کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید

طبق نتایج بدست آمده به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد(جدول ۵)، با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل کاهش یافته و بیشترین میزان کلروفیل a برای شاهد بدست آمد. در گیاهان محلول‌پاشی شده با افزایش غلظت بر میزان کلروفیل a افزوده شد. در اثر محلول‌پاشی با سلنیوم بیشترین میزان به‌دست آمده برای غلظت ۲ میلی مولار با ۰/۰۱۱ و کمترین میزان با ۰/۰۰۸۲ برای غلظت ۰/۵ میلی مولار سلنیوم بود. مطابق نتایج در اثر تنش خشکی میزان کلروفیل b کاهش یافته بیشترین میزان در گیاهان شاهد بدست آمد. در اثر محلول‌پاشی نیز با افزایش غلظت بر میزان کلروفیل b افزوده شد بیشترین میزان برای غلظت‌های ۲ میلی مولار سلنیوم ۰/۰۰۲۷ و کمترین برای غلظت‌های ۰/۵ میلی مولار سلنیوم با ۰/۰۰۲۰ بدست آمد. تنش خشکی سبب تغییراتی در میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید نیز شد اما در اثر محلول‌پاشی این اثر کمتر شده بطوریکه در محلول‌پاشی با سلنیوم بیشترین میزان برای غلظت ۲ میلی مولار سلنیوم بود. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل a کاهش و کلروفیل b افزایش و میزان کلروفیل کل نیز کاهش یافت، که با نتایج سایر محققین مطابقت داشت بررسی اثر تنش خشکی بر ریحان (حسنی و امیدبیگی، ۲۰۰۲) و نعناع (میشرا و سینگ ۲۰۱۰)، نعناع فلفلی(ایزدی و همکاران، ۲۰۰۹). نشان داده شد که همزمان با تنش خشکی محتوای کلروفیل کاهش پیدا می‌کند. تنش خشکی در گیاهان موجب پیری زودرس برگ، شکسته شدن کلروپلاست‌ها و تجزیه کلروفیل در اثر افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز می‌گردد. ضمن آنکه کاهش میزان کلروفیل برگ در اثر تنش خشکی، موجب کاهش کار آیی فتوسنتز می‌شود و گیاهانی که در شرایط تنش میزان کلروفیل خود را در سطح بالایی حفظ می‌کنند، کار آیی فتوسنتزی بالاتری دارند (تایز و زایگر ۲۰۰۶). عقیقی‌شاهوردی و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی اثر محلول‌پاشی سلنیوم، بور و آهن بر برخی صفات فیزیولوژیک و گلیکوزیدهای استویا تحت تنش شوری دریافتند که بیشترین کلروفیل کل، کلروفیل a و کلرفیل b به‌ترتیب با میانگین۳۹/۴، ۲۴/۸ و ۱۴/۶ میکروگرم بر گرم وزن تر در محلول‌پاشی با ترکیب سه عنصر آهن، بورو سلنیوم در شرایط عدم شوری به‌دست آمد. در شدت‌های بیشتر تنش خشکی، رخدادهایی همانند کاهش شدید فتوسنتز، اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی، توقف رشد و سرانجام خشک شدن و مرگ گیاه روی می‌دهد (علی-زاده، ۲۰۰۴). سلنیوم موجب جلوگیری از تخریب کلروفیل در شرایط تنش‌های محیطی (سپنن و همکاران ۲۰۰۳) و سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تنش دیده می‌شود (عقیقی شاهوردی و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش در میزان غلظت سلنیوم تا یک مقدار معین موجب افزایش قابل توجه در سلنیوم موجود در محصولات می‌گردد و نتیجه آن افزایش در عملکرد گیاهان از طریق حفاظت از کلروفیل است(راموس و همکاران، ۲۰۱۰). سلنیوم از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از پیری جلوگیری می‌کند(توگنون و همکاران، ۲۰۱۶). چن و همکاران اذعان داشتند که کاهش کلروفیل عمدتا به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیدان کلروفیل‌ها، تخریب پیش ماده‌های سنتز کلروفیل و یا ممانعت از بیوسنتز کلروفیل است. قرارگیری گیاهان در برابر تنش‌های محیطی و نیز فلزات سنگین باعث تخریب کلروپلاست‌ها گردیده و فتوسنتز به سوی گسیختگی هدایت می‌شود اما با افزودن سلنیوم می‌توان تا حدودی از تخریب کلروپلاست‌ها جلوگیری کرد و موجب افزایش محتوای کلروفیل گردید(فیلک ماریا و هارتیکاینس هلینا، ۲۰۰۸). به کار بردن سلنیوم سبب تنظیم گونه‌های واکنش‌پذیر و آنتی‌اکسیدان‌ها، بازسازی غشای سلول، ساختمان کلروپلاست و بهبود سیستم فتوسنتزی می-شود(لویت، ۱۹۸۰). نتایج مولکولی بررسی تجمع سلنیوم در گیاه Stanleya pinnata نشان داد سلنیوم باعث بیان شدن ژن‌های درگیر در مسیرهای آسیمیلاسیون گوگرد و فعالیت آنتی اکسیدانی و نیز ژن‌های دفاعی مسیر جاسمونیک اسید و سالیسیلک اسید می‌گردد(دیائو و همکاران، ۲۰۱۴).

وجود شرایط تنش خشکی منجر به بسته شدن

روزنه‌ها و در نتیجه کاهش غلظت co_2 می‌گردد در حالیکه با از دست رفتن آب سلول‌های مزوفیل، دستگاه فتوسنتزی آسیب دیده و تحت این شرایط فتوسنتز مختل می‌شود (واسم و همکاران ۲۰۱۱). سلنیوم به عنوان کوفاکتور آنزیم‌های موثر در برخی مسیرهای بیوشیمیایی در حیوانات و گیاهان عمل می‌نماید. سلنیوم با کمک سلنوپروتئین‌ها قادر به خنثی سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن بوده و در نتیجه موجب حفاظت از ترکیبات سلولی در برابر آسیب اکسیداتیو می‌گردد. سلنوپروتئین‌ها مانند گلوتاتیون پراکسیداز و تیوردوکسین ردوکتاز فعالیت می‌نمایند (احمد و همکاران ۲۰۱۶).

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر نش خشکی و محلول‌پاشی بر شاخص‌های فیزیولوژیک ریحان

تیمار	سطح	کلروفیلa (mg/g DW)	کلروفیل b (mg/g DW)	کلروفیل کل (mg/g DW)	کاروتنوئید (mg/g DW)
خشکی	شاهد	۰/۰۱۱^{a}	۰/۰۰۲۸^{a}	۰/۰۱۳^{a}	۰/۱۴۹^{a}
	تنش ۵۰٪مرحله گلدهی	۰/۰۰۹۲^{b}	۰/۰۰۲۱^{b}	۰/۰۱۱^{b}	۰/۱۱۹^{b}
	تنش از ابتدای گلدهی	۰/۰۰۶۱^{c}	۰/۰۰۱۵^{c}	۰/۰۰۷^{c}	۰/۰۸۱^{c}
سلنیوم	۰	۰/۰۰۶۶^{e}	۰/۰۰۱۷^{e}	۰/۰۰۸۳^{f}	۰/۰۸۹^{e}
	۰/۵	۰/۰۰۸۲^{c}	۰/۰۰۲۰^{d}	۰/۰۱۰۲^{d}	۰/۱۰۴^{cd}
	۱	۰/۰۱۰^{a}	۰/۰۰۲۴^{b}	۰/۰۱۲^{b}	۰/۱۳۰^{b}
	۲	۰/۰۱۱^{a}	۰/۰۰۲۷^{a}	۰/۰۱۳^{a}	۰/۱۴۶^{a}

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (Duncan, α=0. 05)

گیاهان با استفاده از سلنیوم می‌توانند رشد و مقاومت خود را افزایش دهند. این عنصر با کمک به تولید بیشتر کلروفیل و کارتنوئید و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدان آنزیمی(پراکسیداز، کاتالاز) که قادر به حذف، خنثی‌سازی یا مهار رادیکال‌های آزادهستند و ترکیبات آنتی-اکسیدان(آنتوسیانین، فلاونوئید، ترکیبات فنلی) از آسیب‌های ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی جلوگیری می‌کند. این عنصر با افزایش راندمان فتوسیستم II (PS II)، افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش تخریب کلروفیل، فتوسنتز را بهبود می‌بخشد. همچنین سلنیوم با تنظیم حالت آبی گیاهان، به آن‌ها کمک می‌کند که با تنش کم آبی مقابله کنند(نواز و همکاران، ۲۰۱۴). سلینوم به شیوه‌های مختلفی سطوح گونه‌های فعال اکسیژنی در گیاهان تنش دیده را کاهش می‌دهد از جمله ۱- تحریک خودبخودی تجزیه آنیون سوپراکسید(O_2^-) به پراکسید هیدروژن ۲- واکنش مستقیم بین ترکیبات حاوی سلنیوم و ROS و ۳- از طریق تنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (آنزیم‌های گلوتاتیون پراکسیداز، گلوتاتیون اس ترانسفراز)(فنگ و همکاران،۲۰۱۳). این عنصر در غلظت پایین مکانیسم آنتی‌اکسیدان در گیاهان را تحریک می‌کند اما در سطوح بالاتر به عنوان پراکسیدانت عمل می‌کند و موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد(نواز و همکاران، ۲۰۱۴ ؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰). این عنصر با افزایش راندمان جذب آب از طریق ریشه و کاهش میزان تلفات آب بافت‌ها در تنظیم کردن وضعیت آب در گیاهان نقش موثری دارد(لان و همکاران، ۲۰۱۹). سلنیوم با حفاظت از سیستم غشایی که موجب رشد طولی ریشه و شاخه می-شود سبب تحریک رشد گیاه شده و نیز توسعه سیستم ریشه را حمایت می‌کند(سان و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج آزمایش در شرایط گلخانه‌ای نشان داد که اثر سلنیوم در افزایش تحمل خشکی و نیز بهبود روابط آبی در گیاه کلزا در ارتباط با افزایش میزان جذب آب به دلیل توسعه‌ی ریشه، افزایش فتوسنتز و نیز تشکیل قندهای محلول بوده

است(حاجی بلند و همکاران، ۲۰۱۴). کاربرد سلنیوم می-تواند تحمل گیاهان به تنش اکسیداتیو ناشی از تنش کم-آبی و شوری و پیری گل در آنتوریوم، ری‌گراس، کاهو و نیز سویا را افزایش دهد(توگنون و همکاران، ۲۰۱۶؛ دیجاناگویرامان و همکاران، ۲۰۰۵).

نتایج تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی سلنیوم بر اجزای اسانس ریحان

اجزای اسانس ریحان

با تجزیه اسانس نمونه‌های گیاهی در این آزمایش حدود ۴۳ ترکیب شناسایی گردید که عمده ترین ترکیبات در اسانس ریحان ده ترکیب بوده (جدول ۶) و در مورد بیشتر ترکیبات با افزایش تنش خشکی بر میزان ترکیبات و اجرای اسانس افزوده شده و محلول‌پاشی نیز در این افزایش ترکیبات سهیم می‌باشد. با افزایش تنش میزان ژرانیول افزوده شده و بیشترین میزان مربوط به شرایط تنش در ابتدای رشد زایشی و محلول‌پاشی با سلنیوم ۰/۵ میلی مولار بود (۲۷/۱۳%). در متیل چاویکول، آلفاپینن، کوپن و نرال بیشترین میزان تحت شرایط تنش تا ۵۰ ٪ گلدهی و غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سلنیوم به ترتیب مقادیر ۴۲/۵۶ %، ۴/۵۴ %، ۱/۰۱ % و ۱۴/۳۰ % بدست آمد. افزایش تنش تا ابتدای مرحله زایشی میزان ترکیبات سیترال، لیمونن و کاریوفیلین را افزایش داد و بیشترین مقادیر در شرایط محلول‌پاشی با سلنیوم ۲ و ۰/۵ میلی مولار بدست آمد(به ترتیب ۲۱/۴۵ %، ۰/۲۷ %، ۲۸/۹۳ %). در شرایط آبیاری کامل و غلظت ۲ میلی مولار کارواکرول با ۲/۹۹ % و غلظت ۱ میلی مولار سلنیوم لینالول با ۱/۴۳ % بیشترین مقادیررا دارا بودند. در بررسی تأثیر زئولیت و محلول‌پاشی سلنیوم و سیلسیوم بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک کلزا تحت شرایط تنش شوری دریافت که اثر زئولیت، سلنیوم و سیلسیوم بر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار می‌باشد. طی این آزمایش ابتدا میزان اسانس زیاد وبا افزایش شدت تنش از میزان اسانس کاسته شد. این نتیجه با مشاهدات مون و همکاران (۲۰۰۰) روی رزماری و بادرنجبویه، دیامانتوگلون و ریزوپولو (۱۹۹۱) روی نوعی مرزنجوش مطابقت دارد. دشتی و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی تأثیر تنش کمبود آب بر عملکرد و ترکیب‌های اسانس گیاه دارویی نوروزک دریافتند که درصد اسانس برگ‌های سبز و ساقه گل‌دهنده در تیمارهای تنش شدید و بدون آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آبیاری کامل بود. بر اساس مطالعات، تنش آبی سبب افزایش اسانس آویشن باغی (امام و همکاران ۲۰۰۸)، مریم گلی(بتائیب و همکاران،۲۰۰۹) شده است. ایزدی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش میزان تنش خشکی بر درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی افزوده شد. محمدپور و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه بر روی آویشن نشان دادند که با افزایش میزان تنش، گیاه میزان زیادی از مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم کننده‌ی اسمزی نظیر پرولین، گلیسین بتائین و ترکیبات قندی می‌کندو به همین دلیل از درصد اسانس کاسته شد. بر اساس یافته‌های کیندچر و همکاران(۲۰۱۶) تنش خشکی موجب افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه در گیاه سرخارگل شد. نتایج نشان داده است که گیاهان هنگام مواجه با شرایط خشکی و تنش میزان بیشتری از مواد پرورده را برای سنتز متابولیت‌های ثانویه اختصاص می‌دهند (ربی و همکاران ۲۰۱۲).

جدول ۶- تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی با سلنیوم بر ترکیبات اسانس ریحان

ترکیب تیماری		ژرانیول	متیل چاویکول	آلفا پینن	کاریوفیلن	سیترال	کپرن	کارواکرول	نرال	لینالول	لیمونن
آبیاری کامل	شاهد	۴/۷۹	۱۳/۲۹	۱/۲۲	۳/۵۳	۹/۹۸	–	–	۸/۸۷	۰/۶۱	۰/۱۴
	سلنیوم ۰/۵	۱۰/۸۶	۳۳/۳۶	–	۸/۷۶	۱۴/۳۶	۰/۸۲	–	۱۰/۴۶	۰/۱۶	۰/۱۳
	سلنیوم ۱	۱۰/۷۶	۳۳/۸۶	–	۸/۵۳	۱۶/۵۰	–	–	۱۳/۱۰	۱/۴۳	۰/۱۱
	سلنیوم ۲	۱۱/۴۶	۳۵/۶۴	–	۷/۹	۱۶/۳۷	۰/۷۴	۲/۹۹	۱۲/۹۹	۰/۳۵	۰/۱۶
قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی	شاهد	۵/۶۹	۲۱/۹۸	۰/۱۳	۷/۴۱	۱۶/۰۴	۰/۸۴	–	۹/۴۶	–	–
	سلنیوم ۰/۵	۱۵/۰۱	۴۲/۵۶	۴/۵۴	۱۰/۱۵	۱۵/۷۸	۱/۰۱	–	۱۴/۳۰	–	–
	سلنیوم ۱	۱۵/۰۱	۳۷/۹۰	–	۱۴/۲۵	۲۰/۷۶	–	–	۱۰/۵۳	–	–
	سلنیوم ۲	۱۱/۱۲	۳۷/۲۴	۱/۸۳	۱۱/۱۶	۲۰/۶۵	۰/۶۸	–	۱۰/۷۵	–	۰/۱۱
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد زایشی	شاهد	۶/۰۲	۱۴/۳۰	–	۹/۴۶	۱۳/۴۵	–	–	۶/۹۶	۰/۳۰	۰/۱۷
	سلنیوم ۰/۵	۲۷/۱۳	۲۱/۲۷	۰/۲۹	۲۸/۹۳	۱۷/۷۹	۰/۷۲	–	۹/۳۶	۰/۳۴	۰/۲۱
	سلنیوم ۱	۱۰	۲۵/۸۶	۰/۱۲	۲۴/۵۵	۲۰/۴۱	–	۱/۱۸	۱۰/۵۳	۰/۱۵	۰/۱۴
	سلنیوم ۲	۷/۲۷	۲۱/۲۷	–	۲۲/۳۶	۲۱/۴۵	۰/۴۹	۲/۰۰	۶/۴۰	–	۰/۲۷

نتیجه‌گیری کلی

در طی این پژوهش، محلول‌پاشی سلنیوم سبب مقاومت گیاه ریحانبه شرایط تنش خشکی گردید. مصرف مقادیر پایین سلنیوم این مقاومت را افزایش داد اما در مقادیر بالاتر، میزان مقاومت کمتر گردید بطوریکه از میزان صفاتی نظیر تعداد شاخه جانبی کاسته و میزان پرولین و طول ریشه افزایش یافت در شرایط کنونی و با وجود کمبود منابع آبی ونیاز فراوان گیاهان به آب، می‌توان با استفاده از (خصوصا بصورت محلول‌پاشی) برخی عناصر غیرسمی که وجود آن‌ها برای گیاهان لازم و ضروری است، مقاومت گیاهان به شرایط تنش را افزایش داد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه محقق اردبیلی به خاطر تامین هزینه و حمایت مالی در انجام این پژوهش کمال سپاسگزاری به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Abedi T and Pakniyat H. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). Czech. Journal of Genetics and Plant Breeding, 46: 27-34.DOI: 10.17221/67/2009-CJGPB

Aghighi Shahverdi M, Omidi H and Tabatabaei SJ. 2018. Effect of Foliar Application of Selenium, Boron and Iron on Some Physiological Traits and Glycosides Of Stevia (*Stevia Rebaudiana Bertoni*) Under Salinity Stress. Iranian Journal of Medicinal and aromatic plants, 33(6):1017-1033. (In Persian).https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.114425.2067

Aghlmand S, Esmaielpour B, Jalilvand P, Hiedari H R, Tavakoli-hassankelo N. 2018. Effect of Salicylic acid and Paclobutrazol on growth and physiological traits of basil under water deficit stress conditions. Journal of plant proc. Func, 6 (19) :35-46 (In Persian). DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.18.6

Ahmad P, Abd-Allah EF, Hashem A, Sarwat M and Salih G. 2016. Exogenous application of selenium mitigates cadmium toxicity in *Brassica juncea* L. (Czern and Cross) by up-regulating antioxidative system

and secondary metabolites. Journal of Plant Growth Regulation, 35: 936-951 . https://doi.org/10.1007/s00344-016-9592-3

Alishah H.M, Heidari R, Hassani A and Dizaji A.A. 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Biological Sciense, 6(4): 763-767. DOI: 10.3923/jbs.2006.763.767

Amiri Deh Ahmadi SR, Rezvani Moghaddam P and Ehyaee HR. 2012. The Effects of Drought Stress on Morphological Traits And Yield of Three Medicinal Plants (*Coriandrum Sativum*, *Foeniculum Vulgare* and *Anethum Graveolens*) In Greenhouse Conditions. Iranian Journal OF Field Crops Research, 10 (1):116-124. (In Persian).Doi:10.22067/GSC.V10I1.14479

Andrew KB, Hammer GL and Henzell RG. 2000. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought II. Dry matter production and yield. Journal of Crop Science, 40: 10371048.https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4041037x

Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L. and Zou, C.M., 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science, 197: 177-185.https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x

Arabi Z, Kaboosi K, Rezvantalab N, and Torke-Lalebagh J. 2015. Effects of irrigation and super – absorbent hydrogels on morphological characteristics, yield and essential oil of Anise (*Pimpinella anisum* L.). Journal Crop Production, 8(4): 51-66. (In Persian).DOR: 20.1001.1.2008739.1394.8.4.3.9

Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenoloxidase in Beta Vulgaris. Journal of Plant Physiology, 24: 1-15.https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Babaei K, Amini-Dehaghi M, Modares Sani SAM and Jabari R. 2010. Water Deficit Effect On Morphology, Prolin Content and Thymol Percentage Of Thyme (*Thymus Vulgaris* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant, 26 (2): 239-251. (In Farsi). (In Persian).https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939

Bates LS, Waldern RP and Tear ID. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.DOI: https://doi.org/10.1007/BF00018060

Belitz AR and Sams CE. 2007. The effect of population density on growth, yield, & flavonolignan content in milk thistle (*Silybum marianum*). Journal of Acta Horticulture, 756: 251-257 . https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.756.26

Bettaieb I, Zakhama N, Wannes WA, Kchouk ME and Marzouk B. 2009. Water deficit effects on Salvia officinalis fatty acids and essential oils composition. Journal of Scientia Horticulture, 120(2): 271-275.https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.10.016

Bohnert, H.J. and Jensen, R.G., 1996. Strategies for engineering water stress tolerance in plants. Journal of Trends Biotechnol, 14: 89-97.https://doi.org/10.1016/0167-7799 (96)80929-2

Burnett, S. E., Pennisi, S. V., Thomas, P. A. and Van Iersel, M. W. (2005) Controlled drought affects morphology and anatomy of salvia splendens. Journal American Society Horticultur Science 130: 775 - 781.https://doi.org/10.21273/JASHS.130.5.775

Bybordi, A., 2016. Effect of zeolite, selenium and silicon on yield, yield components and some physiological traits of canola under salt stress conditions. Iranian Journal of Field Crop Research, 14(1): 154-170. DOI:10.22067/GSC.V14I1.36936

Dashti G, Sani F, Hosseinzad J and Majnooni A. 2021. Evaluation of Agricultural Sustainability Indicators under Climate Change and WaterResources Management Scenarios in Aji Chay Basin. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science. 32 (1): 325-341. (In Persian). DOI:10.22034/SAPS.2021.44368.2628

Diao, M., Ma, L., Wang, J., Cui, J., Fu, A. and Liu, H. Y. (2014) Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. Journal of Plant Growth Regulation 33: 671-682. doi.org/10.1007/s00344-014-9416-2

Djanaguiraman, M., Durga Devi, D., Shanker, A. K., Annie Sheeba, J. and Bangarusamy, U. (2005) Selenium – an antioxidative protectant in soybean during senescence .272:77 -86. doi.org/10.1007/s11104-004-4039-1

Elumalai, R. P., Nagpal, P. and Reed, J. W. (2002) A mutation in the arabidopsis KT2/KUP2 potassium transporter gene affects shoot cell expansion. Journal of The Plant Cell 14:119-131. doi:10.1105/tpc.010322.

Eman E, Aziz ST, Hendawi E, Din A and Omer EA. 2008. Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield and constituents of *Thymus vulgaris* plant. American-Eurasian, Journal of Agricultural and Environmental Science,4(4): 443-450.

Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D and Basra SMA. 2009. Plant drought stress: effects, mechnisms and management. Journal of Agronomy for Sustainable Development, 29:185.212. . DOI:10.1051/agro:2008021

Fathi A and Tari DB. 2016. Effect of drought stress and its mechanism in plants. International Journal of Life Sciences, 10 (1): 1-6. DOI:10.3126/ijls.v10i1.14509

Feng, R., Wei, C. and Tu, M. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. Environmental and Experimental.

Filek Maria and Hartikainenc Helina (2008) The protective role of selenium in rape seedling subjected to cadmium stress, Journal of Plant Physiology. 165: 833-844.DOI: 10.1016/j.jplph.2007.06.006

Fu J and Huang B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Journal of Environmental and Experimental Botany, 45:105-14. DOI: 10.1016/s0098-8472(00)00084-8

Ghassemi A, Farzaneh S, Moharramnejad S. 2021. Effect of Ascorbic Acid Foliar Application on Grain Yield and Morphophysiological Traits in Corn under Water deficit Stress. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science. 31(4): 177-188. (In Persian). DOI:10.22034/SAPS.2021.43675.2598

Habibi G. 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. Journal of Acta Agriculturae Slovenica, 101: 3139. doi.org/10.14720/aas.2013.101.1.14943

Hajiboland R., Rahmat, S., Zeinalzadeh, N., Farshas-Akhtar and hosseinpour-Feizi A. 2019. Senescence is delayed by selenium in oilseed rape plants. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,55:96106.DOI:10.1016/j.jtemb.2019.06.005

Hajiboland, R., N. Keyvanfar, A. Joudmand, H. Rezaee, and M. Yousefnejad. 2014. Effect of selenium treatment on drought tolerance of canola plants. Journal of Plant Research. 27(4): 557-568.DOI: 10.30495/JCEP.2020.671641

Hassan IA. 2005. Effects of water stress and high temperature on gas exchange and chlorophyll fluorescence in *Triticum aestivum* L. Photosynthetica, 44: 312-315. DOI: doi.org/10.1007/s11099-006-0024-7

Hassani A and Omidbaigi R. 2002. Effect of water stress on some morphological, physiological and metabolic characteristics of basil. Journal of Agricultural. Science,12(3), 47-99. DOI:10.3923/jbs.2006.763.767

Hawrylak-Nowak B, Matraszek R and Szymanska M. 2010. Selenium modifies the effect of short term chilling stress on cucumber plants. Journal of Biological Trace Element Research, 138: 307-315. DOI: 10.1007/s12011-010-8613-5

Hawrylak-Nowak B. 2009. Benefical effects of exogenous selenium in cucumber seedling subjected to salt stress. Journal of Biological Trace Element Research, 132:259-269.

Hekmatshoar, H., 1993. Plants Physiology under difficult condition (Translation). Journal of Niknam Press. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.103620

Izadi Z, Asnaashari M and Ahmadvand G. 2009. Influence of drought tension on yield, proline contents, soluble sugars, chlorophyll, relative water contents and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L). Iranian Journal of Horticultural Science,10(3),223.234. (In Persian).DOI: 10.22055/JISE.2017.21315.1532

Jaberi H, Lotfi B, Feilinezhad AR, Fathi A, KianErsi F and Abdollahi A. 2016. Effects of salinity stress, salicylic acid and Pseudomonas on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). Advances in Bioresearch, Iranian Journal of Plant Biology. 7(5): 27-31. DOI:10.15192/PSCP.SA.2016.14.2.234238

Jamshidi E, Ghalavand A, Sefidkon F and Goltaph EM. 2012. Effects of different nutrition systems (organic and chemical) on quantitative and qualitative characteristics of Fennel (*Foeniculum valgare* Mill) under water deficit stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 28 (2): 309-323. (In Persian).DOI: https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.3048

Kafi M, Borzoei A, Salehi M, Kamandi A, Masomi A and Nabati J. 2009. Physiology of environmental stresses in plants.467. Journal of Ecology, Vol.7 No.4, April 26, 2017 (In Persian). DOI: 10.4236/als.2019.74012

Khakshoor-Moghadam Z, Lahouti M and Ganjeali A. 2011. Effects Of Drought Stress Induced By Polyethylene Glycol On Germination And Morphophysiological Characteristics Of Dill (*Anethum Graveolens* L.) Journal of Horticulture Science (Agricultural Sciences and Technology). 25(2): 185-193, (in Farsi).DOI:10.22067/jhorts4.v1390i0.9989

Kheiry A, Tori H and Mortazavi N. 2017. Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 33(2):269-280. (In Persian). doi.org/10.22092/ijmapr.2017.106481.1783

Kindscher K. 2016. Echinacea Herbal Medicine with a Wild History. Journal of Springer International Publishing. Switzerland, 238p. DOI:10.14237/ebl.8.1.2017.911

Lawlor DW. 2002. Limitation to photosynthesis in Water-stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP. Journal of Annals of Botany, 89: 871-885. doi.org/10.1093/aob/mcf110

Lan, C.Y., C.Y.K.H. Lin, W.D. Huang, and C.C. Chen. 2019. Protective effects of selenium on wheat seedlings under salt stress. Agronomy Journal. 9(6): 272-286. https://doi.org/10.3390/agronomy9060272

Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Volume II. Water, Radiation, Salt, and other stresses. Academic Press, New York. Journal of American Journal of Plant Sciences**,** Vol.7 No.13, September 16, 2016. doi.org/10.1016/B978-0-12-445501-6.50016-6

McDowell NG, Adams HA, Bailey JD, Hess M, Kolb TE. 2006. Homeostatic maintenance of ponderosa pine gas exchange in response to stand density changes. Journal of Ecological Applications 16: 1164–1182. DOI: 10.1890/1051-0761(2006)016[1164: hmoppg]2.0.co;2

Mishra AK and Singh VP. 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology,391 (1):202-216. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

MohammadPour-Voshvaie R, Ghloy M, Ramroodi M and Fakheri B. 2015. Effect of drought stress and biological fertilizers on the growth, yield and essence component of thyme (*Thymus vulgaris* L.). Journal of Agroecology, 7(2): 237-253.DOI: 10.22067/JAG.V7I2.36935

Mohtashami F, Pouryousef M, Andalibi B and Shekari F. 2015. Effects Of Seed Priming And Foliar Application Of Salicylic Acid On Yield And Essence Of Fennel (*Foeniculum Vulgare Mill*.) Under Drought Stress Condition. Iranian Journal of Medicinal and aromatic plants, 31(5): 841-852. (In Persian). doi.org/10.22092/ijmapr.2015.103620

Munn S and Alegre L. 2000. The significance of beta carotene, alpha, tocopherol and the xanthophyll cycle in droughted *Melissa officinalis* plant. Journal of plant physiology, 27(2): 139-146. DOI:10.1071/PP99107

Nawaz, F., Ashraf, M. Y., Ahmad, R., Waraich, E. A. and Shabbir, R. N. (2014) Selenium (Se) regulates seedling growth in wheat under drought stress. Journal Of Advances in Chemistery 2014: 1-7. doi.org/10.1155/2014/143567

Omidbaigi, R. 2005. Production and processing of medicinal plants. Iranian Journal Of Publications Astan Quds Razavi, Mashhad, 438p. (In Persian). DOI:10.22077/escs.2019.1958.1475

Pirjalili F and Omidi H. 2017. Effects of Drought Stress On Grain Yield And Qualitative Characteristics Of Three Populations of *Lallemantia Royleana Benth*. Iranian Journal Of medicinal And Aromatic Plants. 33(1): 38-25. (In Persian). doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109704

Pourghasemian N and Moradi R. 2017. Assessing Effect of Drought Stress and Ascorbic Acid Application On Some Growth And Bio-Chemical Parameters Of Marigold (*Calendula Officinalis L*). Journal of Plant Process and Function.6(19):77.88. (In Persian). DOR:20.1001.1.23222727.1396.6.19.5.3

Ramos, S. J., Faguin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Avila, F. W., Carvalho, G. S., Bastos, C. E. A. and Oliveira, C. (2010) Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. Journal of Plant and Soil Environment. 12: 584 -588. DOI: 10.17221/113/2010-PSE

Rebey IB, Jabri-Karoui I, Hamrouni-Sellami I, Bourgou S, Limam F and Marzouk B (2012) Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (***Cuminum cyminum*** L.) seeds. Journal of Industrial Crop and Products. 36: 238-245. DOI:10.1016/j.indcrop.2011.09.013

Reddy AR, Chaitanya KV and Vivekananda M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology, 161: 1189–1202 DOI: 10.1016/j.jplph.2004.01.013.

Rizopoulou S and Diamantoglon S. 1991. Water stress, induced diurnal variation in leaf water relation stomatal conductance, soluble sugar, lipids and essential oil content of *Origanum majorana*. L. Journal of Horticultural Science, 66: 119-125. doi.org/10.1080/00221589.1991.11516133

Safikhani F. 2006. Investigation of physiological aspects of drought resistance in Dragonhead (*Dracocephaalum moldavica* L.). Ph.D. Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz, Ramin Higher Education Agriculture and Natural Resources. Journal of Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture), 41(4), Winter, 2019.(In Persian). DOI:10.22077/escs.2018.1363.1286

Sakihama, Y., Cohen M. F., Grace, S. C. and Yamasaki, H. 2002. Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-induced oxidative damage mediated by metals. Journal of Toxicology. 177: 67-80. DOI: 10.1016/s0300-483x(02)00196-8

Seppanen M, Turakainen M and Hartikainen H. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. Journal of Plant Science, 165: 311-319. DOI:10.1016/S0168-9452(03)00085-2

Seyfzadeh S, Norouzi J, Eradatmand-Asli D, Zakerin HR, Ismail HM, Ismail-Hadidi M. 2021. Effect of Nitrogen Fertilizer Splitting on Eco-Physiological Traits of Two Maize Cultivars under Normal Irrigation and Stress. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science. 32 (1):115-132. (In Persian).DOI: 10.22034/SAPS.2021.44340.2627

Sun HW, Ha J, Liang SX and Kang WJ, 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis 41: 1195–1204. doi.org/10.1080/00103621003721395

Tognon, G. B., Sanmartın, C., Alcolea, V., Cuque, F. L. and Goicoechea, N. (2016) Mycorrhizal inoculation and/or selenium application affect postharvest performance of snapdragon flowers. Journal of Plant Growth Regulation 78: 389 -400. DOI:10.1007/s10725-015-0100-8

Taiz L and Zeiger E. 2006. Plant Physiology, 4th Ed., Journal of Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts. 690 pages.

Van Iersel, M. W. and Nemali, K. S. (2004) Drought stress can produce small but not compact marigolds. Journal of Horticultural Science 39:1298 -1301. DOI:10.21273/HORTSCI.39.6.1298

Vikhreva, V.A., T.I. Balakhnina and V.K. Gins, 2002. Effect of selenium on intensity of peroxide processes and enzyme activity in Caucasian goat's rue leaves under extreme growing condition. Journal of Russian Agricultural Sciences5, 58-62. doi.org/10.21273/HORTSCI.39.6.1298

Volkmar, K., Hu, Y. and Steppuhn, H. (1998) Physiological responses of plants to salinity: A review. Canadian Journal of Plant Science. 78: 19 -27. DOI:10.4141/P97-020

Wang Y, Luo Z, Huang X, Yang K, Gao S and Du R. 2014. Effect of exogenous γ-aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. Journal of Scientia Horticulturae, 168: 132-137. DOI:10.1016/j.scienta.2014.01.022

Waseem M, Ali A, Tahir M, Nadeem MA, Ayub M, Tanveer A, Ahmad R and Hussain M. 2011. Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. Continental Journal of Agricultural Science, 5(1): 10-25. http://www.wiloludjournal.com

Yao X, Chu J and Ba CJ. 2009. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. Biological Trace Element Research, 130(3): 283-290. DOI: 10.1007/s12011-009-8328-7

Yildiz-Aktas L, Turkyilmaz B, Akca H and Parlak S.2007. Role of abscisic acid and proline treatment on induction of antioxidant enzyme activities and drought tolerance responses of *Laurus nobilis* L. seedlings. Fen Bilimleri Dergisi, 28: 14-27. https://www.researchgate.net/publication/238690978

Ying Ma M Dias C and Freitas H. 2020. Drought and Salinity Stress Responses and Microbe-Induced Tolerance in Plants. Front. Plant Sci. 11:591911. doi.org/10.3389/fpls.2020.591911

Zangani E, Zehtab-Salmasi S, Andalibi B and Zamani AA. 2017. Effects of Methyl Jasmonate and Salt Stress on Physiological and Phytochemical Characteristics Of Peppermint (*Mentha Piperita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.3(4): 636-648. (InPersian).doi.org/10.22092/ijmapr.2017.107594.1848

Zhu YG, Pilon-Smits EAH, Zhao FJ, Williams PN and Meharg AA. 2009. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. Trends in Plant Science, 14 (8): 436-442. doi:10.1016/j.tplants.2009.06.006

Zhang Z, Gao S and Shan C, 2014. Effects of sodium selenite on the antioxidant capacity and the fruit yield and quality of strawberry under cadmium stress. Journal of Scientia Horticulturae. 260: 108876. DOI:10.1016/j.scienta.2019.108876

Zobayed SMA, Afreen F and Kozai T. 2005. Temperature stress can alter the photosynthetic alterations in essential oil content and composition of sweet basil. Journal of Essential Oil Research, 4(1): 71-75. DOI:10.1016/j.plaphy.2005.07.013

Zobayed SMA, Afreen F and Kozai T. 2007. Phytochemical and physiological changes in the leaves of St. John's wort plants under a water stress condition. Environmental and Experimental Botany, 59(2): 109-116. DOI:10.1016/j.envexpbot.2005.10.002

Zou GH, Liu, HY, Mei, HW, Liu GL, Yu, XQ, Li, MS, Wu, JH, Chen, L and Luo, LJ . 2007. Screening for Drought resistance of rice recombinant inbred pulations in the field. Journal of Integrative Plant Biol, 49: 1508- 1516. doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00560.x

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 173-188

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

The Effect of Different Nutrient Solutions on the Qualitative and Physiological Characteristics of two Pepper cultivars

Jaber Panahandeh[1]*, Rana Ohebbi Mayan[2], , Sahebali Bolandnazar[1], Mina Amani[3], Zahra Dadashian[2]

Received: 02 February 2023	Accepted: 09 November 2023

1, 4- Former graduate student, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2-Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3-PhD Student in Production and Post-Harvest Physiology of Medicinal Plants, Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: panahandeh@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background & Objective: The aim of this study was to evaluation of the effect of different nutrient solutions on the phsyological characteristics and fruit yield and quality of pepper for chosing and advaising the suitable nutrient solution for hydroponically growing of pepper plant plant.

Materials & Methods: In this experiment, the effect of four nutrient solutions (Hoagland 1, Hoagland 2, England and Knop) on the fruit yield and quality were evaluated. The experiment was carried out as a factorial based on randomized compelet block with three replication, in which the first factor was the four nutrient solutions and the second was the two pepper cultivars (Dimaz and California wonder). Traits related to physiological characteristics (chlorophyll index, leaf nitrogen, phosphorus and potassium content) and pepper fruit characteristics (fruit length and diameter, TSS, EC, titratable acidity and vitamin C) were assesed.

Results: According to the results, Dimaz cultivar has the highest fruit total soluble solids (TSS) and pH. The highest chlorophyll index (49.5 spad units) was obtained in Hoagland 1 nutrient solution. The interaction of nutrient solution and cultivars on leaf nitrogen concentration was significant, so that the highest amount of nitrogen obtained in the combination of Dimaz variety with Hoagland 1 (3.2 mg/g DLW) and Hoagland 2 (1.3 mg/g DLW) and Californiawander cultivar with Hoagland 2 (3.15 mg/g DLW). The highest concentration of leaf phosphorus were observed in treatment combination of Hoagland I with Californiawander cultivar (1.9 mg/g DLW) and the English nutrient solution with the Dimaz cultivrs (1.85 mg/g DLW).

Conclusion: According to the results, England nutrient solution with a favorable effect on some qualitative characteristics was introduced as the most suitable nutrient solution for pepper cultivation in our experiment.

Keywords: Chlorophyll Index, Hoagland, NPK Elements, Soluble Solids

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Jaber Panahandeh E-mail: panahandeh@tabrizu.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.55214.2988

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۸۸-۱۷۳

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

تأثیر محلول‌های غذایی مختلف بر روی خصوصیات کیفی و فیزیولوژیکی دو رقم فلفل

رعنا احبی مایان[۱]، جابر پناهنده ینگجه*[۲]، صاحبعلی بلندنظر[۲]، مینا امانی[۳]، زهرا داداشیان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۳	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۸

۱-دانش آموخته دانشگاه تبریز، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲-استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳-دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان دارویی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۴- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: panahandeh@tabrizu.ac.ir

چکیده

اهداف: هدف از پژوهش بررسی محلول‌های غذایی مناسب برای حصول کیفیت مناسب و خصوصیات فیزیولوژی مناسب می‌باشد. لذا در این پژوهش تأثیر محلول‌های غذایی مختلف بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و همچنین خصوصیات کیفی دو رقم فلفل (دیماز و کالیفرنیاواندر) تحت شرایط هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این آزمایش، تأثیر چهار نوع محلول غذایی (هوگلند ۱، هوگلند ۲، انگلستان و ناپ) در سه تکرار روی دو رقم (دیماز و کالیفرنیاواندر) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۵-۹۶ در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز مورد بررسی قرار گرفت. صفات مرتبط با خصوصیات فیزیولوژیک (شاخص کلروفیل، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ) و صفات کیفی میوه فلفل (طول و قطر میوه، مواد جامد محلول، EC میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون و ویتامین ث) مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: باتوجه‌به نتایج می‌توان گفت که رقم دیماز بیشترین مواد جامد محلول کل و pH را به خود اختصاص داد. بیشترین شاخص کلروفیل (۴۹/۵ واحد اسپد) در تیمار هوگلند ۱ به‌دست آمد. تأثیر تیمارها و ارقام بر غلظت نیتروژن برگ معنی‌دار شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان نیتروژن به‌ترتیب در ترکیب تیماری رقم دیماز با هوگلند ۱ (۳/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) و هوگلند ۲ (۳/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) و رقم کالیفرنیاواندر با هوگلند ۲ (۳/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) مشاهده شد. غلظت فسفر برگ نیز به‌ترتیب برای محلول غذایی هوگلند ۱ در رقم کالیفرنیاواندر (۱/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) و محلول غذایی انگلستان در رقم دیماز (۱/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: باتوجه‌به نتایج، محلول غذایی انگلستان با تأثیر مطلوب بر روی برخی خصوصیات کیفی به‌عنوان مناسب-ترین محلول غذایی برای کشت و پرورش فلفل در این آزمایش معرفی شد.

واژه های کلیدی: شاخص کلروفیل، عناصر NPK، مواد جامد محلول، هوگلند

مقدمه

امروزه با رشد جمعیت و محدودیت منابع آب و خاک در کشورها، با ابداع روش‌های جدید جهت تأمین مواد غذایی موردنیاز اقدامات مؤثری انجام می‌پذیرد. به‌طوری‌که درحال حاضر در کشورهای پیشرفته از روش‌های نوین در تولید محصولات کشاورزی

استفاده می‌شود (لوپز-گالوز و همکاران ۲۰۱۴). یکی از روش‌های جدید استفاده از سیستم‌های کشت بدون خاک و استفاده حداقل از منابع آب و نهاده‌های کشاورزی می‌باشد (کامتی و همکاران ۲۰۱۳). در کشور ایران نیز باتوجه‌به محدودیت منابع آب و خاک و شوری اراضی و ریزگردها تغییر الگوی کاشت در کشاورزی امر بسیار مهم و مؤثر می‌باشد (محمدی‌پور و سوری ۲۰۱۹). در کشت هیدروپونیک تهیه محلول غذایی که تأمین‌کننده آب و عناصرغذایی موردنیاز گیاه می‌باشد، حائز اهمیت است (احمدی و سوری ۲۰۲۰). به‌طوری‌که ارائه فرمولاسیون‌ها با واحدهای مختلف و وجود تعداد زیاد محلول‌های غذایی در منابع علمی که ترکیبات آن‌ها اختلافات زیادی باهم دارند انتخاب را برای مصرف‌کنندگان مشکل می‌سازد. با وجود تحقیق مستمر درباره محلول‌های غذایی و باتوجه‌به روند روبه‌رشد صنعت گلخانه‌داری و تولید فرآورده‌های گلخانه‌ای، شناسایی بهترین محلول غذایی برای محصولات خاص ضروری می‌باشد (مولایی و همکاران ۲۰۱۸). از شاخص‌های کلیدی یک محلول غذایی مناسب، تأمین عناصر موردنیاز گیاه است، به گونه‌ای که گیاه با دریافت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در اندازه‌ی بهینه دچار تنش‌های تغذیه‌ای و به‌دنبال آن تنش‌های محیطی نگردد و از همه مهم‌تر به‌صرفه بودن اقتصادی آن است تا بدین‌وسیله بتوان مقبولیت آن را در بین سرمایه‌گذاران فراهم کرد (جونز ۲۰۱۶).

مدیریت تغذیه گیاهان از عوامل کلیدی در تعیین کمیت و کیفیت سبزی‌ها است. تغذیه مناسب گیاه تحت شرایط هیدروپونیک می‌تواند به عملکرد بیشتر و تولید محصولات مرغوب‌تر منجر شود. در بسترهای کشت بدون خاک به‌طور متناوب غلظت عناصر ضروری برای گیاهان به سطح ناکافی برای حفظ رشد مداوم گیاهان می‌رسد. بنابراین بهینه‌سازی غلظت عناصرغذایی برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد و کیفیت این محصولات ضروری است. دستیابی به غلظت مناسب عناصر ضروری در محلول غذایی مورداستفاده در کشت‌های بدون خاک یکی از مهمترین جنبه‌ها برای تولید موفق سبزی‌ها است (آداک ۲۰۱۷). مقدار جذب یون‌ها از محلول غذایی نه‌تنها به غلظت آن-ها در محلول غذایی مرتبط است، بلکه تحت تأثیر نسبت‌های مختلف عنصرهای غذایی نیز قرار دارد (مردانلو و همکاران ۲۰۱۸). سطوح بیش از حد بالای عناصر سبب ایجاد تنش اسمزی، سمیت یونی و عدم تعادل یونی می‌شود و همچنین سطوح بیش‌ازحد پایین عناصر منجربه کمبود عناصرغذایی می‌گردد. در صورت عدم مصرف محلول با غلظت‌های مناسب سبب تحمیل هزینه به تولیدکننده از طریق افزایش مصرف و کاهش کیفیت و کمیت محصول خواهد شد (کیانی ۲۰۱۸). باتوجه‌به اهمیت ترکیب محلول غذایی در تولید اقتصادی محصولات، پژوهش‌های متعددی برای یافتن یک محلول غذایی بهینه برای گیاهان مختلف انجام شده است (توحیدلو و همکاران ۲۰۱۸). فلفل سبز (*Capsicum annum*) از تیره Solanaceae از مهم‌ترین محصولات سبزی و باغی بوده که به‌دلیل ارزش تغذیه-ای، تمایل به مصرف آن در سراسر جهان رو به افزایش است. میوه فلفل سرشار از انواع ویتامین‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هست (محمد ۲۰۱۳). فلفل همچنین یک منبع عالی از رنگ‌های طبیعی به‌خصوص کاروتنوئیدها هست. تلاش‌های متعددی برای برآورد محدوده مطلوب غلظت یونی کل در محلول‌های غذایی برای تولید محصولات گلخانه‌ای صورت گرفته است. میوه‌دهی و تنظیم رابطه مناسب بین رشد رویشی و زایشی در گیاه فلفل یکی از مهم‌ترین موارد مورد ملاحظه در تولید گلخانه‌ای آن می‌باشد که عموماً در ارتباط با دما و تغذیه گیاه است که در این میان عناصر نیتروژن و پتاسیم نقش اساسی دارند (کیم و همکاران ۲۰۱۱). با-توجه‌به گسترش کشت هیدروپونیک فلفل در گلخانه‌ها و با در نظر گرفتن موارد مذکور و نظر به اینکه برای برخی سبزی‌ها نظیر گوجه‌فرنگی محلول‌های غذایی اختصاصی معرفی شده است، ولی در فلفل هنوز محلول غذایی خاصی معرفی نشده است (زکی و همکاران ۲۰۱۳). بنابراین برای حصول به کیفیت مناسب و خصوصیات فیزیولوژی مناسب، لازم است محلول‌های غذایی مهم بررسی شود تا بتوان مناسب-ترین آن‌ها را از لحاظ اقتصادی، تأثیر روی عملکرد و حتی عوامل زیست محیطی انتخاب نمود. لذا در این

پژوهش تأثیر محلول‌های غذایی مختلف بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و همچنین خصوصیات کیفی دو رقم فلفل تحت شرایط هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

زمان و محل اجرای طرح

این آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز واقع در جاده تبریز – باسمنج به‌صورت کشت هیدروپونیک در گلخانه گروه علوم باغبانی در سال ۹۶-۱۳۹۵ به اجرا درآمد. مطالعات آزمایشگاهی نیز در آزمایشگاه‌های ژنتیک و اصلاح سبزی و فیزیولوژی سبزی گروه علوم باغبانی، انجام گرفت.

آماده‌سازی بسترهای کشت و محلول‌های غذایی

آزمایش به‌صورت کشت هیدروپونیک در بستر جامد پرلایت و کوکوپیت صورت گرفت. ۲۴ گلدان در ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی چیده شده و در هر گلدان یک گیاه کشت شد. چهار محلول غذایی رایج در کشت‌های هیدروپونیک، محلول هوگلند یک و دو NS_{Hog}^{-} (Hogland)، محلول غذایی ناپ NS_{Knop}^{-} (Knop)، محلول غذایی انگلستان NS_{UK} (England) به‌عنوان تیمار بر دو رقم فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annum* L. var.californiawonder) و فلفل قلمی (Dimaz) که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شده بود، اعمال شد. محلول‌های غذایی با اضافه‌کردن نمک‌ها به‌مقدار تعیین‌شده در بشکه‌های ۱۰۰ لیتری تهیه شدند. محلول‌رسانی به گیاهان به‌صورت دستی و روزانه صورت گرفت. pH محلول‌های غذایی یا استفاده از اسید فسفریک و اسید نیتریک در محدوده ۶ تنظیم شد. EC محلول‌های غذایی نیز به‌طور مستمر کنترل شده و هر ۱۰ الی ۱۴ روز یک‌بار به‌منظور اجتناب از تجمع نمک، آبشویی بستر کشت صورت گرفت. برای ممانعت از رشد جلبک و رسیدن نور به محلول غذایی از پوشش‌های نایلونی تیره بر روی بشکه‌های حاوی محلول غذایی استفاده شد.

آماده‌سازی بذور، کشت و شرایط محیطی گلخانه

ابتدا بذور هر دو رقم برای تولید نشاء در سینی-های کشت در بستر مخلوط پرلایت با کوکوپیت (با نسبت ۱ به ۱) کشت شد. نشاها در مرحله ۴-۳ برگ حقیقی به گلدان‌های اصلی انتقال داده شدند.

اندازه‌گیری صفات مورد بررسی

شاخص کلروفیل برگ

برای اندازه‌گیری کلروفیل از دستگاه کلروفیل‌سنج مدل SPAD-502 استفاده شد و در ۳ مرحله کلروفیل برگ‌ها اندازه‌گیری شد. برگ‌های بالغ و جوان به‌صورت تصادفی انتخاب و در هر تیمار از ۱۰ برگ اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها محاسبه شد.

اندازه‌گیری طول و قطر میوه

در ۳ مرحله برداشت از میوه‌های رسیده، برداشت شده و طول و قطر آن‌ها توسط کولیس دیجیتالی و طول آن‌ها با سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها ثبت گردید.

اندازه‌گیری مواد جامد محلول

در این آزمایش به‌منظور اندازه‌گیری درصد ماده جامد محلول فلفل از دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی استفاده شد. میوه‌ها بلافاصله پس از برداشت، در داخل یک پارچه توری تمیز پیچیده شده و با فشار دستگاه خردکن چند قطره عصاره از میوه روی دستگاه قرار گرفته و میزان مواد جامد محلول آن‌ها قرائت شد.

اندازه‌گیری pH و EC میوه

برای این منظور ۱۰ گرم نمونه‌تر میوه پس از توزین کاملاً له شد. در هر تکرار دو میوه و گوشت دو میوه باهم مخلوط شده و سپس با آب مقطر به نسبت ۱ به ۵۰ رقیق شد، سپس pH با استفاده از pH متر و EC با استفاده از EC متر اندازه‌گیری شد (طباطبایی ۲۰۰۸).

اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون

برای تیتراسیون حدود ۱۰ گرم از گوشت له‌شده آبدار میوه به ارلن مایر منتقل شد. سپس ۹۰ میلی‌لیتر

آب مقطر اضافه شد تا حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر برسد. این محلول را کاملاً هم‌زده و چند قطره فنل‌فتالئین به آن اضافه شد. سپس ۵۰ میلی‌لیتر از آن را برداشته و به بشر ریخته و محلول هیدروکسید ۰/۱ نرمال را به بورت اضافه کرده و ارلن مایر را زیر بورت قرار داده و به‌تدریج شیر آن باز شده و زمانی‌که رنگ صورتی ظاهر و چند ثانیه دوام آورد، محلول تیتره شده است (طباطبایی ۲۰۰۸). در نهایت میزان اسیدیته میوه فلفل با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

رابطه [۱] $\frac{D \times 0.64 \times C}{a \times b}$ = درصد اسیدیته کل

که در آن a= وزن نمونه (۱۰ گرم)، b= حجم اولیه (۱۰۰ میلی‌لیتر)، C= حجم نمونه برداشت شده برای تیتراسیون (۵۰ میلی‌لیتر)، D= حجم هیدروکسید سدیم مصرف شده (کاهش حجم بورت).

اندازه‌گیری ویتامین ث میوه‌ها

اندازه‌گیری ویتامین ث به روش تیتراسیون با محلول رنگی ۲ و ۶- دی‌کلروفنل ایندوفنل انجام پذیرفت. در این روش، اسیدآسکوربیک، معرف رنگی ۲ و ۶ دی‌کلروفنل ایندوفنل را به یک محلول بی‌رنگ، احیا می‌کند و در پایان واکنش، محلول احیا شده در محیط اسیدی به رنگ صورتی درمی‌آید. برای این‌کار، ۳۰ گرم اسید متافسفریک در ۸۰ میلی‌لیتر اسید استیک و ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ضمن هم‌زدن بر روی استینر حل گردیده و در بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتر به حجم رسید. در مرحله دوم ۲۰۰ میلی‌گرم اسید L–آسکوربیک در ۱۰ میلی‌لیتر از محلول یدومتافسفریک– اسید استیک حل گردیده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد، سپس یک میلی‌لیتر از این محلول برداشته شده و با آب مقطر در بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر به حجم رسید، محلول حاصل حاوی دو میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ میلی‌لیتر بوده و از آن به‌عنوان محلول استاندارد استفاده شد (محلول A). در مرحله بعد، ۸۰۰ میلی‌گرم از ماده رنگی ۲ و ۶ دی‌کلروفنل ایندوفنل در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شده و به آن ۰/۵۲۵ گرم بی‌کربنات سدیم اضافه و سپس به حجم یک لیتر رسانده شد. این محلول می‌بایست در یک بطری تیره و در یخچال نگهداری و طی مدت ۷ روز مصرف گردد. سپس داخل بورت از محلول رنگی ریخته، سپس ۵ میلی‌لیتر از محلول A را برداشته و به یک بشر کوچک منتقل نموده و آن را روی همزن با محلول رنگی تیتر کرده، ابتدا رنگ آبی محلول رنگی، توسط اسید آسکوربیک بی‌رنگ شده و سپس به رنگ صورتی درمی‌آید، تشکیل رنگ صورتی باید برای ۱۵ ثانیه پایدار بماند، حجم محلول رنگی مصرفی برای تیتر کردن را یادداشت شد (B). اگر آزمایش بیشتر از یک روز به طول بیانجامد، می‌بایست استاندارد کردن اسید آسکوربیک به‌طور روزانه انجام گیرد، زیرا این محلول ناپایدار است. سپس ۱۰ گرم فلفل را توزین و در داخل مخلوط‌کن برقی به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول یدومتافسفریک اسید خرد و مخلوط شد. مخلوط حاصل را در بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر از کاغذ صافی عبور داده و مخلوط‌کن را نیز با محلول یدومتافسفریک اسید شستشو داده و پس از عبور از کاغذ صافی به محلول صاف شده اضافه شد، در نهایت حجم این محلول را با یدومتافسفریک اسید به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در مرحله آخر ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره فلفل را برداشته و در ارلن مایر ریخته و به آن ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس حین به هم‌زدن، عمل تیتراسیون با محلول رنگی ۲ و ۶- دی‌کلروفنل ایندوفنل انجام گرفته و حجم محلول رنگی یادداشت شد (رانگانا ۱۹۸۶). سپس میزان ویتامین ث از رابطه ۲ به دست آمد:

رابطه [۲] $P = \frac{C}{B} \times \frac{1}{10}$

P= میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰ میلی‌لیتر عصاره، C= حجم محلول رنگی مصرفی برای عصاره نمونه (میلی‌لیتر)، B= حجم محلول رنگی مصرفی برای اسید آسکوربیک استاندارد (میلی‌لیتر)، با ضرب مقدار به‌دست آمده برای P در عدد ۱۲۵۰، غلظت ویتامین ث فلفل برحسب PPM به‌دست آمد.

اندازه‌گیری غلظت عناصر

- اندازه‌گیری نیتروژن

نیتروژن بافت گیاهی با استفاده از روش کجلدال اندازه‌گیری شد که شامل ۳ مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون می‌باشد. در مرحله هضم نمونه‌ها، مقدار

۰/۵ گرم ماده خشک گیاه در لوله‌های مخصوص هضم ریخته شد و ۰/۵ گرم از مخلوط سولفات‌ها به‌عنوان کاتالیزور به ماده خشک گیاهی افزوده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ (۰/۹۸) روی نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها بر روی بلوک هضم منتقل شده و دما به‌تدریج در طول یک ساعت تا ۲۰۰ درجه سانتی-گراد افزایش یافت. در پایان عمل هضم، عصاره به رنگ سبز روشن خواهد بود. در مرحله تقطیر ۵۰ میلی‌لیتر عصاره حاصل از هضم، داخل بالن دستگاه کجلدال ریخته و روی آن ۱۰ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم اضافه شد. زمانی مرحله تقطیر پایان یافت که محلول اسید بوریک از رنگ صورتی به رنگ سبز تغییر یافت. در مرحله تیتراسیون محلول به‌دست آمده با استفاده از اسیدکلریدریک ۰/۰۱ نرمال تیتر شد. انتهای تیترکردن رنگ محلول از سبز به‌صورتی تغییر یافت. سپس با استفاده از رابطه ۳ مقدار نیتروژن بر حسب میلی‌گرم در گرم محاسبه گردید (جونز ۲۰۰۱).

رابطه [۳] $$\text{نیتروژن (گرم در میلی گرم)} = \frac{\text{حجم اسید مصرفی} \times \text{نرمالیته اسید} \times 14 \times \text{حجم اولیه}}{\text{حجم نمونه تیتر شده} \times \text{وزن ماده خشک هضم شده}}$$

- اندازه‌گیری فسفر

برای اندازه‌گیری فسفر، یون‌های ارتوفسفات در محیط اسیدی با محلول وانادات – مولیبدات کمپلکس زرد رنگ فسفووانادومولیبدات را تشکیل می‌دهد که حداکثر جذب را در طول موج ۴۳۰ نانومتر نشان می-دهند. برای تهیه استاندارد اصلی فسفر، مقدار ۰/۴۴ گرم دی هیدروژن پتاسیم فسفات (KH_2PO_4) که ۱۲ ساعت در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده در آب حل شد و به حجم یک لیتر رسانده می‌شود. برای تهیه معرف نیتروانادات و مولیبدات، ابتدا ۴/۵ گرم از آمونیوم هپتامولیبدات در ۸۰ میلی‌لیتر آب گرم حل می-شود همزمان ۰/۲۵ گرم آمونیوم وانادات نیز در ۶۰ میلی‌لیتر آب جوش حل می‌گردد و سپس این دو محلول به یکدیگر اضافه شده و پس از خنک شدن ۵۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن اضافه می‌شود و نهایتاً حجم نهایی این محلول با آب مقطر به ۲۰۰ میلی‌لیتر رسانده می‌شوند. سپس برای اندازه‌گیری فسفر ابتدا نمونه‌ها در لوله‌های آزمایش به مقدار دو میلی‌لیتر عصاره حاصل از هضم، ۲ میلی‌لیتر معرف نیتروواناداومولیبدات و ۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شده و پس از گذشت یک ساعت و تشکیل کمپلکس زرد رنگ، مقدار جذب محلول‌ها در طول‌موج ۴۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری می‌شود. درنهایت غلظت به‌دست آمده به‌صورت غلظت در ماده خشک گیاهی محاسبه و مورد تجزیه آماری قرار می-گیرد (جونز ۲۰۰۱).

- اندازه‌گیری پتاسیم

برای اندازه‌گیری پتاسیم به روش نشر شعله‌ای، عصاره گیاه توسط شعله پروپان و هوا به‌صورت بخار درمی‌آید در اثر حرارت ترکیبات پتاسیم به صورت اتم درمی‌آیند و برانگیخته می‌شوند. اتم‌های تحریک شده تشعشعات نوری ایجاد می‌کنند که در طول موج ۷۶۶/۵ نانومتر اندازه‌گیری می‌شوند. میزان پتاسیم موجود در نمونه‌های گیاهی توسط دستگاه Flame Photometer410 خوانده شد و در نهایت عدد قرائت شده به‌صورت غلظت در ماده خشک گیاهی محاسبه و مورد تجزیه آماری قرار گرفت (جونز ۲۰۰۱).

تجزیه‌های آماری

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام گرفت. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری-های فوق با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه واریانس و میانگین‌های به‌دست آمده با آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) مقایسه شدند. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Microsoft office Excel 2010 رسم گردید.

نتایج و بحث

اثر رقم و محلول غذایی بر خصوصیات فیزیولوژیکی فلفل

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده محلول بر صفات فیزیولوژیکی فلفل نشان

داد که نوع محلول غذایی بر شاخص کلروفیل برگ در زمان گلدهی در سطح احتمال ۵ درصد، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشته است، ولی روی شاخص کلروفیل در زمان میوه‌دهی معنی‌دار نبوده است. همچنین نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده رقم بر صفات فیزیولوژیکی فلفل نشان داد که نوع محلول غذایی بر شاخص کلروفیل برگ در زمان گلدهی و میوه‌دهی و غلظت فسفر غیرمعنی‌دار و بر غلظت پتاسیم و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشته است. اثر متقابل رقم در محلول غذایی بر غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر در سطح احتمال یک درصد و بر صفات کلروفیل برگ در زمان گلدهی و میوه‌دهی غیرمعنی‌دار بوده است (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر رقم و محلول بر صفات فیزیولوژیکی فلفل

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	کلروفیل برگ (گلدهی)	کلروفیل برگ (میوه‌دهی)
رقم	۱	۰/۳۹۱**	۵۶/۶۴**	۰/۰۳۴ns	۵/۴۱ ns	۱۰/۲۷ns
محلول	۳	۰/۱۹۵**	۱۶/۸۸**	۰/۱۸۳**	۱۹/۱۰*	۱۸/۱۳ns
رقم × محلول	۳	۰/۱۰۵**	۱۳/۸۹**	۰/۲۱۱**	۳/۶۵ ns	۲۸/۷۸ ns
بلوک (تکرار)	۲	۰/۰۲۷ns	۰/۰۷ns	۰/۰۲۸ns	۱۹/۹۰ns	۲۴/۵۰ns
خطای آزمایش	۱۴	۰/۰۱۶	۰/۰۳	۰/۰۱۵	۶/۰۵	۱۸/۲۹

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری است.

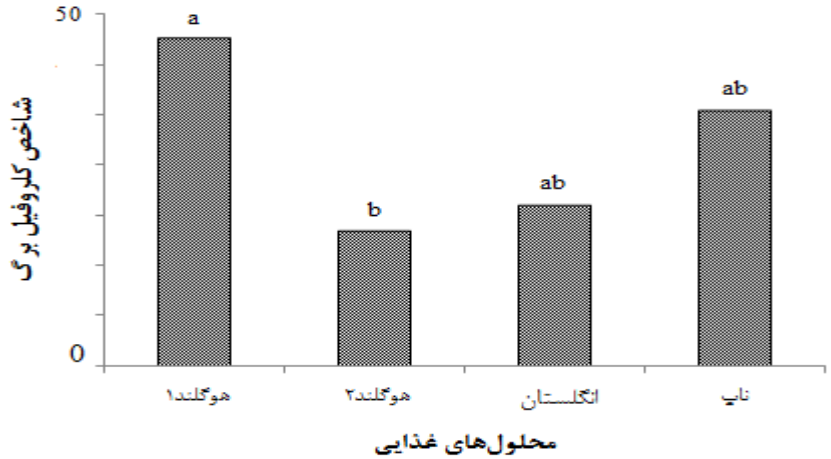
شاخص کلروفیل

باتوجه‌به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) مشخص می‌شود که اثر محلول در سطح احتمال ۵ درصد بر شاخص کلروفیل در زمان گل‌دهی معنی‌دار بوده است. ولی اثر رقم و همچنین اثر متقابل بین رقم و محلول تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل در مرحله گلدهی نداشته است. هیچکدام از اثرات ساده رقم و محلول و اثر متقابل بین رقم و محلول بر شاخص کلروفیل برگ در زمان میوه‌دهی معنی‌دار نبودند. بیش‌ترین میزان کلروفیل برگ در محلول غذایی هوگلند یک (۴۹/۵ واحد اسپد) و کمترین شاخص کلروفیل در محلول غذایی هوگلند دو (۴۵/۸ واحد اسپد) مشاهده شد (شکل ۱). این یافته‌ها با نتایج سیدریس و یانگ (۱۹۴۷) و اثرات نیتروژن به‌عنوان جزء تشکیل‌دهنده کلروفیل در گیاهان مطابقت دارد. نورسیدا و کوجیما (۲۰۰۵) نشان دادند که محتوای کلروفیل برگ در دانهال‌های تغذیه شده با نیترات در مقایسه با تغذیه آمونیومی پایین‌تر است. طبق نظر آن‌ها در استفاده از کودهای نیترات به‌عنوان منبع نیتروژن، جذب کم نیترات به‌علت ناتوانی در آسیمیله کردن آن، احتمالاً دلیل پایین بودن محتوای کلروفیل هست. همچنین ییلدیریم و همکاران (۲۰۰۷) به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی اوره باعث افزایش کلروفیل در کلم بروکلی می‌شود. بنا بر گزارش لهر و همکاران (۱۹۶۲) نیتروژن یکی از فاکتورهای مؤثر در تشکیل کلروفیل است و این تأثیر می‌تواند به نوع کود نیتروژن نیز مربوط باشد. پرسا و همکاران (۲۰۰۷) نیتروژن را در افزایش محتوای کلروفیل برگ مؤثر دانستند. ماندال و همکاران (۲۰۰۷) گزارش دادند که محتوای کلروفیل برگ توسط تیمارهای نیتروژن افزایش می‌یابد.

غلظت نیتروژن برگ

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) هر سه اثر ساده رقم و اثر ساده محلول و اثر متقابل بین رقم و محلول در سطح احتمال ۱ درصد بر غلظت نیتروژن برگ معنی‌دار می‌باشند. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و محلول بر میزان نیتروژن برگ (شکل ۲) نشان داد که بیش‌ترین میزان نیتروژن در ترکیب تیماری رقم دیماز با هوگلند ۱ (۳/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) و ۲ و رقم کالیفرنیاواندر با هوگلند ۲ (۳/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن

خشک برگ) مشاهده شد، ولی نسبت به هم دارای اختلاف معنی‌داری نداشتند و کمترین میزان نیتروژن برگ نیز در ترکیب‌های تیماری رقم کالیفرنیاواندر با هوگلند ۱، انگلستان و ناپ مشاهده شد. هوستید و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که افزایش نیتروژن در محلول غذایی و اضافه کردن به محیط کشت باعث افزایش فرم‌های آلی نظیر آمیدها و در نتیجه افزایش غلظت نیتروژن در گیاه می‌شود.



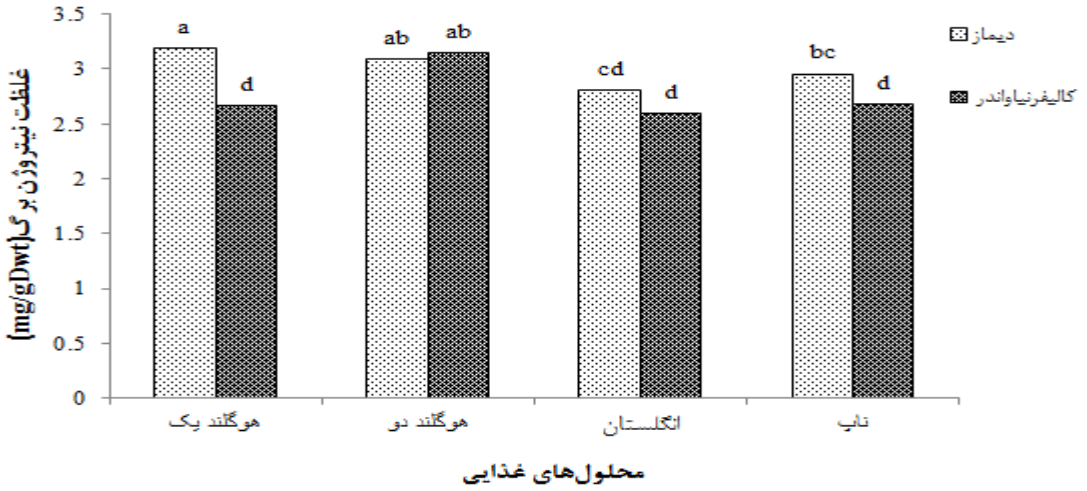
شکل ۱- میانگین اثر محلول غذایی روی شاخص کلروفیل برگ (گل‌دهی)

غلظت فسفر برگ

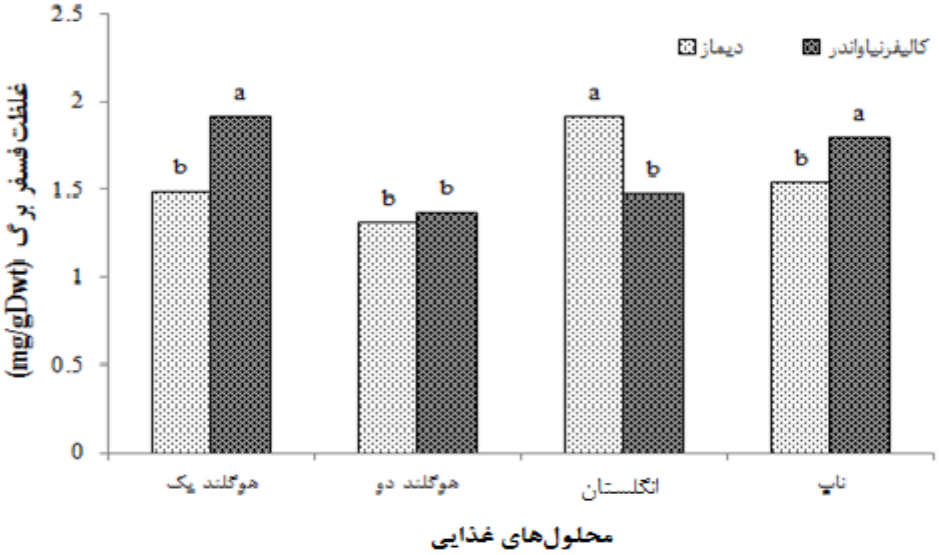
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر ساده محلول غذایی و اثر متقابل بین رقم و محلول غذایی در سطح احتمال ۱ درصد بر غلظت فسفر برگ فلفل معنی‌دار بود، ولی اثر ساده رقم بر غلظت فسفر برگ فلفل معنی‌دار نشد. بیشترین غظلت فسفر برگ در محلول‌های غذایی هوگلند ۱ در رقم کالیفرنیاواندر (۱/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) و محلول غذایی انگلستان در رقم دیماز (۱/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) مشاهده شد (شکل ۳). پس از نیتروژن، فسفر مهمترین عنصر غذایی موردنیاز گیاه است و گیاهان برای ساختن بسیاری از ترکیبات آلی مانند اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها، فسفوپروتئین‌ها و کوآنزیم‌ها، همچنین برای جذب و انتقال انرژی شیمیایی و سوخت و ساز حیاتی به عنصر فسفر نیاز دارند. غلظت فسفر معدنی در برگ بر روی فتوسنتز اثر می‌گذارد، غلظت کمتر فسفات معدنی سیتوسول ممکن است اثر منفی روی چرخه کالوین و یا آنزیم‌های موردنیاز و سطح فعالیت آن‌ها داشته باشد. در آزمایشات مختلف مشخص شده است که کمبود فسفر کارایی فتوسنتز را در محصولات باغی و زراعی کاهش می‌دهد (ویسووا ۲۰۰۵). در گیاهان کمبود فسفر رشد ریشه و برگ و عملکرد همچنین رسیدگی را به تأخیر می‌اندازد (اوجالا ۱۹۸۳). کمبود فسفر به شدت در میزان رشد گیاهان اثرات منفی داشته و تشکیل گل، میوه، بذر و کیفیت آن‌ها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (کوچکی و همکاران ۲۰۰۸).

غلظت پتاسیم برگ

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نتیجه‌گیری می‌شود که هر سه اثر ساده رقم و اثر ساده محلول و اثر متقابل بین رقم و محلول در سطح احتمال ۱ درصد بر غلظت پتاسیم برگ معنی‌دار است. مقایسه میانگین تیمارها (شکل ۴) نشان داد که دو ترکیب تیماری رقم کالیفرنیاواندر با محلول هوگلند ۱ (۷/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) و هوگلند ۲ (۷/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) بیش‌ترین میزان پتاسیم را در برگ‌های خود داشتند. پتاسیم در سرعت بخشیدن به فرآیند فتوسنتتیک کلروپلاست برگ‌های

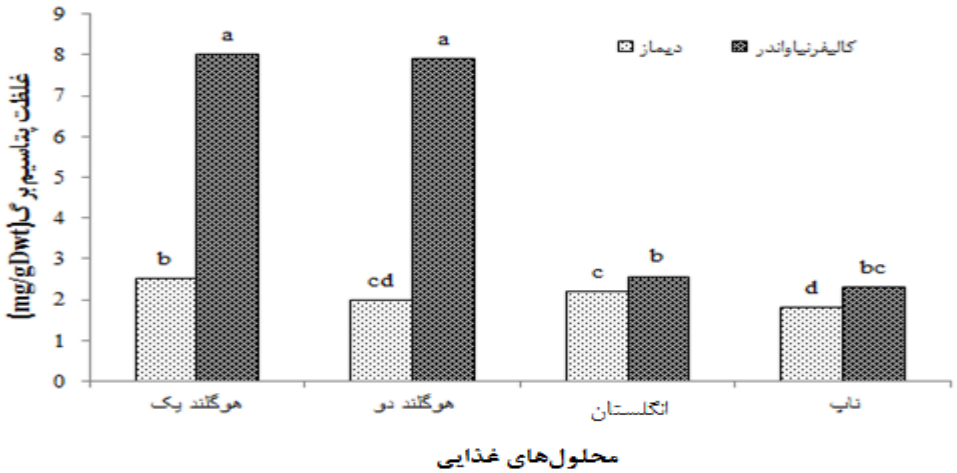


شکل ۲- میانگین ترکیبات تیماری محلول غذایی در رقم برای غلظت نیتروژن برگ فلفل



شکل ۳- میانگین ترکیبات تیماری رقم در محلول غذایی برای غلظت فسفر برگ فلفل

گیاهان نقش مهمی ایفا کرده و موجب نقل و انتقال سریع‌تر فرآورده‌های فتوسنتزی از طریق آوندهای آبکش به اندام‌های ذخیره می‌گردد (مارشنر ۱۹۹۵) و این خود موجب افزایش عملکرد و کیفیت محصول می‌گردد. با بررسی غلظت پتاسیم محلول‌های غذایی مورد مطالعه در این آزمایش می‌توان دریافت که بیش‌ترین عملکرد به محلول‌های غذایی دارای بیش‌ترین غلظت پتاسیم اختصاص دارد (میزان پتاسیم محلول‌های غذایی هوگلند ۱، هوگلند ۲ و انگلستان و ناپ به‌ترتیب برابر ۲۴۲، ۲۵۴، ۲۸۵ و ۱۷۰ میلی‌گرم بر لیتر است). به‌نظر می‌رسد که هر چقدر غلظت پتاسیم در محلول غذایی بیشتر باشد جذب آن نیز بیشتر صورت می‌گیرد. به‌طوری که محلول غذایی ناپ که کمترین میزان پتاسیم را داراست کمترین میزان پتاسیم برگی را ایجاد کرد.



شکل ۴- میانگین ترکیبات تیماری رقم در محلول غذایی برای غلظت پتاسیم برگ فلفل

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر رقم و محلول بر صفات کیفی فلفل

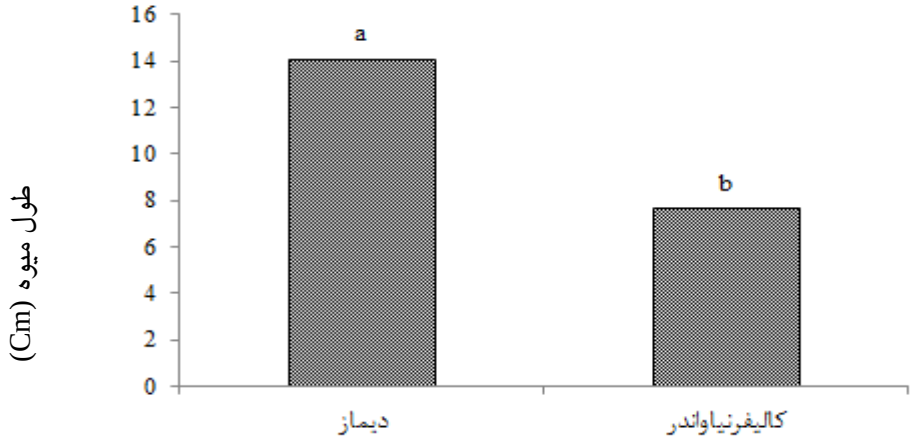
منابع تغییر	درجه آزادی	درصد مواد جامد محلول	اسیدیته کل	pH	EC	ویتامین ث	طول میوه	قطر میوه
رقم	۱	۴/۶۹**	۰/۰۰۰۱۵**	۰/۲۱**	۰/۱۸۵**	۴۲۲۶/۷۶ ns	۲۴۸/۱۹**	۱۰۱۴۳/۴۸**
محلول	۳	۰/۰۵ ns	۰/۰۰۰۷۲**	۰/۰۰۳۵ ns	۰/۰۱۶**	۸۹۳۹/۲۸ *	۰/۹۵ ns	۱۷/۶۳ *
رقم×محلول	۳	۰/۳۵ ns	۰/۰۰۰۳۳ **	۰/۰۲۲ ns	۰/۰۳۷**	۱۳۵۲۶/۲۸**	۱/۷۱ ns	۱۷/۷۴ *
بلوک (تکرار)	۲	۰/۰۹ ns	۰/۰۰۰۲۶ ns	۰/۰۳۶ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۱۵۸۵/۹۴ ns	۰/۶۲ ns	۶/۷۷ ns
خطای	۱۴	۰/۱۵۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱۳	۶/۲۲	۱/۲۰	۵/۶۴

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری می باشد.

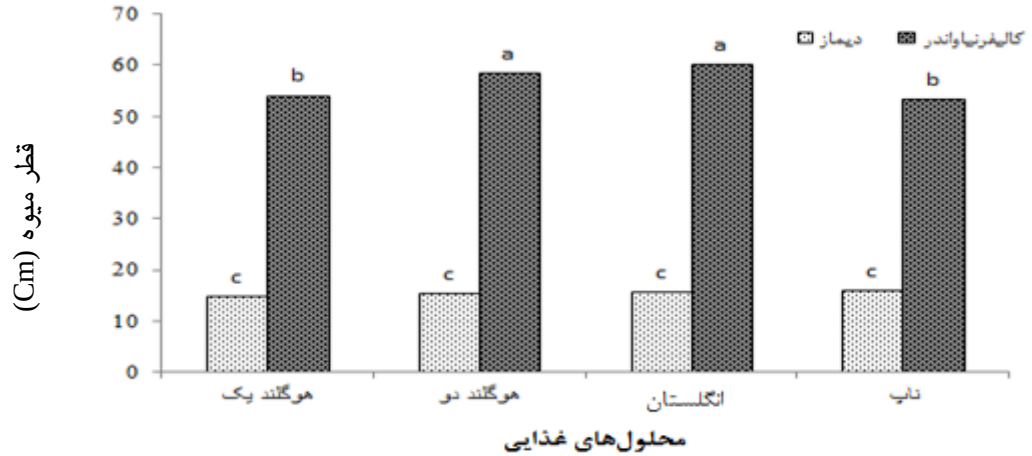
اثر رقم و محلول غذایی بر خصوصیات کیفی فلفل

طول و قطر میوه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر ساده رقم بر طول میوه فلفل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، ولی اثر ساده محلول و اثر متقابل بین رقم و محلول بر طول میوه معنی‌دار نشد. بیش‌ترین طول میوه در رقم دیماز (۱۴ سانتی‌متر) مشاهده شد (شکل ۵). نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر ساده رقم بر قطر میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار هست و اثر ساده محلول و اثر متقابل بین رقم و محلول بر قطر میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. با نگاهی به نمودار مقایسه میانگین بین تیمارها (شکل ۶) مشخص می‌گردد بیش‌ترین قطر فلفل در ترکیب تیماری رقم کالیفرنیاواندر (۵۹ میلی‌متر) و محلول انگلستان (۶۱ میلی‌متر) و کم‌ترین قطر میوه در ترکیب تیماری رقم دیماز و محلول هوگلند یک (۱۴ میلی‌متر) می‌باشد. آلونی و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند افزایش مقدار آمونیوم در محلول غذایی باعث افزایش طول و قطر میوه در فلفل و تولید میوه‌های پهن می‌شود. ال-آ و فاتین (۲۰۰۹) بیان کردند که افزایش تیمار کود اوره باعث افزایش قطر میوه فلفل شیرین می‌شود. ممکن است این عامل به خاطر افزایش سنتز اسیدآمینه‌ها و افزایش تقسیم سلولی و رشد گیاه می‌باشد که این خود متضمن مصرف کود نیتروژن مانند اوره می‌باشد.



شکل ۵- میانگین اثر رقم بر طول میوه فلفل

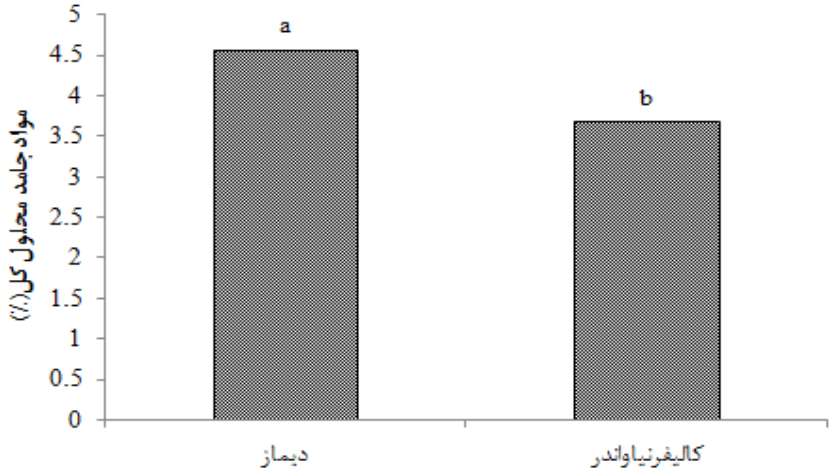


شکل ۶- میانگین ترکیبات تیماری محلول غذایی در رقم برای قطر میوه فلفل

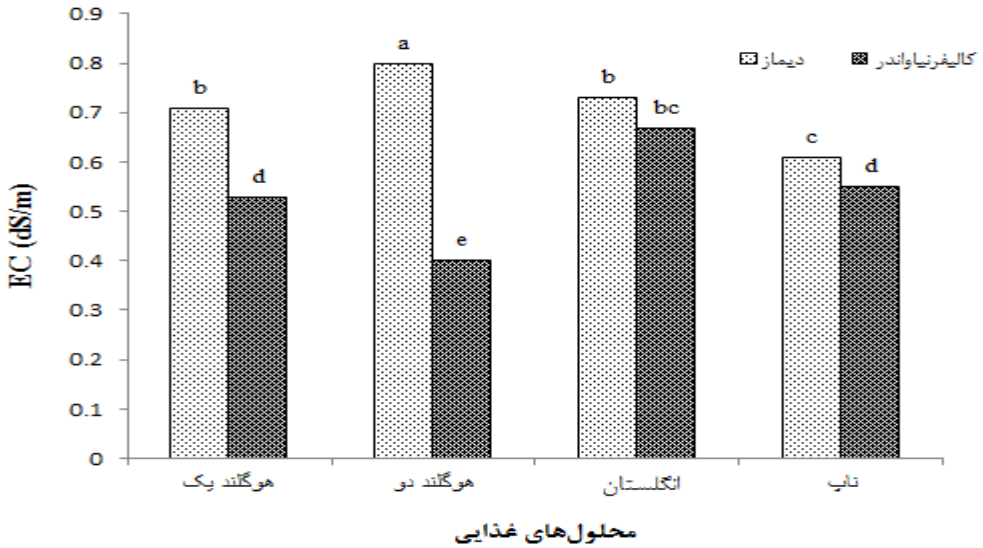
TSS pH, EC, و اسیدیته قابل تیتراسیون میوه

باتوجه‌به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر ساده رقم بر میزان مواد جامد محلول (TSS) در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد، ولی اثر ساده محلول و اثر متقابل بین رقم و محلول معنی‌دار نشد. بیش‌ترین مواد جامد محلول کل در رقم دیماز (۴/۵ درصد) مشاهده شد (شکل ۷).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر ساده رقم و اثر ساده محلول و اثر متقابل بین رقم و محلول در سطح احتمال ۱ درصد بر EC آب میوه فلفل معنی‌دار بود. بیشترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به محلول غذایی هوگلند ۲ و رقم دیماز (۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد. همچنین کمترین میزان هدایت الکتریکی آب میوه مربوط به محلول غذایی هوگلند ۲ رقم کالیفرنیاواندر (۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد (شکل ۸).



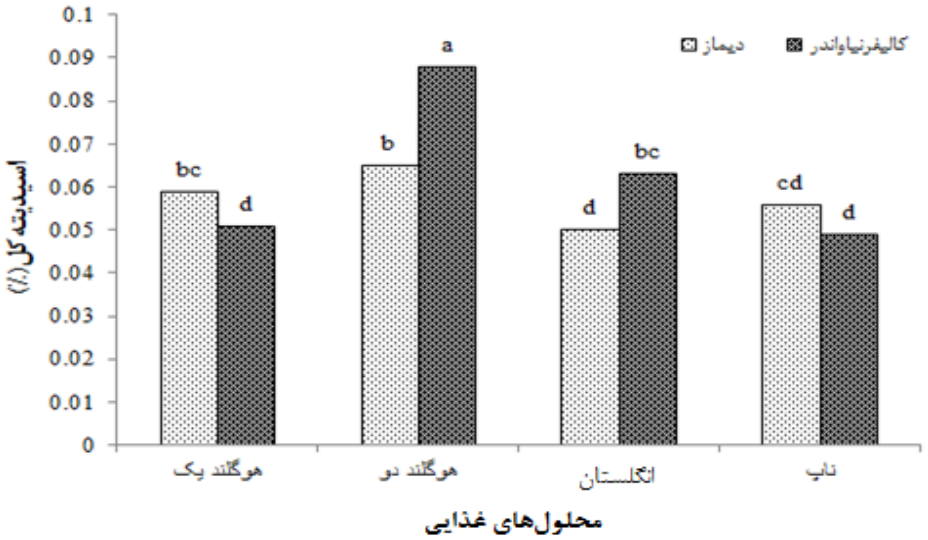
شکل ۷- میانگین اثر رقم بر مواد جامد محلول کل میوه فلفل



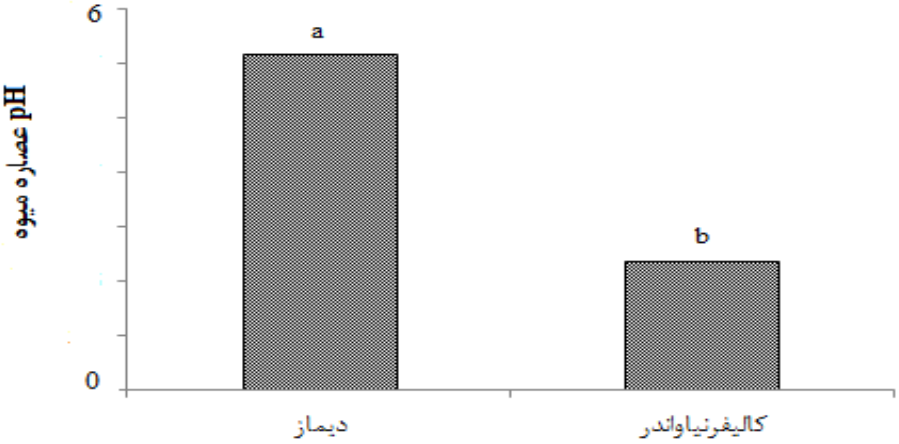
شکل ۸- میانگین ترکیبات تیماری محلول غذایی در رقم برای EC میوه فلفل

با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) مشخص می‌شود که اثر ساده رقم و اثر ساده محلول و همچنین اثر متقابل بین رقم و محلول در سطح احتمال ۱ درصد بر اسیدیته قابل تیتراسیون میوه معنی‌دار است. بیشترین اسیدیته قابل تیتراسیون در ترکیب تیماری کالیفرنیاواندر با محلول غذایی هوگلند ۲ (۰/۰۹درصد) دیده می‌شود (شکل ۹).

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر ساده رقم بر pH میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. ولی اثر ساده محلول و اثر متقابل بین رقم و محلول بر این صفت معنی‌دار نبود. بیشترین pH در رقم دیماز (مشاهده شد (شکل ۱۰).



شکل ۹- میانگین ترکیبات تیماری محلول غذایی در رقم برای اسیدیته کل میوه فلفل

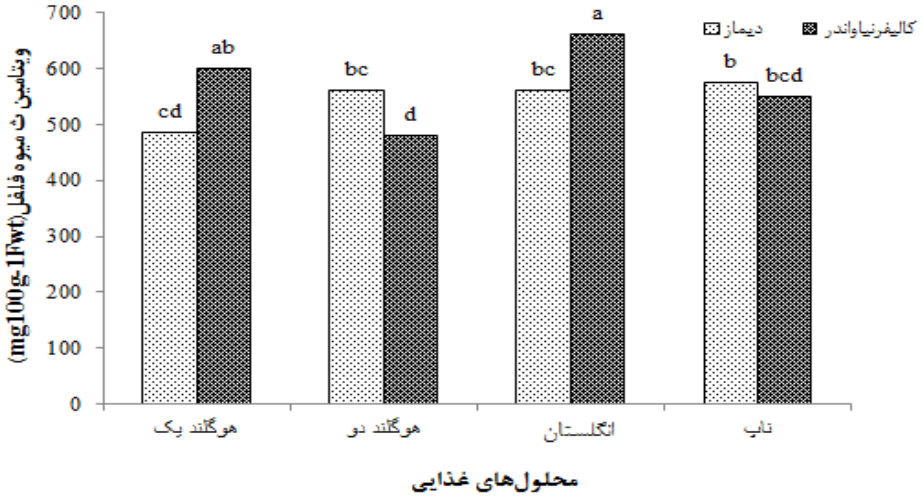


شکل ۱۰- میانگین اثر رقم بر pH میوه فلفل

اسیدیته قابل تیتراسیون، pH و EC آب میوه از مهم‌ترین خصوصیات کیفیت میوه می‌باشند که نقش مهمی در طعم میوه دارند. عمر و همکاران (۲۰۰۹) در توت‌فرنگی، ال-آ و فاتین (۲۰۰۹) در فلفل شیرین و بیلدیریم و همکاران (۲۰۰۷) روی کلم بروکلی نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. چایلو و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کردند که بالا بودن مواد جامد محلول ناشی از فعالیت اسمزی یا تعادل کاتیونی در اثر کود نیتروژن آمونیومی هست. معمولاً سیستم آبکشت امکان تولید میوه‌های باکیفیت بالاتر در مقایسه با کشت در خاک فراهم می‌نماید. به‌نظر می‌رسد افزایش TSS (میزان مواد جامد محلول) در این آزمایش ناشی از عواملی از قبیل افزایش ویتامین‌ها، قندها و... باشد. لویس و همکاران (۱۹۹۳) بیان داشتند که افزایش مقدار مواد جامد محلول با استفاده از نیتروژن می‌تواند به‌دلیل کاهش اسیدهای آلی و افزایش مواد قندی باشد. بیلدیریم و همکاران (۲۰۰۷) روی کلم‌بروکلی نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. همچنین اسید کل میوه از ویژگی‌های مهم در تعیین کیفیت آن می‌باشد و اسیدهای قابل تیتراسیون به‌طور مستقیم با غلظت اسیدهای آلی موجود در میوه ارتباط دارند و یک منبع اندوخته انرژی برای میوه می‌باشند (یوسفی و همکاران ۲۰۱۹).

ویتامین ث میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر ساده محلول در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل بین رقم و محلول در سطح احتمال ۱ درصد بر ویتامین ث آب میوه معنی‌دار شد، ولی اثر ساده رقم بر ویتامین ث میوه معنی‌دار نبود. نمودار مقایسه میانگین تیمارها (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان ویتامین ث در ترکیب تیماری رقم کالیفرنیاواندر با محلول انگلستان است. اینکه چگونه پتاسیم میزان اسیدآسکوربیک را افزایش می‌دهد، هنوز مشخص نیست، ولی افزایش سنتز به‌واسطه فعال‌سازی آنزیم یک مکانیسم ممکن است. نتایج گزارشات متعدد بیانگر ارتباط بین وضعیت تغذیه‌ای و عناصر معدنی گیاه با ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گیاه مانند ویتامین موجود در گیاهان است (علی محمدی و همکاران ۲۰۲۰). علی محمدی و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که غلظت اسید آسکوربیک در میوه‌های گوجه‌فرنگی با افزایش پتاسیم افزایش می‌یابد. گزارش شده است که کاربرد کلرید پتاسیم محتوای ویتامین ث در میوه گوجه‌فرنگی گیلاسی را بهبود می‌دهد (کنستان-آگیلار و همکاران ۲۰۱۴).



شکل ۱۱- میانگین ترکیبات تیماری محلول غذایی در رقم برای ویتامین ث میوه فلفل

سپاسگزاری از همه همکاران مستقر در ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان که این پژوهش در آن‌ها انجام شد، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Adak N. 2017. Response of hydroponically-grown Strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) plants to different ratios of K: Mg in the nutrient solution. In II International Symposium on Fruit Culture along Silk Road Countries, 1308: 235-240.

Ahmadi M and Souri M.K. 2020. Growth characteristics and fruit quality of chili pepper under higher electrical conductivity of nutrient solution induced by various salts. AGRIVITA. Journal of Agricultural Science, 42(1): 143–152. doi:10.1017/S0021859619000121

Ali Mohammadi A, Haddadinejad M, Sadeghi H and Qasemi K. 2020. The effect of different ratios of nitrogen, phosphorus and potassium on the antioxidant properties of black raspberry cultivars in the greenhouse. Journal of Plant Production Research, 27(4): 35-19. (In Persian) doi.org/10.22059/jci.2021.316258.2493

Aloni B, Karni L, Rylski I and Zaidman Z. 1994. The effect of nitrogen fertilization and shading on the incidence of "colour spots" in sweet pepper (Capsicum annuum) fruit. Journal of horticultural science, 69(4): 767-773. doi.org/10.1080/14620316.1994.11516511

Chaillou S, Vessey JK, Morot-Gaudry JF, Raper D, Henry L and Boutin JP. 1991. Expression of characteristics of ammonium nutrition as affected by pH of the root medium. Journal of experimental botany, 42(2): 189-196. DOI: 10.1093/jxb/42.2.189

Cometti NN, Bremenkamp DM, Galon K, Hell LR and Zanotelli MF. 2013. Cooling and concentration of nutrient solution in hydroponic lettuce crop. Horticultura Brasileira, 31(2): 287-292. DOI: 10.1590/S0102-05362013000200018

Constan-Aguilar C, Leyva R, Romero L and Soriano TRuiz JM. 2014. Implication of potassium on the quality of cherry Tomato fruits after postharvest during cold storage. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 65(2): 203-211. DOI:10.3109/09637486.2013.839632

El-Al A and Faten S. 2009. Effect of urea and some organic acids on plant growth, fruit yield and its quality of sweet pepper (Capsicum annum). Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 5(4): 372-379. DOI: 10.5281/zenodo.7342275

Husted S, Hebbern CA, Mattsson M and Schjoerring JK. 2000. A critical experimental evaluation of methods for determination of NH4+ in plant tissue, xylem sap and apoplastic fluid. Physiologia Plantarum, 109(2): 167-179. DOI:10.1034/j.1399-3054.2000.100209.x

Jones JB. 2001. Laboratory Guide for Conduction of Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, LLC, USA.

Jones JrJB. 2016. Hydroponics: a practical guide for the soilless grower. CRC press.

Kayani Sh. 2018. The effect of five different nutrient solutions on yield, chemical composition and nitrate accumulation of lettuce in soilless cultivation system. Science and techniques of greenhouse cultivation, 10(4): 77-87.

Kim JS, Ahn J, Lee SJ, Moon BK, Ha TY and Kim S. 2011. Phytochemicals and antioxidant activity of fruits and leaves of paprika (Capsicum annuum L. var. special) cultivated in Korea. Journal of Food Science, 76: 193-198. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01891.x

Koochaki A, Tabrizi L and Ghorban R. 2008. Effect of biofertilizers on agronomic and quality criteria of Hyssop (Hyssopus officinalis). Journal of Iranian Field Crop Research, 6(1): 127-137. DOI: 10.22067/GSC.V6I1.1184

Lehr J, Wybenga JM and Hoekendijk JA. 1962. On the influence of nitrogen on the formation of chlorophyll with special regard to a difference in effect between sodium nitrate and calcium nitrate. Plant and Soil, 68-86. DOI: 10.1080/09064710600982878

Levis OAM and Camber MD. 1993. The influence of nitrate and ammonium nutrition on the growth of wheat and maize plant, 72: 359-365.

Lopez-Galvez F, Allende A, Pedrero-Salcedo F, Alarcon JJ and Gil MI. 2014. Safety assessment of greenhouse hydroponic tomatoes irrigated with reclaimed and surface water. International journal of food microbiology, 191: 97-102. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.09.004

Mandal K, Saravanan R and Maiti S. 2008. Effect of different levels of N, P and K on downy mildew (Peronospora plantaginis) and seed yield of isabgol (Plantago ovata). Crop protection, 27(6): 988-995. DOI: 10.1016/j.cropro.2007.12.002

Mardanluo S, Souri MK and Ahmadi M. 2018. Plant growth and fruit quality of two Pepper cultivars under different potassium levels of nutrient solutions. Journal of Plant Nutrition, 41(12): 1604-1614. DOI: 10.1080/01904167.2018.1463383

Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press, London.

Mohammadipour N and Souri MK. 2019. Effects of different levels of glycine in the nutrient solution on the growth, nutrient composition and antioxidant activity of coriander (Coriandrum sativum L.). Acta Agrobotanica, 72(1). DOI:10.5586/aa.1759

Mohammed GH. 2013. Effect of seamino and ascorbic acid on growth, yield and fruits quality of pepper (*Capsicum annuum* L.). International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology, 17(2): 9-16.

Molaie M, Tabatabaei SJ and Sharafi Y. 2018. The effect of foliar application of glucose and mono potassium phosphate (KH_2PO_4) on some characteristics of strawberry cultivar. Horticultural Plants Nutrition, 1(2): 51-64. DOI:10.22070/HPN.2018.746

Norisada M and Kojima K. 2005. Nitrogen form preference of six dipterocarp species. Forest ecology and management, 216(1-3): 175-186. doi:10.1016/j.foreco.2005.05.020

Ojala JC, Jarrell WM, Menge JA and Johnson ELV. 1983. Influence of mycorrhizal fungi on the mineral nutrition and yield of onion in saline soil. Agronomy Journal, 75: 255-259. DOI: 10.2134/agronj1983.00021962007500020023x

Prsa I, Stampar F, Vodnik D and Veberic R. 2007. Influence of nitrogen on leaf chlorophyll content and photosynthesis of 'Golden Delicious' apple. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science, 57(3): 283-289.

Ranganna S. 1986. Manual of analysis of fruit and vegetable products. 18–194. New Delhi, India: Tata McGraw-Hill.

Sideris CP and Young HY. 1947. Effects of nitrogen on chlorophill, acidity, ascorbic acid, and carbohydrate fraction of (*Ananas comnosus* L.). Plant Physiol, 22(2): 97-116.

Tabatabai J. 2008. Principles of mineral nutrition of plants (authored). Publications of the author.

Tohidloo G, Souri MK and Eskandarpour S. 2018. Growth and fruit biochemical characteristics of three strawberry genotypes under different potassium concentrations of nutrient solution. Open Agriculture, 3(1): 356-362. DOI: 10.1515/opag-2018-0039

Umar I, Wali VK, Kher R and Jamwal M. 2009. Effect of Fym, Urea and Azotobacter on Growth, Yield and Quality of Strawberry Cv. Chandler. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37(1). DOI: 10.15835/nbha3713110

William H and George WL. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. USA, AOAC International Suite, 500: 481.

Wissuwa M, Gamat G and Ismail AM. 2005. Is root growth under phosphorus deficiency affected by source or sink limitation. Journal of Experimental Botany, 56: 1943-1950. DOI:10.1093/jxb/eri189

Yildrim E, Guvenco I, Turan M and Karatas A. 2007. Effect of foliar urea application on quality, growth, mineral uptake and yield of broccoli (Brassica oleraceae L. var. italic). Plant Soil Environ, 53: 120-128. DOI: 10.17221/2227-PSE

Yousefi S, Eshghi S and Atashi H. 2019. Fruit Quality Changes and Yield Components of Strawberry cv. Camarosa in Responses to the Application of Potassium to Nitrogen Ratios in Soilless Culture, 181-194.

Zaki N, Hakmaoui A, Ouatmane A and Fernandez-Trujillo JP. 2013. Quality characteristics of Moroccan sweet paprika (Capsicum annuum L.) at different sampling times. Food Science and Technology, 33: 577-585. doi:10.1590/S0101-20612013005000072

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 189-199

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Effect of 24-epibrassinolide, Spermine, and Silicon on Growth Traits and Grain Yield in maize under Water Deficit Stress

Azizolah Ghasemi[1], Salim Farzaneh[1*], Sajjad Moharramnejad[2], Raouf Seyed Sharifi[1], Ahmed Fathy Youesf[3]

Received: 11 April 2023	Accepted: 09 November 2023

1-Dept. of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran.
2-Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Moghan, Iran.
3-Department of Horticulture, College of Agriculture, University of Al-Azhar (Branch Assiut), Assiut, 71524, Egypt.
*Corresponding Author Email: salimfarzaneh@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: In current research, we goaled to assess the effect of application of 24-epibrassinolide, spermine, and silicon on the growth and yield of Paya maize cultivar (SC715) under water stress.

Materials and Methods: An experiment was performed as split plots in a randomized complete block design with four replications during 2021 season at the Agricultural Research Station of Tabriz Branch, Islamic Azad University. The main plot was three irrigation regimes of well-watered, water-stressed, and interrupted irrigated conditions at the flowering and the seed filling stages, and sub plot was eight spraying treatments of double distilled water, 24-epibrassinolide (0.1 mg L^{-1}), spermine (25 mg L^{-1}), and silicon (7 mg L^{-1}), 24-epibrassinolide (0.1 mg L^{-1}) + spermine (25 mg L^{-1}), 24-epibrassinolide (0.1 mg L^{-1}) + silicon (7 mg L^{-1}), spermine (25 mg L^{-1}) + silicon (7 mg L^{-1}), and 24-epibrassinolide (0.1 mg L^{-1}) + spermine (25 mg L^{-1}) + silicon (7 mg L^{-1}).

Results: Water deficit stress reduced grain yield and its components. The dual and triad applications of 24-epibrassinolide (0.1 mg L^{-1}), spermine (25 mg L^{-1}), and silicon (7 mg L^{-1}) significantly increased the plant height, ear height, grain yield, and its components. Among grain yield with 100-grain weights, No. grain per/ear, ear height and ear diameter were positive correlation. Principal component analysis of agro-morphological traits under various water deficit stresses indicated that applications of 24-epibrassinolide (0.1 mg L^{-1}) + silicon (7 mg L^{-1}) had more impacts on grain yield (12.08%), 100-grain weights (5.91%), No. grain per/ear (3.21%), ear height (7.30%).

Conclusion: Overall, the dual and triad applications enhanced the plant's drought tolerance and improved plant height (9.10%) and grain yield (10.23%) of maize under water deficit stress.

Keywords: Ear Height, Grain Yield, Hormone, Plant Height, Principal Component Analysis, Tolerance

10.22034/saps.2023.56134.3022

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Salim Farzaneh E-mail: salimfarzaneh@yahoo.com
https://doi.org/10.22034/SAPS.2023.56134.3022

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۹۹-۱۸۹

دانش کشاورزی و تولید پایدار

بررسی اثر محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون روی صفات رشدی و عملکرد دانه ذرت تحت تنش کم‌آبی

عزیزاله قاسمی[۱]، سلیم فرزانه[۱*]، سجاد محرم نژاد[۲]، رئوف سید شریفی[۱]، احمد فتحی یوسف[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۲	تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۸/۱۸

۱-گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲-بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
۳-گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه الازهر، اسیوط، مصر
* مسئول مکاتبه: Email: salimfarzaneh@yahoo.com

چکیده

اهداف: پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون روی رشد و عملکرد رقم پایا (سینگل کراس ۷۱۵) ذرت تحت تنش کم آبی بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز اجزاء شد. عامل اصلی سه سطح تنش کم آبی شاهد، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و عامل فرعی هشت ترکیب محلول پاشی شامل آب دیونیزه (شاهد)، ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید، ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین، ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید+ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین، ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون و ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید+ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون بودند.

یافته‌ها: تنش کم آبی باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد. محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون به‌صورت ترکیب تنهایی/دوتای/سه تایی باعث بهبود ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت شد. بین عملکرد دانه با وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف بلال، طول بلال و قطر بلال همبستگی مثبت معنی‌دار وجود داشت. تجزیه به مولفه‌های اصلی صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه در سطوح مختلف تنش کم آبی نشان داد که محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون بیشترین اثر روی صفات عملکرد دانه (۱۲/۰۸ درصد)، وزن صد دانه (۵/۹۱ درصد)، تعداد دانه در ردیف بلال (۳/۲۱ درصد) و طول بلال (۷/۳۰ درصد) تحت تنش کم آبی داشت.

نتیجه‌گیری: چنین به‌نظر می‌رسد که استفاده از محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون به‌صورت ترکیب دوتای/ سه تایی باعث افزایش تحمل گیاه ذرت به تنش کم آبی و بهبود باعث ارتفاع بوته (۹/۱۰ درصد) و عملکرد دانه (۱۰/۲۳ درصد) ذرت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بلال، ارتفاع بوته، تجزیه به مولفه‌های اصلی، تحمل، عملکرد دانه، هورمون

مقدمه

تنش کمبود آب یکی از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. اثرات سوء ناشی از تنش آب بر رشد و نمو و عملکرد ذرت بستگی به زمان وقوع تنش، مراحل نمو، ژنوتیپ گیاه، ارقام، روش کشت گیاه، کیفیت خاک، سطح کمبود و تغییرات شرایط محیطی در طول خشکی دارد (انجم و همکاران ۲۰۱۱). میزان آب مورد نیاز ذرت در طول فصل رشد، به آب و هوای منطقه، نوع رقم و طول فصل رشد بستگی دارد و از ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ مترمکعب در ارقام زودرس تا دیررس متفاوت می‌باشد. نیاز رطوبتی ذرت در مراحل اولیه رشد رویشی کم، ولی با افزایش تعداد برگ‌ها زیاد می‌شود. حساس‌ترین مرحله رشد ذرت نسبت به کمبود آب مرحله گلدهی، گرده‌افشانی و تلقیح می‌باشد (محمدی بهمدی و ارمین ۲۰۱۷). تنش کم آبی باعث کاهش پتانسیل آب در گیاه، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تثبیت دی اکسید کربن، القاء تنش اکسیداتیو، کاهش غلظت کلروفیل، کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد گیاه می‌شود (انجم و همکاران ۲۰۱۱). مطالعات اخیر روی گیاه ذرت نشان داد که تنش کم آبی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه به‌طور معنی‌دار باعث کاهش عملکرد دانه، غلظت رنگدانه‌ها، شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته ومیزان رطوبت نسبی برگ می‌شود (قاسمی و همکاران ۲۰۲۰ و محرم نژاد و همکاران ۲۰۱۹). پلی آمین-ها پلی کاتیون‌های آلی با وزن ملکولی پایین می‌باشند و برای رشد گیاهان ضروری هستند. در گیاهان، پلی آمین-ها به شکل پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین وجود دارند. در سلول‌های گیاهی تری آمین اسپرمیدین و تترا آمین اسپرمین با آنزیم‌های اسپرمیدین سنتاز و اسپرمین سنتاز، دی آمین پوتریسین، از اورنیتین و آرژنین با آنزیم‌های اورنی تین دکربوکسیلاز و آرژنین دکربوکسیلاز سنتز می‌شوند. گروه آمین پلی آمین‌ها توسط پلی آمین اکسیداز جدا می‌شود. گاما آمینوبوتیریک اسید و پراکسیدهیدروژن حاصل از اکسیداسیون پلی آمین‌ها در نمو گیاه و پاسخ‌های تنش درگیر هستند (بیتراین و همکاران ۲۰۱۲). پلی آمین‌ها در تنظیم رشد سلولی، تمایز، کنترل بیان ژن، نگهداری یکپارچگی و بقای غشاهای زیستی هنگام روبرو شدن با تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی و مقابله با تنش‌های غیرزیستی نقش بسزایی دارند (ساتی و همکاران ۲۰۱۵). پلی آمین‌ها تحمل تنش کم آبی را در ذرت با افزایش سیستم دفاع آنتی اکسیدان و توان فتوسنتز افزایش دادند (پاکدل و همکاران ۲۰۲۰). براسینواستروئیدها جزء هورمون‌های استروئیدی هستند که نقش اساسی در بسیاری از پدیده‌های نموی از قبیل تقسیم و طویل شدن سلولی در ساقه و ریشه، اندام‌زایی نوری، نمو تولید مثلی، رشد لوله‌های گرده، فعال سازی آنزیم‌ها، بیوسنتز اتیلن، پیری برگ، تنظیم بیان ژن و پاسخ به تنش‌ها دارند (راتن و همکاران ۲۰۲۰). براسینواستروئیدها پاسخ به تنش را با یک سیستم پیچیده‌ای از واکنش‌های بیوشیمیایی، مانند فعال‌سازی یا غیرفعال‌سازی واکنش‌های آنزیمی کلیدی، القای سنتز پروتئین‌ها و تولید ترکیبات شیمیایی دفاعی مختلف تنظیم می‌کنند (تالت و شاوکی ۲۰۱۶). در گزارش‌ها متعددی بیان شده‌است که براسینواستروئیدها تحمل گیاه ذرت در برابر تنش خشکی افزایش می‌دهند و باعث افزایش سازگاری گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی می‌شوند (انجم و همکاران ۲۰۱۱ و قاسمی و همکاران ۲۰۲۲). محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید با غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر بر اندام هوایی هیبریدهای ذرت تحت تنش کم آبی باعث افزایش تحمل گیاه به تنش کم آبی می‌شود به‌طویکه ارتفاع بوته و بیوماس هیبریدهای ذرت در شرایط تنش کم آبی نسبت به عدم محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید افزایش معنی‌دار وجود داشت (تالت و همکاران ۲۰۱۵). سیلیکون یکی از فراوان-ترین عنصر پوسته زمین می‌باشد که در محلول خاک به شکل مونوسیلیسیلیک اسید (H_4SiO_4) وجود دارد و به این فرم توسط گیاهان جذب می‌شوند. سیلیکون به‌عنوان عنصر اصلی برای رشد و نمو گیاه نیست، اما این عنصر بر رشد و عملکرد گیاه ذرت (کیم و همکاران ۲۰۱۷) اثر مثبت معنی‌دار داشته است. سیلیکون در گیاه باعث افزایش تحمل به تنش خشکی می‌شود (مالکوسکا و همکاران ۲۰۱۴). تقویت بهبود شرایط رشد گیاه توسط

سیلیکون می‌تواند ناشی از تجمع سیلیکون در برگ‌ها، محدود کردن تعرق، محافظت از ساختار غشای پلاسمایی و بافت‌های گیاهی از گونه‌های فعال اکسیژن از طریق تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و فعالیت H^+-ATPase باشد (گنگ و چن ۲۰۱۲). مطالعات در زمینه تنش خشکی و محلول پاشی سیلیکون در گیاه ذرت نشان داد که سیلیکون باعث افزایش عملکرد، محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در مقایسه با نمونه شاهد می‌شود همچنین سیلیکون سبب افزایش نفوذپذیری غشا پلاسمایی و میزان فتوسنتز می‌شود (ناینگ و همکاران ۲۰۲۰).

در این راستا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه رقم پایا (SC715) هیبرید ذرت با محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین، سیلیکون و ترکیبات آن‌ها در اندام هوایی تحت سه سطح تنش کم آبیاری شامل آبیاری نرمال، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه طی سال زراعی ۱۴۰۰ انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال زراعی ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز انجام گرفت. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک-های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. هیبرید ذرت مورد استفاده رقم پایا (SC715) از گروه فائو ۷۰۰ از بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. عامل اصلی سه سطح آبیاری شاهد، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و عامل فرعی هشت ترکیب شامل ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید، ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین، ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۲۴-اپی براسینولید+ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین، ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون و ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید+ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمی+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون بودند (تالت ۲۰۲۰ و قاسمی و همکاران ۲۰۲۲).

آماده سازی بستر بذر شامل شخم برگردان، تسطیح بهاره و دیسک بود. قبل از این‌که کاشت صورت گیرد، ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمین توزیع گردید و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در مراحل مختلف رشدی گیاه ذرت به‌صورت سرک استفاده شد. هر کرت آزمایشی شامل دو خط به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به طول ۵/۶ متر با فاصله بین بوته ۱۸ سانتی‌متر و با تراکم حدود ۷۶ هزار بوته در هکتار کشت شد. برای اطمینان از سبز شدن بذور در هر کپه به‌صورت دستی سه بذر کاشته شد و پس از تنک کردن در مرحله ۴-۳ برگی فقط تک بوته مناسب در هر کپه نگه داشته شد. همچنین، وجین علف‌های هرز به-صورت دستی در همه مراحل انجام گرفت.

ارتفاع بوته و ارتفاع بلال (از سطح زمین تا گره ساقه حاوی بلال) به‌طور تصادفی از هر کرت آزمایشی انتخاب و توسط متر اندازه‌گیری شد. بعد از خشک شدن کامل بوته‌ها، سه بلال به‌طور تصادفی از هر کرت به‌صورت دستی نمونه‌برداری شد و تعداد دانه در ردیف بلال و تعداد ردیف دانه در بلال در آزمایشگاه شمارش گردید. طول بلال‌های برداشت شده توسط خط کش و قطر آن‌ها توسط کولیس مدل (DC102) اندازه‌گیری شد. سپس دانه‌ها از بلال جدا و قطر چوب بلال توسط کولیس (DC102) اندازه‌گیری شد که در نهایت از نصف اختلاف قطر بلال به‌قطر چوب بلال میزان عمق دانه محاسبه گردید (دلاور و همکاران ۲۰۱۹). بعد از جدا کردن دانه‌ها از بلال، تعداد ۱۰۰ دانه توسط دستگاه بذرشمار (Numigral) شمارش و توسط ترازوی حساس وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت در مرحله رسیدگی زراعی، پس از حذف ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر خط کاشت به‌عنوان حاشیه، از دو خط کاشت هر کرت بلال‌های ذرت برداشت و بعد از جدا کردن دانه‌ها از بلال توسط ترازو میزان عملکرد دانه بلال‌ها اندازه‌گیری شد.

نرمال بودن داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری شده توسط تست کرلمورگروف-اسمیرنوف مورد آزمون قرار گرفت و سپس تجزیه آماری، مقایسه میانگین

توسط حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، همبستگی بین صفات مورد ارزیابی و تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام گرفت. تمام تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS (26.00) استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و ارتفاع بلال

بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها اثر تنش کم آبی روی ارتفاع بوته و ارتفاع بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بین تیمارهای محلول پاشی فقط برای ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. برهمکنش تنش کم آبی در تیمارهای محلول پاشی برای ارتفاع بوته و ارتفاع بلال به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه تنش کم آبی به‌طور متوسط باعث افزایش ارتفاع بوته و ارتفاع بلال به‌ترتیب ۲/۰۱ و ۱۰/۰۸ درصد شد. افزایش تقریبی ارتفاع بوته و ارتفاع بلال می‌تواند مربوط به اثر محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون باشد. مقایسه برهمکنش تنش کم آبی و تیمارهای محلول پاشی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۲۵۴/۵ سانتی‌متر) و ارتفاع بلال (۱۰۳/۷۵ سانتی‌متر) مربوط به تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) با محلول پاشی ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین (Spm)+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) بود (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه با تیمارهای مختلف محلول پاشی تحت تنش کم آبی

منابع تغییر	درج آزادی	ارتفاع بوته	ارتفاع بلال	قطر بلال	قطر چوب بلال	عمق دانه	طول بلال	تعداد ردیف دانه در بلال	تعداد دانه در ردیف بلال	وزن صد دانه	عملکرد دانه
تکرار	۳	۷۷/۹۱	۷۴/۳۸	۱۲/۰۴	۰/۶۷	۴/۵۹	۰/۱۲	۲/۰۴	۸/۴۶	۴/۷۴	۰/۴۸
تنش کم آبی	۲	۳۵۳۳/۱۱**	۱۲۱۹/۶۶**	۲۱/۲۲**	۴۳/۱۶**	۲۸/۶۷**	۳۱/۴۶**	۴/۶۲*	۱۳۳/۹۳**	۳۰/۱۴**	۳۵/۷۸**
تکرار×تنش کم آبی	۶	۲۳۹/۹۲	۴۲/۲۷	۲/۷۰	۱/۰۱	۰/۹۱	۰/۷۱	۲/۰۴	۱/۱۸	۹/۹۷	۱/۲۶
تیمار محلول پاشی	۷	۱۵۸/۳۷**	۴۸/۹۷ns	۶/۷۱ns	۳/۱۲ns	۰/۷۳ns	۲/۲۴ns	۵/۱۲**	۲۲/۷۷ns	۳/۹۶ns	۰/۷۸ns
تنش کم آبی×تیمار محلول پاشی	۱۴	۱۵۱/۰۲**	۶۴/۰۹*	۶/۳۱*	۴/۶۹*	۱/۶۹*	۵/۲۶*	۴/۹۱**	۳۱/۳۹*	۶/۹۶*	۲/۸۹*
خطا	۶۳	۴۷/۷۳	۳۰/۱۶	۳/۳۶	۲/۴۴	۰/۸۹	۲/۱۷	۰/۹۹	۱۳/۷۳	۳/۳۱	۱/۵۸
ضریب تغییرات (٪)		۹/۸۱	۳/۰۷	۶/۳۲	۶/۲۸	۳/۳۶	۱۰/۹۵	۵/۶۹	۸/۰۲	۸/۶۴	۱۳/۵۲

ns،*و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ارتفاع گیاهچه‌های ذرت در غلظت‌های یک و دو میلی-مولار سیلیکون نسب به شرایط عادی افزایش داشت که نشان از اثر معنی‌دار و مثبت استفاده از محلول پاشی سیلیکون می‌باشد (دلاور و همکاران ۲۰۱۹). محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولیئد و اسپرمین باعث افزیش معنی‌دار ارتفاع بوته و ارتفاع بلال تحت تنش کم آبی شد. محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولیئد و اسپرمین می‌تواند از طریق فعال سازی سازوکارهای دفاع آنتی اکسیدان و تنظمی‌گرهای رشدی سبب بهبود ارتفاع بوته و ارتفاع بلال گیاه ذرت تحت تنش کم آبی می‌شود (تالت ۲۰۲۰). محلول پاشی ۶ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون باعث بهبود ارتفاع بوته و ارتفاع بلال در گیاه ذرت تحت تنش کم آبی شد (ناینگ و همکاران ۲۰۲۰) که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه، طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال

اثر تنش کم آبی بر قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بین برهمکنش تنش کم آبی در سطوح مختلف تیمار محلول پاشی نیز برای صفات قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱). قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه

به‌طور متوسط تحت تنش کم آبی به‌ترتیب ۴/۷۱، ۴/۸۳ و ۵/۳۶ درصد نسبت به آبیاری عادی کاهش یافت. براساس مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم آبی در سطوح مختلف تیمار محلول پاشی، بیشترین قطر بلال با ۴۹/۵ میلی‌متر و عمق دانه با ۱۰/۷۵ میلی‌متر مربوط به محلول پاشی شاهد (آب دیونیزه) در شرایط آبیاری عادی بود و بیشترین قطر چوب بلال با ۳۲/۵ میلی‌متر مربوط به محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید (EBL)+ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین (Spm)+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) تحت آبیاری عادی بود (جدول ۲). مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اختلاف بین صفات طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال از لحاظ سطوح مختلف تنش کم آبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر تیمارهای مختلف محلول پاشی فقط برای صفت تعداد ردیف دانه در بلال در سطح احتمال یک درصد معنی-داربود و برهمکنش تنش کم آبی در سطوح مختلف تیمار محلول پاشی برای طول بلال و تعداد دانه در ردیف بلال در سطح احتمال پنج درصد و برای تعداد ردیف دانه در بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. متوسط کاهش طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال تحت تنش کم آبی به‌ترتیب ۹/۳۴، ۳/۹۱ و ۸/۳۰ درصد بود. مطابق مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم در سطوح مختلف تیمار محلول پاشی، بیشترین طول بلال با ۲۲/۵ سانتی‌متر مربوط به ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید (EBL)+ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین (Spm)+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) در آبیاری عادی، تعداد ردیف دانه در بلال با ۲۱ عدد مربوط به تیمار محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید (EBL)+ ۲۵ میلی‌گرم در لیتر

اسپرمین (Spm)+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) تحت تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و بیشترین تعداد دانه در ردیف بلال با ۵۲/۲۵ عدد مربوط به تیمار محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید (EBL)+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) در تنش آبیاری در مرحله گلدهی بودند (جدول ۲).

تنش خشکی باعث کاهش صفات تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال در گیاه ذرت شد اما استفاده از محلول ۲۴-اپی براسینولید (تالت و همکاران، ۲۰۱۵)، اسپرمین (تالت ۲۰۲۰) و سیلیکون (عبدالمجید و همکاران ۲۰۲۱) تحت تنش کم آبی نسبت به شرایط عادی باعث افزایش تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال شود. محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید سبب افزایش ۳/۴ درصد تعداد ردیف دانه در بلال، ۴/۲ درصد تعداد دانه در ردیف بلال و ۳/۸ درصد طول بلال شد (دیسوکی وهمکاران ۲۰۲۱). در مطالعه حاضر محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون می‌تواند از طریق بهبود سازوکارهای فیزیولوژکی و بیوشیمیایی توان صفات تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال را تحت تنش کم آبی افزایش دهند.

وزن صد دانه و عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌های وزن صد دانه و عملکرد دانه نشان داد (جدول ۱) که بین سطوح مختلف تنش کم آبی در سطح احتمال یک درصد برای صفات وزن صد دانه و عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت و همچنین برهمکنش تنش کم آبی در تیمارهای مختلف محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد برای وزن صد دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بود. تنش کم آبی به‌طور متوسط باعث کاهش ۸/۹۹ درصد وزن صد دانه و ۲۴/۴۱ درصد عملکرد دانه شد. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف تنش کم آبی در تیمارهای محلول پاشی نشان داد (جدول ۲) که بیشترین وزن صد دانه با ۲۳/۴۲ گرم مربوط به تیمار محلول پاشی شاهد (آب دیونیزه) در آبیاری عادی بود و بیشترین عملکرد دانه با ۱۱/۶۳ تن در هکتار مربوط به تیمار محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید (EBL)+ ۲۵ میلی‌گرم در لیتر اسپرمین (Spm)+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) در آبیاری عادی بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه در تیمارهای محلول پاشی مختلف تحت تنش کم آبی

تنش کم آبی	محلول پاشی	ارتفاع بوته (cm)	ارتفاع بلال (cm)	قطر چوب بلال (mm)	قطر بلال (mm)	عمق دانه (mm)	طول بلال (cm)	تعداد ردیف دانه در بلال	تعداد دانه در ردیف بلال	وزن صد دانه (g)	عملکرد دانه (ton/ha)
نرمال	شاهد	۲۲۰/۲۵	۸۸/۷۵	۲۸/۰۰	۴۹/۵۰	۱۰/۷۵	۲۰/۱۰	۱۹/۰۰	۴۵/۲۵	۲۳/۴۲	۱۰/۸۶
	EBL	۲۲۸/۵۰	۷۴/۰۰	۲۶/۰۰	۴۵/۵۰	۹/۷۵	۲۰/۰۰	۱۶/۰۰	۴۸/۷۵	۲۲/۷۱	۹/۶۸
	Spm	۲۳۴/۷۵	۷۷/۰۰	۳۰/۰۰	۴۸/۰۰	۹/۰۰	۲۱/۷۵	۱۸/۰۰	۴۹/۷۵	۲۲/۲۷	۱۰/۸۱
	Si	۲۲۲/۵۰	۸۳/۲۵	۳۲/۵۰	۴۹/۰۰	۸/۲۵	۲۱/۹۵	۱۸/۰۰	۵۱/۲۵	۲۳/۳۰	۱۱/۵۵
	EBL+Spm	۲۲۹/۰۰	۸۲/۷۵	۲۹/۵۰	۴۷/۵۰	۸/۰۰	۲۱/۵۰	۱۹/۰۰	۵۰/۵۲	۲۰/۴۴	۱۰/۶۹
	EBL+Si	۲۲۰/۷۵	۸۱/۵۰	۲۹/۵۰	۴۷/۵۰	۹/۰۰	۲۲/۵۰	۱۸/۰۰	۴۶/۰۰	۲۳/۱۲	۱۱/۷۴
	Spm+Si	۲۲۶/۰۰	۸۲/۷۵	۳۰/۵۰	۴۸/۰۰	۸/۷۵	۲۱/۸۰	۱۸/۰۰	۴۹/۵۰	۲۱/۱۸	۱۰/۶۲
	EBL+Spm+Si	۲۲۵/۵۰	۸۱/۵۰	۳۲/۵۰	۴۹/۰۰	۸/۲۵	۱۹/۱۵	۱۸/۰۰	۵۰/۵۰	۲۱/۹۶	۱۱/۶۶
در مرحله گلدهی	شاهد	۲۱۰/۷۵	۸۰/۷۵	۲۸/۵۰	۴۶/۰۰	۸/۷۵	۱۸/۹۵	۱۷/۰۰	۴۲/۷۵	۲۲/۳۲	۸/۸۹
	EBL	۲۲۰/۲۵	۸۳/۰۰	۳۰/۰۰	۴۶/۰۰	۸/۰۰	۱۹/۹۰	۱۸/۰۰	۴۶/۲۵	۲۱/۵۳	۹/۷۴
	Spm	۲۱۸/۰۰	۸۴/۰۰	۲۷/۵۰	۴۴/۰۰	۸/۲۵	۱۸/۱۰	۱۵/۰۰	۴۲/۲۵	۲۱/۷۴	۷/۶۹
	Si	۲۲۱/۰۰	۸۸/۷۵	۲۹/۵۰	۴۷/۰۰	۸/۵۰	۱۹/۴۵	۱۸/۰۰	۴۴/۵۰	۱۸/۴۵	۸/۲۷
	EBL+Spm	۲۲۴/۴۵	۸۲/۲۵	۲۹/۰۰	۴۷/۰۰	۹/۰۰	۱۹/۸۵	۱۸/۰۰	۴۵/۵۰	۲۰/۱۹	۸/۸۰
	EBL+Si	۲۳۱/۰۰	۸۳/۰۰	۲۹/۵۰	۴۷/۰۰	۸/۷۵	۲۱/۹۰	۱۸/۰۰	۵۲/۲۵	۲۳/۳۸	۹/۷۷
	Spm+Si	۲۱۰/۷۵	۸۳/۷۵	۳۰/۰۰	۴۵/۰۰	۷/۵۰	۱۸/۵۰	۱۶/۰۰	۴۴/۷۵	۲۰/۲۱	۸/۲۶
	EBL+Spm+Si	۲۱۲/۷۵	۸۶/۰۰	۲۸/۵۰	۴۵/۰۰	۷/۵۰	۱۷/۳۰	۱۸/۰۰	۳۸/۲۵	۱۸/۸۱	۷/۳۷
در مرحله پر شدن دانه	شاهد	۲۳۲/۰۰	۹۰/۵۰	۲۹/۰۰	۴۴/۵۰	۸/۰۰	۱۹/۴۵	۱۷/۰۰	۴۸/۲۵	۱۹/۸۰	۸/۵۷
	EBL	۲۵۴/۵۰	۱۰۰/۷۵	۲۹/۰۰	۴۶/۵۰	۸/۷۵	۱۸/۱۰	۱۹/۰۰	۴۱/۵۲	۱۸/۹۰	۷/۹۶
	Spm	۲۳۶/۷۵	۹۰/۲۵	۲۷/۰۰	۴۴/۵۰	۸/۷۵	۱۸/۸۰	۱۶/۰۰	۴۵/۵۰	۲۰/۱۶	۸/۳۹
	Si	۲۳۶/۵۲	۹۳/۲۵	۲۹/۰۰	۴۷/۰۰	۹/۰۰	۱۹/۵۰	۱۷/۰۰	۴۸/۲۵	۲۱/۴۱	۸/۲۲
	EBL+Spm	۲۴۷/۰۰	۹۸/۷۵	۲۷/۰۰	۴۴/۰۰	۸/۵۰	۱۸/۴۵	۱۶/۰۰	۴۶/۲۵	۲۱/۵۷	۷/۸۵
	EBL+Si	۲۳۳/۵۰	۸۶/۷۵	۲۸/۵۰	۴۵/۰۰	۸/۲۵	۲۰/۶۰	۲۱/۰۰	۴۵/۰۰	۲۱/۲۸	۹/۵۱
	Spm+Si	۲۵۳/۵۰	۱۰۳/۷۵	۲۸/۰۰	۴۷/۰۰	۹/۵۰	۱۹/۵۰	۱۷/۰۰	۴۵/۷۵	۲۱/۱۷	۸/۹۸
	EBL+Spm+Si	۲۴۵/۰۰	۹۵/۷۵	۲۸/۵۰	۴۶/۰۰	۸/۷۵	۱۷/۶۰	۲۱/۰۰	۴۰/۷۵	۱۷/۵۲	۸/۱۹
	$LSD_{5\%}$	۱۱/۰۲	۸/۷۹	۲/۹۳	۲/۵۰	۱/۵۱	۲/۳۶	۱/۵۹	۵/۹۳	۲/۹۱	۲/۰۱

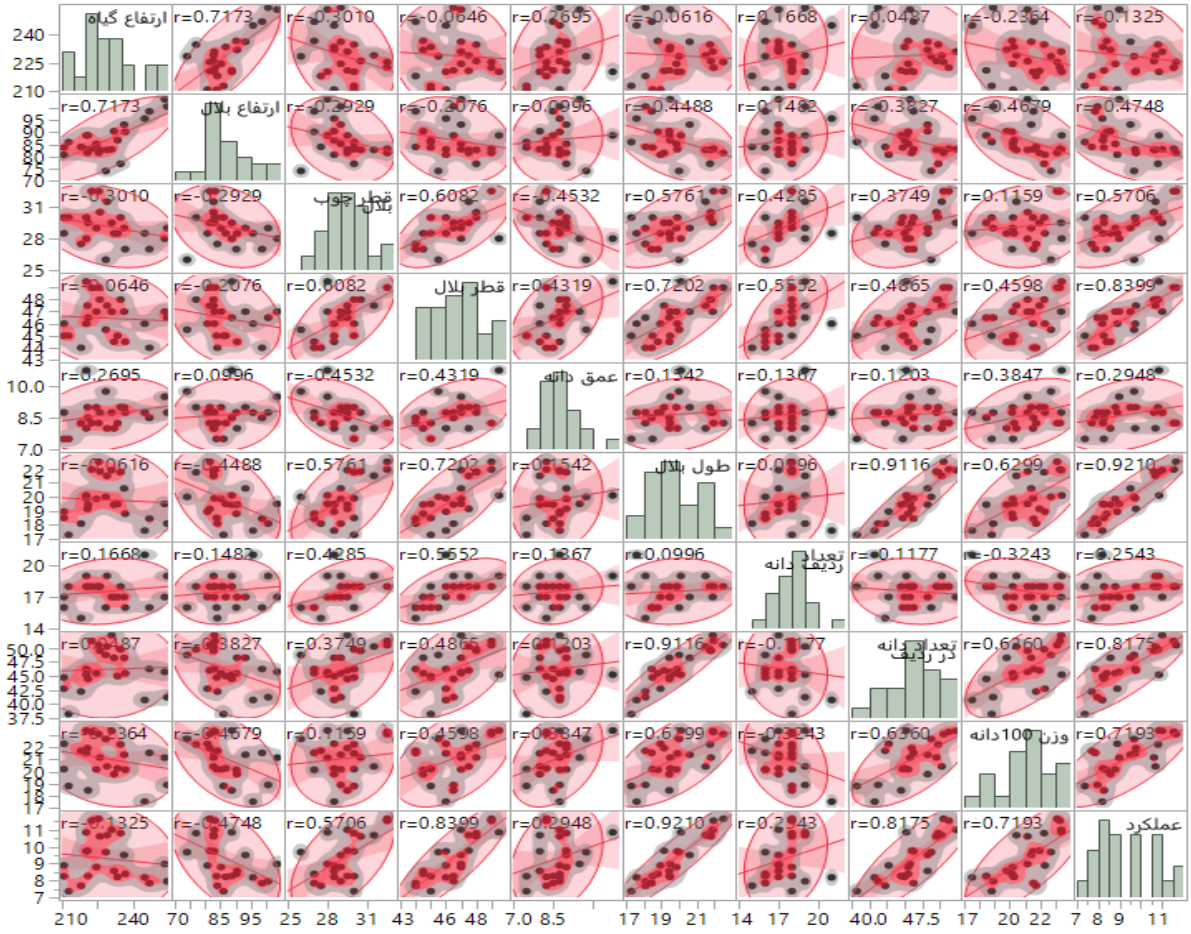
شاهد: آب دیونیزه، EBL: ۰/۲۴۱ میلی‌گرم برلیتر ۲۴-اپی براسینولئید، Spm: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپیرمین و Si: ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون

تنش خشکی از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتزی در گیاه شده و در نهایت منجر به اُفت عملکرد دانه شده‌است. گزارش شده‌است که کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی، منجر به کاهش اسیمیلاسیون کربن و در نتیجه تولید عملکرد دانه و زن صد دانه و زیست توده پایین خواهد شد (محرم‌نژاد و همکاران ۲۰۱۹). براساس نتایج ناینگ و همکاران (۲۰۲۰) و قاسمی و همکاران (۲۰۲۲) محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین و سیلکیون باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و بیوماس گیاه ذرت در مقایسه با تیمار بدون محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین و سیلکیون تحت تنش خشکی داشت. محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپرمین و سیلکیون می‌تواند از طریق تقویت سطح برگ سبز و فتوسنتز عملکرد ذرت را تحت تنش کم آبی افزایش دهد (تالت۲۰۲۰، پاکدل و همکاران ۲۰۲۰ و پروین و همکاران ۲۰۱۹).

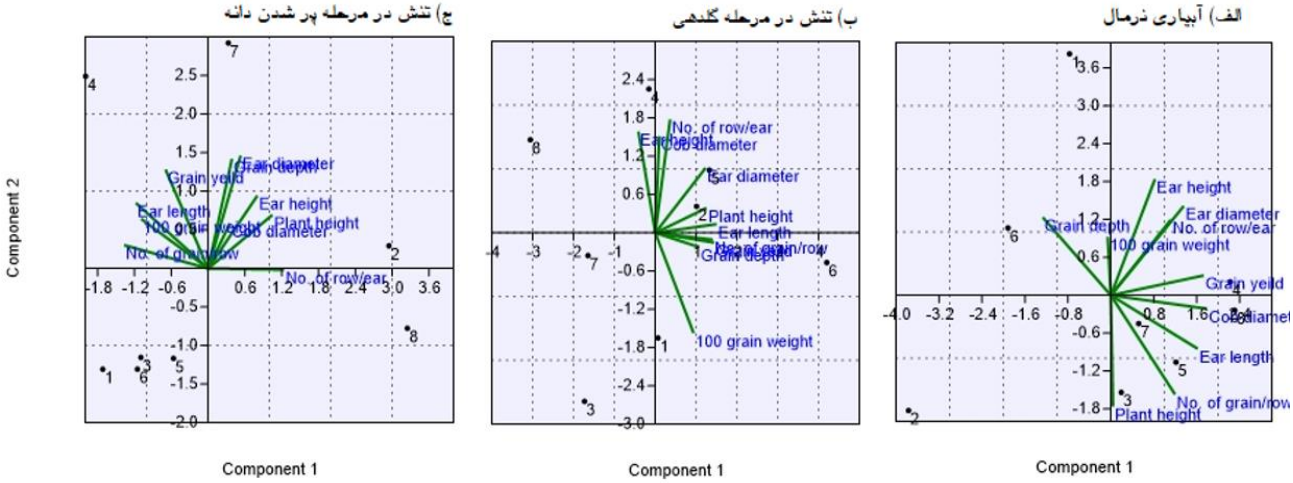
همبستگی و تجزیه به مولفه‌های اصلی

همبستگی بین صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه نشان داد که (شکل ۱) صفات طول بلال (۰/۹۰)، تعداد دانه در ردیف بلال (۰/۸۰) و زن صد دانه (۰/۷۰) با عملکرد دانه همبستگی مثبت

معنی‌دار وجود داشت و ارتفاع بوته فقط با ارتفاع بلال (۰/۶۸) همبستگی مثبت معنی‌دار داشت. براساس نتایج همبستگی چنین به‌نظر می‌رسد بین صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه در گیاه ذرت سطوح مختلف تنش کم آبی تحت محلول پاشی‌های مختلف ۲۴-اپی براسینولید (EBL)، اسپرمین (Spm) و سیلیکون (Si) ارتباط قوی وجود دارد تا اثر تنش کم آبی در مراحل مختلف رشدی را کاهش دهد. تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ترکیبات مختلف محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید (EBL)، اسپرمین (Spm) و سیلیکون (Si) در سه سطح تنش کم آبی شامل شاهد، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه نشان داد که صفات عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف بلال، طول بلال و قطر بلال در آبیاری عادی اثرگذارترین محلول پاشی ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) بود (شکل ۲ الف). در تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) بهترین محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید (EBL)+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) برای صفات عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال بود (شکل ۲ ب) هچنین برترین محلول پاشی ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) برای بهبود عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال در تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه بود (شکل ۲ ج).



شکل ۱- همبستگی صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت



شکل ۲- تجزیه به مولفه‌های اصلی صفات ارتفاع بوته (Plant height)، ارتفاع بلال (Ear height) و عملکرد دانه (Grain yield)، وزن صد انه (100-grain weights)، قطر بلال (Ear diameter)، قطر چوب بلال (Cob diameter)، عمق دانه (Grain depth)، تعداد دانه در ردیف بلال (No. of row/ear) و تعداد ردیف دانه در بلال (No. grain/ear) در سه سطح تنش آبیاری برای تعیین برترین تیمار محلول پاشی (۱: شاهد، ۲: ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولئید، ۳: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپیرمین، ۴: ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۵: ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولئید+ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپیرمین، ۶: ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولئید+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۷: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپیرمین+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون و ۸: ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولئید+ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپیرمین+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون)

ارزیابی اثر تغذیه سیلیکون روی صفات رشدی و فیزیولوژی در گیاه ذرت توسط دلاور و همکاران (۲۰۱۹)، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات رشدی و بیوماس گیاهچه‌های ذرت تحت استفاده از تیمار سیلیکون داشت. براساس گزارش‌های متعدد پژوهشگران روی گیاه ذرت تحت تنش کم آبی و محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید و اسپرمین گزارش کردند که محلول پاشی ۲۴-اپی براسیولئید و اسپرمین نقش محافظتی در برابر تنش کم آبی و همچنین ارتباط قوی بین کاهش عملکرد با تیمارهای محلول پاشی داشتند (قاسمی و همکاران، ۲۰۲۲ و تالت و همکاران ۲۰۱۶). دیسوکی و همکاران (۲۰۲۱) با محلو پاشی ۲-اپی براسینولید در ذرت جهت بهبود تحمل گیاه برابر تنش خشکی اظهار کردند که صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه در گروهبندی و تعیین برترین تیمار محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید از طریق تجزیه به مولفه‌های اصلی در گیاه ذرت حدود ۸۰/۵۲ درصد نقش داشتند. نتایج مشابهی در محلول پاشی اسپرمین (لی و همکاران ۲۰۲۰) و محلول پاشی سیلیکون (ناینگ و همکاران ۲۰۲۰) وجود داشت، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر بین سطوح مختلف تنش کم آبی و تیمارهای مختلف محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید (EBL)، اسپرمین (Spm) و سیلیکون (Si) در صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت. محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید (EBL)، اسپرمین (Spm) و سیلیکون (Si) باعث کاهش اثر تنش کم آبی بر میزان رشد (۹/۱۰ درصد) و عملکرد دانه (۱۰/۲۳ درصد) گیاه ذرت می‌شود. ضریب همبستگی عملکرد دانه با طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و وزن صد دانه مثبت معنی‌دار بود. صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه بیشتر تحت تأثیر محلول پاشی ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) تحت تنش کم آبی در مراحل مختلف رشدی گیاه ذرت داشتند. با توجه با نتایج حاصل می‌توان از محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولئید و ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون به‌صورت ترکیب دوتایی برای تقویت عملکرد دانه در مزارع ذرت دانه‌ای تحت تنش کمبود آب انتهای فصل توصیه کرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از ریاست محترم دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز که در انجام این پروژه یاری نمودند نهایت تقدیر و تشکر از ایشان به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Anjum SA, Wang LC, Farooq M, Hussain M, Xue LLC and Zou M. 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science, 197: 177-185. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x

Abd El-Mageed TA, Shaaban A, Abd El-Mageed SA, Semida WM and Rady MOA. 2021. Silicon defensive role in maize (Zea mays L.) against drought stress and metals-contaminated irrigation water. Silicon, 13: 2165–2176. https://doi.org/10.1007/s12633-020-00690-0

Bitrián M, Zarza X, Altabella T, Antonio F and Alcázar R. 2012. Polyamines under abiotic stress: Metabolic crossroads and hormonal crosstalks in plants. Metabolites, 2: 516-528. 10.3390/metabo2030516

Delavar K, Ghanati F, Maivan H and Behmanesh M. 2019. Effects of silicon nutrition on the physiological parameters of maize. Plant Process and Function, 7: 45-58. (In Persian). 20.1001.1.23222727.1397.7.27.6.7

Desoky ESM, Mansour E, Ali MA, Yasin MAT, Abdul-Hamid ME, Rady MM and Ali EF. 2021. Exogenously used 24-epibrassinolide promotes drought tolerance in maize hybrids by improving plant and water productivity in an arid environment. Plants, 10: 354. 10.3390/plants10020354

Ghasemi A, Farzaneh S and Moharramnejad S. 2020. Impact of ascorbic acid on seed yield and its components in sweet corn (Zea mays L.) under drought stress. Journal of Plant Physiology and Breeding, 10: 41-49. 10.22034/JPPB.2020.12492

Ghasemi A, Farzaneh S, Moharramnejad S, Seyed Sharifi R, Fathy Youesf A, Telesinski A, Kalaji HM and Mojski J. 2022. Impact of 24-epibrassinolide, spermine, and silicon on plant growth, antioxidant defense systems, and osmolyte accumulation of maize under water stress. Scientific Reports, 12: 14648. https://doi.org/10.1038/s41598-022-18229-1

Gong HJ and Chen KM. 2012. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. Biologia plantarum, 52: 592–596. https://doi.org/10.1007/s10535-008-0118-0

Kim YH, Khan AL, Waqas M and Lee, IJ. 2017. Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress, A review. Frontiers in Plant Science, 8: 1346. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00510

Li S, Zheng H, Lin L, Wang F and Sui N. 2020. Roles of brassinosteroids in plant growth and abiotic stress response. Plant Growth Regulation, 93: 29–38. https://doi.org/10.1007/s10725-020-00672-7

Malcovska SM, Ducaiova Z and Backor M. 2014. Impact of silicon on maize seedlings exposed to short-term UV-B irradiation. Biologia, 69: 1349–1355. https://doi.org/10.2478/s11756-014-0432-2

Moharramnejad S, Sofalian O, Valizadeh M, Asghari A, Shiri MR and Ashraf M. 2019. Response of maize to field drought stress: Oxidative defense system, osmolytes' accumulation and photosynthetic pigments. Pakistan Journal of Botany, 51: 799–807. 10.30848/PJB2019-3(1)

Moohamadi Behmadi M and Armin M. 2017. Effect of drought stress on yield and yield components of different corn cultivars in delayed planting conditions. Applied Research of Plant Ecophysiology, 4: 17-34. (In Persian). http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-243-en.html

Ning D, Qin A, Liu Z, Duan A, Xiao J, Zhang J, Liu Z, Zhao B and Liu Z. 2020. Silicon-mediated physiological and agronomic responses of maize to drought stress imposed at the vegetative and reproductive stages. Agronomy, 10: 1136. https://doi.org/10.3390/agronomy10081136

Pakdel H, Hassani SB, Ghotbi-Ravandi AA and Bernard F. 2020. Contrasting the expression pattern change of polyamine oxidase genes and photosynthetic efficiency of maize (Zea mays L.) genotypes under drought stress. Journal of Biosciences, 45: 73. https://doi.org/10.1007/s12038-020-00044-3

Parveen A, Liu W, Hussain S, Asghar J, Perveen S and Xiong S. 2019. Silicon priming regulates morpho-physiological growth and oxidative metabolism in maize under drought stress. Plants, 8: 431. https://doi.org/10.3390/plants8100431

Rattan A, Kapoor D, Kapoor N, Bhardwaj R and Sharma A. 2020. Brassinosteroids regulate functional components of antioxidative defense system in drought stressed maize seedlings. Journal of Plant Growth Regulation, 39: 1465–1475. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10097-1

Sathe AP, Paserkar NG, Thakre MB and Gaikwad SM. 2015. Engineering polyamines for abiotic stress tolerance. Indian Journal of Applied Research, 5: 20-25.

Talaat NB. 2020. 24–Epibrassinolide and Spermine combined treatment sustains maize (*Zea mays* L.) drought tolerance by improving photosynthetic efficiency and altering phytohormones profile. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20: 516–529. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00138-4

Talaat NB and Shawky BT. 2016. Dual application of 24-epibrassinolide and spermine confers drought stress tolerance in maize (Zea mays L.) by modulating polyamine and protein metabolism. Journal of Plant Growth Regulation, 35: 518–533. https://doi.org/10.1007/s00344-015-9557-y

Talaat NB, Shawky BT and Ibrahim AS. 2015. Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (Zea mays L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. Environmental and Experimental Botany, 113: 47–58. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.01.006

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 201-222

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Investigating the Spatial Relationship of Black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) with Soil Characteristics in Wheat Field Using Geostatistical Relationships

Abbas Nasiri Dehsorkhi[1], Seyed Ahmad Ghanbari[2*], Hassan Makarian[3], Mohammad Reza Asgharipour[2]

Received: 29 September 2023	Accepted: 11 December 2023

1-PhD Graduate of Agroecology, Dept., of Agronomy, Zabol University, Zabol, Zabol, Iran.
2- Prof., Dept., of Agronomy, Zabol University, Zabol, Zabol, Iran.
3- Assoc., Prof., Dept., of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Shahrood, Iran.
*Corresponding Author Email: drghanbari@uoz.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The aim of this research was to investigate the spatial relationship between physical and chemical properties of soil and wheat yield in the conditions of competition with weeds in Isfahan weather conditions.

Materials and Methods: In the crop year 2019-2020, field experiment was conducted in the form of a grid system with a distance of 2 x 2 meters. At each grid point, soil characteristics, grain yield of wheat and weed density were measured. The spatial distribution of the obtained data was analyzed using the geostatistical technique.

Results: The results showed that the grain yield has a strong spatial correlation with nitrogen, phosphorus, potassium, pH, and silt traits at the rates of 83.9, 78.3, 79.0, 80.1 and 81.7, respectively were in the range of 2.3, 3.2, 3.2, 3.7 and 4.0 meters. The areas where the wheat yield was lower were often in accordance with the areas where the sand and EC content of the soil were the highest. *Alopecurus myosuroides* had a strong spatial correlation with nitrogen and clay of soil, and moderate spatial correlation with soil sand; while this weed was found in soils with low amount of phosphor, potassium, pH and silt. Spatial correspondence between weed density and reverse grain yield was 60.7% in the effect range of 4.2 meters.

Conclusion: The characteristics of the soil and the weed population in the field change from one place to another, and these variations can cause patchy and uneven distribution of yield in the field. Grain yield showed the highest spatial correlation with soil nitrogen.

Keywords: Kriging, Patchy Distribution, Range, Variogram, Weed Map

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Seyed Ahmad Ghanbari E-mail: drghanbari@uoz.ac.ir
https://doi.org/10.22034/SAPS.2023.58659.3123

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۲۲۲-۲۰۱

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

بررسی ارتباط مکانی علف هرز دم‌روباهی کشیده (*Alopecurus myosuroides* Huds.) با خصوصیات خاک در مزرعه گندم با استفاده از روابط زمین‌آماری

عباس نصیری دهسرخی[۱]، سید احمد قنبری[۲*]، حسن مکاریان[۳]، محمدرضا اصغری پور[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۷	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۰

۱- دانش آموخته دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
* نویسنده مسئول: Email: drghanbari@uoz.ac.ir

چکیده

اهداف: هدف از این پژوهش، مطالعه ارتباط مکانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با عملکرد گندم در شرایط رقابت با علف‌های هرز در شرایط آب و هوایی اصفهان بود.

مواد و روش‌ها: در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، آزمایش مزرعه‌ای در قالب سیستم شبکه‌ای با فاصله ۲ × ۲ متر انجام شد. در هر نقطه شبکه، ویژگی‌های خاک، عملکرد دانه گندم و تراکم علف هرز دم‌روباهی کشیده اندازه‌گیری شد. توزیع مکانی داده‌ها، با استفاده از تکنیک زمین‌آمار مورد تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد عملکرد دانه دارای همبستگی مکانی قوی با صفات نیتروژن، فسفر، پتاسیم، pH و سیلت خاک به ترتیب به میزان ۸۳/۹، ۷۸/۳، ۷۹/۰، ۸۰/۱ و ۸۱/۷ درصد در دامنه تأثیر ۲/۳، ۳/۲، ۳/۲، ۳/۷ و ۴/۰ متر بود. این در حالی بود که در نقاطی از مزرعه که محتوای شن و EC بالاتری داشت غالباً عملکرد دانه روی نقشه کاهش نشان داد. علف هرز دم‌روباهی کشیده همبستگی مکانی قوی با نیتروژن و رس خاک و همبستگی مکانی متوسط با شن خاک نشان داد، درحالی‌که علف هرز مذکور در نقاطی از مزرعه با مقادیر پایینی از فسفر، پتاسیم، pH و سیلت خاک تراکم بالاتری داشت. همبستگی مکانی بین جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده و عکس عملکرد دانه گندم برابر با ۶۰/۷ درصد و در دامنه تأثیر ۴/۲ متر بود.

نتیجه‌گیری: ویژگی‌های خاک و جمعیت علف هرز در سطح مزرعه از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کند که این تغییرات می‌تواند توزیع لکه‌ای و غیریکنواخت عملکرد در سطح مزرعه را به همراه داشته باشد. عملکرد دانه، بیشترین همبستگی مکانی را با نیتروژن خاک نشان داد.

واژه‌های کلیدی: توزیع لکه‌ای، دامنه تأثیر، کریجینگ، نقشه علف هرز، واریوگرام

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین و باارزش‌ترین محصولات غذایی جهان است و ۴۰ درصد از انرژی و غذای مورد نیاز مردم جهان را تأمین می‌کند (رضا و همکاران ۲۰۲۰). در ایران گندم از نظر تولید و سطح زیر کشت مهم‌ترین محصول کشاورزی است و افزایش محصول آن روزبه-روز مورد توجه بیشتری قرار گرفته است و از نظر اقتصادی و امنیت غذایی مردم از اهمیت بسیاری برخوردار است (اورسجی و همکاران ۲۰۲۳). علف‌های هرز یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد در مزارع گندم محسوب می‌شود (شاکرمی ۲۰۲۰). دم‌روباهی کشیده (*Alopecurus myosuroides* Huds.) یکی از مهم-ترین علف‌های هرز باریک‌برگ زمستانه است که با بذر تکثیر می‌یابد و از علف‌های هرز مهم مزارع گندم به شمار می‌آید (عدالت و کاظمینی ۲۰۱۳). این علف هرز در بیش از ۳۷ کشور دنیا رشد می‌کند (هولم و همکاران ۱۹۹۷) و توان کاهش عملکرد گندم تا ۴۵ ٪ را دارد (ویزانتینوپولوس و کاترانیس ۱۹۹۸).

نتایج پژوهش‌های متعددی نشان داده است که علف-های هرز پراکنش یکنواخت و یا تصادفی ندارند، بلکه غالباً دارای توزیع لکه‌ای هستند (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰، فکور شرقی ۲۰۱۳، قیاسی ۲۰۱۳، مکاریان و عباس دخت ۲۰۱۴). علاوه بر سایر ناهمگونی‌ها در محیط خاک و هم-چنین غیریکنواختی که در اثر روش‌های مدیریتی مختلف در سطح مزرعه به وجود می‌آید، علف‌های هرز نیز به عنوان یکی از عوامل ناهمگونی عملکرد محصولات کشاورزی در سطح مزارع مطرح هستند (مرادی کل بلندی و همکاران ۲۰۲۰). در مطالعه پراکنش مکانی علف-های هرز تحت تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت و اثر آن بر عملکرد گندم، نتایج نشان داد آرایش لکه‌ای علف‌های هرز باعث توزیع لکه‌ای محتوای کلروفیل برگ، زیست-توده گیاه زراعی و در نهایت عملکرد گیاه زراعی در سطح مزارع گردید (قیاسی ۲۰۱۳). نتایج پژوهشی نشان داد که تراکم علف‌های هرز با عکس عملکرد گندم دارای همبستگی مکانی قوی به میزان ۹۱/۹۰ درصد بود (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که الگوهای پراکنش جمعیت کل علف‌های هرز به میزان زیادی بر الگوهای تغییر عملکرد زیست‌توده خشک گندم منطبق بودند. به‌طوری‌که همبستگی مکانی بین دو متغیر مذکور در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری به‌ترتیب برابر با ۸۹ و ۸۷/۴ درصد بود (مکاریان و حسینی ۲۰۱۱).

محققین گزارش دادند آرایش لکه‌ای علف‌های هرز در مزارع، به میزان زیادی می‌تواند ناشی از تغییر در خصوصیات خاک باشد (مت کالفه و همکاران ۲۰۱۶). درواقع، تغییرات مکانی در خصوصیات خاک بر توزیع مکانی گونه‌ها و تراکم‌های علف هرز تأثیرگذار است (والتر و همکاران ۲۰۰۲). با شناسایی عوامل کلیدی خاک که تعیین‌کننده توزیع علف‌های هرز در مزارع می‌باشد، این امکان وجود دارد که نقشه‌های خاک در به کارگیری مدیریت متناسب با مکان علف‌های هرز کمک کنند (مت کالفه و همکاران ۲۰۱۷). نشان داده شده است که توزیع لکه‌ای علف هرز دم‌روباهی کشیده می‌تواند مرتبط با تغییرات خصوصیات خاک (موردوچ و همکاران ۲۰۱۴ و مت کالفه و همکاران ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸) به ویژه ماده آلی خاک، pH و آب باشد (مت کالفه و همکاران ۲۰۱۹). پژوهش‌گران دیگری، همبستگی معنی‌داری بین محتوای رس و تراکم دم‌روباهی کشیده در مزرعه دریافتند (نوردمایر و دانکر ۱۹۹۹).

مقادیر درون مزرعه‌ای عملکرد در گیاهان زراعی، تابعی از ویژگی‌های مختلف مانند خاک، پستی و بلندی مزرعه، اقلیم، عوامل زیستی و مدیریتی می‌باشد (جیانگ و تلن ۲۰۰۴) که در این میان ویژگی‌های خاک دارای اهیمت به‌سزایی است (آقایی پور و همکاران ۲۰۱۹). پایش تغییرات مکانی خصوصیات خاک پیش‌نیاز مدیریت هر اکوسیستمی می‌باشد. وجود تغییرات مکانی در خصوصیات خاک اثرات مهمی در پوشش گیاهی و جوامع زیستی دارد (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰). برای مشخص کردن تأثیر تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر رشد محصول و عملکرد، نیاز است تا روابط مکانی این تغییرات بررسی شود (کیوانی ۲۰۱۵). پژوهش‌گران اظهار داشتند با آگاهی از تغییرات مکانی ازت کل خاک می‌توان تغییرات مکانی عملکرد گندم را کمی نمود و آن را به‌صورت نقشه زمین‌آماری برای اهداف

مدیریتی به کار گرفت (واعظی و همکاران ۲۰۱۷). نقشه‌های توزیع خصوصیات خاک و عملکرد گندم اطلاعات ارزشمندی را فراهم می‌کند که می‌تواند برای بهبود عملکرد گندم در کشاورزی دقیق استفاده شود (کرمی و افضلی نیا ۲۰۱۸).

به طور کلی در سطح مزرعه تغییرات مکانی عناصر غذایی، علف‌های هرز و سایر متغیرهای کنترل‌کننده رشد و عملکرد بسیار زیاد بوده و گاه در فواصل چند متری نیز اختلافات جدی مشاهده می‌شود (پاز و همکاران ۲۰۰۱). اطلاع از نحوه و الگوی تغییرات مکانی درون مزرعه‌ای خصوصیات خاک و دیگر عوامل دخیل در تولید به منظور کاهش خطا در بکارگیری نهاده‌ها، ضروری است (کیانی ۲۰۱۵). در همین راستا، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و هم‌چنین علف هرز و بررسی تأثیری که این عوامل بر توزیع مکانی عملکرد گندم در سطح مزرعه خواهند داشت، انجام گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش در مزرعه‌ای واقع در شهرستان مبارکه (با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا) استان اصفهان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و با استفاده از روش زمین‌آمار انجام شد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، شهرستان مبارکه دارای اقلیم خشک سرد و بر اساس روش آماری تحلیل‌های چند متغیره دارای اقلیم نیم سرد و خشک می‌باشد. در این مزرعه هیچ عملیات مدیریتی برای کنترل علف‌های هرز انجام نشد. علف‌های هرز غالب مزرعه، دم‌روباهی کشیده، جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) و سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) بودند که در این پژوهش، علف هرز دم‌روباهی کشیده به عنوان غالب‌ترین گونه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری از جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده و هم‌چنین عملکرد دانه گندم، روی شبکه علامت‌گذاری شده مربعی (گرید) به ابعاد ۲ × ۲ متر و در مجموع در ۱۰۴ نقطه در مزرعه انجام شد. نمونه‌برداری از عملکرد دانه گندم و تراکم علف هرز با استفاده از کادرهایی به ابعاد ۰/۲۵ مترمربع (۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر) در محل تقاطع خطوط شبکه صورت گرفت. هم‌چنین نمونه‌برداری از صفات مورد بررسی خاک شامل عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، EC، pH، درصد رس، سیلت و شن نیز با استفاده از کوادرات‌های ثابت به ابعاد ۰/۲۵ مترمربع انجام گردید. محل‌های نمونه‌برداری از عملکرد دانه گندم و علف هرز با محل‌های نمونه‌برداری از خصوصیات خاک منطبق بود.

یکی از خصوصیات مشترک داده‌های حاصل از یک متغیر محیطی (مانند صفات مختلف گندم و علف هرز) همبستگی مکانی بین آن‌ها است، بدین‌معنی که مشاهدات نزدیک به هم در مقایسه با داده‌هایی که با فاصله زیادی از یکدیگر واقع شده‌اند دارای شباهت و همسانی بیشتری می‌باشند. این وابستگی مکانی بین نمونه‌ها را می‌توان بصورت یک مدل ریاضی تحت عنوان سمی‌واریوگرام یا نیم تغییرنما (رابطه ۱) توصیف کرد (محمدی ۲۰۰۲).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (۱)$$

که در آن N(h): زوج نمونه‌ای است که به فاصله‌ی h از یکدیگر واقع شده‌اند. Z(xi): مقدار متغیر در موقعیت xi، Z(xi+h): مقدار متغیر مورد مطالعه در موقعیت xi+h و y(h) نیز سمی‌واریوگرام می‌باشد. از نقطه نظر تئوریک، واریوگرام عبارت از نصف واریانس تفاوت بین مقادیر متغیر مورد نظر که در فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند. از آنجایی‌که در عمل تنها تعداد محدودی نمونه در دسترس است لذا می‌بایستی واریوگرام تجربی محاسبه شود. نمایش معمول واریوگرام از طریق ترسیم نمودار واریانس توزیع اختلاف‌ها برحسب فاصله صورت می‌گیرد. بدین ترتیب براساس نمونه‌های موجود مقدار تجربی این معادله بدست آمده و سپس مدل برحسب این مقادیر تجربی برازش داده می‌شود (ایساکز و سریواستاوا ۱۹۸۹).

از پارامترهای مدل جهت تخمین تراکم علف هرز، عملکرد گندم و سایر صفات اندازه‌گیری شده خاک در نقاط نمونه‌برداری نشده در کریجینگ استفاده شد. این پارامترها عبارت بودند از: حد آستانه (C_0+C) یا (مجانب[1]: A)، با افزایش یافتن فاصله h مقدار واریوگرام‌ها به تدریج تا فاصله معینی زیاد شده و از آن به بعد به حد ثابتی می‌رسد و در چنین شرایطی تابع مورد نظر، فاقد هرگونه صعود و یا نزول مشخصی است که نشانگر حدآستانه است و برای پیش‌بینی دامنه تأثیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. دامنه تأثیر[2] (Ao)، فاصله‌ای است که در آن واریوگرام به حداکثر مقدار خود رسیده و ثابت می‌شود. وقتی واریوگرام ثابت می‌شود نشان‌دهنده این است که داده‌ها در ورای این فاصله دیگر با هم همبستگی ندارند و از یکدیگر مستقل می‌شوند، خصوصیت مورد نظر در آن فاصله دارای همبستگی است. عرض از مبدا[3] (I) یا اثر قطعه‌ای (Co)، مقداری است که در اثر تغییرات غیر قابل پیش‌بینی یا خطاهای ذاتی نمونه‌برداری حادث می‌شود. به این معنا که مشاهدات جدا شده به وسیله فواصل بی‌نهایت کوچک مشابه نیستند. هرچه عرض از مبدأ به سمت صفر میل کند از تصادفی بودن توزیع متغییر مورد نظر کاسته شده و همبستگی مکانی قوی‌تری پدیدار می‌شود. زمانی‌که مقدار اثر قطعه‌ای از صفر افزایش پیدا می‌کند، نشان‌دهنده این است که عوامل تصادفی غیر قابل پیش‌بینی وجود دارند. در واقع تفاوت بین حد آستانه و عرض از مبدأ نشان‌دهنده مقدار واریانسی است که بوسیله فواصل بین نقاط نمونه‌برداری شده توصیف می‌شود. این مقدار هنگامی که به عنوان درصدی از حدآستانه بیان شود نشان‌دهنده درصد همبستگی مکانی است. برای محاسبه درصد همبستگی مکانی از رابطه ۲ استفاده شد (کاردینا و همکاران ۱۹۹۶).

$$Autocorrelation(\%) = [\frac{Asymptote - Intercept}{Asymptote}] \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن Autocorrelation (%) یا درصد همبستگی مکانی، Asymptote یا مجانب و Intercept یا عرض از مبدأ می‌باشد. مقادیر همبستگی مکانی بین صفر (نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی مکانی یا پراکنش کاملاً تصادفی) تا ۱۰۰ درصد (همبستگی مکانی قوی) تغییر می‌کند. مقادیر کوچک‌تر یا مساوی ۲۵ درصد بیانگر همبستگی مکانی ضعیف، از ۲۵ تا ۷۵ درصد همبستگی مکانی متوسط و بیشتر از ۷۵ درصد همبستگی مکانی قوی محسوب می‌شود (جورادو-اکسپوزیتو و همکاران ۲۰۰۳). واریوگرام‌های مورد مطالعه اغلب با مدل‌های کروی و نمایی سازگاری داشتند، در موارد محدودی نیز مدل خطی برازش داده شد. کریجینگ متداول‌ترین روش آماری تخمین و برآورد متغیر مکانی به عنوان یک تابع خطی از مجموع مشاهدات توزیع شده واقع در همسایگی نقطه‌ای که می‌خواهیم تخمین بزنیم شناخته می‌شود. هدف از کریجینگ یافتن وزن‌های آماری به گونه‌ای است که واریانس تخمین حداقل گردد. کریجینگ را می‌توان روشی دانست که طی آن به مجموعه نمونه‌ها به گونه‌ای وزن آماری داده می‌شود که ترکیب خطی آن‌ها نه تنها ناریب شود بلکه در بین سایر تخمین گرها حداقل واریانس را داشته باشد. دستگاه معادلات کریجینگ را می‌توان به منظور برآورد نقطه‌ای و یا برآورد قطعه‌ای انجام داد (محمدی، ۲۰۰۲ و ایساکز و سریواستاوا ۱۹۸۹). بخش عمده ویژگی‌های آماری، نرمال کردن داده‌ها، تبدیل برگشت (پس از برآورد آماری، نتایج از حالت لگاریتمی به حالت اولیه برگشت داده شد و سپس نقشه‌ها ترسیم شدند)، رسم واریوگرام‌های تجربی، برازش مدل، برآورد کریجینگ و رسم نقشه‌ها برای صفات مختلف از قبیل جمعیت گیاهچه علف هرز، عملکرد دانه گندم و صفات مختلف خاک با استفاده از نرم‌افزار GS+ انجام شد. جهت توصیف همبستگی مکانی بین دو متغیر (مانند جمعیت علف هرز و عملکرد گندم) از سمی‌واریوگرام متقاطع (کراس سمی‌واریوگرام) (رابطه ۳) استفاده شد (کولباخ و همکاران ۲۰۰۰).

[1] Asymptote
[2] Range
[3] Intercept

$$\gamma AB(h) = \frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[ZA(Xi) - ZA(Xi+h) \times ZB(Xi) - ZB(Xi+h)] \qquad (۳)$$

که در آن AB(h): کراس سمی‌واریوگرام برای مکان-های نمونه‌برداری است که به فاصله h از یکدیگر واقع شده است. ZA(xi) و ZB(xi) به ترتیب مقدار دو متغیر (مثلاً تراکم جمعیت علف هرز و عملکرد گندم) در نقاط X و Xh می‌باشد. بدین‌ترتیب براساس نمونه‌های موجود مقدار تجربی این معادله بدست آمده و سپس مدلی را با این مقادیر تجربی وفق دادیم. جهت برازش دادن مدل‌ها و ترسیم کراس سمی‌واریوگرام‌ها، ابتدا داده‌ها نرمال شد. بطوری‌که پس از افزودن یک به تمامی داده‌ها از آن-ها لگاریتم طبیعی گرفته شد. رسم کراس سمی-واریوگرام‌ها، برازش مدل و برآورد کریجینگ با استفاده از نرم‌افزار Variowin انجام شد.

نتایج و بحث

خلاصه آماری ویژگی‌های خاک

قبل از انجام هرگونه تجزیه و تحلیل آماری، منظم کردن و سازمان‌دهی داده‌های اولیه و ارائه یک خلاصه آماری از توزیع داده‌ها ضروری به نظر می‌رسد، چرا که اطلاعات مهم و مفیدی در رابطه با چگونگی توزیع آماری داده‌ها در اختیار محقق قرار می‌دهد (کیوانی ۲۰۱۵). خلاصه آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خلاصه آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مزرعه گندم

صفات	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	ضریب تغییرات (٪)
نیتروژن	درصد	۰/۰۱۱	۰/۰۲۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۲	۱۴/۶
فسفر	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۹/۵	۱۴/۸	۱۱/۸	۱/۵۱	۰/۱۴	۱۲/۷
پتاسیم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۶۹/۱	۱۹۵/۹	۱۸۴/۹	۷/۷۹	۰/۷۶	۴/۲
pH	–	۷/۶۹	۷/۹۵	۷/۸۶	۰/۰۹	۰/۰۰۸	۱/۱
EC	دسی‌زیمنس بر متر	۲/۸۷	۳/۱۳	۲/۹۵	۰/۰۷	۰/۰۰۶	۲/۳
رس	درصد	۱۴/۹	۲۶/۲	۲۲/۲	۳/۱۷	۰/۳۱	۱۴/۲
سیلت	درصد	۱۵/۷	۳۳/۰	۲۳/۰	۳/۴۰	۰/۳۳	۱۴/۷
شن	درصد	۵۱/۱	۶۰/۲	۵۴/۷	۲/۳۷	۰/۲۳	۴/۳

نتایج آماری داده‌ها نشان داد حداقل، حداکثر و میانگین نیتروژن خاک در مزرعه به ترتیب برابر با ۰/۰۱۱، ۰/۰۲۱ و ۰/۰۱۵ درصد بود. ضریب تغییرات این متغیر نیز برابر با ۱۴/۶ درصد به دست آمد. بالا بودن ضریب تغییرات نیتروژن خاک نشان‌دهنده تغییرات نسبتاً زیاد این ویژگی بین نقاط نمونه‌برداری بود (جدول ۱). بر اساس توصیف آماری داده‌ها، میانگین فسفر خاک برابر با ۱۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقادیر حداقل و حداکثر فسفر خاک به ترتیب برابر با ۹/۵ و ۱۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ضریب تغییرات این متغیر نیز ۱۲/۷ درصد به دست آمد (جدول ۱). خلاصه آماری داده‌های خاک نشان داد پتاسیم خاک مزرعه بین ۱۶۹/۱ و ۱۹۵/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. میانگین پتاسیم خاک برابر با ۱۸۴/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ضریب تغییرات این متغیر نیز برابر با ۴/۲ درصد بود (جدول ۱). در بین عوامل مربوط به خاک نقش عناصر غذایی از جمله عناصر پرمصرف از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا این عوامل به راحتی قابل تغییرند و می‌توان با تغییر آن‌ها، تغییرات قابل توجهی را در کمیت و کیفیت گیاهان ایجاد نمود (خزائی ۲۰۱۶). در پژوهشی، تغییرپذیری عناصر غذایی خاک نشان داد نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم به ترتیب دارای بیشترین به کمترین ضریب تغییرات بودند (بهمنی و همکاران ۲۰۱۹) که گزارش این محققین هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر (جدول ۱) می‌باشد.

بر اساس توصیف آماری داده‌ها، میانگین pH خاک، برابر با ۷/۸۶ بود. مقادیر حداقل و حداکثر pH خاک به ترتیب با ۷/۶۹ و ۷/۹۵ نشان‌دهنده تغییرات بسیار کم این ویژگی بین نقاط نمونه‌برداری بود، به‌طوری‌که در بین صفات مورد مطالعه، کمترین ضریب تغییرات (۱/۱ درصد) مربوط به pH خاک بود (جدول ۱). در مطالعه‌ای که با هدف بررسی توزیع مکانی برخی ویژگی‌های خاک در برخی از اراضی زراعی استان اصفهان انجام شد، نتایج نشان داد در بین ویژگی‌های موردمطالعه شوری زیادترین ضریب تغییرات (۸۶/۰۷) و pH کمترین ضریب تغییرات (۲/۷۵) را داشت (مشایخی و مرجوی ۲۰۲۳). در پژوهش دیگری که بر روی گندم صورت گرفت، پژوهش‌گران گزارش دادند در بین متغیرهای مورد مطالعه، pH دارای کمترین ضریب تغییرات (۰/۵۹ درصد) و عملکرد دانه دارای بیشترین ضریب تغییرات (۲۰/۴۰ درصد) بود (ایوبی و همکاران ۲۰۱۰).

خلاصه آماری داده‌ها نشان داد EC خاک مزرعه بین ۲/۸۷ و ۳/۱۳ دسی زیمنس بر متر متغیر بود. میانگین EC خاک برابر با ۲/۹۵ دسی زیمنس بر متر و ضریب تغییرات این متغیر نیز برابر با ۲/۳ درصد بود (جدول ۱). حداقل، حداکثر و میانگین برای رس خاک مزرعه به ترتیب برابر با ۱۴/۹، ۲۶/۲ و ۲۲/۲ درصد، برای سیلت به ترتیب برابر با ۱۵/۷، ۳۳/۰ و ۲۳/۰ درصد و برای شن به ترتیب برابر با ۵۱/۱، ۶۰/۲ و ۵۴/۷ درصد بود. مقادیر ضریب تغییرات برای محتوای رس، سیلت و شن خاک نیز به ترتیب برابر با ۱۴/۲، ۱۴/۷ و ۴/۳ درصد بود (جدول ۱).

پس از بررسی آمار توصیفی داده‌ها که به منظور شناخت بیشتر متغیر انجام می‌گیرد، لازم است که همبستگی مکانی داده‌ها بررسی گردد (بایزیدی ۲۰۱۵). به عبارت دیگر، آماره‌های توصیفی مانند اطلاعاتی که در جدول ۱ نشان داده شده است تنها شدت تغییرات را نشان داده و اطلاعات مربوط به الگوی توزیع متغیرها در درون مزرعه و نیز تأثیر متغیرهای محیطی بر نوسانات عملکرد را آشکار نمی‌سازند (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۶). در این راستا، استفاده از علم زمین‌آمار می‌تواند کارگشا باشد چرا که درک بهتری از الگوی تغییرپذیری متغیرها را فراهم می‌آورد (وبستر و اولیور ۲۰۰۱). بنابراین، در ادامه توزیع مکانی ویژگی‌های خاک، جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده، عملکرد دانه گندم و هم‌چنین همبستگی مکانی که بین این متغیرها وجود دارد، ارائه گردید.

توزیع مکانی ویژگی‌های خاک

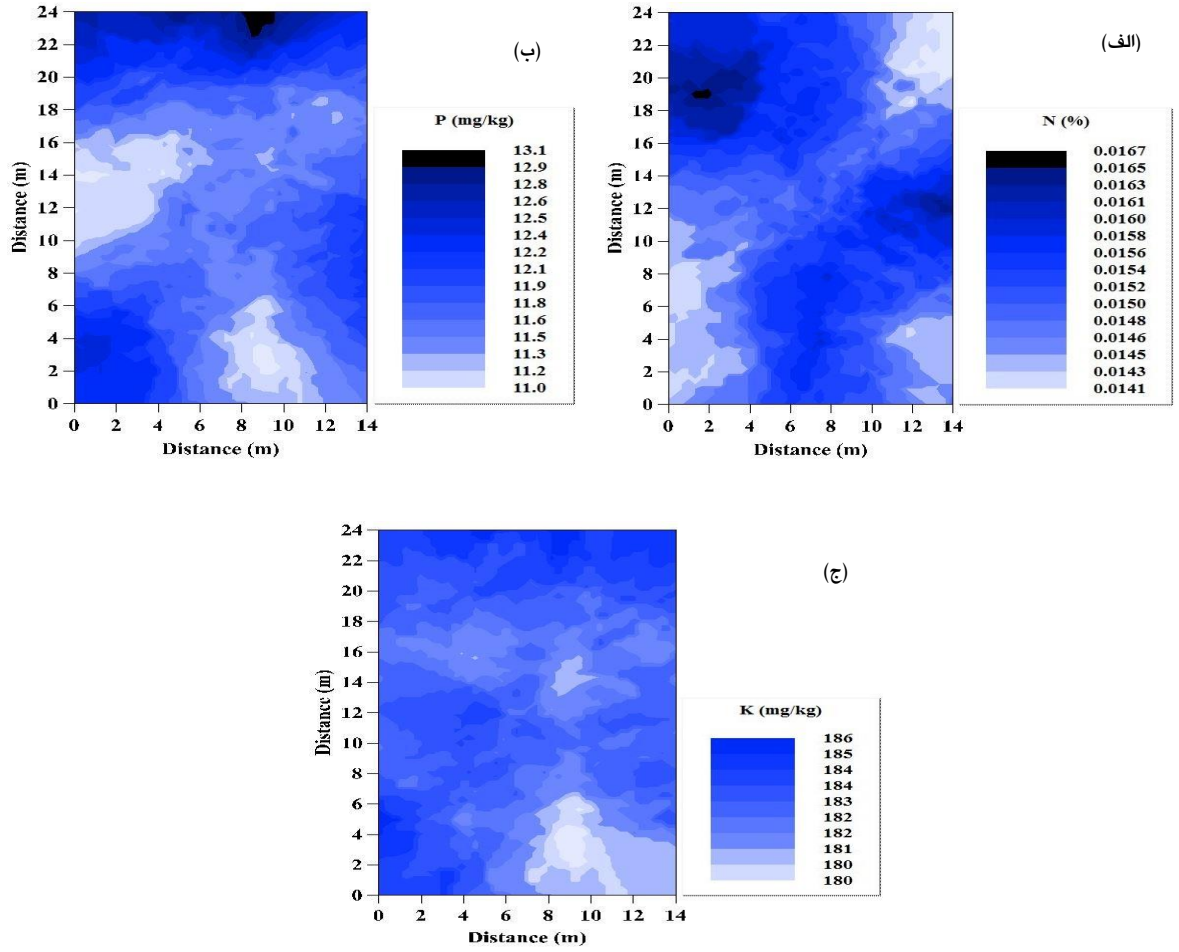
همبستگی مکانی برای نیتروژن خاک در مزرعه مورد بررسی، با استفاده از تجزیه و تحلیل سمی‌واریوگرام محاسبه شد. برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که نیتروژن خاک در سطح مزرعه از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌نمود یا به عبارتی دارای توزیع لکه‌ای یا تجمعی بود، به‌طوری‌که همبستگی مکانی متوسط به میزان ۵۰/۰ درصد در دامنه تأثیر ۵۱/۰ متر برای الگوهای توزیع نیتروژن خاک در سطح مزرعه توسط مدل نمایی سمی‌واریوگرام بدست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- ضرایب مدل‌های برازش داده شده بر سمی‌واریوگرام‌های تجربی برای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

صفات	مدل	عرض از مبدا	مجانب	دامنه تأثیر (m)	همبستگی (%)	کلاس مکانی	r^2
نیتروژن	نمایی	۰/۰۰۰۰۰۴۱	۰/۰۰۰۰۰۸۲	۵۱/۰	۵۰/۰	متوسط	۰/۱۷
فسفر	نمایی	۰/۰۱۱۴۸	۰/۰۲۳۰۶	۵۱/۰	۵۰/۲	متوسط	۰/۲۳
پتاسیم	خطی	۰/۰۰۱۷۵۳	۰/۰۰۱۸۳۱	۲۰/۸	۴/۲	ضعیف	۰/۰۳
pH	خطی	۰/۰۰۰۱۰۸۸	۰/۰۰۰۱۰۸۸	۲۰/۸	۰	ضعیف	۰/۱۰
EC	کروی	۰/۰۰۰۲۳۴۴	۰/۰۰۰۴۶۹۸	۲۲/۱	۵۰/۱	متوسط	۰/۹۴
رس	کروی	۰/۰۱۵۵۷	۰/۰۳۵۸۴	۴۶/۰	۵۶/۵	متوسط	۰/۹۲
سیلت	کروی	۰/۰۱۵۷	۰/۰۳۱۵	۵۱/۰	۵۰/۱	متوسط	۰/۸۷
شن	نمایی	۰/۰۰۱۴۵۸	۰/۰۰۲۹۸۶	۴۴/۳	۵۱/۱	متوسط	۰/۶۲

در پژوهشی که بر روی گندم انجام شد، نتایج نشان داد دامنه تأثیر سمی‌واریوگرام برای نیتروژن خاک ۲۱۱ متر بدست آمد و مدل برازش یافته بر این متغیر از نوع نمایی بود (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰). دامنه تأثیر بزرگ‌تر دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر، پراکنش پیرایشی‌تر (رونددار) و در حقیقت پیوستگی مکانی بیشتر در مقادیر متغیر مورد نظر دارد (افشار و همکاران ۲۰۰۹). با توجه به تحت تأثیر قرار گرفتن نیتروژن خاک بوسیله عواملی مانند آبیاری، بارندگی یا برداشت توسط گیاه زراعی، بنابراین انتظار می‌رود که لکه‌های ناپایداری از توزیع این عنصر در خاک مزارع وجود داشته باشد (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰).

برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام حاکی از آن بود که فسفر خاک در سطح مزرعه مورد مطالعه، توزیع تصادفی یا یکنواختی نداشت، بلکه دارای توزیع لکه‌ای یا تجمعی بود. سمی‌واریوگرام برازش داده شده برای فسفر خاک با مدل نمایی مطابقت داشت (جدول ۲). نتایج نشان داد همبستگی مکانی متوسط به میزان ۵۰/۲ درصد در دامنه تاثیر ۵۱/۰ متر برای فسفر خاک به دست آمد. دامنه تأثیر زیاد فسفر خاک نشان می‌دهد که لکه‌های طویلی با مقادیر کم و یا زیاد در سطح مزرعه وجود دارند (شکل ۱). عوامل مدیریتی نظیر کاربرد کود فسفر، تخلیه آن توسط گیاه زراعی و علف‌های هرز در سال‌های قبل و میزان قابل دسترس بودن آن در سال‌های قبل می‌تواند بر الگوهای تغییر این عنصر در خاک تأثیرگذار باشد، اما عدم تحرک آن در نهایت تأثیر بیشتری بر الگوهای توزیع آن خواهد داشت (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰).

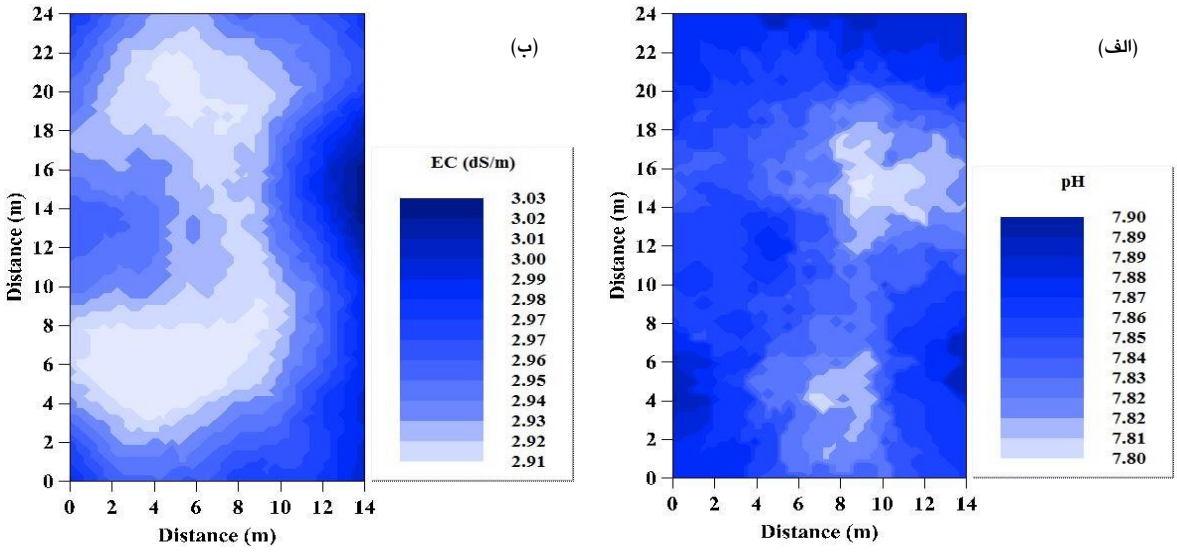


شکل ۱- نقشه‌های توزیع نیتروژن (الف)، فسفر (ب) و پتاسیم (ج) خاک در مزرعه گندم

نتایج حاکی از آن بود سمی‌واریوگرام برازش داده شده بر محتوای پتاسیم خاک با مدل خطی سازگاری داشت (جدول ۲). برازش مدل سمی‌واریوگرام نشان داد که پتاسیم خاک در سطح مزرعه، دارای همبستگی مکانی ضعیف به میزان ۴/۲ درصد بود. در بین صفات مورد بررسی، پایین‌ترین دامنه تأثیر (۲۰/۸ متر) مربوط به پتاسیم خاک بود (جدول ۲). دامنه تأثیر کوتاه به دست آمده از واریوگرام بیانگر لکه‌های کوچک پتاسیم خاک مزرعه می‌باشد که در شکل ۱ نیز مشهود است. در راستای نتایج پژوهش حاضر، محققین گزارش دادند پتاسیم خاک در مقایسه با نیتروژن و فسفر دارای دامنه تأثیر کوچک‌تری بود (بهمنی و همکاران ۲۰۱۹). تفاوت در عملیات مدیریتی، سابقه گیاهان تناوبی در مزرعه و در کنار سایر عوامل اقلیمی و البته مقیاس نمونه‌برداری و مزرعه می‌تواند دلیل تفاوت در دامنه تأثیر پراکنش پتاسیم در مزارع مختلف باشد (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰).

اجزای سمی‌واریوگرام‌ها به منظور بررسی همبستگی مکانی pH خاک مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد سمی‌واریوگرام برازش داده شده برای pH خاک با مدل خطی مطابقت داشت. همبستگی مکانی برابر صفر برای pH خاک، بیانگر توزیع کاملاً تصادفی و البته تغییرات بسیار اندک این متغیر در دامنه مورد نظر بود (جدول ۲). در مطالعه‌ای که با هدف بررسی مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک برای گیاه گندم انجام شد، نتایج نشان داد pH، کمترین وابستگی مکانی را با دامنه ۱۹/۱ متر در منطقه مورد مطالعه نشان داد (بیژن زاده و همکاران ۲۰۱۴). عدم وجود ساختار مکانی یا ساختار مکانی ضعیف در بین خصوصیات خاک می‌تواند به این دلیل باشد که تغییرات این متغیرها از نوع تغییرات غیر ساختاری یا تصادفی بوده که در محدوده کوچک‌تر از محدوده نمونه‌برداری رخ داده و در گروه تغییرات کوتاه دامنه قرار می‌گیرد. برخی از خصوصیات خاک در مقیاس مکانی کوچک‌تر از محدوده نمونه‌برداری، دارای تغییرات تصادفی زیاد و در نتیجه ساختار مکانی ضعیف هستند. گفتنی است هر چند به دلیل نقش سایر متغیرهای تأثیرگذار بر خصوصیات خاک، وجود ساختار مکانی ضعیف برای برخی از خصوصیات خاک در لایه‌های سطحی دور از انتظار نیست (محمدی ۲۰۱۹).

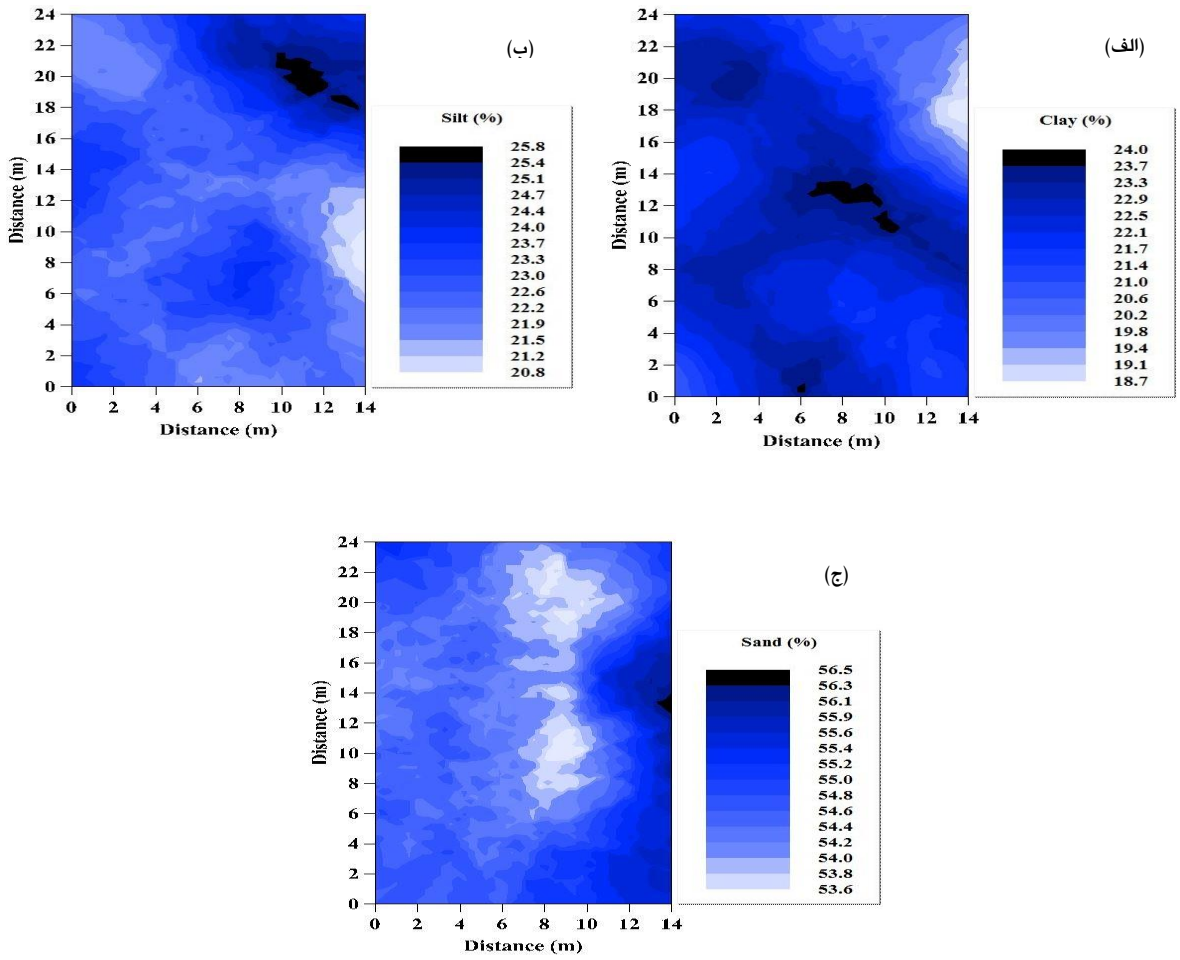
برازش مدل سمی‌واریوگرام نشان داد که EC خاک در سطح مزرعه مورد مطالعه، توزیع تصادفی یا یکنواختی نداشت، بلکه از آرایش لکه‌ای برخوردار بود. اجزای سمی‌واریوگرام‌ها به منظور بررسی همبستگی مکانی مورد استفاده قرار گرفتند و همبستگی مکانی متوسط به میزان ۵۰/۱ درصد در دامنه تأثیر ۲۲/۱ متر برای EC خاک مشاهده شد (جدول ۲).



شکل ۲- نقشه‌های توزیع pH (الف) و EC (ب) خاک در مزرعه گندم

در مطالعه‌ای که به منظور مطالعه توزیع مکانی خصوصیات خاک در بعضی اراضی زراعی استان اصفهان انجام شد، محققین گزارش دادند از بین صفات مورد بررسی، EC کمترین مقدار دامنه تأثیر را داشت. کم بودن دامنه تأثیر را می‌توان به عوامل مدیریتی (تغییر کاربری، مدیریت آبیاری، شخم، کود دهی و ...) ارتباط داد (مشایخی و مرجوی ۲۰۲۳). در پژوهش دیگری که بر روی گندم انجام شد، برازش مدل بر هدایت الکتریکی خاک (EC) حاکی از آن بود که ظرفیت هدایت الکتریکی در دامنه تأثیر ۱۹۲/۶ متر همبستگی مکانی قوی به میزان ۹۷/۲۹ درصد نشان داد (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰).

همبستگی مکانی برای بافت خاک مزرعه، با استفاده از تجزیه و تحلیل سمی‌واریوگرام محاسبه شد. سمی-واریوگرام برازش داده شده برای محتوای رس و سیلت خاک با مدل کروی و برای محتوای شن خاک با مدل نمایی مطابقت داشت (جدول ۲). برازش مدل‌های سمی-واریوگرام نشان داد که بافت خاک در سطح مزرعه از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌نمود یا به عبارتی دارای توزیع لکه‌ای یا تجمعی بود، به‌طوری‌که همبستگی مکانی متوسط به میزان ۵۶/۵، ۵۰/۱ و ۵۱/۱ درصد در دامنه تأثیر ۴۶/۰، ۵۱/۰ و ۴۴/۳ متر به ترتیب برای الگوهای توزیع رس، سیلت و شن خاک در سطح مزرعه توسط مدل سمی‌واریوگرام بدست آمد (جدول ۲). نتایج تحقیقی نشان داد درصد شن، سیلت و رس خاک دارای ساختار مکانی قوی بودند. درحالی‌که pH خاک و کربن آلی دارای ساختار مکانی متوسطی بودند (کرمی و افضلی نیا ۲۰۱۸).



شکل ۳- نقشه‌های توزیع محتوای رس (الف)، سیلت (ب) و شن (ج) خاک در مزرعه گندم

توزیع مکانی علف هرز دم‌روباهی کشیده

بر اساس توصیف آماری داده‌ها، میانگین جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده برابر با ۳/۳۰ بوته در مترمربع بود. مقادیر حداقل و حداکثر جمعیت این علف هرز به ترتیب با صفر و ۳۲/۰ بوته در مترمربع بیانگر تغییرات بسیار زیاد این متغیر بین نقاط نمونه‌برداری بود. هم‌چنین نتایج حاکی از آن بود که ۶۹/۲ درصد نقاط نمونه‌برداری عاری از علف هرز دم‌روباهی کشیده بود (جدول ۳).

جدول ۳- خلاصه آماری داده‌های تراکم علف هرز دم‌روباهی کشیده و عملکرد دانه گندم

صفات	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	ضریب تغییرات (%)	نقاط عاری از علف هرز (%)
تراکم دم‌روباهی	تعداد در مترمربع	۰	۳۲	۳/۳۰	۶/۴۶	۰/۶۳	۱۹۵/۷	۶۹/۲
عملکرد گندم	گرم در مترمربع	۱۴۹/۵	۲۲۹/۸	۱۹۹/۳	۲۸/۹۵	۲/۸۴	۱۴/۵	–

در همین راستا، نتایج پژوهشی نشان داد نواحی آلوده به علف هرز پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.) بین سال‌ها و محصولات، به طور قابل توجهی متغییر بود. در حدود ۶۳ و ۵۲ درصد از کل منطقه در سال‌های کشت آفتابگردان (۲۰۰۰ و ۲۰۰۲) و در حدود ۳۷ و ۱۸ درصد از کل منطقه در سال‌های کشت گندم (۱۹۹۹ و ۲۰۰۱)، عاری از علف هرز پیچک صحرایی بود (جورادو-اکسپوزیتو و همکاران ۲۰۰۴). جمعیت علف‌های هرز در هر مزرعه با توجه به نوع گونه علف هرز و هم‌چنین سوابق مدیریت‌های اعمال شده در مزرعه متغیر است، ولی درصد نقاط بدون علف هرز می‌تواند مدیریت متناسب با مکان را در هر مزرعه امکان‌پذیر نماید (مکاریان ۲۰۰۸). در مطالعه حاضر نیز به دلیل اینکه درصد قابل توجهی از مزرعه گندم، بدون علف هرز دم-روباهی کشیده می‌باشد، بنابراین پتانسیل کاربرد لکه‌ای علف‌کش و متعاقباً کاهش مصرف علف‌کش در این مزرعه وجود داشته است.

سمی‌واریوگرام برازش داده شده برای جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده، با مدل نمایی مطابقت داشت (جدول ۴). برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده در سطح مزرعه از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌نمود و دارای آرایش لکه‌ای بود. اجزای سمی‌واریوگرام‌ها به منظور بررسی همبستگی مکانی مورد استفاده قرار گرفتند و همبستگی مکانی متوسط به میزان ۵۰/۰ درصد برای جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده به دست آمد (جدول ۴).

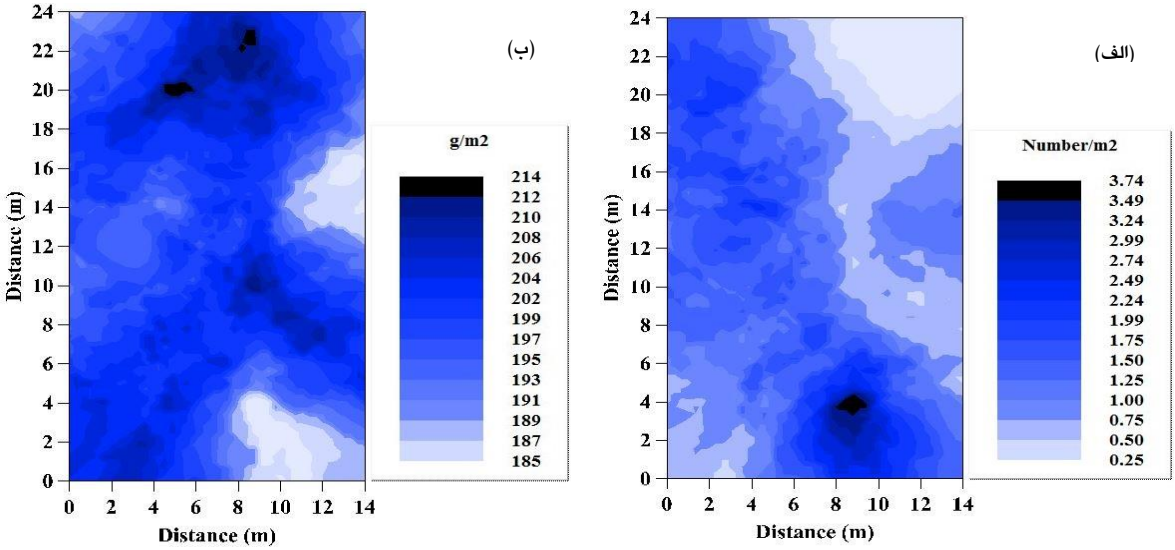
جدول ۴- ضرایب مدل‌های برازش داده شده بر سمی‌واریوگرام‌های تجربی برای تراکم علف هرز دم‌روباهی کشیده و عملکرد دانه گندم

صفات	مدل	عرض از مبدا	مجانب	دامنه تأثیر (m)	همبستگی (%)	کلاس مکانی	r^2
تراکم دم‌روباهی	نمایی	۱/۰۳۷	۲/۰۷۵	۵۱/۰	۵۰/۰	متوسط	۰/۱۷
عملکرد گندم	نمایی	۰/۰۱۸۸۹	۰/۰۳۷۸۸	۵۱/۰	۵۰/۱	متوسط	۰/۱۸

در پژوهشی که با هدف مطالعه پراکنش مکانی علف‌های هرز و اثر آن بر گندم انجام شد، نتایج حاکی از آن بود که کلیه علف‌های هرز همبستگی مکانی یا پراکنش لکه‌ای نشان دادند. واریوگرام‌های علف‌های هرز نیز غالباً با مدل‌های کروی و نمایی مطابقت داشتند. در مدل‌های کروی همبستگی مکانی در دامنه تأثیر کمتری نسبت به

مدل‌های نمایی حاصل می‌شود (مکاریان و حسینی ۲۰۱۱). در پژوهش دیگری که بر روی گندم انجام شد، برازش مدل‌ها نشان داد که جمعیت کل علف‌های هرز مزرعه دارای الگوی پراکنش لکه‌ای قوی بود، به‌طوری‌که همبستگی مکانی ۷۷/۰۷ درصد برای الگوهای توزیع جمعیت مجموع علف‌های هرز بدست آمد (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰).

بر اساس مدل‌های برازش داده شده، دامنه تأثیر برای تراکم علف هرز دم‌روباهی کشیده برابر با ۵۱/۰ متر به دست آمد (جدول ۴). فاصله‌ای که در آن واریوگرام به حد ثابت و مشخص می‌رسد اصطلاحاً دامنه نامیده می‌شود و در حقیقت قطر یک لکه علف هرز را نشان می‌دهد که از آن به بعد نمونه‌ها بر هم تأثیر ندارند و مقادیر مشاهده شده یا نمونه‌برداری شده را می‌توان مستقل از یک‌دیگر دانست. به عبارتی دیگر چنین فاصله‌ای، حد همبستگی مکانی و متغیر مورد مطالعه را مشخص می‌سازد (غلامی گل افشان و همکاران ۲۰۰۹). در پژوهشی که بر روی گندم انجام شد، نتایج نشان داد پارامترهای مدل‌های واریوگرام بسته به گونه علف هرز و هم‌چنین مرحله نمونه‌برداری متفاوت بودند؛ به‌طوری‌که دامنه تأثیر از ۱/۲ تا ۱۶/۹۰ متر بسته به گونه علف هرز و مرحله نمونه‌برداری تغییر کرد (مکاریان و حسینی ۲۰۱۱).



شکل ۴- نقشه‌های توزیع جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده (الف) و عملکرد دانه گندم (ب)

توزیع مکانی عملکرد دانه گندم

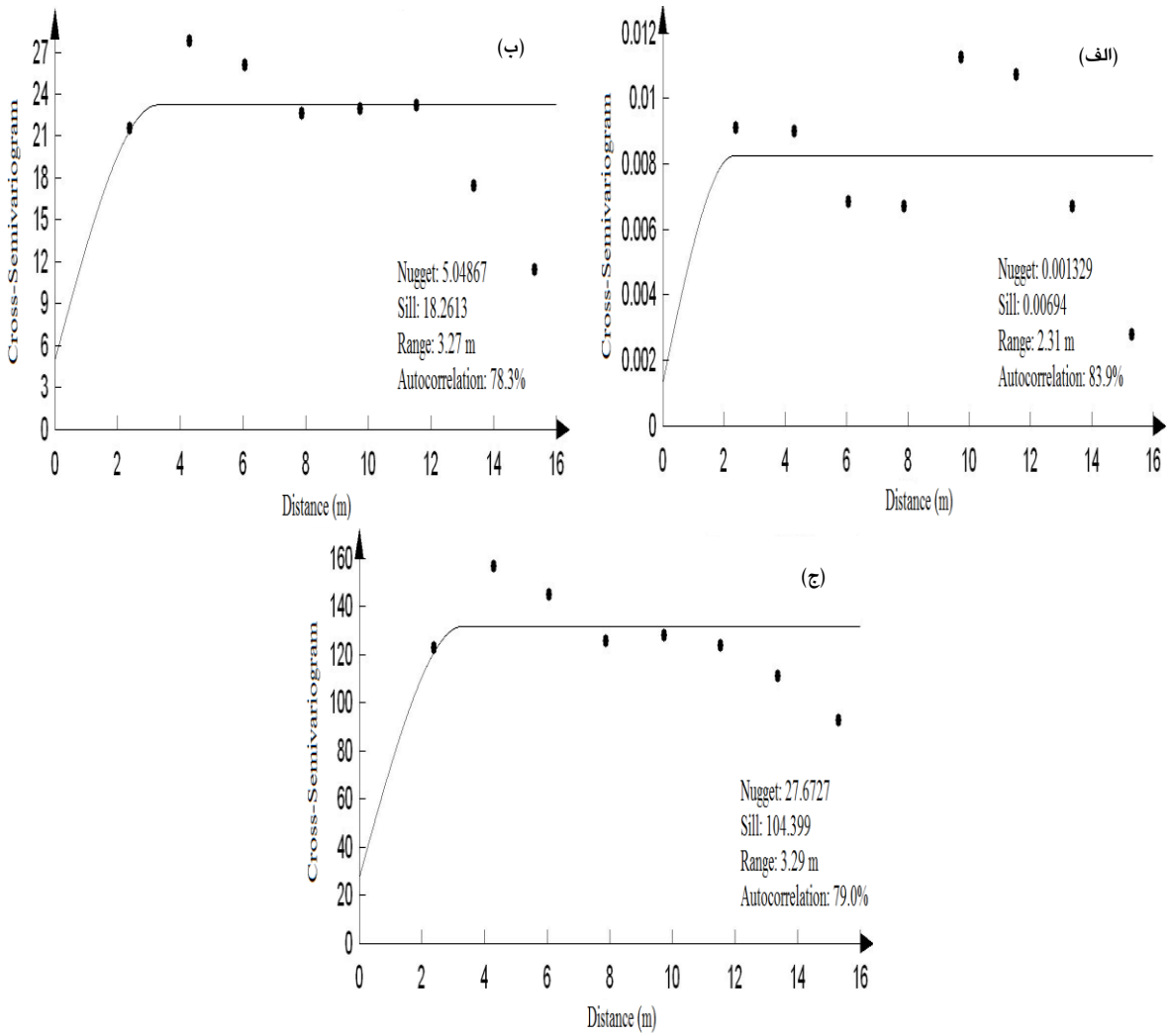
خلاصه آماری داده‌ها نشان داد عملکرد دانه گندم بین ۱۴۹/۵ و ۲۲۹/۸ گرم در مترمربع متغیر بود. میانگین عملکرد دانه گندم برابر با ۱۹۹/۳ گرم در مترمربع و ضریب تغییرات این متغیر نیز برابر با ۱۴/۵ درصد بود (جدول ۳). در همین راستا، نتایج پژوهشی نشان داد نوسانات مکانی عملکرد گندم بین ۴/۹-۱/۵ با میانگین ۳/۳ تن در هکتار و ضریب تغییرات (CV) ۲۹ درصد بود درحالی‌که تراکم علف‌های هرز و نیتروژن خاک تنوع بیشتری داشته و CV آن‌ها به ترتیب ۵۵ و ۴۱ درصد بود (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۶). در پژوهش دیگری که بر روی گندم صورت گرفت، پژوهش‌گران گزارش دادند در بین متغیرهای مورد مطالعه، pH دارای کمترین ضریب تغییرات (۰/۵۹ درصد) و عملکرد دانه دارای بیشترین ضریب تغییرات (۲۰/۴۰ درصد) بود (ایوبی و همکاران ۲۰۱۰).

همبستگی مکانی برای عملکرد دانه گندم، با استفاده از تجزیه و تحلیل سمی‌واریوگرام محاسبه شد. برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه در سطح مزرعه از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌نمود یا به عبارتی دارای پراکنش لکه‌ای بود، به‌طوری‌که همبستگی مکانی متوسط به میزان ۵۰/۱ درصد در دامنه تأثیر ۵۱/۰

متر برای الگوهای توزیع عملکرد دانه در سطح مزرعه توسط مدل نمایی سمی‌واریوگرام بدست آمد (جدول ۴). در پژوهشی، نتایج آنالیز سمی‌واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه دارای پراکنش لکه‌ای بود. نقشه توزیع عملکرد دانه گندم نیز حاکی از آن بود که در بخش‌هایی از مزرعه، عملکرد دانه به ۳/۴ تن در هکتار می‌رسید این درحالی بود که در بخش‌های وسیعی از مزرعه عملکرد به زیر ۲ تن و در بعضی نقاط حتی به یک تن می‌رسید (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰). در پژوهش دیگری، محققین با تهیه نقشه‌های عملکرد گندم نشان دادند که تغییرات مکانی عملکرد در مزرعه مورد مطالعه آن‌ها بین ۰/۵ تا بیشتر از ۴ تن در هکتار بود (کوک و براملی ۲۰۰۰).

ارتباط مکانی عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک

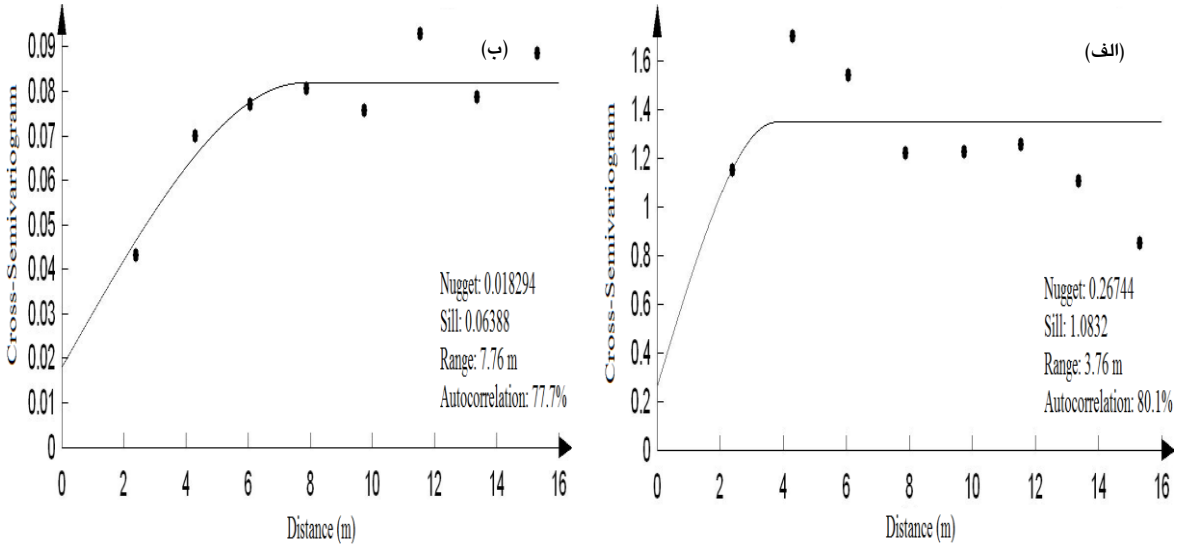
با ترسیم کراس سمی‌واریوگرام‌ها میزان همبستگی مکانی بین عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک، مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور مدل‌های کروی بر داده‌های خاک و عملکرد گندم در مزرعه مورد مطالعه، برازش داده شد. نتایج نشان داد کراس سمی‌واریوگرام برازش داده شده بین عملکرد دانه و نیتروژن خاک در دامنه ۲/۳ متر، ۸۳/۹ درصد همبستگی مکانی قوی نشان داد (شکل ۵).



شکل ۵- برازش مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه و نیتروژن خاک (الف)، عملکرد دانه و فسفر خاک (ب) و عملکرد دانه و پتاسیم خاک (ج)

آنالیز کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه و فسفر خاک نشان داد که بین الگوهای توزیع این متغیرها شباهت‌هایی وجود داشت و بین آن‌ها همبستگی مکانی مشاهده شد؛ به‌طوری‌که درصد همبستگی مکانی بین عملکرد دانه و فسفر خاک برابر با ۷۸/۳ درصد بود که بیانگر ارتباط مکانی قوی بین الگوهای پراکنش عملکرد دانه و فسفر خاک می‌باشد (شکل ۵). مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام عملکرد دانه و پتاسیم خاک نشان داد که الگوهای توزیع این دو متغیر به میزان قابل توجهی بر هم منطبق بودند؛ به‌طوری‌که همبستگی مکانی قوی در دامنه ۳/۲ متر، ۷۹/۰ درصد به دست آمد (شکل ۵). با توجه به همبستگی مکانی قوی به دست آمده بین عملکرد دانه گندم و عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، می‌توان گفت در هر نقطه از مزرعه که وضعیت عناصر پرمصرف خاک مطلوب باشد عملکرد دانه گندم نیز افزایش نشان می‌دهد. در همین راستا، محققین اظهار داشتند در مزرعه، رشد و عملکرد گندم تغییرات مکانی آشکاری را به دلیل تغییرپذیری مکانی مواد مغذی خاک نشان می‌دهد (کو و همکاران ۲۰۱۷). نتایج پژوهشی نشان داد عملکرد دانه گندم با فسفر خاک همبستگی مکانی قوی (۸۳/۳۳ درصد) نشان داد. هم‌چنین همبستگی مکانی عملکرد دانه گندم با پتاسیم خاک متوسط (۳۳/۳۳ درصد) و در دامنه حدود ۲۳ متر مشاهده شد (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰).

نتایج نشان داد کراس سمی‌واریوگرام برازش داده شده بین عملکرد دانه و pH خاک در دامنه ۳/۷ متر، ۸۰/۱ درصد همبستگی مکانی قوی نشان داد (شکل ۶). کراس سمی‌واریوگرام برازش داده شده بین عملکرد دانه و عکس EC خاک در دامنه ۷/۷ متر ۷۷/۷ درصد، همبستگی مکانی قوی نشان داد؛ به عبارت دیگر، عملکرد پایین‌تر گندم در نقاطی از مزرعه مشاهده شد که EC خاک بالاتری داشت (شکل ۶). در همین راستا نتایج تحقیقی نشان داد عملکرد دانه گندم، همبستگی مکانی قوی به میزان ۸۴/۶ درصد در دامنه ۱۹/۲۲ متر با اسیدیته خاک دارا بود (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰). در مطالعه دیگری، برآورد ضرایب همبستگی حاکی از آن بود که عملکرد دانه گندم با pH در لایه شخم (plough layer) و زیرین خاک (subsoil) همبستگی معنی‌دار و مثبتی نشان داد (لیپیک و یوسویز ۲۰۱۸).

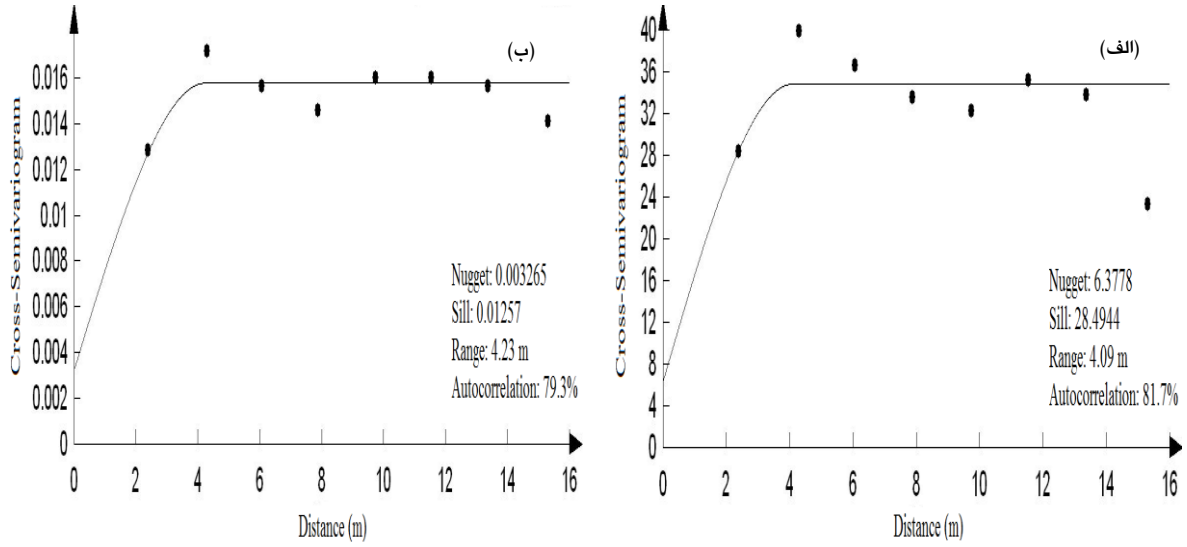


شکل ۶- برازش مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه و pH خاک (الف) و عملکرد دانه و عکس EC خاک (ب)

میزان تشابه الگوهای توزیع عملکرد دانه با الگوهای توزیع سیلت خاک، قوی و به میزان ۸۱/۷ درصد در دامنه تأثیر ۴/۰ متر توسط مدل کروی کراس واریوگرام بدست آمد (شکل ۷). مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی-واریوگرام بین عملکرد دانه و عکس محتوای شن خاک نشان داد که الگوهای توزیع این دو متغیر به میزان زیادی بر هم منطبق بودند؛ به‌طوری‌که همبستگی مکانی بین

عملکرد دانه و عکس محتوای شن خاک، قوی و به میزان ۷۹/۳ درصد در دامنه تأثیر ۴/۲ متر به دست آمد (شکل ۷).

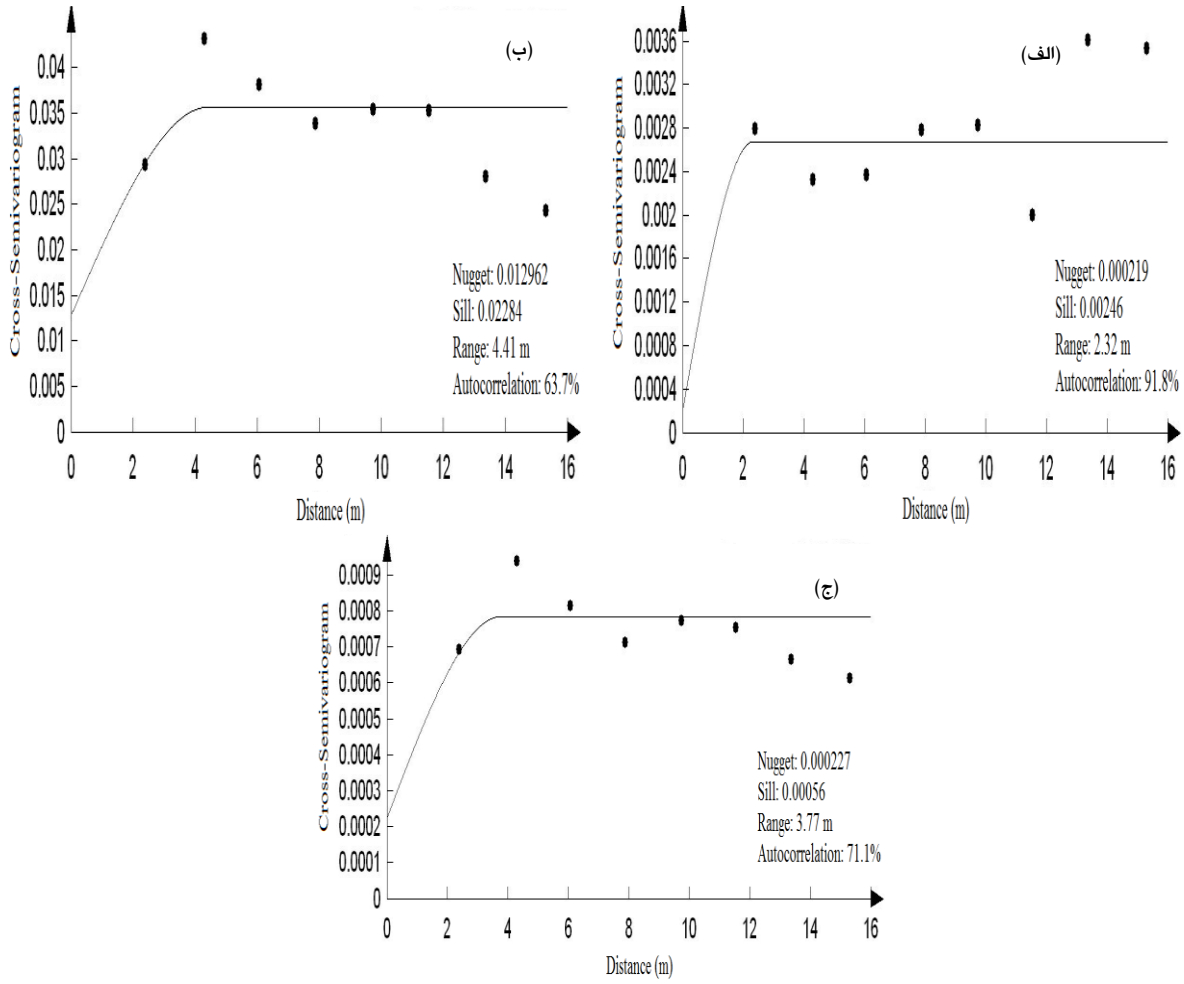
این نتیجه بیانگر آن است که در هر نقطه از مزرعه که درصد شن خاک، بالاتر بوده است، عملکرد دانه گندم کاهش نشان داده است. مقایسه نقشه‌های درون‌یابی شده به وسیله کریجینگ مربوط به عملکرد دانه (شکل ۴) و هم‌چنین شن خاک (شکل ۳) نیز مؤید ارتباط معکوس بین این دو متغیر می‌باشد. در همین راستا در پژوهشی، نتایج کراس–سمی‌واریوگرام نشان داد که عملکرد غلات با pH، محتوای سیلت و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) همبستگی مثبت و با محتوای شن خاک ارتباط منفی داشت (لیپیک و یوسویز ۲۰۱۸). در پژوهشی که بر روی گندم انجام شد، محققین اظهار داشتند با افزایش درصد شن، عملکرد کلی کاهش می‌یابد. شن به عنوان یک ماده نسبتاً راکد (inert) خاک در نظر گرفته می‌شود که مواد مغذی و ظرفیت نگهداری آب پایینی دارد (میلر و همکاران ۱۹۸۸).



شکل ۷- برازش مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه و سیلت خاک (الف) و عملکرد دانه و عکس شن خاک (ب)

ارتباط مکانی علف هرز دم‌روباهی کشیده و ویژگی‌های خاک

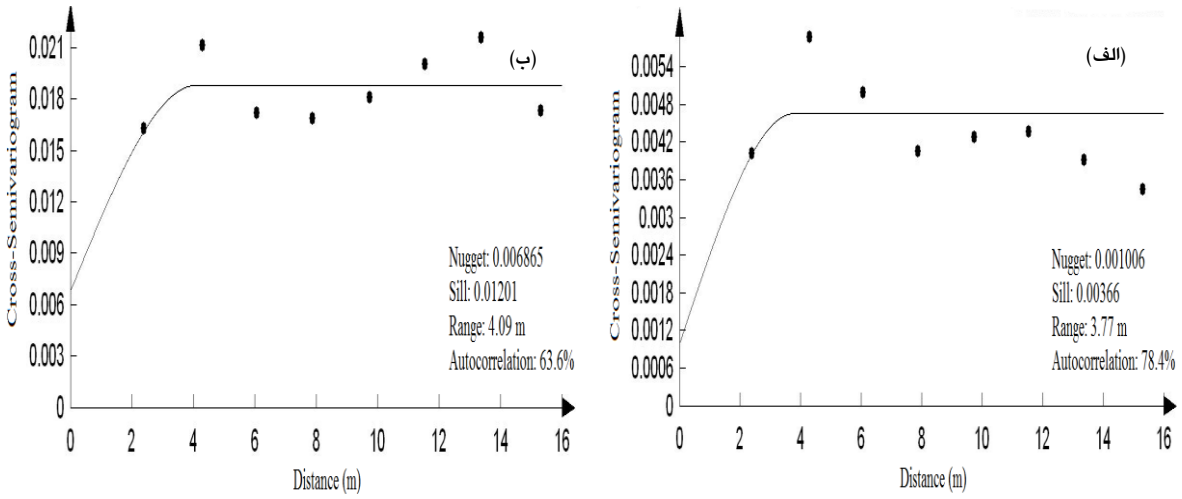
به منظور تعیین میزان همبستگی مکانی در پراکنش علف هرز دم‌روباهی کشیده و ویژگی‌های خاک، مدل‌های کروی بر داده‌های علف هرز و خاک برازش داده شد و پارامترهای مربوط به مدل ارائه گردید. نتایج نشان داد تشابه الگوهای توزیع دم‌روباهی کشیده با الگوهای توزیع نیتروژن خاک، قوی و به میزان ۹۱/۸ درصد در دامنه تأثیر ۲/۳ متر توسط مدل کروی کراس واریوگرام بدست آمد (شکل ۸). مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام بین تراکم علف هرز دم‌روباهی کشیده و عکس فسفر خاک نشان داد الگوهای پراکنش جمعیت این علف هرز به میزان قابل توجهی بر الگوهای تغییر فسفر خاک منطبق بود؛ به‌طوری‌که همبستگی مکانی بین دو متغیر مذکور، ۶۳/۷ درصد و در دامنه ۴/۴ متر به دست آمد (شکل ۸). آنالیز کراس سمی‌واریوگرام بین علف هرز دم‌روباهی کشیده و عکس پتاسیم خاک نیز نشان داد که بین الگوهای پراکنش این متغیرها ارتباط مکانی وجود داشت؛ به‌طوری‌که همبستگی مکانی بین این علف هرز و پتاسیم خاک برابر با ۷۱/۱ درصد در دامنه ۳/۷ متر بود که بیانگر ارتباط مکانی نسبتاً قوی بین الگوهای پراکنش جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده و عکس پتاسیم خاک می‌باشد (شکل ۸).



شکل ۸- برازش مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین علف هرز دم‌روباهی کشیده و نیتروژن (الف)، دم‌روباهی کشیده و عکس فسفر (ب) و دم‌روباهی کشیده و عکس پتاسیم (ج)

فراوانی برخی گونه‌ها در مقادیر کم مواد غذایی خاک افزایش می‌یابد، این امر ممکن است ناشی از تحمل-ناپذیری آن‌ها به سطوح بالای مواد غذایی یا رقابت با گونه‌هایی باشد که واکنش بهتری به مواد غذایی نشان می‌دهند (لیبمن ۱۹۸۹ و ماهن ۱۹۸۸). در راستای نتایج پژوهش حاضر، نشان داده شده است که توزیع لکه‌ای دم‌روباهی کشیده می‌تواند مرتبط با تغییرات خصوصیات خاک باشد (موردوچ و همکاران ۲۰۱۴ و مت کالفه و همکاران ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸). پژوهش‌گران دیگری دریافتند که دم‌روباهی کشیده در مزارع دارای توزیع لکه-ای است که این امر می‌تواند مرتبط با خصوصیات خاک باشد. با شناسایی عوامل کلیدی خاک که تعیین‌کننده توزیع علف‌های هرز در مزارع می‌باشد، این امکان وجود دارد که نقشه‌های خاک در به کارگیری مدیریت متناسب با مکان علف‌های هرز کمک کنند (مت کالفه و همکاران ۲۰۱۷).

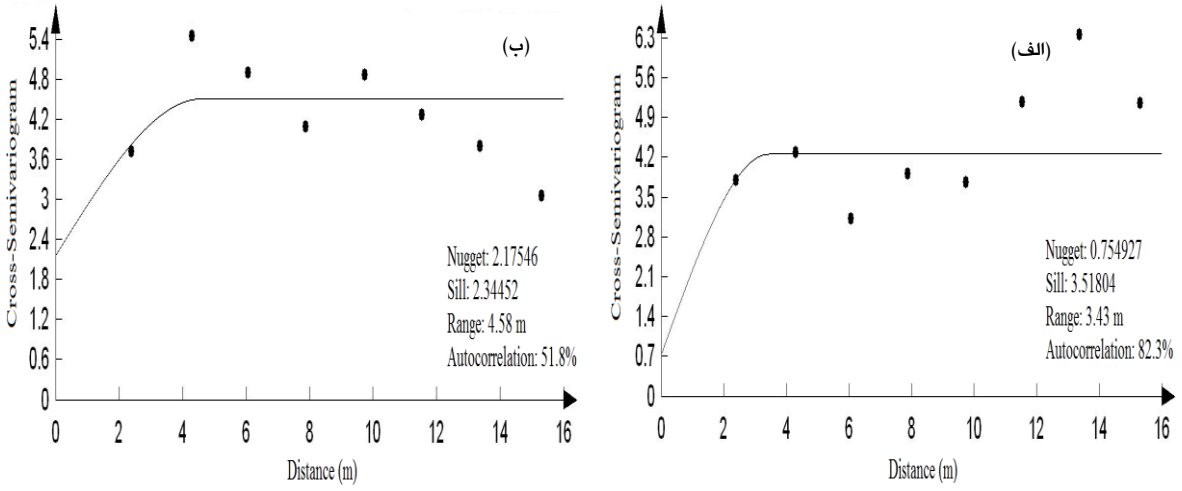
برازش مدل کراس سمی‌واریوگرام بین داده‌های جمعیت دم‌روباهی کشیده با محتوای سیلت خاک نشان داد که الگوهای توزیع بین دو متغیر همبستگی معکوس مکانی متوسط (۶۳/۶ درصد در دامنه تأثیر ۴/۰ متر) داشتند (شکل ۹). نتایج حاصل از برازش مدل‌های کراس سمی‌واریوگرام بین جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده با عکس pH خاک نشان داد که همبستگی مکانی ۷۸/۴ درصدی بین الگوهای توزیع دو متغیر مذکور در دامنه تأثیر ۳/۷ متر وجود داشت، یا به عبارتی نقاط با تراکم بالای علف هرز با نقاط دارای pH خاک پایین‌تر در سطح مزرعه، مطابقت بالایی نشان دادند (شکل ۹).



شکل ۹- برازش مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین علف هرز دم‌روباهی کشیده و عکس pH (الف) و دم‌روباهی کشیده و عکس سیلت (ب)

در همین راستا، محققین گزارش دادند تراکم‌های بالاتر دم‌روباهی کشیده در pH پایین‌تر مشاهده گردید. دم-روباهی کشیده سرعت جوانه‌زنی بالاتری در خاک‌های اسیدی دارد و قادر است بهتر با گندم رقابت کند، بنابراین تراکم‌های بالاتر دم‌روباهی کشیده در خاک‌های خنثی را می‌توان انتظار داشت (مت کالفه و همکاران ۲۰۱۷). این امکان وجود دارد که توزیع دم‌روباهی کشیده درون مزرعه تا حدودی با تأثیر pH خاک بر دسترس بودن بسیاری از مواد مغذی خاک تعیین شود (لوکاس و دیویس ۱۹۶۱).

نتایج نشان داد تشابه الگوهای توزیع دم‌روباهی کشیده با الگوهای توزیع شن خاک، متوسط و به میزان ۵۱/۸ درصد در دامنه تأثیر ۴/۵ متر توسط مدل کروی کراس واریوگرام بدست آمد (شکل ۱۰). مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام علف هرز دم‌روباهی کشیده و محتوای رس خاک نشان داد که الگوهای توزیع این دو متغیر به میزان قابل توجهی بر هم منطبق بودند؛ به‌طوری‌که همبستگی مکانی برای علف هرز دم‌روباهی کشیده و محتوای رس خاک در دامنه ۳/۴ متر، ۸۲/۳ درصد به دست آمد (شکل ۱۰).

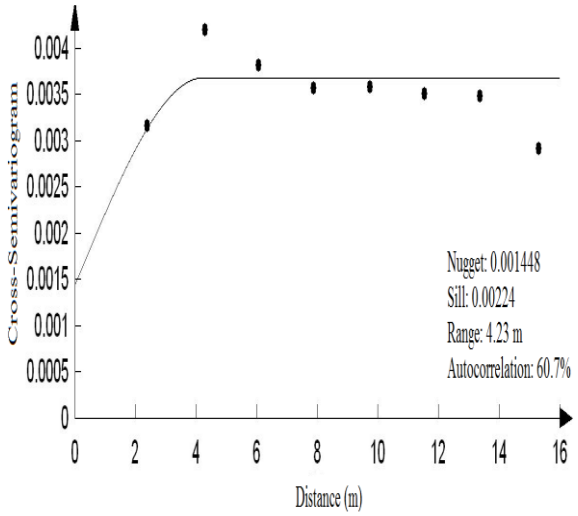


شکل ۱۰- برازش مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین علف هرز دم‌روباهی کشیده و رس خاک (الف) و دم‌روباهی کشیده و شن خاک (ب)

در راستای نتایج پژوهش حاضر، محققین همبستگی معنی‌داری بین محتوای رس و تراکم دم‌روباهی کشیده در مزرعه دریافتند (نوردمیر و دانکر ۱۹۹۹). به نظر می‌رسد محتوای رس خاک می‌تواند به عنوان یک عامل ثابت پیش‌گویی و تعیین‌کننده مؤثر بر جوانه‌زنی گونه‌های مختلف مطرح گردد. این خصوصیت در طول زمان ثابت بوده و عملیات کشاورزی نیز بر آن تأثیر ندارد و می‌توان آن را به عنوان یک عامل قابل اعتماد در نظر گرفت. اندازه‌گیری درصد رس بافت خاک می‌تواند سریع، آسان و ارزان انجام شود و با استفاده از رابطه بین درصد رس خاک زمین زراعی و تراکم گونه‌های مختلف، ساختار جوامع علف‌های هرز ارزیابی و حتی پیش‌گویی گردد (علیمرادی ۲۰۱۰).

ارتباط مکانی علف هرز دم‌روباهی کشیده و عملکرد دانه گندم

با ترسیم کراس سمی‌واریوگرام، همبستگی مکانی بین علف هرز دم‌روباهی کشیده و عملکرد دانه گندم، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور مدل‌های کروی بر داده‌های علف هرز و عملکرد گندم، برازش داده شد. مدل‌های برازش داده شده بر کراس سمی‌واریوگرام بین جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده و عکس عملکرد دانه گندم (شکل ۱۱) و هم‌چنین نقشه‌های درون‌یابی شده به وسیله کریجینگ (شکل ۴) نشان داد که بین الگوهای توزیع این متغیرها شباهت‌هایی وجود داشت و بین آن‌ها همبستگی مکانی مشاهده شد؛ به‌طوری‌که درصد همبستگی مکانی بین علف هرز دم‌روباهی کشیده و عکس عملکرد دانه گندم برابر با ۶۰/۷ درصد و در دامنه ۴/۲ متر بود که بیانگر ارتباط معکوس مکانی متوسط بین الگوهای پراکنش جمعیت این علف هرز و میزان عملکرد گیاه می‌باشد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- برازش مدل‌های کروی کراس سمی‌واریوگرام بین جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده و عکس عملکرد دانه گندم

علف‌های هرز به عنوان یکی از عوامل ناهمگونی عملکرد محصولات کشاورزی در سطح مزارع مطرح هستند (مرادی کل بلندی و همکاران ۲۰۲۰). نتایج پژوهشی نشان داد بین وزن خشک زیست‌توده کل علف‌های هرز و عکس وزن زیست‌توده و عکس عملکرد گندم به ترتیب همبستگی متوسط (۵۴/۰۵ درصد) و همبستگی قوی (۷۴/۱۵ درصد) مشاهده گردید (قیاسی ۲۰۱۳). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که تراکم علف‌های هرز با عکس عملکرد گندم دارای همبستگی ۹۱/۹۰ درصد بود. این بدان معنی است که بین تراکم علف هرز و عملکرد گیاه زراعی در سطح مزرعه یک رابطه معکوس وجود دارد (مرادی کل بلندی ۲۰۲۰).

نتیجه‌گیری

برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که پراکنش علف هرز دم‌روباهی کشیده به صورت نرمال و یا تصادفی نبود بلکه دارای توزیع لکه‌ای یا تجمعی بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که ویژگی‌های خاک در سطح مزرعه از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کرد و به صورت لکه‌هایی با ابعاد و اشکال مختلف در نقشه‌ها دیده شدند. کمترین و بیشترین ضریب تغییرات صفات مورد مطالعه خاک، به ترتیب مربوط به pH و محتوای سیلت بود. نتایج کراس سمی‌واریوگرام حاکی از آن بود علف هرز دم‌روباهی کشیده همبستگی مکانی قوی با نیتروژن و رس خاک و همبستگی مکانی متوسط با شن خاک نشان داد، درحالی‌که علف هرز مذکور در نقاطی از مزرعه با مقادیر پایینی از فسفر، پتاسیم، pH و سیلت خاک تراکم بالاتری داشت. نتایج کراس سمی‌واریوگرام و هم‌چنین نقشه‌های توزیع عملکرد دانه گندم و خصوصیات خاک نشان داد عملکرد دانه دارای همبستگی مکانی قوی با صفات نیتروژن، فسفر، پتاسیم، pH و سیلت خاک بود. این در حالی بود که در نقاطی از مزرعه که محتوای شن و EC بالاتری داشت غالباً عملکرد دانه روی نقشه کاهش نشان داد. کراس سمی‌واریوگرام برازش داده شده بر داده‌های عملکرد دانه و جمعیت علف هرز دم‌روباهی کشیده نشان داد که بین الگوهای توزیع این متغیرها شباهت‌هایی وجود داشت و بین آن‌ها همبستگی مکانی متوسطی مشاهده شد؛ به عبارت دیگر، عملکرد پایین‌تر گندم غالباً در نقاطی از مزرعه مشاهده شد که تراکم بالایی از علف هرز دم‌روباهی کشیده در آن نواحی وجود داشت. در مجموع، نتایج حاکی از آن بود که ویژگی‌های خاک و هم‌چنین جمعیت علف هرز در سطح مزرعه از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کند که این تغییرات می‌تواند توزیع لکه‌ای و غیریکنواخت عملکرد در سطح مزرعه را به همراه داشته باشد.

سپاسگزاری

از آزمایشگاه دانشگاه زابل جهت همکاری در اجرای پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Afshar H, Salehi MH, Mohammadi J and Mehnatkesh A. 2009. Spatial variability of soil properties and irrigated wheat yield in a quantitative suitability map, a case study: Shahr-e-Kian area, Chaharmahalva-Bakhtiari Province. Journal of Water and Soil, 23(1): 161-172. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.1548 (In Persian).

Aghaeipour N, Zavareh M, Pirdashti H, Asadi H and Bahmanyar MA. 2019. Evaluation of spatial variability of some soil chemical and physical properties in Foumanat Plain paddies using geostatistical Method. Applied Research in Field Crops, 31(4): 50-71. doi: 10.22092/AJ.2018.116019.1206 (In Persian).

Alimoradi L. 2010. Weed community structure in response to crop rotation and soil microclimatic conditions. Ph.D. Dissertation, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).

Avarsegi H, Khodarahmi M, Diyanat M, Majidi Heravan E and Soughi HA. 2023. Grouping bread wheat cultivars based on agronomic characteristics using multivariate statistical methods. Journal of Crop Breeding, 14(44): 239-252. doi: 10.52547/jcb.14.44.239 (In Persian).

Ayoubi Sh, Mohammad Zamani S and Khormali F. 2010. Wheat yield prediction through soil properties using principle component analysis. Iranian Journal of Soil and Water Research, 1: 51-57. dor: 20.1001.1.2008479.1388.40.1.7.9 (In Persian).

Bahmani M, Mohammadi J, Esfandiarpour Boroujeni I, Motaghian HR and Saeidi K. 2019. Assessment of the spatial variability of some soil characteristics and yield of Rosa damasceneea Mill (case study: Bardsir City, Kerman Province). Journal of Water and Soil, 33(1): 163-179. https://doi.org/10.22067/jsw.v33i1.75236 (In Persian).

Bayazidi S. 2015. The study of spatial variability and mapping of different forms of Potassium and Iron in some soils of Urmia plain. MSc Thesis, Urmia University. (In Persian).

Bijanzadeh E, Mokarram M and Naderi R. 2014. Applying spatial geostatistical analysis models for evaluating variability of soil properties in eastern Shiraz, Iran. Iran Agricultural Research, 33(2): 35-46. doi: 10.22099/IAR.2015.2868

Cardina J, Sparrow DH and McCoy EL. 1996. Spatial relationships between seed bank and seedling populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) and annual grasses. Weed Science, 44: 298-308. https://doi.org/10.1017/S0043174500093929

Colbach N, Forcella F and Jonson GA. 2000. Spatial and temporal stability of weed factors on the weed flora in crops in the Gadalyvir. Valley, 30: 375-382.

Cook SE and Bramley RGV. 2000. Coping with variability in agricultural production: implications for soil testing and fertilizer management. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 31: 1531-1551. https://doi.org/10.1080/00103620009370524

Cui B, Huang W, Song X, Ye H and Dong Y. 2017. Study the spatial-temporal variation of wheat growth under different site-specific nitrogen fertilization approaches. In International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (pp. 316-332). Springer, Cham.

Edalat M and Kazemeini SA. 2013. Estimating cardinal temperatures of tumble mustard (*Sisymbrium altissimum*) and slender foxtail (*Alopecurus myosuroides*) seed germinations. 5th Iranian Weed Science Congress, Tehran. (In Persian).

Fakoor Sharghi AR. 2013. The effect of crop rotation on diversity and spatial distribution of weeds seed bank and seedling communities and arthropods fauna. M.Sc Thesis, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology. (In Persian).

Ghiassi Z. 2013. Effects of patchy and conventional herbicide application on spatial variability of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) weeds population. M. Sc. Thesis, Shahrood University of Technology. (In Persian).

Gholami Golafshan M, Vazan S, Paknejad F, Oveisi M and Elyasi Sh. 2009. Spatial relationships between weed seedbank and seedling and their population distribution models in corn. Weed Research Journal, 1(1): 65-76. (In Persian).

Holm L, Doll J, Holm E, Pancho JV and Herberger JP. 1997. World Weeds: Natural Histories and Distribution, New York, USA, John Wiley and Sons.

Isaaks EH and Srivastava RM. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. New York. 561p.

Jiang P and Thelen KD. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn–soybean cropping sysem. Agronomy Journal, 96(1): 252-258. https://doi.org/10.2134/agronj2004.0252

Jurado-Exposito M, Lopez-Granados F, Garcia-Torres L, Garcia-Ferrer A, Sanches de La Orden M and Atenciano S. 2003. Multi-species weed spatial variability and sitespecific management maps in cultivated sunflower. Weed Science, 51: 319-328. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0319:MWSVAS]2.0.CO;2

Jurado-Expósito M, López-Granados F, González-Andújar JL and Garcıa-Torres L. 2004. Spatial and temporal analysis of *Convolvulus arvensis* L. populations over four growing seasons. European Journal of Agronomy, 21(3): 287-296. https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.10.001

Karami A and Afzalinia S. 2018. Relationship between spatial variability pattern of wheat yield and soil properties. Asian Soil Research Journal, 1(1): 1-14. https://doi.org/10.9734/asrj/2018/v1i1626

Keyvani N. 2015. The role of aspect on spatial variability of soil physical and chemical properties, peach quality and quantity in Saman region, Shahrekord. MSc Thesis, Shahrekord University. (In Persian).

Khazaie E. 2016. The evaluation of spatial variability nitrogen, phosphorus and potassium in agroindustrial land of Sharif Abad – Qazvin by Geostatic and GIS. MSc Thesis, Shahed University. (In Persian).

Kiyani M. 2015. The study of the spatial relationship of some soil properties with the quantitative, qualitative and vegetative properties of Valencia orange in Kazerun, Fars province. MSc Thesis, Shahrekord University. (In Persian).

Liebman M. 1989. Effects of nitrogen fertilizer, irrigation and crop genotype on canopy relations and yields on a intercrop/weed mixture. Field Crops Research, 22: 83-100. https://doi.org/10.1016/0378-4290(89)90060-9

Lipiec J and Usowicz B. 2018. Spatial relationships among cereal yields and selected soil physical and chemical properties. Science of the Total Environment, 633(2018) 1579-1590. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.277

Lucas RE and Davis JF. 1961. Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. Soil Science 92(3):177-182. doi: 10.1097/00010694-196109000-00005

Makarian H. 2008. Investigation of spatial and temporal dynamic of weed seed bank and seedling populations and its effect on saffron (*crocus sativus* L.) leaf dry weight under different weed management conditions. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).

Makarian H and Hosseini RS. 2011. Spatial distribution of weeds and its effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) biomass. Crop Production, 3(4): 31-47. dor: 20.1001.1.2008739.1389.3.4.3.4 (In Persian).

Makarian H and Abbasdokht H. 2014. Effects of different weed management methods on spatial and temporal dynamic of weed populations and saffron above ground biomass. Journal of Plant Production Research, 21(2): 107-124. dor: 20.1001.1.23222050.1393.21.2.6.8 (In Persian).

Mashayekhi P and Marjovvi AR. 2023. Spatial distribution of some soil physico-chemical properties in agricultural soils of Isfahan province. Iranian Journal of Soil and Water Research, 54(2): 389-405. doi: 10.22059/IJSWR.2023.352609.669414 (In Persian).

Metcalfe H, Milne AE, Webster R, Lark RM, Murdoch AJ and Storkey J. 2016. Designing a sampling scheme to reveal correlations between weeds and soil properties at multiple spatial scales. Weed Research, 56(1): 1-13. https://doi.org/10.1111/wre.12184

Metcalfe H, Milne AE, Murdoch AJ and Storkey J. 2017. Does variable soil pH have an effect on the within-field distribution of *A. myosuroides*. Aspects of Applied Biology, 134: 145-150.

Metcalfe H, Milne AE, Webster R, Lark RM, Murdoch AJ, Kanelo L and Storkey J. 2018. Defining the habitat niche of *Alopecurus myosuroides* at the field scale. Weed Research, 58(3): 165-176. doi: 10.1111/wre.12300

Metcalfe H, Milne AE, Coleman K, Murdoch AJ and Storkey J. 2019. Modelling the effect of spatially variable soil properties on the distribution of weeds. Ecological Modelling, 396: 1-11. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.002

Miller MP, Singer MJ and Nielsen DR. 1988. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Science Society of America Journal, 52(4): 1133-1141. https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200040045x

Mohammadi J. 2002. Spatial variability of soil fertility, wheat yield and weed density in a one hectare field in Shahre Kord. Journal of Agricultural Science and Technology, 4: 83-92. dor: 20.1001.1.16807073.2002.4.1.7.7

Mohammadi Z. 2019. Effect of survey scale on estimation power of predicting models for spacial variation of soil properties. M.Sc. Thesis, University of Mohaghegh Ardabili. (In Persian).

Moradi Kalbolandi M. 2020. The study of effective factors on the heterogeneity of spatial distribution of winter wheat yield using geostatistic and remote sensing methods. MS.c. Thesis in Agroecology, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology. (In Persian).

Moradi Kalbolandi M, Makarian H, Baradaran Firouz Abadi M and Asghari HR. 2020. Spatial dependence of growth and yield of winter wheat and weeds using geostatistical and remote sensing methods. Journal of Plant Protection, 34(2): 259-271. doi: 10.22067/JPP.V34I2.85286 (In Persian).

Murdoch AJ, Flint C, Pilgrim RA, de la Warr PN, Camp J, Knight B, Lutman P, Magri B, Miller P, Robinson T, Sandford S and Walters N. 2014. Eyeweed: automating mapping of black-grass (*Alopecurus myosuroides*) for more precise applications of pre- and post-emergence herbicides and detecting potential herbicide resistance. Asp. Appl. Biol. – Crop Production in Southern Britain: Precision Decisions for Profitable Cropping 127, 151–158 Association of Applied Biologists, Wellesbourne, UK.

Nassiri Mahallati M, Koocheki A and Jahani M. 2016. Estimating within field variability of wheat yield using spatial variables: an approach to precision agriculture. Journal of Agroecology, 8(3): 329-345. doi: 10.22067/JAG.V8I3.34502 (In Persian).

Nordmeyer H and Dunker M. 1999. Variable weed densities and soil properties in a weed mapping concept for patchy weed control. In: Proceedings Second European Conference on Precision Agriculture, Odense Congress Centre, Denmark, 11-15 July. Sheffield Academic Press, 453-462.

Paz JO, Batchelor WD, Tylka GL and Hartzler RG. 2001. A modeling approach to quantifying the effects of spatial soybean yield limiting factors. Transactions of the ASAE, 44(5): 1329-1334. doi: 10.13031/2013.6423

Raza MAS, Zaheer MS, Saleem MF, Khan IH, Ahmad S, Aslam MU and Iqbal R. 2020. Drought ameliorating effect of exogenous applied cytokinin in wheat. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 57(3): 725-733. doi: 10.21162/PAKJAS/20.8183

Shakarami M. 2020. Evaluation of the effect of dual-purpose sulfonylurea herbicides on weed dynamics of wheat field in Khorramabad climate. MSc Thesis, Lorestan University. (In Persian).

Vaezi AR, Babaei F, Taheri M and Abbasi M. 2017. Spatial variability of wheat grain yield and soil properties in semi-arid rainfed croplands in south of Zanjan province. Water and Soil Science, 27(3): 65-78. (In Persian).

Vizantinopoulos S and Katranis N. 1998. Management of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) in winter wheat in Greece. Weed Technology, 12: 484-490. https://doi.org/10.1017/S0890037X00044195

Walter AM, Christensen S and Simmelsgaard SE. 2002. Spatial correlation between weed species densities and soil properties. Weed Research, 42(1): 26-38. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2002.00259.x

Webster R and Oliver MA. 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK.

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 223-234

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Weed Population and Efficiency of Herbicide influenced by Integrated Wheat Residue Management and mung bean Green Mulch in corn Field

Hossein Sarkheh[1], Ali Monsefi[2]*, Payman Hassibi[3]

Received: 12 March 2023	Accepted: 09 November 2023

1- Former M.Sc Student, Dept. of Production Engineering and Plant Genetics. Faculty of Agriculture. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2-Assist. Prof., and Assoc. Prof., Dept. of Production Engineering and Plant Genetics. Faculty of Agriculture. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3-Assoct. Prof., and Assoc. Prof., Dept. of Production Engineering and Plant Genetics. Faculty of Agriculture. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
*Corresponding Author Email: a.monsefi@scu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: The aim of this study was to investigate the effects of crop residue management and chemical control of weeds population under the influence of incorporation, burning and removal of residues and chemical control of weeds.

Materials and Methods: This study was performed as split plots in a randomized complete block design with three replications. Treatments include management of previous crop residues (wheat) in the main plots (incorporated wheat residues in the soil with conventional tillage, burning wheat residues with minimum tillage and removing wheat residues with zero tillage); Weed control treatment in subplots; uncontrol, hand weeding, 2,4-D as post emergence + mung bean mulch, atrazine + 2,4-D as post emergence and 2,4-D as post emergence. The maize cultivar studied in this study was single-cross 703 cultivar.

Result: The results show that the maximum dry weight of the total weeds was observed in the 60 and 90 days after sowing in the control treatment under conservation tillage was 97 and 337 g m^{-2}, respectively. The average comparison results showed that the highest amount of nitrogen, phosphorus and potassium depletion by weeds related to zero tillage was observed in the control treatment and the lowest amount of these elements was observed in hand weeding in all 3 main factors. The highest number of broad-leaved and narrow leaf weed was obtained with the use of zero tillage and uncontrolled treatment and the lowest was obtained in the condition of incorporated residues and hand weeding treatment.

Conclusion: In general, among the weed management treatments, incorporation of wheat residue and hand weeding once were more effective compared to zero tillage and green mulch treatments. Therefore, plant residues can be used as one of the integrated control components such as hand weeding along with other weed control methods.

Keywords: Atrazine, Conservation Tillage, Green Mulch, 2,4-D, Weed Management

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Ali Monsefi E-mail: a.monsefi@scu.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.55822.3012

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۲۳۴-۲۲۳

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

جمعیت علف‌های هرز و کارایی مصرف برخی علفکش‌ها تحت تأثیر مدیریت تلفیقی بقایای گندم و مالچ سبز ماش در مزرعه ذرت

حسین صرخه[۱]، علی منصفی[۲*]، پیمان حسیبی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۸

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲-استادیارگروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳-دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
* نویسنده مسئول: E-mail: a.monsefi@scu.ac.ir

چکیده

اهداف: تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر مخلوط کردن، سوزاندن و خارج کردن بقایای گندم و کاربرد علفکش‌ها بر کنترل علف‌های هرز و جذب عناصر غذایی توسط آنها در مزرعه ذرت اجرا شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت کرت‌های یکبار خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آموزشی- پژوهشی شماره یک گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گندم در سه سطح شامل شخم رایج (گاوآهن برگرداندار + دیسک+ مخلوط کردن بقایا)، خاک‌ورزی (سوزاندن بقایا+ دیسک + روتیواتور) و شخم حفاظتی (حفظ بقایا+ کاشت مستقیم با خطی‌کار) به عنوان کرت اصلی و کنترل علف‌های هرز در پنج سطح شامل عدم کنترل (شاهد)، وجین دستی، علفکش 2,4-D + مالچ پوششی ماش سبز، علفکش آترازین + 2,4-D و علفش 2,4-D در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد که در مزرعه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۳ (ویژه اقلیم گرم جنوب) انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج بدست آمده، بیشترین وزن خشک کل علف‌های هرز در مراحل رشدی ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت در تیمار شاهد در شرایط شخم حفاظتی به ترتیب به میزان ۹۷ و ۳۳۷ گرم در مترمربع مشاهده شد. بیشترین مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده توسط علف‌های هرز مربوط به شخم حفاظتی در تیمار شاهد بود و کم‌ترین مقدار این عناصر در وجین دستی در هر ۳ فاکتور اصلی مشاهده شد. بیشترین تعداد علف‌هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ با کاربرد شخم حفاظتی و تیمار عدم کنترل (شاهد) و ۱۲٪ کاهش در شرایط شخم رایج + تیمار وجین دستی به دست آمد.

نتیجه‌گیری: در بین تیمارهای مدیریت علف‌های هرز، شخم رایج و یک بار وجین دستی کارایی بیشتری در مقایسه با تیمارهای شخم حفاظتی و مالچ سبز ماش داشتند. بنابراین می‌توان از بقایای گیاهی و مالچ گیاهی زنده در ابتدای رشد گیاه ذرت به عنوان یکی از اجزای کنترل تلفیقی همانند وجین دستی در کنار سایر روش‌های کنترل علف‌های هرز استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آترازین، توفوردی، شخم حفاظتی، مالچ سبز، مدیریت علف‌های هرز

مقدمه

علف‌های هرز یکی از عوامل اصلی کاهش‌دهنده عملکرد گیاه زراعی در مناطق مختلف کشور می‌باشند (رضوانی و همکاران ۲۰۱۳). این گیاهان با توانایی تولید بذر زیاد، جوانه‌زنی سریع، رشد اولیه، دوره طولانی چرخه زندگی خود، می‌توانند رقیب قوی برای محصولات کشاورزی ازنظر جذب مواد مغذی خاک، رطوبت خاک، نور و کربن باشند که به‌راحتی با محصولات زراعی رقابت می‌کنند (الشریف و همکاران ۲۰۲۰). در سیستم‌های زراعی، رقابت بین گونه‌ای ناشی از علف‌های هرز، مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد است و توام با آثار منفی برای گیاه زراعی بر رشد، تولید و بقایای هر گیاه تأثیر مستقیم دارد. علف هرز گیاهی است که رشد فراوانی داشته و به علت داشتن عادت تهاجمی و رقابتی می‌تواند مانع رشد گیاهان باارزش شود (داوادی و همکاران ۲۰۲۱). خسارت‌های ایجاد شده در اثر تهاجم علف‌های هرز بر تولیدات زراعی در جهان می‌تواند بیش از ۲۴ درصد باشد، لذا تحت شرایط مزرعه‌ای وجودشان یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی بوده است (آمیت و همکاران ۲۰۱۴). خسارت‌های ناشی از علف‌های هرز، از مجموع آفات و بیماری‌ها هم بیشتر است، به‌طوری که گاهی تا ۵۰ درصد کاهش عملکرد به علف‌های هرز نسبت داده می‌شود (زرین کاویانی و همکاران ۲۰۱۷).

از جمله راهکارهای بهینه‌سازی عملکرد محصولات زراعی، به حداقل رساندن اثرات رقابتی علف‌های هرز است. استفاده از انواع مختلف ابزار کنترلی به‌نحوی‌که به گیاه زراعی آسیب وارد نگردد، تحت عنوان مدیریت علف-های هرز بیان می‌شود (تهرانی و همکاران ۲۰۰۹). یکی از روش‌های مؤثر در مدیریت علف‌های هرز استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی است که نقش مهمی در کنترل علف های هرز و افزایش عملکرد گیاهان زراعی برعهده دارد. در روش کنترل شیمیایی با انتخاب علف‌کش، زمان و روش مناسب، علاوه بر کنترل طیف گسترده‌ای از علف‌های هرز، کمترین تنش و خسارت به محصول وارد می‌آید. علاوه بر این، در کنترل شیمیایی علف‌های هرز، می‌توان مدیریت مؤثرتری را اعمال نمود تا از کاهش عملکرد گیاه زراعی جلوگیری شود و درنتیجه آن عملکرد نهایی افزایش یابد (مشیدی و همکاران ۲۰۱۸).

درسال‌های اخیر تأثیرات کودهای شیمیایی و علفکش‌ها بر روی محیط زیست و سلامت غذایی بسیار نگران کننده بوده است. یکی دیگر از راهکارهای زراعی در این زمینه با تأکید بر کمترین خسارت به اکوسیستم زراعی، استفاده از مالچ‌ها و بقایای گیاهی است. کاشت محصولات پوششی و روی آوردن به خاک یکی از راه‌های مؤثر برای دستیابی به این هدف است. محصولات پوششی زمستانی با مدیریت صحیح می‌تواند جایگزین مطلوبی برای روش‌های متداول کنترل علف‌های هرز باشد. این گیاهان عمدتاً از خانواده گندمیان، بقولات و شب بو هستند که با هدفی غیر از تولید و بهره‌برداری اقتصادی کاشته می‌شوند (فاخری و همکاران ۲۰۱۸).

بقایای گیاهی به عنوان ماده آلی تثبیت‌شده، ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی دارد و در نگهداری عناصر غذایی قابل دسترس گیاه مؤثر بوده و عناصری نظیر نیتروژن را به شکل قابل‌استفاده برای گیاهان در خاک نگه می‌دارد، بنابراین نیتروژن خاک تابعی از میزان مواد آلی خاک است و همراه با افزایش ماده آلی خاک، افزایش می‌یابد. در این راستا عنوان‌شده است که نحوه مدیریت بقایای گیاهی از جمله عوامل مؤثر بر کنترل جمعیت علف‌های هرز است (جلالی و همکاران ۲۰۱۸). نتایج نشان داده اند که عملکرد ذرت در تیمار کم خاک‌ورزی و در صورت استفاده از بقایای گندم و گیاه پوششی لوبیا چشم‌بلبلی به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. به نظر می‌رسد که در خاک‌ورزی حفاظتی وجود بقایا در سطح خاک موجب کاهش سبز شدن و استقرار علف‌های هرز و درنتیجه کاهش رقابت آنها با گیاه زراعی به ویژه در مراحل انتهایی رشد گیاه زراعی شده و عملکرد ذرت در چنین حالتی افزایش یافته است. لذا یکی از راه‌های تحقق این امر استفاده از سامانه کم خاک‌ورزی و استفاده از گیاهان پوششی به عنوان کود سبز خواهد بود. از طرفی در صورت استفاده از گیاهان پوششی به ویژه گیاهان تیره بقولات، به دلیل افزایش ماده آلی خاک در طی سالیان متوالی، کاهش مصرف کودهای شیمیایی به ویژه نیتروژن در این قبیل سیستم‌ها و سالم سازی محیط زیست و محصولات کشاورزی قابل توجیه است. با توجه

به نتایج حاصل چنین به نظر می‌رسد که استفاده از بقایای گیاهی و نیز کاشت گیاهان پوششی بقولات به همراه خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های متداول درافزایش عملکرد و کنترل علف‌های هرز بود (سرخه و همکاران۲۰۲۰). حضور بقایای گیاهی می‌تواند موجب تغییر ساختار و جمعیت علف‌های هرز شده و با ممانعت از جذب علف‌کش‌های پیش‌رویشی نظیر آترازین، کارایی استفاده از این علف‌کش‌ها را در غلظت‌های توصیه شده کاهش دهد (جلالی و همکاران ۲۰۱۸). هر یک از عملیاتی که بر روی بقایای گیاهی اعمال می‌شود، بر روی بذور علف‌های هرز تأثیر گذاشته و پویایی جمعیت علف‌های هرز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سوزاندن بقایای گیاهی بذر بسیاری از علف‌های هرز را از بین می‌برد، اما در مقابل ممکن است برخی از آنها را تحریک به جوانه‌زنی کند (موس ۱۹۸۷). همچنین گزارش شده است که اضافه کردن بقایای گیاهی در مقایسه با سوزاندن کامل بقایا به صورت معنی‌داری جوانه‌زنی علف‌های هرز را کاهش می‌دهد (مالک و همکاران ۲۰۰۷). حسامی و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند که وزن خشک علف هرز تحت تأثیر معنی‌دار بقایای گیاهان قرار گرفت و بقایای باقلا، گندم، کلزا و گل کلم به ترتیب باعث کاهش ۵۴، ۵۵، ۴۳ و ۶۵ درصدی وزن خشک علف هرز نسبت به آیش شدند. آزمایش‌های عبداللهیان نوقابی و همکاران (۲۰۱۱) در زراعت چغندرقند نشان داد که تأثیر کاشت گیاهان پوششی تریتیکاله، گندم، چاودار و جو در بین ردیف‌های چغندرقند بر جمعیت علف‌های هرز مشابه زمانی است که از علف‌کش برای مهار این گیاهان استفاده شود. پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده اند که گیاهان پوششی بدون کاربرد علف‌کشهای پیش رویشی قادرند علف‌های هرز اوایل فصل را کنترل کنند (توکسی و همکاران ۲۰۰۸؛ ناظریان ۱۹۹۸).

برای حفظ و افزایش پایداری تولید ذرت می بایست استراتژی‌های مدیریت علف‌های هرز ایجاد شود. کاهش عملکرد ذرت در ازای حضور علف های هرز در بعضی از کشورهای جهان بین ۷۰ تا ۹۰ درصد گزارش شده است (سادی ۲۰۱۳). کنترل علف‌های هرز در ذرت دارای اهمیت ویژه‌ای است. به‌خصوص در مراحل نخستین رشدی که باعث برتری طبیعی بر بوته‌های ذرت می‌شود (لطفی ماوی و همکاران ۲۰۱۰). با در نظر گرفتن جایگاه اقتصادی ذرت در استان خوزستان و شیوع گسترده علف‌های هرز در مزارع، ارائه راهکار مناسب جهت کنترل جمعیت علف‌های هرز ضروری به نظر می‌رسد؛ بنابراین این آزمایش باهدف کنترل علف‌های هرز تحت شرایط مدیریت تلفیقی علف‌های هرز و مدیریت بقایای گیاهی و علف‌کش انجام گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر روش‌های مختلف مدیریت بقایای گندم و کارایی روش کنترل شیمیایی با علف‌های هرز ذرت، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه آزمایشی شماره یک گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. این مزرعه در جنوب غربی اهواز و در حاشیه غربی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا واقع شده است. بر اساس آمار هواشناسی در سال ۱۴۰۰ از اوایل فرودین تا اواخر آبان متوسط حداکثر دما ۴۸/۶ درجه سانتی گراد و میانگین حداقل دما ۱۶ درجه سانتی گراد به ترتیب تیر و آبان ماه بوده است. میانگین حداکثر رطوبت هوا در آبان ماه ۶۲ درصد و میانگین حداقل رطوبت ۷ درصد در خرداد بوده است. قبل از کشت، نمونه‌برداری از خاک جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شدو نیاز کودی خاک برآورد شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

نیتروژن کل N(%)	فسفر قابل جذب P (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب K (mg/kg)	pH	شوری EC (dS/m)	مواد آلی OC(٪)
۰/۱	۷/۸	۲۵۹	۷/۴	۲/۶	۰/۵۷

تیمارهای آزمایش شامل مدیریت بقایای گندم در کرت‌های اصلی در سه سطح؛ شامل شخم رایج (گاوآهن برگردان + دیسک+ مخلوط کردن بقایا)، خاک‌ورزی (سوزاندن بقایا+ دیسک + رتیواتور) و بدون خاکورزی (حفظ بقایا+ کاشت مستقیم با خطی‌کار به عنوان کرت اصلی و مهار علف‌های هرز در کرت‌های فرعی در پنج سطح؛ ۱- عدم کنترل (شاهد)، ۲- وجین دستی ۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت، ۳- علف‌کش 2,4-D (علف‌کش هورمونی، سیستمیک، انتخابی، بازدارنده رشد، ماده مؤثر ۶۷۵ گرم در لیتر) به میزان ۱ لیتر در هکتار ۳۰ روز بعد از کاشت به صورت پس‌رویشی + مالچ پوششی ماش، ۴-علف‌کش آترازین (علف‌کش انتخابی، سیستمیک، از گروه تری‌آزین، WP 80% ، بازدارنده انتقال الکترون در فتوسنتز(فتوسیستم ۲) و تعرق) به میزان ۱ لیتر در هکتار قبل از جوانه‌زنی + 2,4-D به میزان ۱ لیتر در هکتار ۳۰ روز پس از کاشت، ۵- علف‌ش 2,4-D به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار ۳۰ روز پس از کاشت بود. رقم ذرت مورد مطالعه در این پژوهش رقم سیگل گراس ۷۰۳ با وزن هزار دانه ۳۲۰-۳۱۰ گرم بود که ویژه اقلیم گرم جنوب از خزانه بین‌المللی مربوط به مرکز تحقیقات بین المللی ذرت و گندم (CIMMYT) انتخاب شده و در سال زراعی ۱۳۹۲ در کرج مورد ارزیابی مقدماتی و تکثیر بذر قرار گرفته است. کرت‌ها با ابعاد ۳×۳ متر (۹ مترمربع) و فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتیمتر و فاصله کاشت روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود.

با توجه به متفاوت بودن تیمارهای خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گندم، آماده‌سازی زمین برای هر تیمار بر اساس مدیریت بقایای‌گیاهی، سوزاندن بقایای گندم (دیسک + رتیواتور)، مخلوط کردن بقایای گندم (گاو آهن برگردان دار + دیسک + رتیواتور) و حفظ بقایای گندم انجام شد. بوسیله دستگاه خطی‌کار برزگر همدان با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر، در عمق ۵-۳ سانتی‌متر در تاریخ ۲۶ خرداد ماه عملیات کاشت در کف جوی (به علت گرمای شدید) انجام شد. در ابتدا، کاشت در کرت‌های اصلی (مدیریت بقایای گندم) به طول ۲۵ متر و عرض ۴ متر انجام پذیرفت و پس از عملیات کاشت، با مشخص نمودن ابعاد کرت‌های فرعی (۳ متر طول و ۳ متر عرض و فاصله ۲ متر بین هر کرت)، تیمارهای مهار علف‌های‌هرز بوسیله سمپاش شارژی اکتیو مدل AC1020LE با نازل بادبزنی بر اساس طرح آزمایشی اعمال گردید. پس از کشت بلافاصله زمین مورد آبیاری قرار گرفت. محلول‌پاشی علف‌کش آترازین به میزان ۱ لیتر در هکتار قبل از جوانه‌زنی، محلول‌پاشی بعد از نمونه برداری اولیه به میزان ۱ لیتر (برای از بین بردن علف‌های هرز و گیاه ماش) و ۱/۵ لیتر در هکتار علف‌کش 2,4-D ۳۰ روز پس از کاشت و عملیات وجین دستی در ۲ مرحله، مرحله اول ۳۰ روز پس از کاشت و مرحله دوم ۴۵ روز پس از کاشت انجام گردید. بر اساس نتایج آزمون خاک میزان کودهای ماکرو و میکرو به این مزرعه طبق برنامه زمان‌بندی صورت گرفته به صورت پایه و سرک داده شد؛ که میزان کود پایه در هکتار مورد نیاز ذرت به ترتیب ۱۰۰،۱۰۰،۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نظر گرفته شد؛ که قبل از کشت و بعد از کاشت در دو مرحله به صورت سرک تقسیط گردید.

علف‌های هرز غالب موجود در مزرعه شامل مرغ، اویارسلام و گیاه کنجد به ترتیب ۴۵،۲۴ و ۲۰ درصد بود. وزن خشک علف‌های هرز و تعداد علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ با استفاده از کوادرات ۱ در ۱ مترمربع در بازه زمانی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت از سطح خاک برداشت و پس از شمارش بر اساس گونه، وزن خشک وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. جهت نرمالیته کردن داده‌های تراکم علف‌های‌هرز و شاخص کارایی کنترل علف‌های هرز، به ترتیب از رابطه (۱) و (۲) استفاده گردید.

آنالیز داده ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹,۴ و مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

رابطه (۱) $$\text{تعداد علف‌های‌هرز} = \sqrt{x + 0.5}$$

رابطه (۲) $$\text{کارایی کنترل علف‌های هرز} = \frac{\text{تعداد علف‌های هرز در تیمارهای علفکش} - \text{تعداد علف‌های هرز در تیمار شاهد}}{\text{تعداد علف‌های هرز در تیمارهای شاهد}} \times ۱۰۰$$

نتایج و بحث

وزن خشک علف‌های هرز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی مدیریت بقایای گیاهی در شرایط ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت و اثر کنترل علف‌های هرز در شرایط ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت بر وزن خشک کل علف هرز معنی‌دار شد. اثر متقابل آنها نیز در شرایط ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت بر این صفت اثرمعنی‌داری داشت (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل مدیریت بقایا و کنترل علف هرز بر وزن خشک کل علف‌هرز در طی دوره رشد در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بین تیمارها از نظر وزن خشک کل علف‌هرز ۳۰ روز پس از کاشت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما با افزایش روزهای پس از کاشت، تیمارهای کنترل علف‌های هرز در سطوح مدیریت بقایا باعث کاهش وزن خشک کل علف‌هرز نسبت به شاهد شد، بطوری که بیشترین وزن خشک کل علف‌هرز در روزهای ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت در تیمار شاهد و شخم حفاظتی به ترتیب به میزان ۹۷ و ۳۳۷ گرم در مترمربع مشاهده شد. کمترین وزن خشک ثبت شده نیز در تیمار وجین دستی و مخلوط کردن بقایا مشاهده شد. مزبانی و همکاران (۱۴۰۱) نیز گزارش کردند که کاهش وزن خشک علف‌های هرز و مقدار برداشت شده عناصر غذایی توسط علف‌هرز در تیمار برگرداندن بقایای کنجد باعث افزایش قدرت رقابت پذیری گیاه گندم با علف‌های هرز شده که این امر به واسطه فراهم نمودن شرایط رشدی بهتر برای گندم صورت پذیرفت. در بین تیمارهای علف‌کش، کاربرد 2,4-D + مالچ ماش سبز در شخم حفاظتی کمترین وزن خشک علف‌هرز را داشت. همچنین مالچ کلش کنجد به تنهایی نتوانست کنترل خوبی بر جمعیت علف‌های هرز گندم فراهم کند. با توجه به این نتایج کاربرد مالچ به تنهایی و بدون استفاده از علف‌کش‌ها نمی تواند کنترل مطلوبی بر تراکم علف‌های هرز داشته باشد.

در شرایط استفاده از شخم حفاظتی، علف‌های هرز چندساله می‌توانند رشد کنند در این صورت استفاده از مالچ ماش سبز به همراه علف‌کش می‌توانند تراکم علف‌های هرز مزرعه را کنترل کنند. به نظر می‌رسد علت بالا بودن وزن خشک کل علف‌های هرز در روش شخم حفاظتی بدین خاطر است که این روش مدیریتی بالاترین تراکم علف‌هرز و نیز بالاترین تعداد گونه علف‌هرز (علف‌های هرز پایا) را داشت که این وضعیت باعث بالا بودن وزن خشک در این روش گردید. همچنین اثر متقابل کاربرد مالچ ماش سبز با علف‌کش‌ها هرچند در مقایسه با وجین ضعیف‌تر بود ولی با این حال مالچ ماش سبز نیز تأثیر مطلوبی برکنترل علف‌های هرز

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف هرز بر وزن خشک کل علف هرز

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک کل علف‌های هرز ۳۰ روز پس از کاشت	وزن خشک کل علف‌های هرز ۶۰ روز پس از کاشت	وزن خشک کل علف‌های هرز ۹۰ روز پس از کاشت
تکرار	۲	۱۱/۶۲	۲۱۲/۳۹	۹۷/۶۱
مدیریت بقایای گیاهی	۲	۶۵/۸۰ ns	۷۴۴/۴۲*	۳۹۴۴/۷۲*
خطای a	۴	۱۵/۲۸	۹۹/۴۸	۳۲۸/۸۷
کنترل علف هرز	۴	۵۳۵/۰۲**	۴۶۱۵/۷۳**	۶۸۰۰۸/۶۰**
مدیریت بقایا×کنترل علف هرز	۸	۱۴/۳۵ ns	۴۰۶/۵۷*	۵۰۰۷/۸۶**
خطای کل	۲۴	۱۸/۶۴	۱۴۲/۷۲	۳۴۴/۶۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۷/۶	۱۴/۲۰	۱۳/۷۷

ns، **، * به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی‌دار و اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد هست

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف هرز بر وزن خشک کل علف هرز

مدیریت بقایا	کنترل علف هرز	وزن خشک کل علف‌های هرز ۳۰ روز پس از کاشت ($g.m^{-2}$)	وزن خشک کل علف‌های هرز ۶۰ روز پس از کاشت ($g.m^{-2}$)	وزن خشک کل علف‌های هرز ۹۰ روز پس از کاشت ($g.m^{-2}$)
سوزاندن+شخم متعارف	شاهد	۲۵/۱۲^{a}	۷۲/۰۱^{bc}	۲۲۵/۰۲^{b}
	وجین دستی	۵/۵^{a}	۲۵/۴^{ef}	۲۸/۹۹^{hi}
	مالچ + 2,4-D	۹/۶۹^{a}	۴۳/۰۰^{de}	۸۰/۰۰^{def}
	آترازین + 2,4-D	۵/۲۳^{a}	۵۷/۰۳^{cd}	۶۵/۷۴^{efg}
	2,4-D	۲۰/۳۱^{a}	۶۰/۳۷^{bcd}	۹۱/۱۷^{de}
مخلوط کردن بقایا	شاهد	۱۶/۴۸^{a}	۷۸/۹۴^{ab}	۱۷۲/۱۳^{c}
	وجین دستی	۳/۲^{a}	۲۲/۱۷^{f}	۲۷/۰۱^{i}
	مالچ + 2,4-D	۴/۳۳^{a}	۲۹/۲۷^{ef}	۵۸/۴۳^{fgh}
	آترازین + 2,4-D	۵/۲۷^{a}	۲۶/۸۷^{ef}	۴۹/۲۷^{fghi}
	2,4-D	۱۷/۱۶^{a}	۳۱/۲^{ef}	۷۳/۰۴^{defg}
شخم حفاظتی	شاهد	۲۴/۴۵^{a}	۹۷/۲۶^{a}	۳۳۶/۷۷^{a}
	وجین دستی	۶/۲^{a}	۲۴/۶۷^{ef}	۲۷/۷۷^{hi}
	مالچ + 2,4-D	۹/۴۶^{a}	۲۸/۶۱^{ef}	۳۱/۳۷^{hi}
	آترازین+ 2,4-D	۷/۰۵^{a}	۲۹/۲^{ef}	۴۲/۱۲^{ghi}
	2,4-D	۱۵/۸۳^{a}	۳۲/۷۳^{ef}	۹۹/۷۳^{d}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد باهم ندارند.

داشت. با توجه به نتایج بدست آمده، بیشتر بودن وزن خشک و فراوانی علف‌های هرز در سامانه شخم حفاظتی نسبت به شخم رایج احتمالاً به دلیل عدم حذف کلیه علف‌های هرز در زمان شخم اولیه و درنتیجه بهبود شرایط برای رشد علف‌های هرز باقی مانده بوده است. همچنین، با انجام عملیات شخم متداول احتمالاً بذور علف‌های هرز به عمق‌های پایین‌تر خاک رفته و امکان جوانه‌زنی آنها کمتر گردیده است (جهانبخش و همکاران ۲۰۱۷).

تعداد علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ

نتایج تجزیه واریانس مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف‌هرز بر تعداد علف‌هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اثر اصلی مدیریت بقایا گیاهی بر جمعیت علف‌های هرز پهن‌برگ در ۳۰ روز پس از کاشت و بر جمعیت علف‌های هرز باریک‌برگ در ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت معنی‌دار بود. از طرف دیگر تیمارهای کنترل علف هرز در ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت در هر دو گونه پهن‌برگ و باریک‌برگ اثر معنی‌داری داشت. برهمکنش مدیریت بقایا و کنترل علف‌های هرز تأثیری بر این صفات نداشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین تعداد علف هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ با کاربرد شخم حفاظتی مشاهده شد و کمترین آن در شرایط مخلوط کردن بقایا به دست آمد. همچنین بیشترین تعداد علف‌های هرز پهن‌برگ در ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت به ترتیب ۱/۶۹، ۲/۲۷ و ۲/۷۳ عدد در مترمربع در شخم حفاظتی و کمترین تعداد علف‌های هرز پهن‌برگ در ۳۰،۶۰ و ۹۰ روز به ترتیب ۱/۱۹،۱/۲۹ و ۲/۶۳ عدد در مترمربع در مخلوط کردن بقایا مشاهده شد و بیشترین تعداد علف‌های باریک‌برگ در ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت به ترتیب ۲/۳۱، ۲/۷۳ و ۳/۱۶ عدد در مترمربع در شخم حفاظتی و کمترین تعداد علف‌های هرز باریک‌برگ در ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت به ترتیب ۱/۹۲، ۲/۳۴ و ۲/۶۵ عدد در مترمربع در مخلوط کردن بقایا مشاهده شد (جدول ۵). نتایج نشان داد در تیمارهایی که عملیات شخم بیشتر انجام شده است تعداد علف‌های هرز کاهش یافته است.

روزبه و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که عملیات شخم می‌تواند منجر به کاهش جمعیت و تنوع ارگانیسم‌های خاک ازجمله علف‌های هرز شود. بهترین عملیات به لحاظ کاهش پویایی جمعیت علف‌های هرز، روش مخلوط کردن بقایای گیاهی در سطح سرک اول کود نیتروژن بود (تهرانی و همکاران ۱۳۸۸). دهیما و همکاران (۲۰۰۶) نیز با کاربرد بقایای جو، تریتیکاله و چاودار در زراعت چغندر گزارش کردند که جوانه‌زنی باریک برگان تا ۷۸ درصد کمتر از کرت‌های بدون بقایا بوده است. زیست توده علف‌های هرز باریک‌برگ با کاربرد مالچ به میزان ۶۸ درصد کاهش یافته است (اجبر و همکاران ۲۰۱۷)، که روش مخلوط کردن بقایا که یک روش اکولوژیک و پایداری است، ضمن حفظ تنوع گونه‌های گیاهان در چرخه زیستی، تراکم حداقلی از گیاهان هرز را اجازه رشد داده است و این امر موجب بیشتر بودن عملکرد در این تیمار مدیریتی گردیده است. از طرف دیگر با توجه به جمعیت گونه‌های پایا، و عدم کنترل آنها در تیمار شخم حفاظتی رشد فزاینده گونه‌های باریک‌برگ چند ساله به خوبی مشخص گردید.

بیشترین تعداد علف‌های هرز در مدیریت کنترل علف‌های هرز در تیمار شاهد در هر سه مرحله رشدی نمونه برداری بوده است. کمترین تعداد علف‌هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ مربوط به تیمار وجین دستی در هر سه نمونه برداری ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت بود. مهدی پور و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که استفاده از گیاه پوششی ماش در کنجد باعث کاهش معنی‌دار زیست توده علف‌های هرز در مقایسه با تیمار آلوده به علف‌هرز شد. ممنوعی و مهدیخانی (۲۰۱۸) مشاهده کردند که کاربرد علف‌کش پندیمتالین و وجین دستی در کنجد، زیست توده علف‌های هرز را به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار آلوده به علف‌هرز کاهش داد. کمترین زیست توده علف‌هرز در تیمار وجین دستی در تلفیق با مقادیر مختلف علف‌کش حاصل شد و بیشترین زیست توده علف‌هرز در تیمار مالچ زنده گاودانه مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار مالچ کلش گندم نداشت (بهگام و همکاران ۲۰۱۸؛ داودی ۲۰۲۱). کاربرد علف‌کش‌ها در تلفیق با مالچ سبز ماش به دلیل کاهش فضای رقابتی گیاه ذرت و علف‌های هرز در مقایسه با سایر روش‌های کنترل تأثیر بیشتری روی تراکم و ترکیب گونه‌ای علف‌های هرز داشت که این امر باعث کاهش تراکم علف‌های هرز گردید. کاهش تعداد علف‌های هرز در تیمار وجین دستی نقش موثری در کاهش رقابت درون گونه‌ای دارد و می‌تواند باعث افزایش عملکرد گیاه گردد. با افزایش تراکم کشت محصول زراعی، فشار رقابتی گیاه زراعی بر علف‌های هرز افزایش می‌یابد که نتیجه آن کاهش زیست توده علف هرز است (زرین کاویانی و همکاران ۲۰۱۷).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف هرز بر تعداد علف‌های هرز باریک و پهن‌برگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پهن‌برگ			باریک برگ		
		۳۰ روز پس از کاشت	۶۰ روز پس ازکاشت	۹۰ روز پس از کاشت	۳۰ روز پس از کاشت	۶۰ روز پس از کاشت	۹۰ روز پس ازکاشت
تکرار	۲	۰/۲۰	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۲
مدیریت بقایای گیاهی	۲	۰/۶۰*	۰/۳۶ ns	۰/۰۳ ns	۰/۶۷ ns	۰/۷۳**	۱/۰۸*
خطای a	۴	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۷
کنترل علف‌هرز	۴	۲/۰۱**	۲/۱۹**	۲/۳۹**	۳/۹۰**	۳/۰۵**	۳/۴۱**
مدیریت بقایا× کنترل علف هرز	۸	۰/۰۴ ns	۰/۱۱ ns	۰/۱۲ ns	۰/۰۴ ns	۰/۲۰ ns	۰/۰۹ ns
خطای کل	۲۴	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۹
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۴/۷۷	۱۲/۷۱	۱۱/۷۹	۱۲/۷۵	۱۰/۱۲	۱۰/۶۳

ns، **، * به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی‌دار و اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف هرز بر تعداد علف هرز باریک و پهن‌برگ

تیمار	پهن‌برگ			باریک برگ		
	۳۰ روز پس از کاشت	۶۰ روز پس از کاشت	۹۰ روز پس از کاشت	۳۰ روز پس از کاشت	۶۰ روز پس از کاشت	۹۰ روز پس از کاشت
	($no.m^{-2}$)					
مدیریت بقایای گیاهی						
سوزاندن+شخم متعارف	۱/۵۴ b	۲/۲۴ a	۲/۶۸ a	۱/۹۸ a	۲/۳۷ b	۲/۷۷ b
مخلوط کردن بقایا	۱/۲۹ c	۱/۹۹ a	۲/۶۳ a	۱/۹۲ a	۲/۳۴ b	۲/۶۵ b
شخم حفاظتی	۱/۶۹ a	۲/۲۷ a	۲/۷۳ a	۲/۳۱ a	۲/۷۳ a	۳/۱۶ a
کنترل علف هرز						
شاهد	۲/۰۱ a	۲/۸۷ a	۳/۵۸ a	۲/۸۱ a	۳/۳۶ a	۳/۸۸ a
وجین دستی	۰/۸۹ d	۱/۵۴ d	۲/۳۲ d	۱/۳۷ d	۱/۷۴ d	۲/۲۶ d
مالچ + 2,4-D	۱/۵۲ bc	۲/۱۳ c	۲/۳۷ c	۱/۷۴ c	۲/۵۴ b	۲/۸۳ b
آترازین + 2,4-D	۱/۲۰ c	۱/۹۴ cd	۲/۵۱ bc	۱/۶۹ c	۲/۳۱ c	۲/۵۳ c
2,4-D	۱/۹۱ b	۲/۳۵ b	۲/۶۲ b	۲/۷۳ bc	۲/۴۵ bc	۲/۷۹ b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون **LSD** تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد باهم ندارند

صفات بیوشیمیایی علف‌های هرز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۶) اثر مدیریت بقایای گیاهی در سطح پنج درصد و اثر کنترل علف‌های هرز و برهمکنش آنها در سطح یک درصد بر مقدار نیتروژن، پتاسیم و فسفر جذب شده توسط علف‌های هرز معنی‌دار بود. بیشترین مقدار نیتروژن جذب شده در علف‌های هرز در شرایط شخم حفاظتی در تیمار شاهد به میزان ۳۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و کمترین آن نیز در شرایط وجین دستی در هرسه سطح مدیریت بقایا مشاهده شد. تیمار شاهد (بدون کنترل) در تمام سطوح مدیریت بقایا بالاترین مقدار نیتروژن را به خود اختصاص داد. با توجه به اینکه تعداد علف‌های هرز و نیز وزن خشک علف‌های هرز در تیمار شخم حفاظتی افزایش یافته است درنتیجه گیاهان هرز در رقابت با گیاه ذرت در این تیمار رشد و جذب عناصر غذایی بهتری داشته است. همچنین در بین تیمارهای علف‌کشی، کاربرد تنهای علف‌کش 2,4-D بالاترین میزان نیتروژن جذب شده توسط علف‌هرز را داشت (شکل ۱). استفاده همزمان از مالچ سبز ماش، سبز شدن و رشد علف‌های هرز را در ابتدای رشد کاهش داد (بختیار و همکاران ۲۰۱۱). در شرایط حفظ بقایا (عدم سوزاندن) میزان نیتروژن علف‌هرز به دلیل عدم رشد مناسب علف‌های هرز به واسطه وجود بقایای گیاهی کاهش یافت. مالچ‌های گیاهی علاوه بر ممانعت از نفوذ نور و تعدیل دمای خاک ممکن است دارای خاصیت آللوپاتی باشند و از این طریق نیز از جوانه‌زنی و یا رشد و نمو گیاهان از جمله علف‌های هرز جلوگیری نمایند (بردربک و همکاران ۱۹۸۰).

بیشترین مقدار فسفر جذب شده توسط علف‌های هرز در شرایط شخم حفاظتی در تیمار شاهد به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و کمترین آن نیز در شرایط وجین دستی در هرسه سطح مدیریت بقایا مشاهده شد. تیمار شاهد (بدون کنترل) در تمام سطوح مدیریت بقایا بالاترین مقدار فسفر را به خود اختصاص دادند. همچنین در بین تیمارهای علف‌کشی در سطوح مختلف مدیریت بقایا، کاربرد تنهای علف‌کش 2,4-D بالاترین میزان فسفر جذب شده توسط علف‌هرز را داشت (شکل ۲). در شرایط کنترل علف‌های هرز، مخلوط کردن بقایا و شخم حفاظتی (حفظ بقایا) باعث کاهش فسفر جذب شده توسط علف‌های هرز شده است. بقایای گیاهی علاوه بر تأثیری که روی خاک دارند می‌توانند بر جوانه‌زنی، بقا، رشد و توانایی رقابتی علف‌های هرز و گیاه هدف نیز مؤثر باشند (جلالی ۲۰۱۸). نتایج نشان می‌دهند که تأثیر مالچ کاه و کلش گندم و مالچ سبز ماش در ابتدای جوانه‌زنی گیاه ذرت، در توقف رشد بعضی از انواع علف‌های هرز بیش از مصرف علف‌کش‌ها بوده است.

بیشترین مقدار جذب پتاسیم در علف‌های هرز در شرایط شخم حفاظتی در تیمار شاهد به میزان ۶۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و کمترین آن نیز در شرایط وجین دستی در هرسه سطح مدیریت بقایا مشاهده شد. مقدار پتاسیم موجود در علف‌های هرز در تیمار شاهد (بدون کنترل) در تمام سطوح مدیریت بقایا، بالاترین میزان را به خود اختصاص دادند. همچنین کاربرد تنهای علف‌کش 2,4-D در بین تیمارهای علف‌کش در سطوح مختلف مدیریت بقایا، بالاترین میزان پتاسیم جذب شده توسط علف‌هرز و کمترین آن در تیمار 2,4-D + مالچ سبز ماش مشاهده شد (شکل ۳). بررسی‌های انجام شده نشان داده است که وجود پوشش مالچ گیاهی یا بقایای گیاهی در سطح خاک به دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مالچ و بقایای گیاهی، می‌تواند از جوانه‌زنی، استقرار اولیه و رقابت پذیری بالای علف‌های هرز با گیاه زراعی اصلی جلوگیری کند. بسیاری از گونه‌های علف‌هرز برای جوانه‌زنی نیاز به نور، فضای رشد و رطوبت مناسب دارند ولی مالچ سبز ماش به همراه بقایای گیاهی با تولید یک لایه‌ی خفه کننده موجب کاهش جوانه زنی، فتوسنتز و درنتیجه کاهش جذب عناصر غذایی و رشد گیاهچه‌های علف‌هرز می‌شود.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف هرز بر صفات کیفی علف هرز

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		درصد نیتروژن	درصد فسفر	درصد پتاسیم	میزان نیتروژن	میزان فسفر	میزان پتاسیم
تکرار	۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۴	۱/۹۳	۰/۴۰	۴/۲۰
بقایای گیاهی	۲	۰/۰۰۰۷ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۵۴/۷۶ *	۳/۴۴ *	۱۵۳/۲۶ *
خطای a	۴	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۷	۴/۷۷	۰/۳۳	۱۳/۷۶
کنترل علف هرز	۴	۰/۰۰۱۱ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۱۲ ns	۹۱۴/۰۹ **	۵۹/۵۴ **	۲۵۹۶/۹۷ **
بقایا× کنترل علف‌هرز	۸	۰/۰۰۰۷ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۱۳ ns	۷۰/۲۵ **	۴/۲۶ **	۲۰۲/۸۴ **
خطای کل	۲۴	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۲۱	۴/۲۵	۰/۶۱	۱۳/۱۵
ضریب تغییرات (٪)	-	۴/۲۹	۸/۲۲	۱۲/۳۵	۱۹/۱۲	۱۲/۵۶	۱۹/۸۹

ns، **، * به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی‌دار و اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد هست.

کارایی کنترل علف‌های هرز

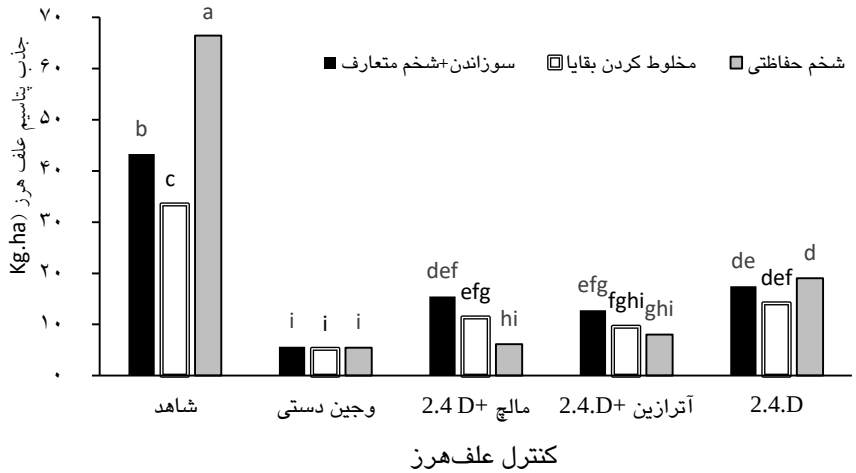
تیمارهای کنترل علف‌های هرز تأثیر معنی داری بر کارایی کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ در هر سه مرحله رشدی گیاه ذرت داشتند. در تیمار مخلوط کردن بقایا و شخم حفاظتی به همراه استفاده از علفکش آترازین در علف‌های هرز پهن‌برگ کارایی کنترل علف‌های هرز به ترتیب ۶۹ و ۶۷ درصد و در تیمار سوزاندن بقایا به همراه علفکش آترازین و و مخلوط کردن بقایا به همرام مالچ ماش سبز و علفکش آترازین در میزان جمعیت علف‌های هرز باریک‌برگ کارایی کنترل علف‌های هرز به ترتیب ۶۴ و ۶۷ درصد بود. نتایج حاصل از آزمایش حاضر نشان داد که کارایی کنترل علف‌های هرز و به گونه‌ای بود که بیشترین فشار رقابتی را در تیمار شاهد در هر سه مرحله رشدی داشت، زیرا با افزایش سریع ارتفاع و وزن خشک علف‌های هرز نسبت به ذرت در این تیمار در ۳۰ روز بعد از کاشت و با ایجاد سایه اندازی باعث کاهش شاخص اطلاعات نشان داده شده گردید. (شکل ۴ و ۵). در مقابل با افزایش طول دوره کنترل و استفاده از علفکش و مالچ سبز ماش در ذرت در بازه ۶۰ و ۹۰ روز بعد از کاشت باعث به تأخیر افتادن زمان ظهور علف‌های هرز، به دلیل سایه اندازی بیشتر گیاه زراعی در پی بسته شدن پوشش گیاهی، قدرت رقابت علف‌های هرز کاهش یافته و تا جایی ادامه می‌یابد که اساساً قدرت رقابت با گیاه زراعی را از دست داده و تأثیری بر آن نمی‌گذارد.



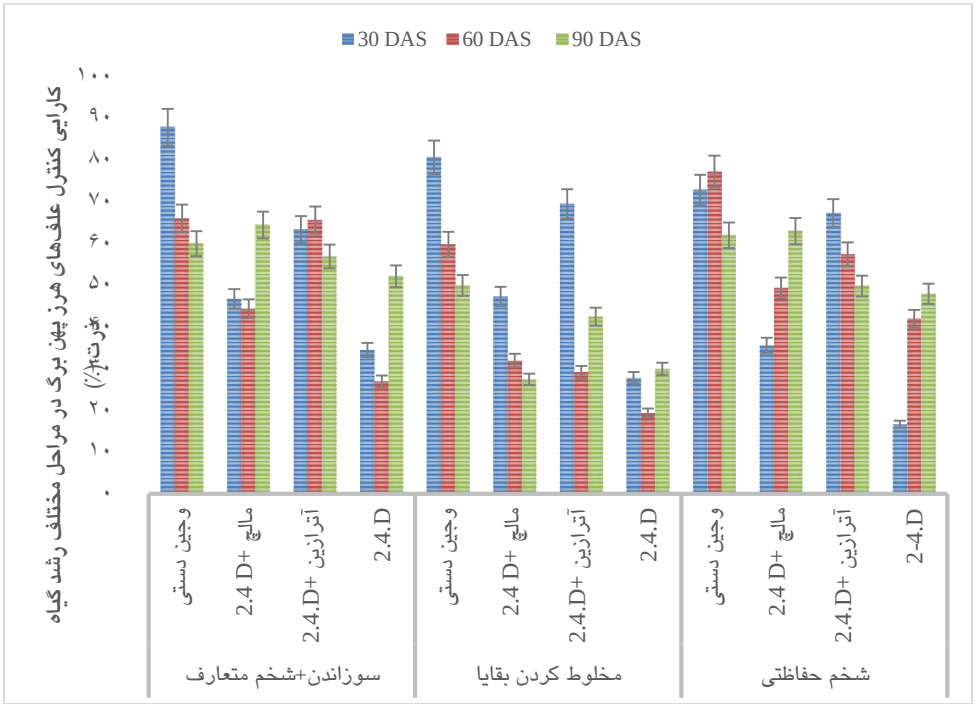
شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف‌های هرز برای میزان نیتروژن جذب شده توسط علف‌های هرز



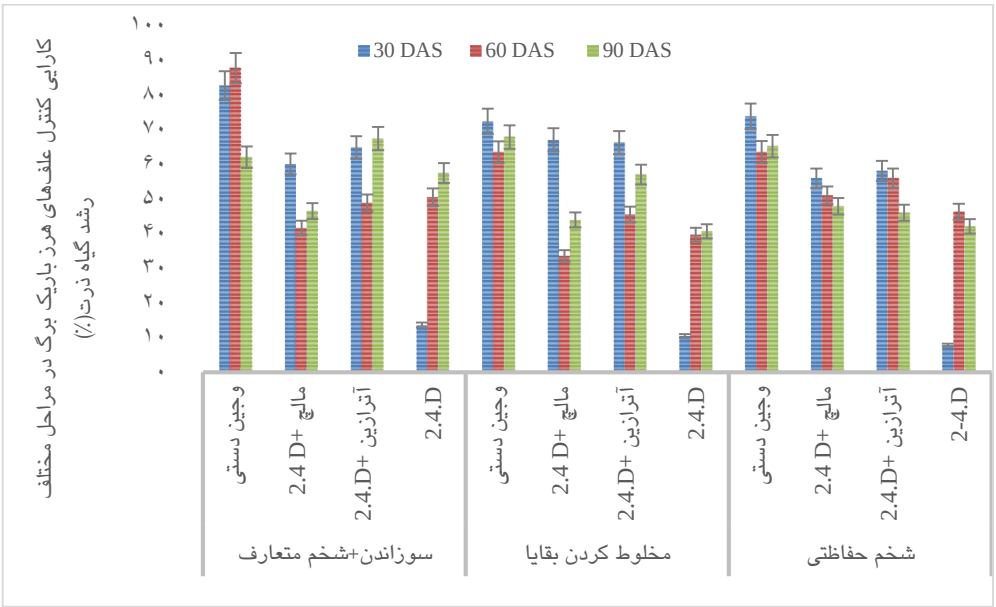
شکل ۲- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف هرز برای میزان فسفر جذب شده توسط علف‌های هرز



شکل ۳- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف هرز برای میزان پتاسیم جذب شده توسط علف‌های هرز



شکل ۴- کارایی کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ تحت تأثیر مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف‌های هرز در ذرت



شکل ۵- کارایی کنترل علف‌های هرز باریک‌برگ تحت تأثیر مدیریت بقایای گیاهی و کنترل علف‌های هرز در ذرت

نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد مدیریت بقایا و کنترل علف‌های هرز باعث کاهش در تعداد و وزن خشک علف‌های هرز ذرت گردیده است. در بین تیمارهای کنترل علف‌های هرز، تیمار وجین دستی و مخلوط کردن بقایا بیشترین تأثیر را در کاهش علف‌های هرز داشت و شخم حفاظتی به دلیل عدم زیر و رو کردن خاک باعث افزایش رشد و وزن خشک علف‌های هرز (چندساله باریک برگ) گردید. همچنین جذب عناصر غذایی توسط علف‌های هرز در تیمارهایی که رشد و وزن خشک بیشتری داشته‌اند،

افزایشی بوده است، بطوری که شخم حفاظتی و عدم کنترل علف‌های هرز بیشترین درصد جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را داشته است. برای کنترل موفق علف‌های هرز و رسیدن به حداکثر عملکرد، می‌توان از بقایای گیاهی و مالچ سبز ماش به همراه مصرف علفکش به عنوان یکی از اجزای کنترل تلفیقی همانند وجین دستی در کنار سایر روش‌های کنترل علف‌های هرز استفاده کرد.

سپاسگزاری

دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت تأمین هزینه مورد نیاز این تحقیق که قسمتی از قرارداد پژوهانه به شماره ۰۲/۱۸۲۸۷/بدینوسیله از حوزه معاونت پژوهشی ۹۹/۳ می‌باشد، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Abdollahian-Noghabi M, Najafi H and Yousefabadi V. 2011. Cover crops mulch application for sugar beet weed control in autumn seed bed preparation. 33th Iranian Sugar Beet Symposium. Mashhad, Iran. pp 26-27.

Alsherif EA. 2020. Cereal weeds variation in middle egypt: role of crop family in weed composition. Audi Journal of Biological Sciences. 27(9): 2245–2250. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.07.001

Amit J, Stevan ZK, Zahoor AG and Megh S. 2014. Integrated weed management maize. Chapter. 6: 177-196.

Bakhtiar G, Khan BM, Muhammad S, Zahid H and Haidar A. 2011.impact of tillage, plant population and mulches on weed management and germination. Pakistani Journal of Botany, 43(3): 1603-1606.

Behgam M, Amini R and Dabbagh Mohammadi Nassab A. 2018. Effect of integrated weed management methods on yield and yield components of pinto bean (Phaseolus vulgaris L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 28(4): 175-190. (In Persian).

Duwadi A, Acharya A, Gautam S. 2021. A review on non-chemical weed management in maize (Zea mays l.). Food and Agricultural Economics Review (Faer), 1(1): 46-51. http://doi.org/10.26480/faer.01.2021.46.51

Fakheri R, Tobeh A, Sharifi Ziveh P, Didehbaz Moghanlo GH and Tahmasbi B. 2018. Effects of cover crop residue management on corn yield and weed control. Journal of Research in Weed Science. 1:7-17. http://doi.org/10.26655/jrweedsci.2018.6.2

Jahanbakhsh M, Rafiei S and Moradi Talebbeigi R. 2017. The effect of tillage method and wheat residues (Triticum aestivum L.) on weed growth and corn (Zea mays L.) yield response. Weed Research, 10(1): 35-46.

Jalali AH, Bahrani MJ and Karimian NA. 2018. The effect of crop residue management, compost and nitrogen fertilizer use on grain yield and yield components of double cross corn number 370. Iranian Journal of Crop Sciences. 13(2): 351-336. (In Persian).

Lotfi Mavi F, Daneshian J, Baghestani M, Faramarzi A and Shaishetnia, A. 2010. Effect of integrated weed management on yield and yield components of broom sorghum. Iranian Journal of Crop Sciences, 13(4): 596-610. (In Persian).

Mallek S, Partner TS and Stapleton, J. 2007. Interaction effects of Allium Ssp. Residues concentrations and soil temperature on seed germination of four weedy plant species. Applied Soil Ecology, 37: 233-239. http://doi 10.1016/j.apsoil.2007.07.003

Mamnoie E, Shimi P and Baghestani MA. 2012. Evaluation of various herbicide efficiency in weed control of sesame (Sesamum indica) in Jiroft and Kohnuj. Iranian Journal of Weed Science, 8: 1-12. https://ijws.areeo.ac.ir/article_2724.html?lang=fa

Mashidi MA, Zand A, Baghestani M, Madani A, Daneshian H and Khaqani J. 2008. Investigating the effectiveness of old and new herbicides in the management of weeds in corn fields. Iranian Journal of Agriculture and Plant Breeding, 5 (1): 57-67. (In Persian).

Mehdipour H, Abbasi R and Abbasian A. 2017. Interaction of density and management of mungbean (Vigna radiata L.) on sesame (Sesamum indicum L.) seed yield and weeds control. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 27 (2): 37-48. (In Persian). https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_6382.html?lang=fa

Moss SR. 1987. Influence of tillage, straw disposal system and seed return on the population dynamics of Alopecurus myosuroides Huds. In winter wheat. Weed Research, 27: 313-320. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1987.tb00768.x

Mozbani Nasr M, Monsafi A and Haseibi P. 2023. The effect of weed control and plant residue management on the absorption of nutrients by weeds and wheat in the climatic conditions of Khuzestan. Agricultural Knowledge and Sustainable Production.

Nazerian A. 1998. Importance of orchards weeds and evaluation of their control methods. Final Report. Iranian Research Institute of Plant Protection Publication. Pp: 72 (In Persian).

Rizvani M, Rahimnejad L and. Karamzadeh A. 2013 Evaluation of the effect of pre-emergence and post-emergence herbicides on weed control and yield and yield components of seed corn (Zea mays L) in Shush region. Research in Agricultural Plants. 2(1): 37-28.
https://rfcj.urmia.ac.ir/article_20014.html?lang=en

Rouzbeh M and Loghavi M. 2006. Comparison of different methods of seedbed preparation under dry condition on corn yield followed wheat. Agricultural Engineering Research. 7(29): 19-32. https://doi: 20.1001.1.26454531.1385.7.4.2.9.

Saudy HS. 2013. Easily practicable packages for weed management in maize. African Crop Science Journal, vol. 21, no. 4, pp. 291 – 301.

Sorkheh M, Zaafarian F and Qurineh MH. 2020. The effect of green manure under different tillage conditions on weed characteristics and corn yield (Zea mays L.). Plant Products, 43(2): 294-281 (In Persian). https://doi: https://doi.org/10.22055/ppd.2019.27385.1665

Tehrani M, Aineband A and Nabati Ahmadi D. 2009. The study of weed population dynamics by applying plant residue management and nitrogen fertilizer distribution in rapeseed cultivation, Plant Products, 32(1): 65-79 (In Persian). https://plantproduction.scu.ac.ir/article_12211.html

Tokasi S, Rashed Mohassel MH, Rezvani Moghaddam P, Nassiri Mahallati M, Aghajanzadeh S and Kazerooni Monfared E. 2008. Orange orchard weeds management using cover crops and rice mulch. J. of Iranian. Field Crop Research. 6: 49-57 (In Persian).

Zarin Kaviani B, Zaid Ali A, Moradi R and Kaviani Z. 2017. Investigating the integrated management of weeds on the quantitative and qualitative yield of grain corn and the density and diversity of weeds in the climatic conditions. Agricultural Applied Research Journal. 31(4): 129-150 (In Persian). https://doi: 10.22092/AJ.2019.121327.1272

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 237-252

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Study of Cross-(in) compatibility and introduction of the best Pollinizer in four almond Promising Genotypes to achieve Sustainable Crop Production

Mohammad Zarrinbal[1*], Jalil Dejampour[2], Hossein Fathi[3]

Received: : 22 February 2023	Accepted: 24 January 2024

1, 2 and 3-Assist. Prof., Assoc. Prof. and Researcher of Crop and Horticultural Science Research Department, East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: m.zarrinbal@areeo.ac.ir

Abstract

Background and Objective: This study was conducted to determine the pollen (in) compatibility of seven commercial cultivars in crossing with four almond (*Prunus dulcis* Mill.) promising genotypes and to select the best pollinizer with the aim of ensuring fruit set and stable production.

Materials and Methods: The percentage of initial and final fruit set of almond promising genotypes was evaluated after controlled pollination with pollinizers on experimental orchard in Sahand horticultural research station (East Azerbaijan) in two consecutive years. Also, the pollen tube growth inside the pistil of recipient genotypes was tracked using fluorescent microscope. Observing at least one pollen tube inside the ovary was considered as compatibility and stopping the pollen tube through style was considered as incompatibility.

Results: All of pollinizers including Azar, Sahand, Fragness, A200, Araz, Eskandar and Tono had pollen compatibility with recipient genotypes. The highest percentage of final fruit set for AL721 was achieved when it was pollinated with Azar and Eskandar (59% and 56%, respectively), for AL1310 with Azar (41%), Sahand and Eskandar (39%), for NP2 with Eskandar and Azar (57% and 54%, respectively) and for KH2 with Eskandar and Araz (44% and 43%, respectively).

Conclusion: Assessment of final fruit set after controlled pollination in orchard determined suitable pollinizers of new promising genotypes. The genotypes AL721 and AL1310 (with 59% and 25% fruit set, respectively) had the highest and lowest fertility potential. Microscopic observations of pollen tube growth inside the pistil confirmed the orchard evaluations.

Keywords: Almond, Final Fruit Set, Fluorescent Microscope, Pollen Compatibility, Pollen Tube Growth

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Mohammad Zarrinbal E-mail: m.zarrinbal@areeo.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.55545.3005

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۲۵۲-۲۳۷

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

مطالعه دگر(نا)سازگاری و معرفی بهترین والد گرده‌زا در چهار ژنوتیپ امیدبخش بادام برای دستیابی به تولید محصول پایدار

محمد زرین‌بال[1*]، جلیل دژم‌پور[2]، حسین فتحی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۳	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۴

۱، ۲ و ۳ بترتیب: استادیار، دانشیار و محقق بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، AREEO ، تبریز، ایران
* نویسنده مسئول: Email: m.zarrinbal@areeo.ac.ir

چکیده

اهداف: این مطالعه به‌منظور تشخیص دگر (نا)سازگاری دانه گرده هفت رقم تجاری در تلاقی با چهار ژنوتیپ امیدبخش بادام (*Prunus dulcis* Mill.) و انتخاب بهترین رقم گرده‌زا برای تضمین میوه‌بندی و تولید پایدار محصول انجام گردید.

مواد و روش‌ها: درصد میوه‌بندی اولیه و نهایی ژنوتیپ‌های امیدبخش بادام پس از گرده‌افشانی کنترل شده با ارقام گرده‌زا در شرایط باغی در ایستگاه تحقیقات باغبانی سهند (آذربایجان شرقی) طی دو سال متوالی ارزیابی گردید. همچنین رشد لوله گرده ارقام گرده‌زا درون مادگی گل ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده به کمک میکروسکوپ فلئورسنت ردیابی شد. مشاهده حداقل یک لوله گرده در حال رشد درون تخمدان نشانه سازگاری و توقف رشد لوله گرده درون خامه نشانه ناسازگاری منظور شد.

یافته‌ها: ارقام گرده‌زای آذر، سهند، فرانیس، A200، آراز، اسکندر و تونو با ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده از سازگاری دانه گرده برخوردار بودند. بیشترین درصد میوه‌بندی نهایی برای ژنوتیپ AL721 با استفاده از گرده ارقام آذر و اسکندر (به‌ترتیب ۵۹٪ و ۵۶٪)، برای ژنوتیپ AL1310 با استفاده از گرده ارقام آذر (۴۱٪)، سهند و اسکندر (۳۹٪)، برای ژنوتیپ NP2 با استفاده از گرده ارقام اسکندر و آذر (به‌ترتیب ۵۷٪ و ۵۴٪) و برای ژنوتیپ KH2 با استفاده از گرده ارقام اسکندر و آراز (به‌ترتیب ۴۴٪ و ۴۳٪) به دست آمد.

نتیجه‌گیری: با ارزیابی میوه‌بندی نهایی پس از دگر گرده‌افشانی کنترل شده در باغ، ارقام گرده‌زا برای ژنوتیپ‌های امیدبخش انتخاب شدند. ژنوتیپ‌های AL721 با میوه‌بندی ۵۹٪ و AL1310 با میوه‌بندی ۲۵٪ به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین پتانسیل باروری بودند. مشاهدات میکروسکوپی رشد لوله گرده درون مادگی نتایج ارزیابی‌های باغی را تایید نمود.

واژه‌های کلیدی: بادام، رشد لوله گرده، سازگاری دانه گرده، میکروسکوپ فلئورسنت، میوه‌بندی نهایی

مقدمه

آگاهی کافی از روابط سازگاری دانه گرده و مادگی بین ارقام مختلف از مهم‌ترین جنبه‌های فرآیند باردهی درختان میوه معتدله می‌باشد که از نظر میوه‌کاری برای انتخاب مطلوب درختان گرده‌زا با هدف دستیابی به تولید پایدار در باغ اهمیت ویژه‌ای دارد و همچنین از نظر

افزایش کارآیی و سرعت برنامه‌های به‌نژادی دارای اهمیت است (دژم‌پور و همکاران ۲۰۱۱). امروزه به هنگام معرفی ارقام جدید، وضعیت خود (نا)سازگاری[1] و دگر (نا)سازگاری[2] والدهای مادری و پدری تعیین می‌شود تا در زمان احداث باغ با گزینش والدین مناسب و به دنبال آن انجام گرده‌افشانی موفق، تولید محصول تجاری تضمین شود (زرین‌بال ۲۰۱۹). ویژگی خود ناسازگاری یک راهبرد تکاملی در گیاهان گلدار است که با هدف جلوگیری از خود باروری[3] و گرایش به دگر باروری[4] توسعه یافته است. در این پدیده با استفاده از مکانیسم شناسایی دانهٔ گرده- مادگی، از رشد لوله گرده‌ای که توسط مادگی به‌عنوان خودی[5] شناخته شده است، به شکل انتخابی جلوگیری شده و درنتیجه از خود باروری گل ممانعت به عمل می‌آید. در واقع، با وجود کارآمد بودن هر دو اندام جنسی نر و ماده، گیاه از توانایی باروری و تشکیل بذر پس از خود گرده‌افشانی برخوردار نمی‌باشد (دنتانکورت ۲۰۰۱؛ هالاسز و همکاران ۲۰۰۷).

بادام (*Prunus dulcis* Mill.) که به نظر می‌رسد بومی فلات ایران باشد، در طول جاده ابریشم و از مسیر آسیای میانه تا اروپا پراکنش یافته است (سوسیاس آی کمپانی و همکاران ۲۰۱۲). بادام از مهمترین میوه‌های خشک مناطق معتدله بوده و اکثر ارقام آن با ویژگی خود ناسازگاری شناخته شده‌اند و برای تولید میوه تجاری به گرده‌افشانی با دانه گرده مناسب و سازگار نیاز دارند (فلاح و همکاران، ۲۰۱۷؛ سوسیاس آی کمپانی و همکاران ۲۰۱۷). خود ناسازگاری در بادام مانند دیگر گونه‌های جنس پرونوس[6] به شکل گامتوفیتی است که توسط یک مکان ژنی با آلل‌های مختلف کنترل می‌شود (ساترلند و همکاران ۲۰۰۸؛ سوسیاس آی کمپانی و همکاران ۲۰۱۷). در این نوع ناسازگاری در صورتی که آلل‌های مشابه در دانه گرده و مادگی وجود داشته باشند، رشد لوله گرده درون خامه متوقف می‌شود (بورگوس و همکاران ۱۹۹۸). در واقع، با بیان شدن ژن خود ناسازگاری در خامه، پروتئین S-RNase تولید می‌شود که فعالیت ریبونوکلئازی[7] دارد (ویلانووا و همکاران ۲۰۰۶)، در حالیکه در دانه گرده محصول این ژن بعنوان پروتئین F-box شناخته می‌شود (انتانی و همکاران ۲۰۰۳). برهمکنش این دو ژن به ناتوانی رشد لوله گرده درون خامه می‌انجامد.

مکان ژنی ویژگی ناسازگاری[8] هر دو فرآیند خود ناسازگاری و دگر ناسازگاری در درختان میوه را کنترل می‌کند (سانزول ۲۰۰۹). در حقیقت این مکان ژنی که مسئول کنترل خود ناسازگاری است، دگر ناسازگاری را نیز کنترل می‌کند (دنتانکورت ۲۰۰۱). ارقامی که آلل‌های خود ناسازگاری مشابهی دارا هستند، یک گروه دگر ناسازگاری تشکیل می‌دهند که توانایی گرده‌افشانی و باروری یکدیگر را ندارند (ویلانووا و همکاران ۲۰۰۵). این ارقام برای تولید میوه کافی بایستی با دانه گرده حاوی آلل متفاوت و سازگار گرده‌افشانی شوند. گزارشات متعددی از دگر ناسازگاری ارقام در درختان میوه هسته‌دار وجود دارد (رومرو و همکاران ۲۰۰۴). به نظر می‌رسد دلیل افزایش این پدیده استفاده از ارقام محدود بعنوان والدهای پدری و مادری در برنامه‌های به‌نژادی باشد که تنوع ژنتیکی ارقام را محدود نموده است (جکووامارت ۲۰۰۷). در بادام نیز وجود گروه‌های دگر ناسازگار گزارش شده است (حسین‌آوا، ۲۰۱۵؛ آلونسو و سوسیاس آی کمپانی ۲۰۰۵؛ سوسیاس آی کمپانی ۲۰۱۷). در اولین مطالعات در این زمینه، کستر و همکاران (۱۹۹۴) در کالیفرنیا با مطالعه خود ناسازگاری و دگر ناسازگاری در بادام، چند گروه دگر ناسازگار ارقام بادام را تعیین کردند.

تشخیص دگر (نا)سازگاری بین ارقام در برنامه‌های به‌نژادی کلاسیک با ارزیابی میوه‌بندی پس از تلاقی‌های کنترل شده در شرایط مزرعه‌ای انجام می‌شود. برآورد عملکرد درخت و مقایسه بین ارقام گرده‌زا در شرایط واقعی باغ از مزایای این روش نسبت به روش‌های آزمایشگاهی می‌باشد (اورتگا و دیسنتا ۲۰۰۶). به دلیل اینکه میزان تشکیل میوه تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیولوژیکی درخت و شرایط محیطی در سال‌های

[1] Self-(in)compatibility
[2] Cross-(in)compatibility
[3] Self-fertilization
[4] Cross-fertilization
[5] Self
[6] *Prunus*
[7] Ribonuclease activity
[8] S-locus

مختلف در نوسان می‌باشد، لذا تکرار تلاقی‌های کنترل شده و ارزیابی میوه‌بندی برای حداقل دو سال متوالی توصیه می‌شود (میلاتوویک و همکاران ۲۰۱۳ب). ردیابی میکروسکوپی رشد لوله گرده درون خامه با کاربرد میکروسکوپ مجهز به نور فلئورسنت روش دقیق‌تری در تشخیص دگر (نا)سازگاری بین ارقام می‌باشد. در این شیوه زمانی که در اکثر مادگی‌های در حال مطالعه حداقل یک لوله گرده به تخمدان برسد، بعنوان تلاقی سازگار محسوب می‌شود و اگر رشد لوله گرده درون خامه متوقف شده و تشکیل کالوز انتهایی مشاهده شود، به عنوان تلاقی ناسازگار تلقی خواهد شد (اورتگا و دیسنتا ۲۰۰۳، ۲۰۰۶). از آنجایی که این روش کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، در مقایسه با مطالعه میوه‌بندی پس از دگر گرده‌افشانی در شرایط مزرعه‌ای، ارزیابی دقیق‌تری را امکان‌پذیر ساخته (جکووا مارت ۲۰۰۷) و نیز نسبت به روش‌های مولکولی مبتنی بر پی سی آر[1] که در سال‌های اخیر گسترش یافته‌اند، بسیار مقرون به صرفه است (زرین‌بال و همکاران ۲۰۱۶). ویژگی دگر (نا)سازگاری بین ارقام با استفاده از این روش در گیلاس (سونولد و همکاران ۲۰۰۳؛ رسولی و همکاران ۲۰۱۰ الف)، بادام (اورتگا و همکاران ۲۰۰۲؛ آلونسو و سوسیاس آی کمپانی ۲۰۰۵)، آلو (نیکولیک و میلاتوویک ۲۰۱۰) و زردآلو (میلاتوویک و نیکولیک ۲۰۰۷) مورد مطالعه قرار گرفته است.

پژوهش حاضر با هدف تشخیص دگر (نا)سازگاری و انتخاب بهترین والد گرده‌زا در چند ژنوتیپ امیدبخش بادام با ارزیابی میوه‌بندی نهایی پس از تلاقی‌های کنترل شده در شرایط باغی و همچنین ردیابی میکروسکوپی رشد لوله گرده درون مادگی پس از تلاقی‌های کنترل شده در شرایط آزمایشگاهی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: چهار ژنوتیپ امیدبخش بادام به عنوان والد گرده‌گیرنده و هفت رقم تجاری به عنوان والد گرده‌زا از میان ژنوتیپ‌های امید بخش حاصل از برنامه به‌نژادی بادام (دژم‌پور و همکاران ۲۰۱۷، زرین‌بال و همکاران ۲۰۲۰) مورد مطالعه قرار گرفتند. گرده‌افشانی آزاد والدهای گرده‌گیرنده بعنوان شاهد در نظر گرفته شد. این ژنوتیپ‌ها روی پایه بذری قرار داشته و در ایستگاه تحقیقات باغبانی سهند وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی کاشته شده‌اند. درختان ۱۰-۹ ساله بوده و عملیات باغی یکسانی بر روی آنها انجام گردید. منشاء، شجره و ویژگی مهم این ارقام و ژنوتیپ‌ها در جدول یک آورده شده است. این مطالعه در دو سال متوالی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد.

جدول ۱- اسامی، شجره، منشاء و ویژگی مهم ارقام و ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده و گرده‌زای مورد مطالعه بادام

ردیف		ژنوتیپ/رقم	شجره	منشاء	ویژگی مهم
۱		AL721	ژنوتیپ بومی	ایران	دیرگل و پوست کاغذی
۲	ژنوتیپ‌های	AL1310	شکوفه × A200	ایران	متوسط گل و پوست کاغذی
۳	گرده‌گیرنده	NP2	ژنوتیپ بومی	ایران	دیرگل و پوست کاغذی
۴		KH2	ژنوتیپ بومی	ایران	متوسط گل و نیمه پوست کاغذی
۱		آذر	Ai × Cristo Morto	ایران	دیر گل و نیمه پوست کاغذی
۲		آراز	AH50 × Non Pariel	ایران	خیلی دیر گل و پوست کاغذی
۳		اسکندر	Fragness × Non Pariel	ایران	خیلی دیر گل و پوست کاغذی
۴	ارقام گرده‌زا	سهند	ژنوتیپ بومی	ایران	خیلی دیرگل و پوست سخت
۵		تونو	رقم ایتالیایی	ایتالیا	خود سازگار، دیرگل و پوست سخت
۶		A200	رقم اسپانیایی	اسپانیا	دیرگل و پوست سخت
۷		فرانیس	رقم فرانسوی	فرانسه	دیرگل و پوست نیمه‌سخت
۸	شاهد	گرده‌افشانی آزاد	-	-	-

[1] Polymerase Chain Reaction (PCR)

تعیین درصد جوانه‌زنی دانه گرده: به منظور تعیین درصد جوانه‌زنی دانه گرده، شاخه‌های دارای جوانه گل از درختان گرده‌زا در مرحلهٔ D فلکینگر[1] (غنچه بسته) انتخاب و درون کیسه‌های پلاستیکی سربسته به آزمایشگاه منتقل شده و در سطل‌های ۲۰ لیتری حاوی آب قرار گرفتند تا گل‌ها باز شوند. بساک‌ها پیش از باز شدن گل با استفاده از پنس جدا شده و گرده‌ها پس از آزاد شدن جمع‌آوری و درون لوله‌های شیشه‌ای درب‌دار در یخچال نگهداری شدند (اگه و بورگوس ۱۹۹۶؛ بورگوس و همکاران ۲۰۰۴). سپس گرده‌ها درون پتری دیش روی محیط کشت حاوی ۱٪ آگار، ۱۵٪ ساکارز و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید بوریک با استفاده از قلم‌مو به‌صورت یکنواخت کشت شده و در اتاقک کشت و در شرایط کنترل شده از نظر دما (۲±۲۲ درجه سانتی‌گراد)، نور (۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) و رطوبت نسبی (۷۵٪) قرار گرفتند. پس از ۲۴ ساعت فرآیند جوانه‌زنی با اضافه کردن چند قطره کلروفرم متوقف شده و درصد تندش دانه گرده با استفاده از میکروسکوپ نوری در چهار میدان دید مختلف بررسی گردید (اگه و بورگوس ۱۹۹۶؛ رومرو و همکاران ۲۰۰۴). برای جلوگیری از ایجاد اثر توده‌ای[2] (تحریک تندش و رشد لوله گرده زمانی که تعداد دانه گرده در واحد سطح زیاد باشد) شمارش دانه‌های گرده جوانه زده از میان میدان‌های دیدی صورت گرفت که دانه‌های گرده بصورت یکنواخت توزیع شده بودند (حاجیلو و همکاران ۲۰۰۶ الف).

دگر گرده‌افشانی کنترل شده در باغ: برای انجام دگر گرده‌افشانی کنترل شده در باغ، درختان گرده‌گیرنده انتخاب شده و حدود ۱۴ روز قبل از زمان تقریبی باز شدن گل‌ها، با استفاده از قفس‌های توری بزرگ ایزوله شدند تا از گرده افشانی ناخواسته جلوگیری شود. در هر درخت سه شاخه در جهت‌های مختلف که دارای موقعیت نسبی، تعداد گل و سطح برگ تقریبا مشابهی بودند از قسمت میانی تاج درخت انتخاب شدند. این شاخه‌ها در مرحله غنچه بسته انتخاب و با استفاده از پنس گلبرگ‌ها و پرچم‌ها حذف شدند تا گل‌ها اخته شوند (جکووا مارت ۲۰۰۷؛ زرین‌بال و همکاران ۲۰۱۹). همچنین در مرحله ایزوله کردن درختان توسط قفس توری، گل‌های باز شده و گل‌هایی که قبل از مرحله غنچه بسته بودند، حذف شدند. در زمان باز شدن گل‌ها و زمانی که کلاله گل آمادگی پذیرش دانه گرده را داشت، دگر گرده‌افشانی مصنوعی با استفاده از گرده رقم مورد نظر توسط قلم مو انجام شد. برای اجتناب از آلودگی برای هر تیمار یک قلم موی جداگانه انتخاب شد و نیز دست‌ها با الکل ۷۰٪ ضدعفونی می‌شدند. گرده‌افشانی مصنوعی پس از ۴۸ ساعت تکرار شد تا از تلاقی گل‌ها اطمینان حاصل شود (جکووا مارت ۲۰۰۷). با سپری شدن دو هفته قفس‌های توری بزرگ برداشته شدند. پس از گذشت دو هفته از انجام گرده‌افشانی میزان میوه‌بندی اولیه و پس از هشت هفته میزان میوه‌بندی نهایی با شمارش تعداد میوه‌های تشکیل شده و محاسبه نسبت آنها به تعداد گل‌های تلقیح شده به دست آمد (اگه و بورگوس ۱۹۹۶؛ زرین‌بال و همکاران ۲۰۱۹). همچنین به منظور تعیین پتانسیل باروری ارقام مادری، گرده افشانی آزاد گل‌ها در شرایط طبیعی در باغ انجام شد و میزان میوه‌بندی اولیه و نهایی با شمارش تعداد میوه‌های تشکیل شده و محاسبه نسبت آنها به تعداد گل‌های تلقیح شده به دست آمد (فوتیریک آکسیک و همکاران ۲۰۱۴). برای اطمینان از نتایج به دست آمده، این مطالعه در دو سال تکرار گردید.

دگر گرده افشانی کنترل شده در آزمایشگاه و ردیابی لوله گرده درون مادگی: جهت اطمینان از نتایج مطالعات باغی، مطالعات آزمایشگاهی و میکروسکوپی دگر(نا)سازگاری برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه انجام گردید. بدین منظور، شاخه‌های دارای تعداد کافی جوانه گل (حدود ۴۰ گل) از درختان گرده‌گیرنده در مرحله بالونی[3] برداشت شده و به آزمایشگاه با دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. انتهای شاخه‌ها درون سطل‌های

[1] Flekinger
[2] Mass effect
[3] Balloon stage

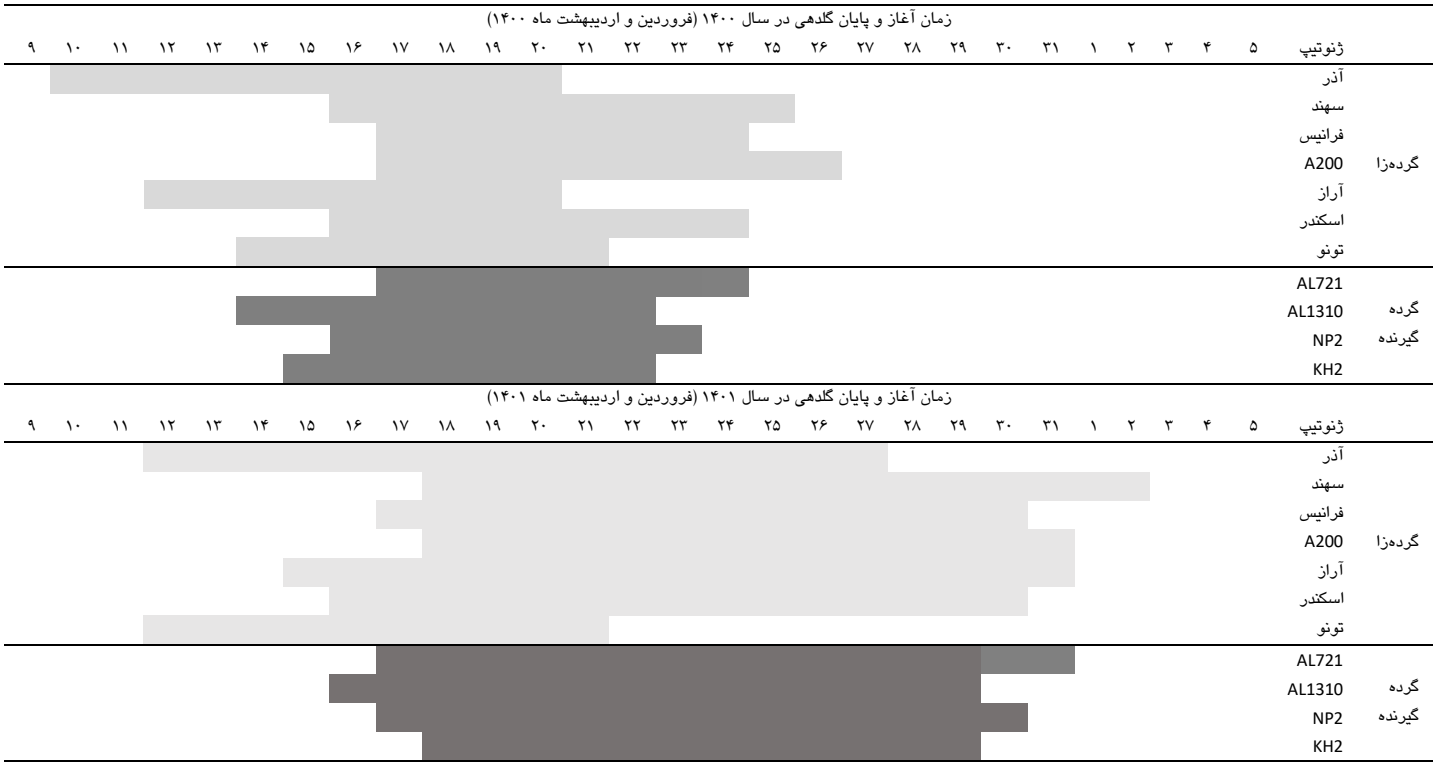
۲۰ لیتری محتوی محلول ٪۵ ساکارز قرار گرفتند. پس از باز شدن گل‌ها و پذیرا بودن کلاله، گل‌ها با استفاده از گرده والد پدری به کمک قلم مو تلقیح شدند. با گذشت ۹۶ ساعت از گرده‌افشانی، مادگی گل‌ها جدا شده و درون محلول تثبیت کننده FAA [1] (حاوی ۹۰ درصد اتانول ۷۰ درصد، ۵ درصد فرم آلدئید ۴۰ درصد و ۵ درصد اسید استیک گلاسیال) به مدت ۲۴ ساعت تثبیت شده و سپس تا زمان انجام بررسی‌های میکروسکوپی در اتانول ۷۰ درصد و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند (رومرو و همکاران ۲۰۰۴؛ هارتمن و همکاران ۲۰۱۴). نمونه‌ها سه مرتبه و هر بار به مدت یک ساعت با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در محلول NaOH چهار مولار قرار داده شدند تا بافت آنها نرم شود. پس از شستشوی مجدد در آب مقطر، نمونه‌ها جهت رنگ‌آمیزی به مدت ۴۸ ساعت در محلول آنیلین بلو ۱٪ و فسفات دی هیدروژن پتاسیم ۰/۱ نرمال در دمای آزمایشگاه و در تاریکی قرار گرفتند. پس از شستشوی مجدد با استفاده از آب مقطر، هر مادگی بصورت جداگانه روی لام قرار داده شده و جهت شفافیت بهتر تصویر، یک قطره گلیسرین روی آن ریخته شد و توسط لامل به آرامی له گردید. در نهایت با استفاده از میکروسکوپ مجهز به نور فلورسنت (Olympus-CX31, GD-100) روند رشد لوله گرده درون خامه و رسیدن آن به تخمدان مورد مطالعه قرار گرفت (میلاتوویک و همکاران ۲۰۱۳ الف). برای هر تلاقی هفت مادگی مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفتند و تعداد دانه گرده روی کلاله، تعداد لوله گرده نفوذ کرده در یک چهارم بالایی خامه، یک دوم میانی خامه، سه چهارم بخش پایینی خامه و درون تخمدان شمارش شدند (نیکولیک و میلاتوویک ۲۰۱۰؛ میلاتوویک و همکاران ۲۰۱۳ ب).

تجزیه داده‌ها: به منظور تعیین درصد جوانه‌زنی دانه گرده از طرح کاملا تصادفی با ۱۱ تیمار شامل نوع رقم/ژنوتیپ در سه تکرار و چهار میدان دید میکروسکوپی در هر تکرار که بطور تصادفی از هر نمونه انتخاب شدند، استفاده گردید. برای تجزیه و تحلیل درصد میوه‌بندی پس از دگر گرده‌افشانی کنترل شده در باغ، از طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۲ تیمار (ترکیب تلاقی‌ها شامل ۷ والد پدری بعلاوه گرده‌افشانی آزاد در تلاقی با ۴ والد مادری) در ۳ تکرار استفاده شد. هر تکرار شامل یک درخت بوده و در هر درخت سه شاخه در جهت‌های مختلف از قسمت میانی تاج درخت و در کل دارای تعداد تقریبا ۳۰۰ گل انتخاب شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزارهای SPSS ver. 23 و MSTATC استفاده شد. برای دگرگرده‌افشانی کنترل شده در آزمایشگاه و ردیابی میکروسکوپی لوله گرده درون مادگی، تعداد دانه گرده روی کلاله و تعداد لوله گرده در یک چهارم بالایی خامه، یک دوم میانی خامه، سه چهارم پایینی خامه و نیز درون تخمدان شمارش شدند. در بررسی‌های میکروسکوپی وجود حداقل یک لوله گرده نفوذ کرده به درون مادگی تلاقی سازگار و توقف رشد لوله گرده در طول خامه و چند شاخه‌ای شدن آن تلاقی ناسازگار منظور گردید.

نتایج

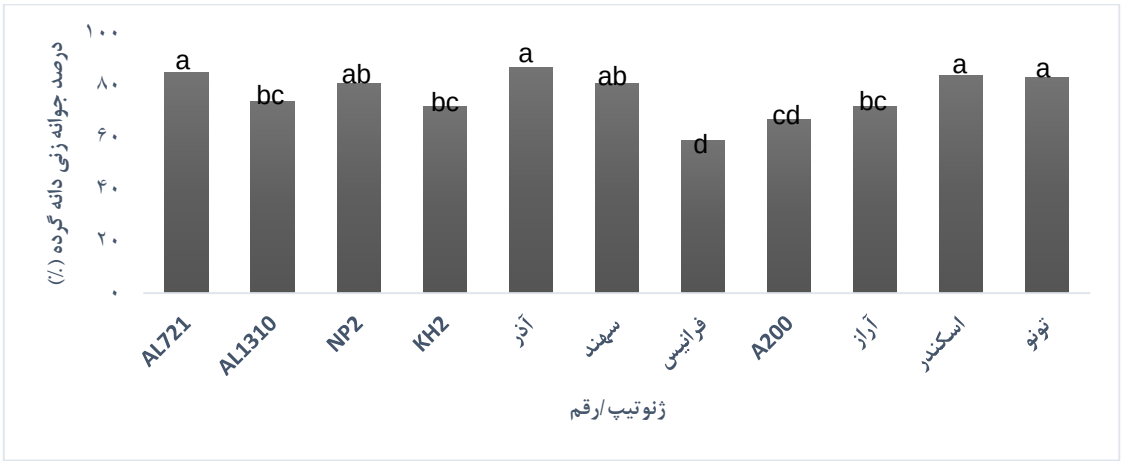
همپوشانی دوره گلدهی: مطالعه زمان آغاز و پایان گلدهی در دو سال متوالی نشان داد که گلدهی ارقام گرده‌زا با ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده به مدت پنج روز همزمان بودند. ارقام آذر و تونو نسبت به سایر ارقام و ژنوتیپ‌های گرده‌زا و گرده‌گیرنده مورد مطالعه اندکی زودگل‌تر بوده ولی در هر دو سال مورد بررسی از همپوشانی کافی با ژنوتیپ‌های مادری از نظر زمان گلدهی برخوردار بودند. آغاز و پایان گلدهی در دو سال مورد بررسی به دلیل تغییر در شرایط آب و هوایی متفاوت بوده ولی الگوی گلدهی این ژنوتیپ‌ها تقریبا ثابت بود (شکل ۱).

[1] Formaldehyde Acetic Acid (FAA)



شکل ۱- همپوشانی زمان آغاز و پایان گلدهی ارقام گرده‌زا و ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده بادام در دو سال متوالی

درصد جوانه‌زنی دانه گرده: درصد جوانه‌زنی دانه گرده در کشت درون شیشه‌ای ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بادام از ۸۲-۵۹ ٪ متفاوت بود. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که ارقام و ژنوتیپ‌های AL721، آذر، اسکندر و تونو بیشترین و رقم فرانیس کمترین درصد جوانه‌زنی دانه گرده را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). هرچند که بین ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف از نظر درصد جوانه‌زنی دانه گرده اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید ولی همه آنها از درصد جوانه‌زنی دانه گرده قابل قبولی برخوردار بودند (حاجیلو و همکاران، ۲۰۰۶ الف؛ کولیک و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۲- درصد جوانه‌زنی دانه گرده ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بادام در شرایط درون شیشه‌ای. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

دگر گرده‌افشانی کنترل شده در باغ: ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده مورد مطالعه پس از تلاقی با ارقام گرده‌زا از نظر درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی در سطح احتمال ۱٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان دادند. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل ارقام گرده‌زا با ژنوتیپ‌های گرده گیرنده برای درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی در جدول ۲ آورده شده است. در سال ۱۴۰۰ ژنوتیپ AL721 با گرده رقم آذر بیشترین و ژنوتیپ AL1310 با گرده رقم فرانیس کمترین درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی را داشتند (جدول ۲). در سال ۱۴۰۱، ژنوتیپ NP2 با گرده رقم آذر بیشترین و ژنوتیپ AL1310 با گرده رقم فرانیس کمترین درصد تشکیل میوه اولیه را دارا بودند. از طرف دیگر ژنوتیپ AL721 با گرده رقم آذر بیشترین و ژنوتیپ AL1310 با گرده رقم A200 کمترین درصد تشکیل میوه نهایی را دارا بودند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های اثر منابع مختلف دانه گرده بر درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی در ژنوتیپ‌های بادام

ژنوتیپ گرده‌گیرنده	رقم گرده‌زا	سال ۱۴۰۰		سال ۱۴۰۱		وضعیت سازگاری
		میوه‌بندی اولیه ٪	میوه‌بندی نهایی ٪	میوه‌بندی اولیه ٪	میوه‌بندی نهایی ٪	
AL721	آذر	۸۶/۴۸±۴/۹۴ a†	۵۳/۲۷±۵/۱۲ a	۸۴/۵۰±۷/۹۱ ab	۵۹/۷۱±۸/۲۳ a	سازگار
	سهند	۷۶/۶۵±۹/۸۵ e-h	۴۴/۷۳±۹/۸۸ b-e	۸۲/۵۲±۵/۶۴ bc	۴۸/۲۶±۶/۳۷ de	سازگار
	فرانیس	۶۸/۴۲±۳/۸۷ i-l	۳۴/۴۷±۴/۱۱ h-k	۷۸/۱۶±۵/۵۰ c-e	۳۹/۷۶±۶/۴۰ g-j	سازگار
	A200	۷۱/۵۵±۷/۱۴ h-j	۳۵/۷۷±۷/۱۴ g-j	۷۵/۳۳±۸/۱۹ e-g	۴۰/۴۴±۷/۶۹ g-j	سازگار
	آراز	۸۲/۳۶±۳/۳۷ a-e	۴۳/۲۴±۲/۸۲ b-f	۷۹/۵۷±۲/۹۳ b-e	۴۶/۷۱±۳/۱۳ ef	سازگار
	اسکندر	۸۶/۰۴±۹/۰۹ ab	۵۲/۱۹±۱۱/۷۸ a	۸۲/۲۷±۸/۳۰ bc	۵۶/۵۳±۸/۳۸ a-c	سازگار
	تونو	۷۹/۶۵±۵/۲۸ c-f	۴۵/۳۷±۴/۷۳ bc	۸۴/۳۰±۴/۹۲ ab	۵۲/۲۸±۳/۱۵ cd	سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۸۴/۸۹±۷/۷۲ a-c	۵۱/۴۹±۵/۷۴ a	۸۳/۱۴±۴/۱۷ a-c	۵۷/۱۴±۴/۷۷ ab	سازگار
AL1310	آذر	۷۱/۳۵±۴/۸۱ h-j	۳۸/۵۰±۴/۹۹ f-i	۷۰/۴۳±۵/۱۲ gh	۴۱/۴۹±۵/۲۷ g-i	سازگار
	سهند	۶۳/۱۸±۳/۱۶ lm	۳۳/۳۵±۳/۳۶ i-l	۵۹/۶۲±۱۰/۸۸ i	۳۹/۱۷±۹/۲۱ h-j	سازگار
	فرانیس	۴۹/۹۹±۷/۹۶ o	۲۵/۱۷±۹/۶۶ m	۴۵/۵۶±۱۰/۰۳ j	۲۹/۳۹±۸/۶۵ lm	سازگار
	A200	۵۶/۲۱±۳/۹۱ n	۲۸/۴۰±۳/۳۱ lm	۴۸/۸۹±۴/۵۷ j	۲۵/۹۸±۳/۹۱ m	سازگار
	آراز	۶۰/۳۵±۵/۵۴ mn	۳۱/۵۵±۵/۸۱ j-l	۵۶/۳۵±۹/۹۵ i	۳۷/۴۶±۱۰/۰۷ ij	سازگار
	اسکندر	۶۴/۴۶±۶/۸۶ k-m	۳۸/۰۳±۵/۹۵ f-i	۶۹/۴۶±۳/۶۵ h	۳۹/۴۵±۴/۰۰ h-j	سازگار
	تونو	۷۱/۳۹±۸/۰۴ h-j	۳۴/۵۷±۸/۲۵ h-j	۶۷/۲۸±۶/۳۳ h	۳۷/۲۰±۴/۹۵ ij	سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۶۷/۶۶±۴/۸۷ j-l	۳۸/۳۰±۷/۶۵ f-i	۶۶/۹۱±۱۰/۴۰ h	۳۹/۲۵±۲/۷۶ h-j	سازگار
NP2	آذر	۷۷/۹۶±۲/۹۷ d-g	۴۸/۳۶±۲/۶۹ ab	۸۸/۵۶±۷/۸۱ a	۵۴/۱۵±۷/۸۸ bc	سازگار
	سهند	۷۹/۶۴±۶/۹۷ c-f	۳۹/۶۵±۶/۷۶ d-h	۸۲/۸۳±۴/۸۶ a-c	۴۱/۲۹±۴/۸۵ g-i	سازگار
	فرانیس	۶۹/۰۶±۳/۸۸ i-k	۳۵/۴۲±۳/۶۵ g-j	۷۶/۳۳±۶/۸۵ d-f	۳۵/۷۸±۸/۹۷ jk	سازگار
	A200	۷۳/۴۰±۹/۲۳ g-i	۳۲/۰۷±۷/۹۷ j-l	۷۵/۶۱±۳/۵۹ e-g	۳۷/۴۰±۴/۲۳ ij	سازگار
	آراز	۸۲/۴۴±۴/۰۲ a-d	۳۴/۲۸±۳/۵۸ h-k	۷۲/۳۸±۶/۹۹ f-h	۴۰/۱۵±۶/۸۹ g-j	سازگار
	اسکندر	۸۰/۶۴±۹/۸۷ b-f	۵۱/۵۹±۹/۷۵ a	۸۳/۵۲±۵/۸۵ a-c	۵۷/۶۱±۶/۸۴ ab	سازگار
	تونو	۷۹/۴۰±۴/۹۴ c-f	۳۹/۴۰±۴/۶۹ e-h	۸۱/۵۴±۸/۹۵ b-d	۴۸/۳۴±۹/۳۵ de	سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۷۸/۱۲±۴/۸۴ d-g	۴۸/۲۰±۵/۷۱ a-c	۸۱/۶۰±۴/۱۶ b-d	۵۳/۴۶±۶/۸۹ bc	سازگار
KH2	آذر	۷۷/۵۱±۳/۸۶ d-g	۴۳/۱۶±۳/۹۹ b-f	۸۴/۵۱±۴/۶۹ ab	۴۲/۵۵±۵/۳۳ f-h	سازگار
	سهند	۷۲/۴۴±۶/۸۱ g-j	۳۴/۴۶±۷/۰۹ h-k	۸۰/۳۳±۸/۶۶ b-e	۴۰/۱۹±۷/۹۰ g-j	سازگار
	فرانیس	۷۵/۰۸±۷/۰۱ f-h	۳۲/۶۶±۷/۹۲ i-l	۷۵/۷۲±۵/۳۳ e-g	۳۱/۴۰±۵/۶۱ kl	سازگار
	A200	۶۱/۶۸±۴/۶۶ m	۲۸/۷۶±۵/۰۶ k-m	۷۰/۶۱±۸/۰۳ gh	۳۵/۵۱±۸/۰۰ jk	سازگار
	آراز	۷۹/۳۰±۸/۹۳ c-f	۳۸/۰۹±۸/۵۱ f-i	۸۴/۵۷±۶/۱۳ ab	۴۳/۳۶±۵/۷۸ f-h	سازگار
	اسکندر	۷۵/۵۵±۳/۵۳ f-h	۴۲/۶۲±۳/۹۲ c-f	۸۵/۲۸±۶/۹۱ ab	۴۴/۷۲±۷/۶۷ e-g	سازگار
	تونو	۸۲/۳۹±۶/۶۵ a-e	۴۳/۴۶±۶/۴۳ b-f	۸۴/۶۶±۷/۹۸ ab	۴۱/۵۱±۶/۷۰ g-i	سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۷۶/۲۱±۱۰/۷۴ f-h	۴۰/۹۰±۱۰/۰۴ d-g	۸۰/۰۵±۳/۲۶ b-e	۴۰/۰۰±۶/۶۶ g-j	سازگار
LDS 1%	–	۴/۹۵	۵/۰۴	۵/۰۲	۴/۳۳	–

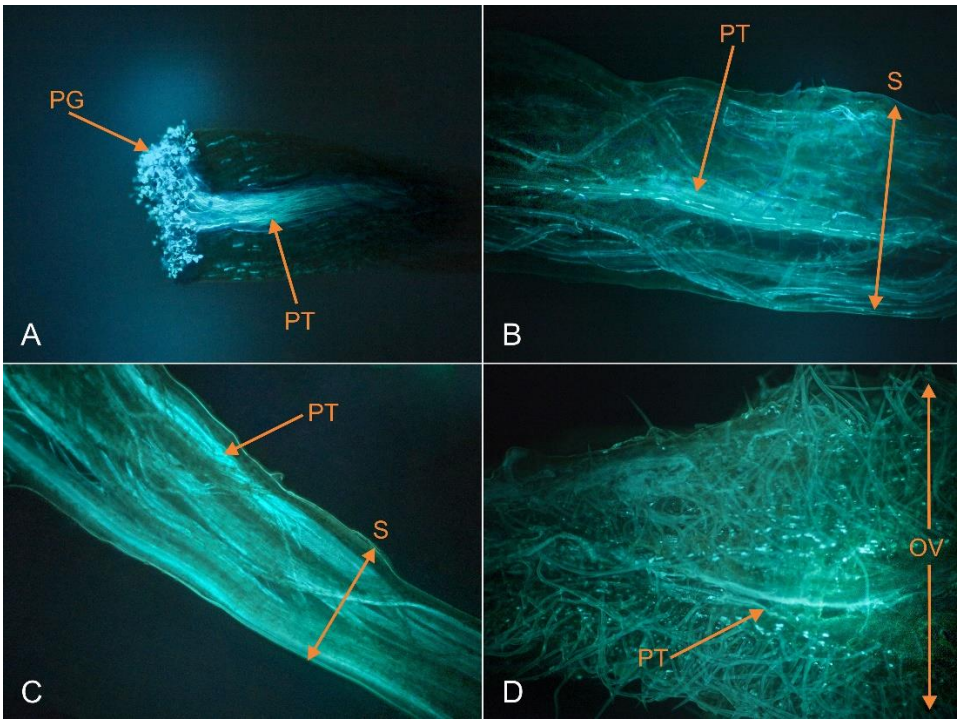
†حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد. میانگین‌ها همراه با خطای استاندارد از میانگین (±SE) ارائه شده‌اند.

ردیابی میکروسکوپی لوله گرده درون مادگی: روند تغییرات رشد لوله گرده ارقام گرده‌زا در سطح کلاله، یک چهارم بالایی خامه، یک دوم میانی خامه، سه چهارم پایینی خامه، قاعده خامه و درون تخمدان ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده در جدول ۳ نشان داده شده است. تعداد دانه گرده روی کلاله از ۳۶ تا ۵۵ عدد، دانه گرده جوانه زده از ۳۳ تا ۵۱ عدد، لوله گرده رشد کرده در یک چهارم بالایی خامه از ۲۹ تا ۴۶ عدد، در بخش میانی خامه از ۱۸ تا ۳۵ عدد، در سه چهارم پایینی خامه از ۱۱ تا ۲۳ عدد، در بخش پایینی خامه از ۹ تا ۱۹ عدد و نهایتا در درون تخمدان از ۴ تا ۱۰ عدد متغیر بود. در همه این تلاقی‌ها تعداد لوله گرده در حال رشد با دور شدن از سطح کلاله به سوی تخمدان کاهش یافت ولی رشد لوله گرده تا درون تخمدان مشاهده گردید.

جدول ۳ - ردیابی رشد لوله گرده ارقام گرده‌زا درون مادگی ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده بادام

گرده‌گیرنده	گرده‌زا	تعداد مادگی	تعداد دانه گرده روی کلاله	تعداد دانه گرده جوانه زده	تعداد لوله گرده در ۱/۴ بالایی	تعداد لوله گرده در ۱/۲ میانی	تعداد لوله گرده در ۳/۴ پایینی	تعداد لوله گرده در انتهای خامه	تعداد لوله گرده درون تخمدان	وضعیت دگر (نا)سازگاری
AL721	آذر	۷	۴۷	۴۴	۴۱	۲۸	۱۸	۹	۷	دگر سازگار
	سهند	۷	۵۱	۴۸	۴۶	۲۹	۱۷	۱۲	۱۰	دگر سازگار
	فرانیس	۷	۴۴	۴۰	۳۶	۲۴	۱۲	۱۰	۶	دگر سازگار
	A200	۷	۵۴	۴۸	۴۴	۳۱	۱۸	۱۱	۵	دگر سازگار
	آراز	۷	۴۷	۴۳	۴۰	۲۹	۱۷	۱۲	۶	دگر سازگار
	اسکندر	۷	۳۹	۳۵	۳۱	۱۹	۱۵	۱۱	۶	دگر سازگار
	تونو	۷	۴۷	۴۱	۳۵	۲۱	۱۵	۹	۴	دگر سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۷	۴۸	۴۵	۴۱	۲۳	۱۷	۱۱	۷	دگر سازگار
AL1310	آذر	۷	۵۵	۵۱	۴۶	۳۰	۱۹	۱۴	۹	دگر سازگار
	سهند	۷	۴۶	۴۲	۳۶	۲۴	۱۱	۹	۵	دگر سازگار
	فرانیس	۷	۴۰	۳۷	۳۲	۲۵	۱۴	۱۰	۷	دگر سازگار
	A200	۷	۴۷	۴۳	۳۸	۲۷	۲۱	۱۲	۶	دگر سازگار
	آراز	۷	۴۱	۳۸	۳۵	۲۴	۱۳	۷	۴	دگر سازگار
	اسکندر	۷	۳۶	۳۳	۲۹	۱۸	۱۲	۱۰	۷	دگر سازگار
	تونو	۷	۴۴	۴۰	۳۶	۱۹	۱۳	۹	۵	دگر سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۷	۴۱	۳۸	۳۴	۲۱	۱۷	۱۳	۸	دگر سازگار
NP2	آذر	۷	۵۳	۴۹	۴۶	۳۵	۲۲	۱۷	۱۰	دگر سازگار
	سهند	۷	۵۲	۴۷	۴۴	۳۰	۲۳	۱۹	۹	دگر سازگار
	فرانیس	۷	۴۹	۴۴	۳۹	۲۶	۱۹	۱۲	۶	دگر سازگار
	A200	۷	۴۷	۴۱	۳۶	۲۵	۱۷	۱۳	۵	دگر سازگار
	آراز	۷	۵۰	۴۸	۴۴	۳۰	۱۸	۱۱	۵	دگر سازگار
	اسکندر	۷	۳۶	۳۳	۳۱	۲۳	۱۶	۱۳	۸	دگر سازگار
	تونو	۷	۴۸	۴۴	۴۰	۲۸	۱۷	۹	۴	دگر سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۷	۴۹	۴۶	۴۲	۲۹	۲۲	۱۳	۷	دگر سازگار
KH2	آذر	۷	۴۸	۴۵	۴۱	۳۱	۱۸	۹	۵	دگر سازگار
	سهند	۷	۴۰	۳۵	۳۲	۲۴	۱۶	۱۳	۷	دگر سازگار
	فرانیس	۷	۴۹	۴۴	۴۱	۲۷	۱۶	۱۲	۷	دگر سازگار
	A200	۷	۴۶	۴۲	۳۷	۲۸	۱۷	۱۱	۵	دگر سازگار
	آراز	۷	۵۰	۴۷	۴۳	۳۳	۲۱	۱۴	۸	دگر سازگار
	اسکندر	۷	۳۸	۳۴	۳۱	۲۵	۱۹	۱۳	۷	دگر سازگار
	تونو	۷	۳۶	۳۳	۲۹	۲۰	۱۵	۹	۵	دگر سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۷	۴۰	۳۷	۳۱	۲۲	۱۷	۱۱	۶	دگر سازگار

تصاویر مربوط به جوانه‌زنی دانه گرده و رشد لوله گرده در سطح کلاله، یک چهارم بالایی خامه، یک دوم خامه، پایین خامه و درون تخمدان پس از دگر گرده افشانی در شکل ۳ آورده شده است



شکل ۳ - تصویر میکروسکوپی دانه‌های گرده جوانه زده در سطح کلاله و لوله‌های گرده در حال رشد در یک چهارم بالایی خامه (A)، یک دوم میانی خامه (B)، سه چهارم پایینی خامه (C)، و درون تخمدان (D). دانه‌های گرده با PG، لوله‌های گرده با PT، خامه گل با S، و تخمدان گل با OV نشان داده شده‌اند.

بحث

جوانه‌زنی دانه گرده به میزان ۸۲-۵۹ ٪ بیانگر قدرت باروری مناسب ارقام گرده‌زا و عدم وجود نر عقیمی در آنها بود. مقادیر کمتر جوانه‌زنی دانه گرده در برخی ارقام به دلیل اختلاف در پتانسیل ژنتیکی آنها بوده است. بررسی‌ها با استفاده از میکروسکوپ مجهز به نور فلئورسنت نیز نشان داد که تندش دانه گرده در سطح کلاله و رشد لوله گرده درون خامه در همه ارقام گرده-زای مورد مطالعه به صورت مطلوبی صورت گرفته است. اغلب ارقام بادام دانه‌های گرده خیلی زیاد با زیوایی خوب تولید می‌کنند که در محدوده وسیعی از دمای هوا لوله‌های گرده را پدید می‌آورند (سوسیاس آی کمپانی ۲۰۱۷).

ریزش میوه‌چه‌ها در مراحل اولیه نمو میوه از مهم‌ترین مشکلات تولید بادام محسوب می‌شود که علاوه بر خودناسازگاری، دگرناسازگاری گل‌ها نیز در بروز آن موثر است (آلونسو و سوسیاس آی کمپانی ۲۰۰۵). محققین پیشنهادات مختلفی در رابطه با روش و مراحل نموی میوه در ارزیابی میوه‌بندی و تشخیص ناسازگاری در درختان میوه ارائه داده‌اند. با این حال، ارزیابی میوه‌بندی نهایی (هشت هفته پس از مرحله تمام‌گل) به دنبال تلاقی کنترل شده به عنوان مهمترین شاخص در تشخیص دگرناسازگاری ارقام در بیشتر مطالعات دو دهه اخیر گزارش شده است (وانگ و همکاران ۲۰۱۳). ارقام بادام از نظر سازگاری دانه گرده به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: سازگار (۵٪ ≥) و ناسازگار (۳٪ ≤) که مبنای آن درصد تشکیل میوه نهایی پس از خود یا دگرگرده‌افشانی در باغ می‌باشد (کولیک و همکاران ۲۰۱۰؛ رسولی و همکاران، ۲۰۱۰ ب). بر این اساس همه ارقام گرده‌زای مورد مطالعه در این تحقیق با

ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده از سازگاری دانه گرده مناسبی برخوردار بودند و مشاهدات میکروسکوپی نیز دگرسازگاری در آنها را تائید نمود. از طرف دیگر اختلاف آماری معنی‌داری از نظر تشکیل میوه نهایی در ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده با توجه به نوع رقم گرده‌زا مشاهده شد. بطوریکه از میان ارقام گرده‌زای مورد مطالعه، ارقام آذر و اسکندر برای ژنوتیپ‌های AL721 و NP2، ارقام آذر، سهند و اسکندر برای ژنوتیپ AL1310 و نهایتا ارقام آذر، اسکندر، آراز و تونو برای ژنوتیپ KH2 به عنوان مناسب‌ترین ارقام گرده‌زا از نظر سازگاری دانه گرده و همچنین همپوشانی زمان گل‌دهی تعیین شدند. در مجموع، دانه گرده ارقام آذر و اسکندر سازگاری بیشتر و ارقام فرانیس و A200 سازگاری کمتری با ژنوتیپ‌های والد مادری نشان دادند ولی در میان ارقام مورد مطالعه دگر ناسازگاری کامل مشاهده نگردید. از سوی دیگر ژنوتیپ AL721 دارای پتانسیل باروری بیشتر (۵۹٪ میوه‌بندی) و ژنوتیپ AL1310 دارای پتانسیل باروری کمتری (۲۵٪ میوه‌بندی) بودند.

در مطالعه حاضر، ضمن تاکید بر درصد میوه‌بندی نهایی، نتایج درصد میوه‌بندی اولیه نیز آورده شده است. با وجود اینکه درصد میوه‌بندی اولیه در گل‌های دگر گرده‌افشانی شده والدهای مادری چشمگیر بود، ولی به علت عدم تلقیح کامل گل‌ها و تشکیل نشدن جنین، ریزش میوه‌چه‌ها مشهود بوده و میوه‌بندی نهایی کاهش قابل ملاحظه‌ای داشت. ریزش اولیه میوه‌چه‌ها معمولا سنگین‌ترین ریزش بوده و طی آن میوه‌چه‌های ریز و نمو نیافته حاصل از تلقیح ناقص گل‌ها ریزش می‌کنند (حاجیلو و همکاران ۲۰۰۶ ب؛ زرین‌بال و همکاران ۲۰۱۸). به علاوه، مقادیر درصد میوه‌بندی اولیه و نهایی به دنبال گرده‌افشانی آزاد گل‌ها با هدف نشان دادن پتانسیل باروری ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده مورد مطالعه در شرایط باغی آورده شده است. درصد تشکیل میوه نهایی پس از گرده‌افشانی آزاد طی دو سال متوالی اندکی متفاوت بود که با تغییر دمای هوا، بارندگی، وزش باد و نوسان در فعالیت حشرات گرده‌افشان مرتبط بوده است.

میکروسکوپ مجهز به نور فلئورسنت برای تشخیص سازگاری دانه گرده توسط محققین به کار گرفته شده است (میلاتوویک و همکاران ۲۰۱۰؛ دوردویک و همکاران ۲۰۱۰، ۲۰۱۴). با کاربرد این ابزار، در تلاقی‌های سازگار حداقل یک لوله گرده در حال رشد درون تخمدان مشاهده می‌شود، درحالی‌که در تلاقی‌های ناسازگار رشد لوله گرده در سه چهارم تحتانی خامه توقف یافته، چند شاخه‌ای شدن نوک لوله گرده و ایجاد پلاک‌های کالوز قابل مشاهده است (اورتگا و دیسنتا ۲۰۰۳؛ سادرلند و همکاران ۲۰۰۸). در این تحقیق به دنبال تلاقی‌های کنترل شده با ارقام گرده‌زا، رشد لوله گرده تا درون تخمدان ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده ردیابی گردید و سازگاری دانه گرده بین ارقام گرده‌زا و گرده‌گیرنده به اثبات رسید. این مشاهدات با نتایج حاصل از مطالعه میوه‌بندی نهایی پس از دگر گرده‌افشانی در شرایط باغی مطابقت داشت. تعداد دانه‌های گرده جوانه زده در سطح کلاله و لوله‌های گرده در حال رشد درون خامه در ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده متفاوت بود که بر میوه‌بندی آنها تأثیر داشت. مطالعات پیشین نشان می‌دهند که هر چه تعداد لوله‌های گرده در حال رشد درون خامه بیشتر باشد، شانس موفقیت در باروری درختان میوه افزایش می‌یابد (اگه و بورگوس ۱۹۹۹).

روش‌های رنگ‌آمیزی لوله گرده درون خامه پیش از این توسط محققین توصیف شده‌اند (اگه و بورگوس ۱۹۹۶؛ بورگوس و همکاران ۱۹۹۷). دیواره سلولی لوله گرده دو لایه اصلی با ساختمان پلی ساکاریدی[1] دارا است که لایه داخلی آن واجد مقادیر زیادی کالوز یا ۱ و ۳- بتا گلوکان[2] می‌باشد (نیو بیگین و همکاران ۱۹۹۳). زمانی که لایه کالوز با استفاده از آنیلین بلو[3] رنگ‌آمیزی شود، به دنبال تابش با نور ماورای بنفش به صورت فلئورسانس درمی‌آید. مقادیر کالوز در لوله‌های گرده ناسازگار نسبت به سازگار بسیار بیشتر است، و نیز مقادیر خیلی بیشتری از کالوز در نوک متورم شده لوله‌های گرده ناسازگار تجمع می‌یابد (میلاتوویک و همکاران ۲۰۱۳ الف). گزارشات مختلفی از مدت زمان

[1] Polysaccharide
[2] 1,3 beta Glucan
[3] Aniline Blue

لازم برای رسیدن لوله گرده به تخمدان در گل‌های درختان میوه معتدله در دسترس می‌باشد. گوریپرو و بارتولینی (۱۹۹۵) بیان کردند که برای رسیدن لوله‌های گرده سازگار به تخمدان ۷۲ ساعت از زمان گرده‌افشانی باید سپری شود، ولی دیگر محققین معتقد بودند که این مدت زمان به نوع رقم بستگی داشته و در برخی از ارقام کافی نمی‌باشد (میلاتوویک و نیکولیک ۲۰۰۷). اودرگون و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعه چند ژنوتیپ زردآلو زمانی که تثبیت مادگی ۹۶ ساعت پس از گرده‌افشانی صورت گرفت، نتایج بهتری به‌دست آوردند. مطالعه حاضر نشان داد که ۹۶ ساعت برای رسیدن لوله‌های گرده سازگار به تخمدان در بادام کافی است. رشد لوله‌های گرده ناسازگار معمولا بلافاصله بعد از کلاله و یا در یک سوم بالایی خامه متوقف می‌شود که در گیلاس (رادیسویک و همکاران ۲۰۱۳)، آلبالو (تابوت و همکاران ۲۰۰۴)، بادام (کولیک و همکاران ۲۰۱۰) و زردآلو (حاجیلو و همکاران ۲۰۰۶ الف؛ ۲۰۰۶ ب) گزارش شده است.

پیش از این بررسی‌های مربوط به ناسازگاری ارقام درختان میوه تنها با محاسبه درصد میوه‌بندی پس از دگر گرده‌افشانی کنترل شده در شرایط باغی انجام می‌شد (بورگوس و همکاران ۱۹۹۳). سپس ردیابی میکروسکوپی رشد لوله گرده درون خامه پس از گرده‌افشانی کنترل شده در آزمایشگاه و در شرایط کنترل شده دما، رطوبت و فتوپریود برای تشخیص دگر (نا)سازگاری مرسوم گردید. این روش نتایج دقیق و قابل اعتمادی ارائه داده و همچنین در مقایسه با روش‌های مولکولی مبتنی بر پی سی آر که بعدها گسترش یافتند، مقرون به صرفه می‌باشد (میلاتوویک و همکاران ۲۰۱۳ الف؛ دوردویک و همکاران ۲۰۱۴). اگرچه، تعیین پتانسیل باردهی ارقام و مقایسه آنها با یکدیگر در این روش قابل ارزیابی نیست. در یک مطالعه، خود (نا)سازگاری و دگر (نا)سازگاری چند رقم بادام شامل تونو، شکوفه، سهند و ژنوتیپ‌های امیدبخش انتخابی A1.16 ، A9.7 و A230 با استفاده از ارزیابی میوه‌بندی نهایی پس از تلاقی‌های کنترل شده در شرایط باغی در دو سال متوالی و نیز ردیابی میکروسکوپی لوله گرده درون خامه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تلاقی ♂A9.7 × تونو♀ (با ۶۰/۵۲ درصد تشکیل میوه و ۱۰/۹۷ درصد نفوذ لوله گرده به تخمدان)، تلاقی ♂ تونو × A9.7♀ (با ۶۶/۶۷ درصد تشکیل میوه و ۱۰/۴ درصد نفوذ لوله گرده به تخمدان) و تلاقی A1.16 ♂ × شکوفه ♀ (با ۷۴/۹۲ درصد تشکیل میوه و ۱۴/۴۰ درصد نفوذ لوله گرده به تخمدان) بیشترین سازگاری را در گروه‌های مختلف داشتند. همچنین تلاقی‌های ♂تونو × A230♀ (با ۳۰/۹ درصد تشکیل میوه و ۳ درصد نفوذ لوله گرده به تخمدان) و ♂ تونو × سهند ♀ (با ۲۹/۲ درصد تشکیل میوه و ۱/۸ درصد نفوذ لوله گرده به تخمدان) کمترین سازگاری را بین تلاقی‌های انجام شده دارا بودند (فلاح و همکاران، ۲۰۱۷).

درستکار و همکاران (۲۰۱۱) خود (نا)سازگاری ۵۴ رقم و ژنوتیپ بادام را در منطقه زرقان استان فارس تعیین کرده و گرده‌دهنده‌های مناسب برای شش رقم تجاری دیرگل را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که به غیر از رقم تونو، سایر ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه خودناسازگار بودند. همچنین برای رقم کاپاریل[1] به ترتیب ارقام مرسد[2] با ۶۹/۵، تونو[3] با ۶۷/۵ و کریستومورتو[4] با ۶۳/۵ ، برای رقم کریستومورتو رقم تونو با ۶۸/۶۲، برای رقم تونو به ترتیب ارقام کاپاریل با ۴۷/۲۵ ، تونو با ۴۰/۸۷ و مرسد با ۴۱/۳۷ ، برای رقم فرانیس به ترتیب ارقام آی[5] با ۴۷/۲۰ و کاپاریل با ۴۶/۵۰، برای رقم مرسد به ترتیب ارقام کریستومورتو با ۷۵/۵۰ و تونو با ۶۴/۷۵ و برای رقم آی به ترتیب ارقام تونو با ۷۰/۵۰ و کریستومورتو با ۶۵/۲۰ درصد تشکیل میوه، با در نظر گرفتن همپوشانی زمان گلدهی بهترین والد گرده‌دهنده بودند. حسین‌آوا (۲۰۱۵) دگر(نا)سازگاری چند رقم تجاری بادام را در مناطق مشکین‌شهر و کرج مورد مطالعه قرار داد. پایه‌های مادری شامل ارقام آیدین، آراز و صبا بودند که با دانه گرده ارقام A200، آیدین، شاهرود۲، شکوفه، سهند،

[1] Capariel
[2] Merced
[3] Tono
[4] Cristo Morto
[5] Aii

آراز، صبا، سوپرنوا[1] و اسکندر گرده‌افشانی شدند. نتایج نشـان داد که بیشـترین درصـد تشـکیل میوه در تلاقی ♂سـهند × صـبا♀ به دست آمد (۲۹/۷۲ درصد). کمترین درصـد تشـکیل میوه نیز در تلاقی‌های ♂آراز × آیدین♀ ، ♂A200 × آراز♀ و ♂شکوفه × صبا ♀ مشاهده گردید (به ترتیب با میانگین‌های ۱۰/۷۱، ۹/۶۵ و ۷/۰۱ درصـد). صـفات میوه و مغز حاصـل از تلاقی‌های انجام شده نیز اختلاف معنی‌داری نشـان داد، به طوریکه در تلاقی‌هایی که رقم آیدین به عنوان والد مادری بود، میوه درشت‌تری به دست آمد.

به دلیل تمایل درختان بادام به میوه‌دهی نامنظم[2] و سازگاری اکولوژیکی محدود (سوسیاس آی کمپانی ۲۰۱۷)، مطالعه گرده‌افشانی و تشکیل میوه در آنها اهمیت به سزایی دارد. از یک سو به‌نژادگران به منظور گزینش والدین مناسب در تلاقی‌های کنترل شده به آن توجه دارند، و از سوی دیگر پرورش‌دهندگان بادام برای مدیریت مطلوب گرده‌افشانی باغ و تضمین باردهی کافی این موضوع را مد نظر قرار می‌دهند. خود(نا)سازگاری و دگر(نا)سازگاری در بادام مدیریت باغ را با پیچیدگی‌هایی مواجه می‌کند (آلونسو و سوسیاس آی کمپانی ۲۰۰۵) و با توجه به این که معمولا شرایط آب‌وهوایی در طول دوره گلدهی مساعد نمی‌باشد، عدم گرده‌افشانی مناسب یک عامل محدود کننده در تولید میوه به شمار می‌آید (زرین‌بال و همکاران ۲۰۱۷). ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده مورد مطالعه در این تحقیق ویژگی خودناسازگاری نشان دادند (داده‌ها منتشر نشده) که تحقیقات قبلی در مورد خودناسازگاری در بیشتر ارقام بادام را تائید نمود (درستکار و همکاران ۲۰۱۱؛ حسین‌آوا ۲۰۱۵). بنابراین مطالعه دگر(نا)سازگاری آنها و تعیین بهترین والد گرده‌زا قبل از معرفی ارقام جدید با تاکید بر همپوشانی زمان گلدهی و سازگاری دانه گرده ضروری بود. همچنین نتایج ردیابی میکروسکوپی لوله گرده درون مادگی توانست نتایج ارزیابی میوه‌بندی نهایی پس از تلاقی کنترل شده در شرایط باغی را تائید نماید. بعلاوه، ما دریافتیم در ژنوتیپ‌هایی که تعداد لوله‌های گرده نفوذ کرده به تخمدان بیشتر بود، درصد میوه‌بندی نهایی بیشتری داشتند.

نتیجه‌گیری کلی

بادام به دلیل ویژگی خود ناسازگاری به گرده‌افشانی با سایر ارقام نیاز دارد که این امر به ناپایداری در عملکرد درخت و عدم دستیابی به محصول پایدار و تجاری منجر می‌شود. بررسی دگر (نا)سازگاری در ژنوتیپ‌های امیدبخش و تعیین بهترین والد گرده‌زا برای معرفی ارقام جدید با در نظر گرفتن دو عامل همپوشانی زمان گلدهی و سازگاری دانه گرده ضروری می‌باشد. در این راستا، ردیابی میکروسکوپی رشد لوله گرده درون خامه پس از تلاقی کنترل شده در آزمایشگاه یک روش موثر در تعیین دگر (نا)سازگاری درختان میوه به شمار می‌رود. این روش نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری را در مقایسه با مطالعه میوه‌بندی نهایی پس از خود گرده‌افشانی در باغ در دسترس قرار می‌دهد. با این وجود، برآورد عملکرد درخت و مقایسه بین ارقام گرده‌زا تنها با مطالعه میوه-بندی نهایی پس از تلاقی کنترل شده در باغ امکان‌پذیر بوده و از این نظر به روش‌های دیگر برتری دارد. بر اساس نتایج این تحقیق، ارقام آذر و اسکندر برای ژنوتیپ‌های AL721 و NP2، ارقام آذر، سهند و اسکندر برای ژنوتیپ AL1310 و نهایتا ارقام آذر، اسکندر، آراز و تونو برای ژنوتیپ KH2 به عنوان مناسب‌ترین ارقام گرده‌زا تعیین شدند. همچنین با ردیابی میکروسکوپی رشد لوله گرده درون مادگی نتایج آزمایشات مزرعه‌ای به تائید رسید.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از موسسه تحقیقات علوم باغبانی به جهت حمایت مالی برای اجرای پروژه تحقیقاتی سپاسگزاری می‌نمایند.

[1] Super Nova

[2] Erratic fruit setting

منابع مورد استفاده

Alonso JM and Socias i Company R. 2005. Self-incompatibility expression in self-compatible almond genotypes may be due to inbreeding. Journal of the American Society for Horticultural Science, 130: 865–869. https://doi.org/10.21273/JASHS.130.6.865

Audergon JM, Guerriero R, Monteleone P and Viti R. 1999. Contribution to the study of inheritance of the character self-incompatibility in apricot. Acta Horticulturae, 488: 275–280. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.488.43

Burgos L, Alburquerque N and Egea J. 2004. Review: Flower biology in apricot and its implications for breeding. Spanish Journal of Agricultural Research, 2(2): 227-241. https://doi:10.5424/sjar/2004022-77

Burgos L, Berenguer T and Egea J. 1993. Self- and cross-compatibility among apricot cultivars. Hortscience, 28: 148-150. https://doi:10.21273/HORTSCI.28.2.148

Burgos L, Egea J, Guerriero R, Viti R, Monteleone P and Audergon JM. 1997. The self-compatibility trait of the main apricot cultivars and new selections from breeding programs. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 72: 147–154. https://doi.org/10.1080/14620316.1997.11515501

Burgos L, Perez-Tornero O, Ballester J and Olmos E. 1998. Detection and inheritance of stylar ribonucleases associated with incompatibility alleles in apricot. Sexual Plant Reproduction, 11: 153–158. https://doi.org/10.1007/s004970050133

Colic S, Zec G, Fotiric Aksic M, Rahovic D and Jankovic Z. 2010. Evaluation of self-(in)compatibility in the almond (*Prunus amygdalus* Batsch) genotype population from the Slankamen Hill, Serbia. Archives of Biological Sciences, 62(4): 973-979. https://doi:10.2298/ABS1004973C

De Nettancourt D. 2001. Incompatibility and Incongruity in Wild and Cultivated Plants. (2nd Ed.) Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, 314 pp. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04502-2

Dejampour J, Rahnemoun H and Zarrinbal M. 2011. Investigation of main factors on bearing and blossoms hardiness of apricot cultivars in relative flowers biology. Acta Horticulturae, https://doi. 966: 51-55. https://doi:10.17660/ActaHortic.2012.966.6

Dejampour J, Zarrinbal M, Fathi H and Mousavi Zadeh SA. 2017. Fruit Characteristics of some Almond Cultivars and Genotypes of Northwest of Iran. Seed and Plant Journal. 33(2): 195-213. (In Persian). https://doi:10.22092/spij.2017.115550

Dordevic M, Cerovic R, Nikolic D and Radicevic S. 2010. Unusual behavior of growing pollen tubes in the ovary of plum culture (*Prunus domestica* L.). Archives of Biological Sciences, 62(1): 137-142. https://doi:10.2298/ABS1001137D

Dordevic M, Cerovic R, Radicevic S and Nikolic D. 2014. Incompatible pollen tubes in the plum style and their impact on fertilization success. Genetika-Belgrade, 46(2): 411-418. https://doi:10.2298/GENSR1402411D

Dorostkar M, Mostafavi M, Saneii Shariat Panahi M, Hasani D, Khalighi A and Nikzad A. 2011. Self-compatibility and suitable planting combination of commercial cultivars of almond. Seed and Plant Journal. 27(4): 449-457. (in Persian). https://doi: 10.22092/spij.2017.111076

Egea J and Burgos L. 1996. Detecting cross-incompatibility of three North American apricot cultivars and establishing the first incompatibility group in apricot. Journal of the American Society for Horticultural Science, 121(6): 1002–1005. https://doi:10.21273/JASHS.121.6.1002

Egea J and Burgos L. 1999. Apricot breeding at the C.S.I.C. in Murcia, Spain. Acta Horticulturae, 484: 179-181. https://doi: 10.17660/ActaHortic.1998.484.29

Entani T, Iwano M, Shiba H, Che FS, Isogai A and Takayama S. 2003. Comparative analysis of the self-incompatibility (*S*-) locus region of *Prunus mume*: Identification of a pollen-expressed F-box gene with allelic diversity. Genes to Cells, 8: 203–213. https://doi.org/10.1046/j.1365-2443.2003.00626.x

Fallah M, Imani A, Sharafi Y and Rasouli M. 2017. Study of compatibility pollen and pistil almond diallel crosses using fluorescent microscopy and percentage of fruit set. 1st International Conference and 10th National Horticultural Science Congress of Iran. September 4-7, 2017. Tehran. Iran. (In Persian).

Fotiric-Aksic M, Rakonjac V, Nikolic D, Colic S, Milatovic D, Licina V and Rahovic D. 2014. Effective pollination period in "Oblacinska" sour cherry clones. Genetika-Belgrade, 46(3): 671-680. https://doi:10.2298/GENSR1403671A

Guerriero R and Bartolini S. 1995. Flower biology in apricot: main aspects and problems. Acta Horticulturae, 384: 261–272. https://doi:10.17660/ActaHortic.1995.384.40

Hajilou J, Grigorian V, Mohammadi SA, Nazemmieh A and Burgos L. 2006a. Pollen tube growth and fruit set percentage in two apricot cultivars under self and cross-pollination conditions. Iranian journal of horticultural science and technology, 7(3): 147-156. (In Persian).

Hajilou J, Grigorian V, Mohammadi SA, Nazemmieh A, Romero C, Vilanova S and Burgos L. 2006b. Self- and cross-(in) compatibility between important apricot cultivars in northwest Iran. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 81: 513–517. https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512096

Halasz J, Pedryc A and Hegedus A. 2007. Origin and dissemination of the pollen-part mutated Sc haplotype which confers self-compatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.). New Phytologist, 176: 792–803. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02220.x

Hartman E, Levy C, Kern DM, Johnson MA and Basu A. 2014. A rapid, inexpensive and semi-quantitative method for determining pollen tube extension using fluorescence. Plant Methods, 10(3): 1-6. https://doi.org/10.1186/1746-4811-10-3

Hosseinava S. 2015. Evaluation of Pollen Compatibility and Selection of Suitable Pollinizer for commercial almond cultivars. Seed and Plant Journal, 31(1): 77-94. (In Persian). https://doi:10.22092/spij.2017.111249

Jacquemart AL. 2007. Methods for determining compatibility and pollinator efficiency in temperate fruit species. Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology, 1(1): 26-38. http://hdl.handle.net/2078.1/72408

Kester DE, Gradziel TM and Micke WC. 1994. Identifying pollen incompatibility groups in California almond cultivars. Journal of American Society for Horticultural Science, 119(1): 106-109. https://doi.org/10.21273/JASHS.119.1.106

Milatovic D and Nikolic D. 2007. Analysis of self-(in) compatibility in apricot cultivars using fluorescence microscopy. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 82: 170–174. https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512215

Milatovic D, Nikolic D and Krska B. 2013a. Testing of self-(in) compatibility in apricot cultivars from European breeding programmes. Horticultural Science (Prague), 40(2): 65-71. https://doi: 10.17221/219/2012-HORTSCI

Milatovic D, Nikolic D, Fotiric-Aksic M and Radovic A. 2013b. Testing of self-(in) compatibility in apricot cultivars using fluorescence microscopy. Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus, 12(6): 103-113. https://doi:10.1080/14620316.2007.11512215

Milatovic D, Nikolic D, Rakonjac V and Fotiric-Aksic M. 2010. Cross-incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.). Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 85: 394–398. https://doi:10.1080/14620316.2010.11512686

Newbigin E, Anderson MA and Clark AE. 1993. Gametophytic self-incompatibility systems. Plant Cell, 5(10): 1315–1324. https://doi: 10.1105/tpc.5.10.1315

Nikolic D and Milatovic D. 2010. Examining self-compatibility in plum (*Prunus domestica* L.) by fluorescence microscopy. Genetika-Belgrade, 42(2): 387–396. https://doi:10.2298/GENSR1002387N

Ortega E and Dicenta F. 2003. Inheritance of self-compatibility in almond: breeding strategies to assure self-compatibility in the progeny. Theoretical and Applied Genetics, 106(5): 904-911. https://doi:10.1007/s00122-002-1159-y

Ortega E and Dicenta F. 2006. Self-fertilization in homozygous and heterozygous self-compatible almonds. Scientia Horticulturae, 109: 288-292. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.017

Ortega E, Egea J, Canovas JA and Dicenta F. 2002. Pollen tube dynamics following half- and fully-compatible pollinations in self-compatible almond cultivars. Sexual Plant Reproduction, 15: 47-51. https://doi.org/10.1007/s00497-002-0137-5

Radicevic S, Maric S, Cerovic R and Dordevic M. 2013. Assessment of self- (in) compatibility in some sweet cherry (*Prunus avium* L.) genotypes. Genetika-Belgrade, 45(3): 939–952. https://doi.org/10.2298/GENSR1303939R

Rasouli M, Arzani K, Eimani A and Fattahi Moghadam MA. 2010a. An investigation of the pollination compatibility of some sweet cherry cultivars on 'Zard Daneshkada'. Iranian journal of horticultural science, 41(2): 143-152. (In Persian). https://doi: 20.1001.1.2008482.1389.41.2.5.1

Rasouli M, Fatahi Moghadam MR, Zamani Z, Imani A and Ebadi A. 2010b. A study of the compatibility and the effects of supplementary pollination with different pollens on fruit set of self-compatible almond 'Supernova'. Iranian Journal of Horticultural Science, 40(4): 61-70. (In Persian). https://doi: 20.1001.1.2008482.1388.40.4.7.0

Romero C, Vilanova S, Burgos L, Martinnez-Calvo J, Vicente M, Llacer G and Badenes ML. 2004. Analysis of the S-locus structure in *Prunus armeniaca* L. Identification of the S-haplotype specific S-RNase and F-box genes. Plant Molecular Biology, 56: 145-157. https://doi: 10.1007/s11103-004-2651-3

Sanzol J. 2009. Genomic characterization of self-incompatibility ribonucleases (S-RNases) in European pear cultivars and development of PCR detection for 20 alleles. Tree Genetics & Genomes, 5: 393–405. https://doi: 10.1007/s11295-008-0194-5

Socias i Company R, Alonso JM, Kodad O and Gradziel Th M. 2012. Almond, in: Badenes ML and Byrne DH. (Eds.), Fruit breeding. Springer, New York, pp. 697–728. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0763-9

Socias i Company R. 2017. Pollen–Style (In) compatibility: Development of autogamous cultivars, in: Socias i Company R and Gradziel TH M. (Eds.), Almonds: Botany, Production and Uses. CPI Group, UK, pp. 188–208. ISBN: 978-1-78064-354-0

Sonneveld T, Tobbut KR and Robbins TP. 2003. Allele-specific PCR detection of sweet cherry self-incompatibility (S) allele S1-S16 using consensus and alleles-specific primers. Theoretical and Applied Genetics, 107(6): 1059-1070. https://doi: 10.1007/s00122-003-1274-4

Sutherland BG, Tobutt KR and Robbins TP. 2008. Trans-specific S-RNase and SFB alleles in Prunus self-incompatibility haplotypes. Molecular Genetics and Genomics, 279: 95–106. https://doi: 10.1007/s00438-007-0300-7

Tobutt KR, Boskovic R, Cerovic R, Sonneveld T and Ruzic DJ. 2004. Identification of incompatibility alleles in the tetraploid species sour cherry. Theoretical and Applied Genetics, 108(5): 775–785. https://doi: 10.1007/s00122-003-1511-x

Vilanova S, Badenes ML, Burgos L, Martinez-Calvo J, Liacer G and Romero C. 2006. Self-compatibility of two apricot selections is associated with two pollen-part mutations of different nature. Plant Physiology, 142(2): 629–641. https://doi: 10.1104/pp.106.083865

Vilanova S, Romero C, Liacer G and Badenes ML, 2005. Identification of self (in)-compatibility alleles in apricot (*Prunus armeniaca* L.) by PCR and sequence analysis. Journal of the American Society for Horticultural Science, 130(6): 893-898. https://doi.org/10.21273/JASHS.130.6.893

Wang PP, Gao ZH, Ni, ZJ, Zhang Z and Cai BH. 2013. Self-compatibility in "Zaohong" Japanese apricot is associated with the loss of function of pollen S genes. Molecular Biology Reports, 40(11): 6485-6493. https://doi: 10.1007/s11033-013-2765-2

Zarrinbal M, Baghban Kohnehrouz B, Soleimani A and Dejampour J. 2019. Assessment of fruit set percentage and pollen compatibility status in different apricot cultivars. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(2): 205-221. (In Persian).

Zarrinbal M, Baghban Kohnehrouz B, Soleimani A, Nayeri Sh, Kousari Nasab M, Dejampour J and Rahnemoun H. 2017. Study of self-(in) compatibility alleles in some promising apricot genotypes by sequence analysis. 1st International Conference and 10th National Horticultural Science Congress of Iran. September 4-7, 2017. Tehran. Iran. (In Persian).

Zarrinbal M, Soleimani A, Baghban Kohnehrouz B, Pazhouhandeh M, Dejampour J and Rahnemoun H. 2016. Study of pollen tube growth throughout style using florescent microscopy in some apricot genotypes. 19th National and 7th International Congress of Biology. 30 Aug-1 Sep 2016. Tabriz. Iran. (In Persian).

Zarrinbal M, Fathi H, Dejampour J and Mousavi Zadeh SA. 2020. Nut and kernel characteristics of some almond cultivars and genotypes in northwest of Iran. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 21(4): 395-414. (In Persian). https://doi: 20.1001.1.16807154.1399.21.4.15.5

Zarrinbal, M., Soleimani, A., Baghban kohnehrouz, B. and Dejampour, J. 2018. Self-compatibility in some apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes. Crop Breeding Journal. 8(1-2): 49-59. https://doi: 10.22092/cbj.2018.122435.1025

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 253-273

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Yield Stability Analysis of Promising Bread Wheat Genotypes under Saline Conditions Using AMMI and GGE-Biplot analysis

Ashkboos Amini[1*], Ali Akbar Asadi[2], Seyyed Mohammad Taghi Tabatabai[3], Zabihullah Rawari[4], Davood Amin Azram[5], Elias Arazamjo[6], Omid Podineh[7]

Received: 21 November 2023	Accepted: 24 January 2024

1-Assoc. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Karaj, Iran.
2-Assist. Prof., Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Zanjan, Iran.
3-Assist. Prof., Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Yazd, Iran.
4- Assist. Prof., Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Kerman, Iran.
5- Assist. Prof., Esfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Esfahan, Iran.
6- Assist. Prof.,, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Birjand, Birjand, Iran.
7-Researcher, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Zabol, Iran Iran.
*Corresponding Author Email: amini ashk@ yahoo.com

Abstract

Baclgrpimd & Objectives: This study was carried out in order to investigate the interaction effect of genotype × environment and to identify the stable genotypes of wheat in the saline areas of the country.

Materials and Methods: 18 selected genotypes from wheat yield comparison experiments along with two control varieties, Narin and Barzegar, in five regions including Birjand, Kerman, Yazd, Zabul and Isfahan on bais randomized complete block design with 3 replications and during two years crop (2019-2021) was evaluated. For grain yield, combined analyses of variance were performed and stability analysis was performed using AMMI multivariate method and GGE biplot analysis in order to identify genotypes that have high yield potential, high yield stability and general compatibility.

Results: Based on the first and second main components of AMMI stability analysis, G19, G5 and to some extent G10 genotypes with the least amount of interaction were recognized as stable genotypes. Based on GGE biplot analysis, G18 and G10 genotypes were among the superior genotypes in terms of yield and yield stability. Also, G18 and G3 genotypes were located at a short distance from the ideal genotype, respectively. This analysis divided the environments into three environmental groups and the genotypes into five genotypic groups. Yazd 1 and 2, Kerman 1 and 2, Birjand 2 and Zabul 2 were in the first group, Isfahan 1 and 2 and Birjand 1 were in the second group and Zabul 1 were in the third group. In the first group, G3, G18, G8, G9, and G10, in the second group, G1 and G2, and in the third group, G16, G17, and G7 genotypes had the highest yield. Therefore, it is possible to introduce G3, G8 and G18 genotypes in Yazd and Kerman regions and G1 and G2 genotypes in Isfahan region as genotypes with private adaptation.

Conclusion: Considering grain yield and yield stability, G18 (Elvira/Milan//Arg) and G3 (DH-209-1557 F3,Vee"s"/Nac//1-66-22/3/Dove"s"/Buc"s"//2*Darab) with a yield of 4.89 and 5.3 tons per hectare respectively, were selected as superior genotypes that can be introduced as new cultivars for regions with saline conditions in the country.

Keywords: AMMI, Genotype×Environment Interaction Effect, Salinity, Yield Stability

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Ashkboos Amini E-mail: amini ashk@ yahoo.com
https://doi.org/10.22034/saps.2023.54186.2948

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۲۷۳-۲۵۳

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان در شرایط شور با استفاده از تجزیه AMMI و GGE-Biplot

اشکبوس امینی*[۱]، علی اکبر اسدی[۲]، سیدمحمدتقی طباطبایی[۳]، ذبیح الله راوری[۴]، داود امین آزرم[۵]، الیاس آرزمجو[۶]، امید پودینه[۷]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۳۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۴

۱-دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال وبذر، سازمان تحقیقات ، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲-استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
۳-استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۴-استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران
۵-استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۶-استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران
۷-محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان ، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی زابل، ایران
* نویسنده مسئول: Email: amini_ashk@ yahoo.com

چکیده

اهداف: این بررسی به منظور مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار گندم در مناطق شور کشور اجرا گردید.

مواد و روش ها: ۱۸ ژنوتیپ امید بخش گندم به همراه دو رقم شاهد متحمل به شوری نارین و برزگر در پنج منطقه شامل بیرجند، کرمان، یزد، زابل و اصفهان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و طی دو سال زراعی ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ تحت شرایط تنش شوری مورد ارزیابی قرار گرفت. برای عملکرد دانه، داده‌ها مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفت. همچنین برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در کنار پتانسیل عملکرد دانه بالا از پایداری عملکرد و سازگاری عمومی بالایی برخوردار باشند، تجزیه پایداری با استفاده از روش آماری چند متغیره AMMI و تجزیه گرافیکی GGE biplot انجام گردید.

یافته ها: براساس دو مولفه اصلی اول و دوم تجزیه پایداری مدل AMMI، ژنوتیپ‌های G19، G5 و تا حدودی G10 با کمترین مقدار اثر متقابل به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. بر اساس تجزیه GGE biplot ژنوتیپ‌های G18 و G10 جزو ژنوتیپ‌های برتر ازنظر عملکرد و پایداری عملکرد بودند. همچنین ژنوتیپ‌های G18 و G3 به ترتیب در فاصله اندکی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل قرار داشتند. این تجزیه محیط‌ها را به سه گروه محیطی و ژنوتیپ‌ها را به پنج گروه ژنوتیپی تقسیم کرد. Yaz1، Yaz2، Ker1، Ker2، Bir2 و Zab2 در گروه اول، Esf1، Esf2 و Bir1 در گروه دوم و Zab1 در گروه سوم قرار داشتند. در گروه اول به ترتیب ژنوتیپ‌های G3، G18، G8، G9 و G10، در گروه دوم ژنوتیپ‌های G1 و G2 و در گروه سوم ژنوتیپ‌های G16، G17 و G7 دارای بیشترین عملکرد بودند. بنابراین می‌توان در مناطق یزد و کرمان ژنوتیپ‌های G3، G8 و G18 و در منطقه اصفهان ژنوتیپ‌های G1 و G2 را به عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی معرفی کرد.

نتیجه گیری: با در نظر گرفتن عملکرد دانه و پایداری عملکرد، ژنوتیپ‌های G18 (Elvira/Milan//Arg) و G3 (DH-209-1557 F3,Vee"s"/Nac//1-66-22/3/Dove"s"/Buc"s"//2*Darab) به ترتیب با عملکرد ۴/۸۹ و ۵/۳ تن در هکتار، بعنوان ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شدند که می‌توانند بعنوان رقم جدید برای مناطق با شرایط شور کشور معرفی شوند.

واژه های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، امی، پایداری عملکرد، شوری

مقدمه

گندم به‌عنوان محصول محوری و کلیدی کشاورزی جایگاه ویژه‌ای در تولید و مصرف مواد غذایی ملل جهان دارد. بیش از نیمی از جمعیت جهان از گندم تغذیه می‌کنند (وانگ و همکاران ۲۰۱۶). این گیاه مهمترین محصول استراتژیک در جهان محسوب می‌شود که بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت این محصول ۱۶ درصد یعنی در حدود ۲۱۸ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت جهان و تولید آن حدود ۶۰۰ میلیون تن بوده است. ۵۰ درصد از اراضی زیر کشت گندم به کشورهای در حال توسعه اختصاص دارد. در ایران بالغ بر ۳۰ درصد از اراضی قابل کشت (۶ تا ۶/۴ میلیون هکتار) به کشت گندم اختصاص دارد که تقریبا ۳۵ درصد آن به گندم آبی و حدود ۶۵ درصد به کشت گندم دیم مربوط می‌گردد (فائو ۲۰۱۴).

در بین تنش‌های غیرزنده، شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد است و به‌طور چشمگیری، منجر به کاهش تولیدات گیاهان زراعی مختلف می‌شود (احمدی و همکاران ۲۰۱۸). بخش زیادی از اراضی کل دنیا، تحت تاثیر شوری قرار دارد و هر ساله نزدیک به ۱۰ میلیون هکتار به آن افزوده می‌شود، ازاین‌رو، به نظر می‌رسد که تا سال ۲۰۵۰، نیمی از اراضی دنیا با تهدید شوری خاک مواجه شوند (ناچشون ۲۰۱۸). طبق گزارشات موجود، بیش از ۹۰ درصد ایران جزو اقلیم خشک طبقه‌بندی شده است و با توجه به بارندگی کم و تبخیر زیاد در سطح وسیعی از کشور، پدیده شوری خاک بسیار گسترده و جدی می‌باشد (خورسندی و هاشمی نژاد ۲۰۱۹). برآوردها نشان می‌دهد ۲۵/۵ میلیون هکتار از خاک‌های ایران دارای درجه شوری کم تا متوسط و بیش از ۸/۵ میلیون هکتار دارای درجه شوری زیاد می‌باشند (قریشی و همکاران ۲۰۰۷). بر اساس گزارش دیگری ۵۰ درصد از اراضی تحت آبیاری در ایران شور است (کامکار و همکاران ۲۰۰۴). افزایش جمعیت و کمبود تولیدات کشاورزی و ضرورت استفاده از اراضی و آب‌های لب‌شور ایجاب می‌کند که با استفاده از منابع ژنتیکی گندم جهت ایجاد ارقام نسبتاً متحمل به شوری همراه با استفاده از سایر روش‌ها مانند زهکشی، آب‌های شیرین، اصلاح بیولوژیکی اراضی، ماشین‌آلات مناسب کشت، روش‌های سنتی زراعت در اراضی شور، روش‌های به زراعی مناسب و...تولید در شرایط تنش شوری را ممکن ساخت. لذا در این راستا ضرورت دارد تا همواره ارقام پایدار در تولید عملکرد تحت شرایط تنش شوری برای کشت و تولید بهتر و بیشتر در دسترس قرار گیرند(امینی و همکاران ۲۰۲۱).

ارقامی که بتوانند در مناطق مختلف دارای تنش‌های محیطی (شوری و خشکی)، عملکرد بالاتری تولید کنند و همچنین پایداری عملکرد خود را در طی سال‌های مختلف و در مناطق گوناگون حفظ کنند جزء ارقام موفق خواهند بود و این‌گونه تجزیه‌ها در برنامه‌های اصلاحی متداول است (بکر و لئون ۱۹۸۸).

یکی از جنبه‌های مهم مورد بررسی برای لاین‌های پیشرفته و امیدبخش، علاوه بر عملکرد و سایر خصوصیات همانند مقاومت به آفات و بیماری‌ها، پایداری صفات مورد بررسی به‌ویژه پایداری عملکرد دانه در محیط‌های مورد پژوهش می‌باشد. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، ناشی از تغییر در میزان اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت و یا تغییر در رتبه‌بندی نسبی ژنوتیپ‌ها ناشی می‌شود .عملکردهای ثابت در مکان‌های مختلف یا سال‌های مختلف به‌عنوان پایداری ذکر می‌گردد. نتایج حاصل از آزمایش‌های به نژادی در صورت عدم بررسی و شناخت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اعتبار چندانی ندارند، زیرا عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت است. وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان‌دهنده این

است که بهترین ژنوتیپ در یک محیط ممکن است در محیط‌های دیگر بهترین ژنوتیپ نباشد (پرکینز و جینکز ۱۹۷۱). اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در مورد عملکرد دانه موجب شده است که نتوان یک رقم اصلاحی پر محصول را برای مناطق مختلف توصیه کرد؛ بنابراین بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، قبل از معرفی ارقام جدید پر محصول با پایداری و سازگاری بالا، ضروری است (امینی و همکاران ۲۰۲۱). پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف، دلیل عکس‌العمل متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد (فن و همکاران ۲۰۰۱). تاکنون محققین مختلف روش‌های مختلفی را برای بررسی پایداری عملکرد استفاده کرده‌اند ولی بررسی پایداری در شرایط تنش شوری به‌ندرت انجام پذیرفته است. با توجه به گستردگی و پراکندگی مناطق واقع در اقلیم شور کشور، شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و پایدار در این مناطق از اهمیت خاصی برخوردار هستند.

روش تجزیهAMMI توسط محققین مختلفی مورد استفاده قرار گرفته و مشخص شده است که این روش می‌تواند برای تعیین ژنوتیپ‌های دارای سازگاری عمومی و خصوصی برای مکان‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد (الخدر و همکاران ۲۰۱۷؛ محمدی و امیری ۲۰۱۳؛ اسماعیل زاده و مقدم ۲۰۱۱). در این روش مؤلفه‌های افزایشی برای اثرهای اصلی (ژنوتیپ و محیط) و مؤلفه‌های ضرب‌پذیر برای اثر متقابل ژنوتیپ×محیط ترکیب می‌شوند (سادیا و هادی ۲۰۱۶). مؤلفه‌هایAMMI معیار معتبری برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها و ارتباط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها می‌باشند. اگر چندین مؤلفه از مؤلفه‌های اثر متقابل در مدل امی از لحاظ آماری معنی‌دار باشند، نشان‌دهنده وجود اثر متقابل پیچیده ژنوتیپ× محیط می‌باشد (گوچ و زوبل ۱۹۹۶). واعظی و همکاران (۲۰۱۷) از تجزیه AMMI برای بررسی پایداری عملکرد ۱۸ لاین امیدبخش جو به همراه دو شاهد که در پنج منطقه مختلف برای مدت سه سال زراعی مورد بررسی قرار گرفته بودند استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات اصلی ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط و ۴ مؤلفه اصلی بود. براساس پارامترهای پایداری AMMI، دو ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی کردند. این روش برای تعیین پایداری، سازگاری و بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در بسیاری از محصولات زراعی مانند گندم نان (گوپتا و همکاران ۲۰۲۳؛ آبیار و همکاران ۲۰۲۲؛ احیایی و همکاران ۲۰۲۲؛ عمرانی و همکاران ۲۰۲۲؛ رام و همکاران ۲۰۲۰؛ جبرسون و همکاران ۲۰۱۷؛ امینی و همکاران ۲۰۲۳)، گندم دوروم (السیاده و همکاران ۲۰۲۳؛ گاتام و همکاران ۲۰۲۳؛ نجفی میرک و همکاران ۲۰۲۱) و جو (آهک پز و همکاران ۲۰۲۲؛ مرتضویان و همکاران ۲۰۱۴؛ قزوینی و همکاران ۲۰۱۸) مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به این‌که محیط خود مجموعه‌ای از عوامل متغیر است، بعضی از دانشمندان اعتقاد دارند که این روش می‌تواند برای تفسیر علت ناپایداری‌ها و تنوعات مورد استفاده واقع شود و از نتایج حاصله می‌توان در بهبود برنامه‌های به‌نژادی از نظر تنوع ارقام و سازگاری استفاده کرد (آنیچیاریکو و همکاران ۲۰۱۰؛ حسن پناه ۲۰۱۱؛ آدونگا ۲۰۱۰).

مدل (Genotype+Genotype×Environment Interactions; GGE)یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر برای ارزیابی بصری و تجزیه گرافیکی داده‌های آزمایش‌های چند منطقه‌ای از طریق ایجاد یک بای پلات ابداع شده است (یان و تینکر ۲۰۰۶). این مدل بر مبنای رسم دو مؤلفه اصلی اول (PC1 و PC2) حاصل از تجزیه مقادیر منفرد داده‌ها با مرکزیت محیط استوار است. مدل GGE-biplot ، به‌طور هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها را ارزیابی کرده، محیط‌های مطلوب برای ژنوتیپ‌های خاص را تعیین نموده و محیط‌ها را به یک یا چند ناحیه بزرگ (Mega- Environments) دسته‌بندی می‌کند. یک محیط بزرگ به گروهی از محیط‌ها گفته می‌شود که یک یا چند ژنوتیپ در آن محیط بهترین عملکرد یا بالاترین واکنش محیطی را داشته باشد (یان و تینکر ۲۰۰۶). این روش از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به اصلاحگر کمک می‌کند تا به‌سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را ارزیابی کرده و هم‌چنین استفاده از این روش امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی را به‌سادگی میسر می‌سازد (محمدی و همکاران

۲۰۱۰). از روشGGE بای پلات، در تجزیه پایداری غلات مثل گندم دوروم (مویدی و همکاران ۲۰۲۰؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۴)، گندم نان (مهدوی و همکاران ۲۰۲۲؛ یان و همکاران ۲۰۰۱b؛ یان و هانت ۲۰۰۲a؛ عمرانی و همکاران ۲۰۱۷) و جو (دهقانی و همکاران ۲۰۰۶) استفاده شده است.

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در آزمایش‌های چند محیطی، برای تعیین روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تعیین ژنوتیپ‌های ایده‌آل و معرفی پایدارترین ژنوتیپ گندم از طریق روش‌های تجزیه پایداری AMMI و GGE بای‌پلات در شرایط با آب و خاک شور بود.

مواد و روش‌ها

در این بررسی تعداد ۱۸ لاین گندم پیشرفته متحمل به شوری به همراه دو رقم نارین و برزگر به‌عنوان شاهد (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی(RCBD) در سه تکرار در پنج ایستگاه تحقیقاتی مناطق شور معتدل و گرم (بیرجند، یزد، زابل، اصفهان و کرمان) به مدت دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) مورد بررسی قرار گرفتند. شوری آب آبیاری و خاک مناطق اجرای آزمایشات به ترتیب ۸ تا ۱۲ و ۱۰ تا ۱۴ دسی زیمنس بر مترمربع بود. تاریخ کاشت در اقلیم معتدل و گرم کشور آبان‌ماه (از دهه اول آبان تا نیمه اول آذر) می‌باشد. ابعاد کرت‌ها در تمام مناطق به طول سه متر و عرض ۱۲۰ سانتی‌متر بود لذا مساحت کاشت ۳/۶ مترمربع و مساحت برداشت سه مترمربع بود. تعداد خطوط کاشت ۶ و فاصله ردیف‌های کاشت ۱۵ سانتی‌متر بود. میزان کود مصرفی مطابق فرمول کودی مناطق بوده و میزان بذر هر رقم بر اساس۴۵۰ دانه در مترمربع منظور گردید. جهت کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک برگ به ترتیب از پوماسوپر (۰/۸ تا ۱ لیتر در هکتار) و گرانستار (۱۵ تا ۲۰ گرم در هکتار) استفاده شد. بقیه عملیات‌های زراعی در ایستگاه‌های مختلف تا حدود زیادی یکسان انجام شد.

پس از تعیین عملکرد دانه هر ژنوتیپ، تجزیه واریانس ساده در هر سال و هر مکان انجام شد. سپس با انجام آزمون بارتلت و اثبات یکنواختی واریانس خطاها، تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها انجام پذیرفت. آزمون F منابع تغییر بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات و با فرض تصادفی بودن عامل سال و مکان و ثابت بودن اثر ژنوتیپ انجام شد. برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها، از روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر AMMI و تجزیه GGE-biplot استفاده شد. ضمن انجام تجزیه واریانس AMMI مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط استخراج و با ترسیم بای پلات‌های مربوطه، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها تعیین شد (رودریگز و همکاران ۲۰۰۷).

جهت محاسبه آماره پایداری AMMI، (ASV: AMMI Stability Value) از فرمول زیر استفاده شد (پورچیس و همکاران ۲۰۰۰):

$$ASV = \sqrt{\frac{(\text{SSIPCA 1})}{(\text{SSIPCA 2})}(\text{IPCA 1})^2 + (\text{IPCA 2})^2}$$

در این فرمول ASV عبارت است از ارزش پایداری AMMI، SSIPCA1 مجموع مربعات مؤلفه اصلی اول و SSIPCA2 مجموع مربعات مؤلفه اصلی دوم می‌باشد. آمارهASV به دلیل اینکه آثار دو مؤلفه اول اثر متقابل را به‌طور هم‌زمان مورد بررسی قرار می‌دهد نقش مهمی در تفسیر نتایج تجزیه AMMI دارد. ژنوتیپ و محیط‌های با مقادیر کم پارامتر ASV پایدار و با مقادیر بیشتر ناپایدار خواهند بود (پورچیس و همکاران ۲۰۰۰). همچنین شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASi=Weighted Average of Absolute Scores) نیز با استفاده از رابطه زیر برآورد شد (الیووتو ۲۰۱۹).

$$WAAS_i = \frac{\sum_{k=1}^{p}|IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^{p} EP_k}$$

در این رابطه، $IPCA_{ik}$، نمره ژنوتیپ i در k امین محور مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPC) و EPk واریانس توجیه شده به وسیله k امین IPC است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAAS به‌عنوان ژنوتیپ پایدار در نظر گرفته شد (الیووتو ۲۰۱۹). علاوه بر دو شاخص بالا، شاخص

گزینش همزمان (SSI=Simultaneous Selection Index) نیز برای هریک از این دو شاخص محاسبه شد که حاصل جمع رتبه ژنوتیپ‌ها بر پایه هریک از شاخص‌های پایداری AMMI و رتبه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها است (فرشادفر و همکاران ۲۰۱۲). تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS و تجزیه‌های آماریAMMI و GGE-biplot با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی با نام Multi Metan) (environmenttrail analysis در نرم‌افزار R انجام شد (اولیوتو ۲۰۱۹).

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی در مناطق مختلف اقلیم سرد کشور

Genotype No.	Pedigree
G1	Barzgar (Check1)
G2	Narin (Check2)
G3	DH-209-1557 F3,Vee"s"/Nac//1-66-22/3/Dove"s"/Buc"s"//2*Darab
G4	Sakha 8/Darab#2//1-66-22/5/Seri*3//RL6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav92/6/1-72-92/ColNo.3617//Marvdasht
G5	EVWYT2/Azd//Rsh*2/10120/3/1-66-75//Rsh*2/10120/4/Parsi
G6	PJN/BOW//OPATA*2/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/4/Parsi
G7	Kayson/Glennson//Attila/3/Yaco/2*Parus/4/Parsi
G8	Kayson/Glennson//Attila/3/Yaco/2*Parus/4/Parsi
G9	Seri 82//Shuha"S"/4/Rbs/Anza/3/Kvz/Hys//Ymg/Tob/5/Sivand/6/Parsi
G10	Mv22-77//Stephon/3/Mon"s"/Lmu"s"//Falke/4/Zarin/5/Parsi/6/C-84-8
G11	PASTOR/3/VORONA/CNO79//KAUZ/4/Parsi/5/Inia/90zhong87//Sivand
G12	SITE/MO/4/NAC/TH.AC//3*PVN/3/MIRLO/BUC/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/3*Kal//Emu/6/Niknejad
G13	M-84-3//Kauz"S"/Azd/4/OASIS/SKAUZ//4*BCN*2/3/PASTOR
G14	Cham//PTZ Niska/VT l556-170 WRB856/3/Yaco/2*Parus/4/Parsi
G15	Cham//PTZ Niska/VT l556-170 WRB856/3/Yaco/2*Parus/4/Parsi
G16	BABAX/LR42//BABAX/3/Parsi
G17	Hereward/Siren/5/Gov/Az//Mus/3/DoDo/4/Bow/6/Parsi/7/Pishtaz
G18	Elvira/Milan//Arg
G19	Gk zombor/Attila//Yaco/2*Parus/3/Alvd/Bcn//Atrak
G20	Irena/Babax//Pastor/4/PASTOR/3/KAUZ*2/OPATA//KAUZ/5/Vee7/Kauz

نتایج و بحث

معنی‌دار شدن آزمون بارتلت با میزان آماره کای‌اسکوئر برابر با ۹/۵۹ با درجه آزادی ۹، نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطا در آزمایشات انجام شده در ایستگاه‌های مختلف و سال‌های انجام آزمایش بود (جدول ۲).

جدول۲- اطلاعات هواشناسی ایستگاههای محل اجرای آزمایشات

ایستگاه	سال زراعی	میانگین سالانه(°C)	میانگین حداقل سالانه(°C)	میانگین حداکثر سالانه(°C)	مجموع بارندگی سالانه(mm)
اصفهان (کبوتر آباد)	۱۳۹۸-۱۳۹۹	16.65	7.51	25.79	69.5
	۱۳۹۹-۱۴۰۰	16.33	7.76	24.91	73.70
یزد (اردکان)	۱۳۹۸-۱۳۹۹	21.8	۱۵.۸۶	۲۷.۷۰	۷۹.۰۱
	۱۳۹۹-۱۴۰۰	21.2	۱۵.۰۴	۲۷.۴۸	۶۱.۴۵
زابل	۱۳۹۸-۱۳۹۹	15.78	4.72	30.77	112.3
	۱۳۹۹-۱۴۰۰	17.04	1.87	32.74	21.2
کرمان (جوپار)	۱۳۹۸-۱۳۹۹	۱۵	۷,۱	۲۱,۶	175
	۱۳۹۹-۱۴۰۰	۱۴,۷	۷,۳	۲۰,۹۹	183
بیرجند (محمدیه)	۱۳۹۸-۱۳۹۹	۱۶/۶	۸/۲	۲۵	-
	۱۳۹۹-۱۴۰۰	۱۶/۳	۷/۴	۲۵/۳	۶۳/۹

به‌منظور بررسی وضعیت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف تجزیه واریانس مرکب بر روی داده‌های حاصل از ۵ مکان (بیرجند، یزد، اصفهان، زابل و کرمان) در دو سال انجام و نتایج نشان داد که اثرات متقابل مکان × سال و ژنوتیپ × مکان × سال در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. این امر دلیل بر وجود اختلاف شرایط محیطی در مناطق و سال‌های مورد آزمایش می‌باشد (جدول۳).

ژنوتیپ‌های G3، G8، G18 و G2 به ترتیب با داشتن عملکردهای ۵/۳۰۵، ۴/۹۹، ۴/۸۹ و ۴/۸۸ تن در هکتار بیشترین و ژنوتیپ‌های G13، G20 و G14 به ترتیب با داشتن عملکردهای ۳/۸۸، ۳/۸۴ و ۳/۶۴ کمترین مقدار عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌ها دارا بودند. معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ نشان داد که ژنوتیپ‌های موردمطالعه ازنظر عملکرد متفاوت از هم بوده و از این نظر دارای تنوع ژنتیکی هستند. معنی‌دار بودن اثرات متقابل ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان به دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های موردبررسی می‌باشد. این معنی‌دار شدن نشان می‌دهد که پاسخ ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف یکسان نبوده و در محیط‌های مختلف، ژنوتیپ‌های متفاوتی دارای بیشترین عملکرد بوده‌اند؛ از طرف دیگر اثر اصلی محیط (مجموع سال، مکان و سال × مکان) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (مجموع ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان) به ترتیب با ۵۳/۳ درصد و ۲۶/۷ درصد بیشترین سهم و ژنوتیپ با ۱۴/۹ درصد کمترین سهم را درمجموع مربعات کل واریانس مشاهده‌شده در آزمایشات داشتند. بالاتر بودن سهم اثر محیط نشان‌دهنده دامنه گسترده‌تر اثر اصلی محیط نسبت به اثر اصلی ژنوتیپ است. پژوهشگران زیادی نیز چنین سهم بالایی را برای محیط گزارش کرده‌اند (قائد رحمتی و همکاران ۲۰۱۷؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۵؛ آقایی سربرزه و همکاران ۲۰۱۲). سهم اندک ژنوتیپ در توجیه تنوع می‌تواند به این دلیل باشد که در برنامه‌های اصلاحی گندم، ژنوتیپ‌های برتر ازنظر عملکرد انتخاب‌شده و این ژنوتیپ‌ها نقش کمتری در توجیه تنوع در آزمایش‌های چند محیطی نسبت به محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشته‌اند (فان و همکاران ۲۰۰۷؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۶). تفاوت بین محیط‌ها می‌تواند به دلیل تفاوت‌های اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی طی سال‌ها و مکان‌های انجام آزمایش در طی دوره رشدی گیاه باشد.

در این بررسی نیز با توجه به متفاوت بودن شرایط اقلیمی مکان‌های تحت آزمایش، شرایط آبیاری در این مکان‌ها، متفاوت بودن میزان شوری آب و خاک در مکان‌های مختلف و متفاوت بودن مدیریت‌های زراعی در این مکان‌ها می‌توان به تاثیر متفاوت محیط در میزان عملکرد لاین‌ها و ارقام مختلف پی برد. در ارتباط با معنی‌دار شدن اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه ژنوتیپ با مکان و سال علاوه بر تفاوت ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها، تفاوت واکنش آن‌ها به عوامل جغرافیایی و اقلیمی نیز مؤثر بوده است؛ بنابراین صرفاً بر اساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نمی‌توان ژنوتیپ با عملکرد بیشتر را تعیین کرد، بلکه باید تجزیه پایداری انجام شود تا ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط منطقه که ضمن داشتن عملکرد دانه بالا، نوسانات عملکرد آن‌ها نیز در سال‌های مختلف کمتر باشد، شناسایی شوند. به‌این‌ترتیب، تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و ارقام شاهد با روش‌های مختلف انجام شد تا ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار شناسایی شوند؛ بنابراین با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل سه‌طرفه ژنوتیپ × مکان × سال، برای شناسایی لاین و رقم با عملکرد بالا و پایدار از روش‌های AMMI و GGE-Biplot استفاده گردید.

تجزیه AMMI

تجزیه واریانس AMMI (جدول ۴) نشان داد که مؤلفه اصلی اول تا نهم معنی‌دار بودند و درمجموع نزدیک به ۱۰۰٪ از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. اولین و دومین مؤلفه اصلی بیشترین سهم (۵۵/۵٪) را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشتند و مؤلفه‌های دیگر در درجات بعدی اهمیت قرار گرفتند. بزرگی درصد توجیه واریانس کل توسط هریک از مؤلفه‌ها در تفکیک بهتر ژنوتیپ‌ها و اعتبار روابط مشاهده‌شده مؤثر است. در روش تجزیه به مؤلفه‌های

اصلی، ترکیب خطی متغیرها برای تبیین بیشترین مقدار واریانس آن‌ها به‌گونه‌ای برآورد می‌شود که اولین مؤلفه بیشترین مقدار واریانس مؤلفه‌ها را تبیین کند و مؤلفه دوم بیشترین مقدار واریانس باقیمانده را بعد از مؤلفه

جدول۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ های امیدبخش گندم تحت شرایط تنش شوری طی دو سال زراعی

منابع تغییر		درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درصد مجموع مربعات از کل
Year	سال	1	85.17	85.17**	11.6
place	مکان	4	280.65	70.16**	38.3
Year*place	سال× مکان	4	25.15	6.29**	3.4
Error1	اشتباه اول	20	4.91	0.24	
Genotype	ژنوتیپ	19	109.1	5.74**	14.9
Genotype*place	ژنوتیپ× مکان	76	17.99	0.95**	2.4
Genotype*Year	ژنوتیپ × سال	19	110.97	1.46**	14.2
Genotype*place*Year	ژنوتیپ × مکان× سال	76	74.16	0.97**	10.1
Error2	اشتباه دوم	380	22.66	0.059	
Total	کل	599	730.78		
CV%	ضریب تغییرات	5.5			

*،**به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

اول توضیح می‌دهد که توسط مؤلفه اول بیان نشده است (شریفی ۲۰۲۰؛ کریم زاده و همکاران ۲۰۲۰). در تطابق با نتایج این تحقیق آقایی سربرزه و همکاران (۲۰۱۲) و کریم زاده و همکاران (۲۰۲۰) نیز سهم پایین دو مؤلفه اصلی را در توجیه تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را در گندم دوروم گزارش کردند. در مقابل سهم بالای مؤلفه اصلی اول در توجیه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط توسط محققین دیگری گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت نداشت (نجفی میرک و همکاران ۲۰۱۹، ۲۰۲۰). ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) مؤلفه اصلی اول (IPC1) اثر متقابل بالایی با محیط دارند. در مقابل، ژنوتیپ‌های دارای مقادیر نزدیک به صفر اثر متقابل پایینی دارند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G18، G1، G8، G16، G14، G13 و G15 دارای بیشترین مقادیر IPCA1 بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های G19 و G5 دارای مقادیر مؤلفه اصلی اول (IPCA1) نزدیک به صفر بودند ولی هیچ‌کدام دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل نبودند و به همین دلیل نمی‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی شوند(جدول ۵). از طرف دیگر، محیط‌های Bir2 و Yaz1 دارای کمترین مقدار (نزدیک به صفر) در اولین محور مؤلفه اصلی (IPCA1) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بودند و نسبت به محیط‌های دیگر پایداری عملکرد بهتری داشتند ولی هر دوی این محیط‌ها نیز میانگین عملکرد کمتری نسبت به میانگین کل داشتند(جدول ۵).

در مدل AMMI اختلافات در پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها نسبت به محیط‌های مختلف را می‌توان به شکل مطلوبی با استفاده از Biplot ارزیابی کرد. Biplot رسم شده برای مدل AMMI گرافیکی است که ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها با هم بر روی آن رسم می‌شوند. مزیت این گراف‌ها این است که روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را قابل مشاهده می‌کنند و بر این اساس می‌توان ژنوتیپ‌های مختلف را برای مناطق خاصی معرفی کرد. مدل AMMI1 در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مدل از IPCA1 استفاده می‌شود. در این مدل محور افقی میانگین عملکرد و محور عمودی IPCA1 است. با توجه به شکل ۱، محور عمودی که از میانگین کل ژنوتیپ‌ها می‌گذرد ژنوتیپ‌ها را به دو گروه ژنوتیپ های با عملکرد بیشتر و کمتر از میانگین کل

جدول۴- تجزیه AMMI برای عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم در مناطق شور

منابع تغییر		درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درصد مجموع مربعات از کل
Environment	محیط	9	390.96	34.4**	
Environment × Replication	تکرار در محیط	20	4.91	0.24	
Genotype	ژنوتیپ	19	109.1	5.74**	
Environment × Genotype	ژنوتیپ × محیط	171	203.1	1.19**	
IPCA 1	مولفه اول	27	67.7	2.51**	33.3
IPCA 2	مولفه دوم	25	45.02	1.8**	22.2
IPCA 3	مولفه سوم	23	37.6	1.63**	18.5
IPCA 4	مولفه چهارم	21	15.77	0.75**	7.8
IPCA 5	مولفه پنجم	19	13.34	0.7**	6.6
IPCA 6	مولفه ششم	17	10.58	0.62**	5.2
IPCA 7	مولفه هفتم	15	6.82	0.45**	3.4
IPCA 8	مولفه هشتم	13	3.71	0.28**	1.8
IPCA 9	مولفه نهم	11	2.54	0.23**	1.3
Residual	باقیمانده	380	22.66	0.059	
Total	کل	770	933.9	1.21	

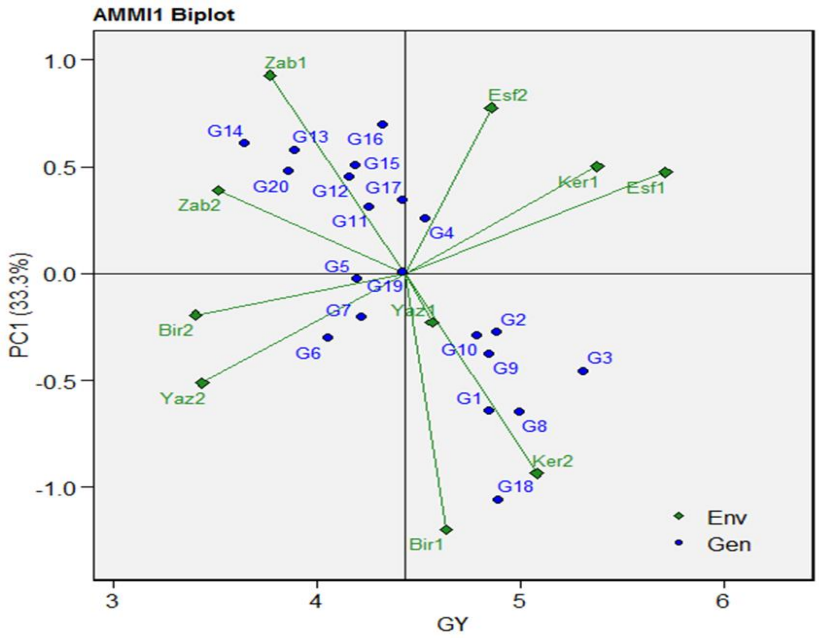
*،**به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

تقسیم می‌کند. محور افقی که از نقطه صفر محور IPCA1 رد شده است نمودار را به دو قسمت تقسیم کرده و ژنوتیپ‌هایی که در قسمت بالای این محور قرار گرفتند به‌عنوان ژنوتیپ‌های با اثر متقابل مثبت و ژنوتیپ‌هایی که در پایین این محور قرار می گیرند به‌عنوان ژنوتیپ‌های با اثر متقابل منفی شناخته می شوند. ژنوتیپ‌هایی که نزدیک محورIPCA1 بودند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی که دارای کمترین اثر متقابل بودند معرفی شدند. براین اساس به‌جز ژنوتیپ‌های G19 و G5، بقیه ژنوتیپ‌ها دارای اثر متقابل مثبت و یا منفی زیادی بودند. از این میان، ژنوتیپ‌های G14، G20، G13، G16، G15، G12، G11، G6 و G7 به دلیل پایین بودن میانگین عملکرد و بالا بودن اثر متقابل به‌عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار و با عملکرد پایین معرفی شدند. ژنوتیپ‌هایی که در قسمت پایین و سمت راست نمودار بودند (G18، G8، G3، G1، G9، G10 و G2) به‌عنوان ژنوتیپ‌های با بیشترین میزان اثر متقابل منفی شناخته شدند که دارای عملکردی بیشتر از میانگین کل بودند. با توجه به بزرگی میزان اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، تنها ژنوتیپ G19 به‌عنوان ژنوتیپ پایدار با عملکرد متوسط برگزیده شد و بر اساس این مدل قابل توصیه به همه مناطق می‌باشد.

در شکل ۲ از دو محور مؤلفه اصلی (IPCA1 و IPCA2) برای رسم Biplot استفاده شد. در این شکل نیز ژنوتیپ‌هایی که در قسمت بالا و سمت راست نمودار قرار گرفته‌اند نسبت به هر دو محور IPCA1 و IPCA2 اثر متقابل مثبت دارند و ژنوتیپ‌هایی که در قسمت پایین و سمت چپ نمودار قرار گرفته‌اند نسبت به دو محور ذکرشده اثر متقابل منفی دارند. چون اثر متقابل توجیه شده به‌وسیله IPCA2 کمتر از IPCA1 است بنابراین ژنوتیپ‌هایی که اثر متقابل مثبت یا منفی بالایی نسبت به محور IPCA1 در مقایسه با محور IPCA2 داشته باشند

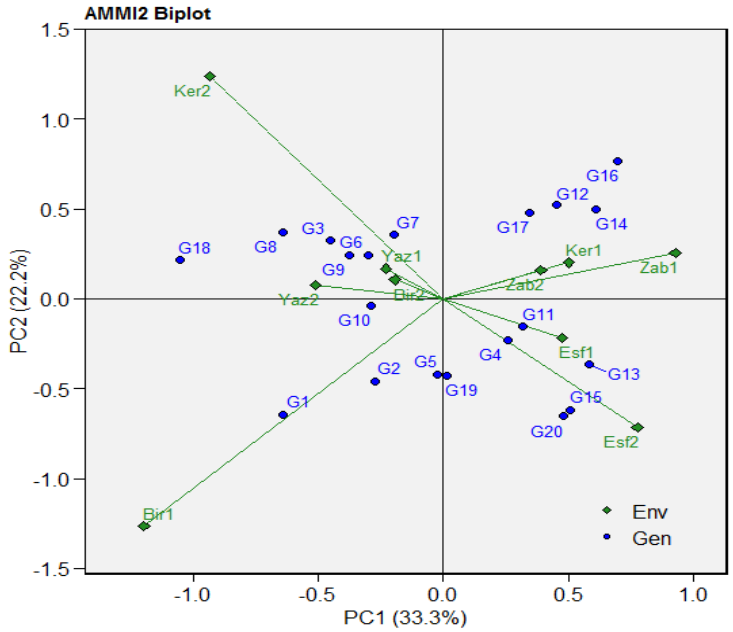
جدول ۵ – عملکرد، مؤلفه‌های اصلی اول تا نهم برای ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم و مناطق مورد مطالعه

ژنوتیپ و مکان		عملکرد ($t.ha^{-1}$)	IPCA1 مولفه اول	IPCA2 مولفه دوم	IPCA3 مولفه سوم	IPCA4 مولفه چهارم	IPCA5 مولفه پنجم	IPCA6 مولفه ششم	IPCA7 مولفه هفتم	IPCA8 مولفه هشتم	IPCA9 مولفه نهم
G1		4.845	-0.642	-0.644	-0.333	0.072	0.228	0.466	0.104	0.183	0.002
G2		4.855	-0.275	-0.458	-0.493	0.101	-0.223	0.026	0.183	-0.176	0.12
G3		5.305	-0.455	0.322	-0.261	-0.014	-0.486	-0.167	-0.072	0.022	-0.193
G4		4.533	0.259	-0.229	-0.24	-0.074	-0.114	-0.288	-0.131	0.594	-0.018
G5		4.194	-0.023	-0.419	-0.086	0.061	-0.368	-0.286	0.349	-0.421	-0.009
G6		4.055	-0.302	0.245	0.404	0.372	-0.068	-0.566	0.046	-0.101	0.152
G7		4.221	-0.199	0.355	-0.166	0.459	0.749	-0.496	-0.299	-0.197	0.116
G8		4.991	-0.644	0.371	0.982	0.505	-0.288	0.521	-0.388	0.104	-0.159
G9		4.845	-0.374	0.242	0.112	-0.16	-0.424	-0.279	0.152	0.175	0.308
G10		4.789	-0.288	-0.038	-0.253	-0.657	-0.144	-0.024	-0.47	0.069	-0.332
G11		4.253	0.315	-0.154	-0.073	-0.312	-0.107	-0.069	-0.244	-0.217	-0.155
G12		4.157	0.454	0.52	0.567	-0.497	0.081	-0.25	0.41	0.188	-0.161
G13		3.887	0.581	-0.366	-0.499	0.529	-0.132	-0.01	-0.345	0.009	0.032
G14		3.641	0.609	0.498	-0.044	0.132	-0.064	0.473	0.269	-0.429	-0.157
G15		4.189	0.506	-0.619	0.509	0.44	0.116	0.12	-0.339	-0.084	0.371
G16		4.325	0.699	0.766	-0.234	-0.199	0.02	0.259	-0.214	-0.021	0.233
G17		4.42	0.344	0.479	-0.65	0.306	-0.011	0.248	0.287	0.348	0.002
G18		4.893	-1.056	0.214	-0.175	-0.444	0.408	0.279	0.227	-0.09	0.267
G19		4.423	0.011	-0.428	0.223	0.071	0.714	-0.116	0.186	0.102	-0.48
G20		3.864	0.479	-0.655	0.663	0.191	-0.065	0.158	0.29	0.081	0.146
Birjand 1	بیرجند ۱	4.637	-1.198	-1.266	0.35	-0.4	0.03	-0.189	0.011	-0.243	-0.084
Birjand 2	بیرجند ۲	3.405	-0.194	0.105	-0.301	-0.458	-0.765	0.746	-0.199	0.412	-0.132
Isfehan 1	اصفهان ۱	5.712	0.474	-0.217	0.108	-0.01	-0.116	-0.25	0.99	0.377	0.133
Isfehan 2	اصفهان ۲	4.856	0.776	-0.717	0.494	0.647	-0.452	-0.043	-0.545	0.177	0.373
Kerman 1	کرمان ۱	5.378	0.5	0.2	-0.684	0.096	-0.724	-0.56	-0.041	-0.527	-0.178
Kerman 2	کرمان ۲	5.081	-0.934	0.239	0.845	0.104	-0.155	-0.28	0.064	0.001	0.223
Yazd 1	یزد ۱	4.566	-0.229	0.168	-1.179	-0.321	0.604	-0.115	-0.17	0.083	0.468
Yazd 2	یزد ۲	3.438	-0.513	0.045	-0.406	0.938	0.418	0.075	0.01	0.213	-0.513
Zabol 1	زابل ۱	3.769	0.928	0.254	0.519	-0.7	0.55	-0.25	-0.274	0.11	-0.4
Zabol 2	زابل۲	3.516	0.389	0.158	0.252	0.106	0.309	0.865	0.283	-0.606	0.103



شکل ۱ – نمودار Biplot مدل AMMI1 برای ۲۰ ژنوتیپ گندم در ۱۰ محیط

به‌عنوان ژنوتیپ‌های با اثر متقابل بالا شناخته خواهند شد. ژنوتیپ‌هایی کـه نزدیک به مرکز نمودار هستند نسبت به هر دو محور IPCA1 و IPCA2 اثر متقابل کمتری خواهند داشت. بـا توجـه بـه شکل ۲ ژنوتیپ‌های G19، G5 و تا حدودی G10 با کمترین مقدار اثر متقابل نسبت به دو محور به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند که از بین آنها ژنوتیپ G10 به عنوان ژنوتیپ با سازگاری عمومی خوب و عملکرد بالا تعیین شد. ژنوتیپ‌های G16، G20، G15، G13، G8، G18 و G1 بالاترین مقادیر اثر متقابل را دارا بودند. در مدل بای‌پلات AMMI ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای‌پلات وجود دارند از پایداری عمومی برخوردارند و قابل توصیه برای اکثر محیط‌ها می‌باشند و ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز قرار دارند دارای پایداری خصوصی می‌باشند (گوچ و زوبل ۱۹۹۶)؛ بنابراین با توجه به شکل ۲ ژنوتیپ خاصی دارای پایداری عمومی و درنتیجه قابل توصیه به کلیه مناطق مورد بررسی نبود. در تحقیق شاه‌محمدی و همکاران (۲۰۰۴) نیز اگرچه دو مؤلفه اول سهم ناچیزی از اثر متقابل را به خود اختصاص دادند، ولی از تفسیر بای‌پلات امی برای ژنوتیپ‌های پایدار استفاده نمودند. فتاحی و یوسفی (۲۰۰۶) به‌منظور بررسی پایداری عملکرد ۱۹ ژنوتیپ جو در هشت ایستگاه منطقه معتدل از مدل AMMI استفاده نمودند و نشان دادند که آماره‌های مستخرج از این مدل در تشخیص ژنوتیپ ایده‌آل از حیث پایداری و سازگاری عملکرد بسیار کارآمد بودند. نتایج حاصل از این تحقیق نیز مشابه آنچه که فتاحی و یوسفی(۲۰۰۶) گزارش کردند، مبین توانایی این روش در تشخیص پایدارترین ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌باشد.



شکل ۲ – نمودار Biplot مدل AMMI2 برای ۲۰ ژنوتیپ گندم در ۱۰ محیط

شاخص های پایداری AMMI

ازآنجاکه مؤلفه اصلی اول فقط در حدود ۳۳/۳ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کرد ازاین‌رو شاخص ارزش پایداری AMMI (ASV)، میانگین وزنی نمرات مطلق (WAAS) و شاخص انتخاب همزمان بر پایه این دو شاخص نیز محاسبه و ژنوتیپ‌های برتر بر اساس این پارامترها شناسایی شدند. شاخص ارزش پایداری AMMI (ASV)، ژنوتیپ‌های G5، G10، G19، G4، G7 و G11 را با کمترین نمره به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها معرفی کرد. بر اساس شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق (WAAS)، ژنوتیپ‌های G5، G11، G19، G4، G10 و G9 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند(جدول ۶).

پژوهشگران دیگری نیز از شاخص ارزش پایداری AMMI و میانگین وزنی نمرات مطلق به‌عنوان روش‌های مفید و مؤثری در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کرده‌اند (کریم زاده و همکاران ۲۰۲۰؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۵). چون در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از شاخص‌های پایداری ، فقط تأکید بر جنبه پایداری ژنوتیپ‌ها می شود، به همین علت ژنوتیپ‌های G5، G19، G11 و G7 با عملکردی کمتر از متوسط عملکرد کل (۴/۴۳ تن در هکتار) و رتبه عملکرد پایین به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر گزینش شده‌اند. جهت اجتناب از گزینش چنین ژنوتیپ‌هایی ، شاخص انتخاب همزمان SSi برآورد شد (فرشادفر و همکاران ۲۰۱۲). مزیت آماره‌های SSi این است که در برآورد آن‌ها به هر دو جنبه پایداری و متوسط عملکرد یک ژنوتیپ توجه شده است؛ بنابراین با استفاده از این شاخص‌ها، امکان گزینش ژنوتیپ‌های پایدار اما با عملکرد پایین، کاهش می‌یابد (فرشادفر و همکاران ۲۰۱۲). بر این اساس به ترتیب ژنوتیپ‌های G10، G19، G3، G4، G2 و G9 بر اساس شاخص SSiASV و ژنوتیپ‌های G2، G16، G13، G1 و G3 بر مبنای شاخص SSiWAAS به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۶). تفاوت ها در ژنوتیپ های منتخب می تواند ناشی از این باشد که در شاخص ASV تنها از دو مولفه اصلی و در شاخص WAAS از تمامی مولفه های اصلی تجزیه AMMI جهت محاسبه شاخص استفاده شده است.

جدول ۶- شاخص‌های پایداری، رتبه ژنوتیپ‌ها و شاخص انتخاب همزمان برای ژنوتیپ‌های گندم

Genotype	Yield	rY	ASV	rASV	SSi ASV	WAAS	rWAAS	SSi WAAS
G1	4.845	5	1.16	18	23	0.319	3	14
G2	4.855	4	0.617	9	13	0.318	6	10
G3	5.305	1	0.756	11	12	0.225	2	14
G4	4.533	8	0.452	4	12	0.181	17	18
G5	4.194	14	0.421	1	15	0.298	14	22
G6	4.055	17	0.515	7	24	0.293	1	16
G7	4.221	13	0.465	5	18	0.581	11	16
G8	4.991	2	1.04	16	18	0.266	12	30
G9	4.845	6	0.612	8	14	0.235	16	32
G10	4.789	7	0.435	3	10	0.202	9	26
G11	4.253	12	0.499	6	18	0.448	18	27
G12	4.157	16	0.858	12	28	0.429	15	21
G13	3.887	18	0.947	13	31	0.379	7	14
G14	3.641	20	1.04	17	37	0.466	5	19
G15	4.189	15	0.981	15	30	0.499	19	39
G16	4.325	11	1.3	19	30	0.394	10	12
G17	4.42	10	0.705	10	20	0.52	20	23
G18	4.893	3	1.6	20	23	0.213	4	17
G19	4.423	9	0.429	2	11	0.468	13	23
G20	3.864	19	0.973	14	33	0.319	8	27

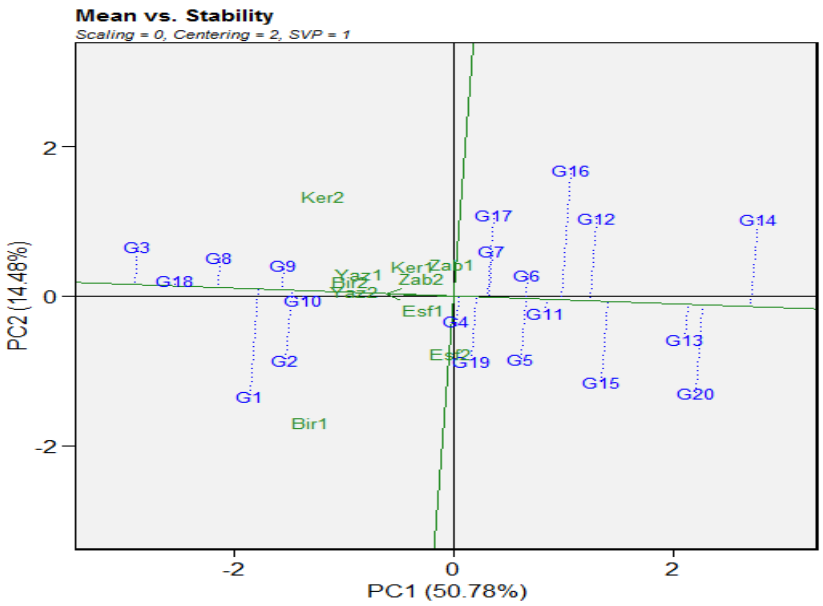
rY: رتبه عملکرد، ASV: شاخص ارزش پایداری AMMI، rASV: رتبه شاخص ارزش پایداری AMMI، SSiASV: شاخص انتخاب همزمان بر مبنای شاخص ارزش پایداری AMMI، WAAS: میانگین وزنی نمرات مطلق؛ rWAAS: رتبه میانگین وزنی نمرات مطلق، SSiWAAS: شاخص انتخاب همزمان بر مبنای میانگین وزنی نمرات مطلق

مدل GGE-Biplot

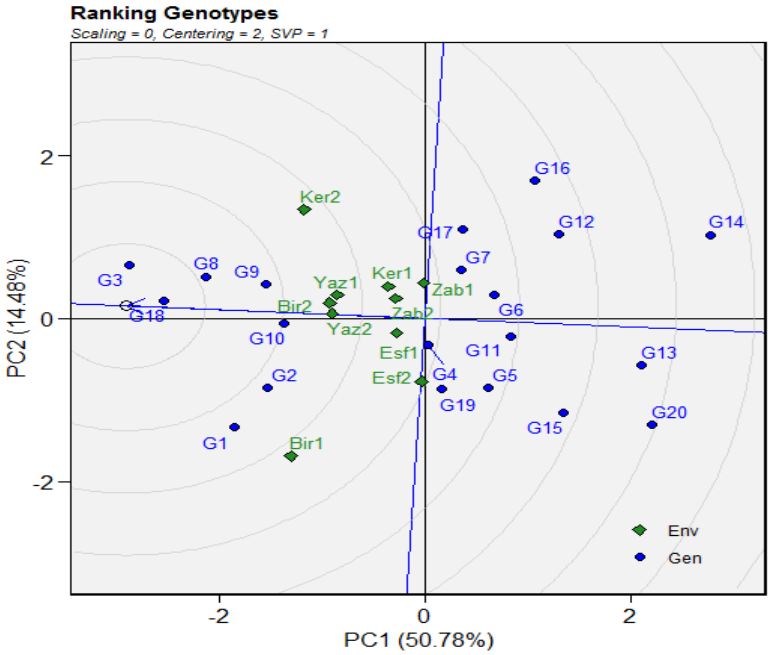
شکل ۳ رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد دانه و میزان پایداری عملکرد در محیط‌های تحت بررسی نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ خط عمودی (خط عمودی سبزرنگ) واقع شده‌اند دارای عملکرد بیشتر از میانگین و ژنوتیپ‌هایی که سمت راست خط پیکان عمودی قرار گرفته‌اند دارای عملکردی کمتر از میانگین هستند. براین اساس ژنوتیپ‌های G3، G18، G8، G1، G9، G2 و G10 بیشترین عملکرد را نشان دادند. همچنین ژنوتیپ‌های G18، G10 و G11 بیشترین پایداری عملکرد را در بین ژنوتیپ‌های دیگر نشان دادند (هرچه فاصله ژنوتیپ از خط افقی سبزرنگ کمتر باشد ژنوتیپ پایداری عملکرد بالاتری دارد)؛ بنابراین ژنوتیپ‌های G18 و G10 جزو ژنوتیپ‌های برتر ازنظر عملکرد و پایداری عملکرد بالا بودند. البته تا حدودی ژنوتیپ‌های G3 و G8 را نیز می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا در نظر گرفت. ژنوتیپ‌های G16، G12، G17، G14، G15 و G20 با بیشترین فاصله تا خط ATC یعنی خط پیکان افقی از

عملکرد پایین و نیز پایداری عملکرد پایین برخوردار بودند. از سوی دیگر ژنوتیپ‌های G6 و G11 دارای عملکرد پایین ولی پایداری عملکرد بالا بودند. این اطلاعات می‌تواند توسط به‌نژادگران برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بیشتر از میانگین و با پایداری عملکرد اندک، که بهترین پاسخ را به محیط‌های خاصی داشته و دارای سازگاری خصوصی هستند، کمک نماید. ژنوتیپ‌های G1 و G2 با عملکرد بالا سازگاری خصوصی به محیط‌های متفاوت را نشان دادند. بطوریکه ژنوتیپ G1 سازگاری بیشتری به محیط‌هایی همچون بیرجند که در قسمت پایین محور میانگین عملکرد قرار دارند نشان داد. بنابراین از سازگاری خصوصی بیشتری به این محیط برخوردار بود.

یک ژنوتیپ ایده‌آل باید بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه را داشته باشد و نسبت به شرایط محیطی نیز از پایداری عملکرد برخوردار باشد (یان ۲۰۰۲). چنین ژنوتیپی به‌عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای کمترین نقش در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باشد، تعریف شده است به‌طوری‌که در شکل ۴ به‌صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به آن اشاره شده است. برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به‌عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم مرکزی در بای‌پلات به‌منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ترسیم شده است (شکل ۴). ژنوتیپی که در مرکز دایره‌ها قرار دارد ژنوتیپی با میانگین عملکرد بالا و دارای پایداری عملکرد بالاست. بنابراین ژنوتیپ خاصی را نمی‌توان به‌عنوان ژنوتیپی مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا و نیز پایداری عملکرد بالایی هست، در نظر گرفت. ولی ژنوتیپ‌های G18 و G3 به ترتیب در فاصله اندکی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل واقع شدند. پس از این دو ژنوتیپ، ژنوتیپ های G8 و G9 قرار داشتند.همچنین ژنوتیپ‌های G14، G20، G13، G15، G12 و G16 با بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل به‌عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب شناخته شدند(شکل ۴).

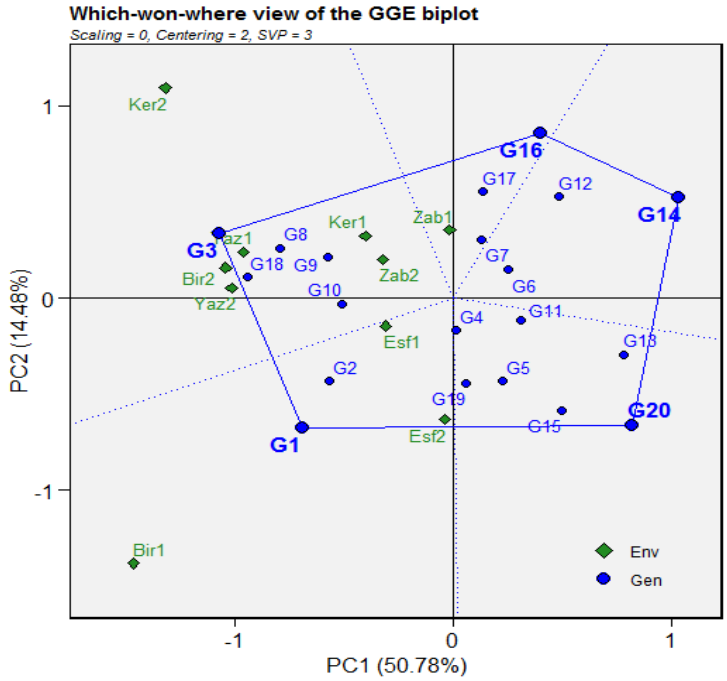


شکل ۳- نمودار ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی به‌طور همزمان بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد



شکل ۴- نمودار GGE biplot جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل

یکی از جنبه های GGE biplot نمایش چندضلعی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است (شکل ۵) که بهترین راه برای مشاهده الگوهای اثر متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌منظور تفسیر مؤثر بای پلات و مطالعه وجود احتمالی گروه‌های محیطی بزرگ (محیط‌های کلان) در یک منطقه که در آن گروهی از ژنوتیپ‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند است (یان و همکاران ۲۰۰۰، یان و کانگ ۲۰۰۳؛ گوچ و زوبل ۱۹۹۶). بر اساس چندضلعی بای‌پلات، محیط‌ها به سه گروه محیطی (ابر محیط) و ژنوتیپ‌ها به پنج گروه ژنوتیپی تقسیم شدند. اولین گروه محیطی شامل محیط‌های مربوط یزد (Yaz1 و Yaz2)، کرمان (Ker1 و Ker2)، Bir2 و Zab2، دومین گروه محیط‌های مربوط به اصفهان (Esf1 و Esf2) و Bir1 و گروه سوم مربوط به Zab1 بود. در گروه اول به ترتیب ژنوتیپ‌های G3، G18، G8، G9 و G10، در گروه دوم ژنوتیپ‌های G1 و G2 و در گروه سوم ژنوتیپ‌های G16، G17 و G7 دارای بیشترین عملکرد بودند. بنابراین می‌توان در مناطق یزد و کرمان ژنوتیپ‌های G3، G8 و G18 و در منطقه اصفهان ژنوتیپ‌های G1 و G2 را به عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی جهت کشت در مناطق شور معرفی کرد. این نتایج نشان داد که مناطقی مانند کرمان، یزد و بیرجند امکان گروه‌بندی با همدیگر را داشته و در گزینش ژنوتیپ‌ها، مشابه همدیگر عمل می‌کنند. همچنین در این مناطق تفاوت چندانی بین سال‌های مورد بررسی نیز مشاهده نشد. در بخش‌هایی که علارغم وجود ژنوتیپ‌ها هیچ محیطی وجود نداشت نشان می‌دهد که این ژنوتیپ‌ها در هیچ کدام از محیط‌ها برتر نبودند. ژنوتیپ‌هایی مانند ژنوتیپ G4 که تا حدودی نسبت به بقیه نزدیک مرکز بای‌پلات واقع شد از عملکرد متوسطی در تمام محیط‌ها برخوردار بود.

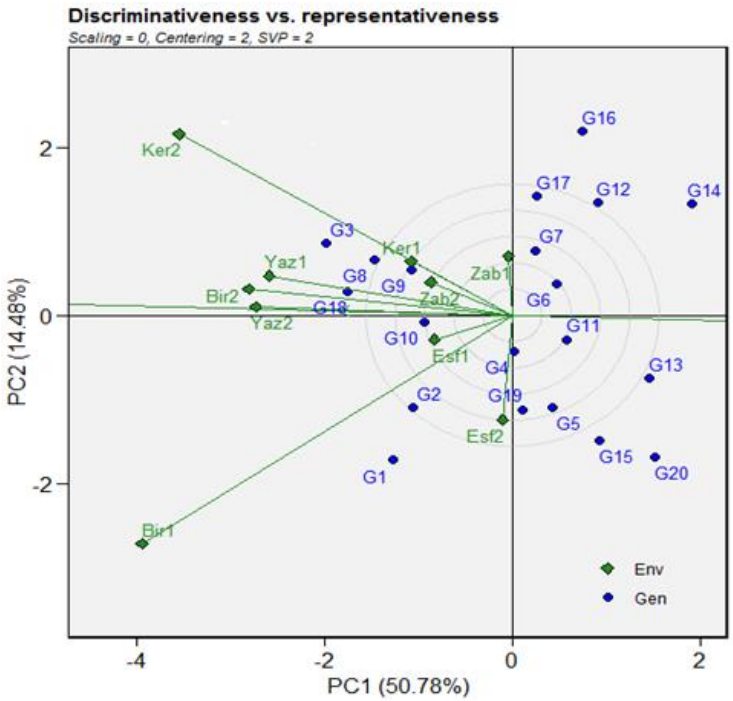


شکل ۵- نمایش چندضلعی اثر متقابل ژنوتیپ× محیط برای ۲۰ ژنوتیپ گندم نان مورد بررسی در ۱۰ محیط

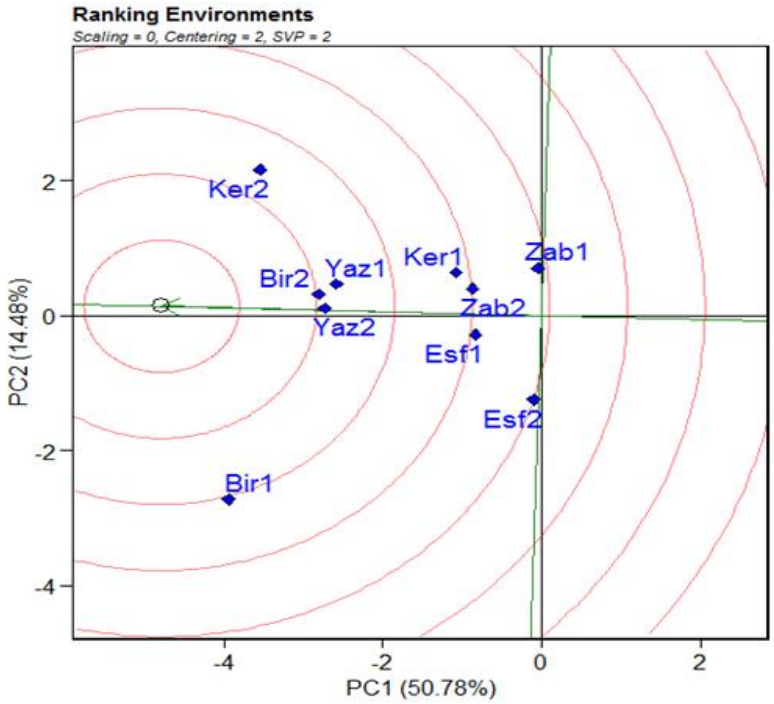
بررسی روابط بین محیط‌ها همبستگی بسیار بالایی را بین محیط‌های Ker1، Ker2، Yaz1، Yaz2، Bir1، Bir2، Zab2 و Esf1 نشان داد. زاویه کمتر از ۹۰ درجه در بین محیط‌ها نشان‌دهنده عملکرد مشابه آن‌ها در شناسایی و تفکیک ژنوتیپ‌ها می‌باشد. زاویه بین محیط‌ها در درون این گروه محیطی کمتر از ۹۰ درجه بود که حاکی از رفتار مشابه در رتبه‌بندی و تفکیک ژنوتیپ‌ها است. از شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌های G3، G8، G9، G10 و G18 به این گروه محیطی سازگاری بیشتری نشان می‌دهند. از سوی دیگر زاویه بین محیط‌های Esf2 با Ker2 و Zab1 از یک‌طرف و Bir1 با Zab1، زیاد و بیشتر از ۹۰ درجه بود یعنی این محیط‌ها در رتبه‌بندی و تفکیک ژنوتیپ‌ها رفتاری متفاوت نسبت به هم نشان می‌دهند. البته در بعضی از سال‌ها تحت تاثیر شرایط محیطی ازجمله تغییرات آب و هوایی، ممکن است استثناهایی وجود داشته باشد. آزمایش‌های چند محیطی اغلب برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها به کار می‌روند اما می‌توان از اطلاعات به‌دست‌آمده برای ارزیابی محیط‌ها نیز بهره برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به‌طور واضح اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و هم‌زمان نماینده خوبی از محیط‌های دیگر باشد (یان و تینکر ۲۰۰۶؛ یان و کانگ ۲۰۰۳).

این مفهوم از محیط‌های ایده‌آل برای محصولات مختلف ازجمله ذرت (فن و همکاران ۲۰۰۷)، پنبه (بلانچ و مایر ۲۰۰۶) و گندم دوروم (محمدی و همکاران ۲۰۱۲) بکار گرفته شده است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها برمی‌گردد ولی توانایی نمایندگی یک محیط بیانگر این است که محیط موردنظر تا چه میزان نماینده شرایط سایر محیط‌های آزمایشی است (یان و تینکر ۲۰۰۶؛ بلانچ و مایر ۲۰۰۶). بنابراین محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو ویژگی را داشته باشد تا بتواند ژنوتیپ‌های سازگار را تشخیص دهد. این خصوصیت در مدل بای پلات GGE تحت عنوان قدرت تفکیک محیط‌ها در برابر میزان نمایندگی آن‌ها (Discrimitiveness vs. Representativeness) ارائه‌شده است (یان و تینکر ۲۰۰۶). باید در نظر داشت که هر چه طول بردار محیطی بیشتر باشد آن محیط توانایی بیشتری در تفکیک بین ژنوتیپ‌ها دارد بنابراین محیط‌های Ker2 و Bir1 دارای بیشترین توانایی در تفکیک و تشخیص تنوع بین ژنوتیپ‌ها بودند (شکل ۶). با توجه به شکل ۷ در این بررسی محیط

ایده‌آلی مشاهده نمی‌شود ولی محیط‌های Yaz1، Yaz2 و Bir2 بسیار به محیط ایده‌آل نزدیک بوده و می‌توانند به‌عنوان محیط ایده‌آل برای ژنوتیپ‌های این آزمایش در نظر گرفته شوند.



شکل ۶- نمودار GGE biplot روابط میان محیط‌ها و مقایسه هم‌زمان محیط‌ها ازنظر قابلیت تفکیک ژنوتیپ‌ها در مقابل نماینده بودن آن‌ها



شکل ۷- نمودار GGE biplot جهت ارزیابی محیط‌ها نسبت به محیط ایده‌آل

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط تنش شوری از دو روش AMMI و GGE biplot استفاده شد. نتایج حاصل از بای‌پلات AMMI1 نشان داد که ژنوتیپ‌های G19 و G5 دارای اثر متقابل کم‌تری بودند ولی ژنوتیپ G19 با میانگین عملکرد برابر با میانگین کل، به عنوان ژنوتیپ با پایداری مطلوب انتخاب شد. در روش بای‌پلات AMMI2 ژنوتیپ‌های G19، G5 و تا حدودی G10 با کمترین مقدار اثر متقابل نسبت به دو محور به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند که از بین آنها ژنوتیپ G10 به عنوان ژنوتیپ با سازگاری عمومی خوب تعیین شد. ژنوتیپ‌های G10، G19، G3، G4، G2 و G9 بر اساس شاخص انتخاب همزمان مبتنی بر شاخص پایداری AMMI و ژنوتیپ‌های G2، G16، G13، G1 و G3 بر مبنای شاخص انتخاب همزمان مبتنی بر میانگین وزنی نمرات مطلق به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. بر اساس تجزیه GGE biplot ژنوتیپ‌های G18 و G10 جزء ژنوتیپ‌های برتر ازنظر عملکرد و پایداری عملکرد بالا بودند. همچنین ژنوتیپ‌های G18 و G3 به ترتیب در فاصله اندکی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل قرار داشتند. محیط‌ها به سه گروه محیطی و ژنوتیپ‌ها به پنج گروه ژنوتیپی تقسیم شدند. محیط‌های Yaz1 ، Yaz2، Ker1، Ker2، Bir2 و Zab2 در گروه اول، محیط‌های Esf1، Esf2 و Bir1 در گروه دوم و Zab1 در گروه سوم بود. در گروه اول به ترتیب ژنوتیپ‌های G3، G18، G8، G9 و G10، در گروه دوم ژنوتیپ‌های G1 و G2 و در گروه سوم ژنوتیپ‌های G16، G17 و G7 دارای بیشترین عملکرد بودند. بنابراین می‌توان در مناطق یزد و کرمان ژنوتیپ‌های G3، G8 و G18 و در منطقه اصفهان ژنوتیپ‌های G1 و G2 را به عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی جهت کشت در مناطق شور معرفی کرد. در نهایت با در نظر گرفتن عملکرد دانه و پایداری عملکرد، ژنوتیپ‌های G18 و G3 به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شدند که می‌توانند بعنوان رقم جدید برای مناطق با شرایط شور کشور معرفی شوند. مقایسه نتایج AMMI با نتایج GGE biplot نشان داد که تمامی این روش ها پتانسیل خوبی برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ ها دارند. با این حال روش GGE biplot در بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و معرفی ارقام با سازگاری خصوصی جهت مناطق مختلف کشت و همچنین به دلیل سهولت در تفسیر نتایج گرافیکی کاراتر و کاربردی‌تر است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همه محققین، کارشناسان و کمک کارشناسان محترم مراکز و ایستگاه های تحقیقاتی مناطق شور کشور که در اجرا ازمایشات و تهیه اطلاعات همکاری صمیمانه ای داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abyar S, Navabpour S, Karimizadeh R, Gholizadeh A, Nasrollahnejad ghomi AA, and Kiani G. 2022. Grain yield stability evaluation of bread wheat genotypes using AMMI multivariate methods. Journal of Crop Production and Processing, 12(1): 119-132. (In Persian).doi: 10.47176/jcpp.12.1.36253

Adugna A. 2010. Assessment of yield stability in sorghum. African Journal of Crop Science, 15(2): 83-92. DOI:10.4314/acsj.v15i2.54421.

Aghaee-Sarbarzeh M, Dastfal M, Farzadi H, Andarzian B, Shahbazpour-Shahbazi A, Bahari M and Rostami H. 2012. Evaluation of durum wheat genotypes for yield and yield stability in warm and dry areas of Iran. Seed and Plant Improvement Journal, 2: 315-325. (In Persian). doi: 10.29252/abj.21.2.127

Ahakpaz F, Majidi Hervan E, roustaii M, Bihamta M, mohammadi S. 2023. Comprehensive stability analysis of wheat genotypes through multi-environmental trials. Journal of Agricultural Sciences, 29(1): 317-334. https://doi.org/10.15832/ankutbd.999060

Ahmadi J, Pour-Aboughadareh A, Fabriki Ourang S, Mehrabi AA. and Siddique KHM. 2018. Screening wild progenitors of wheat for salinity stress at early stages of plant growth: insight into potential sources of

variability for salinity adaptation in wheat. Crop and Pasture Science, 69(7): 649-658. DOI:10.1071/CP17418

Al-Sayaydeh R, Shtaya MJ, Qubbaj T, Al-Rifaee MK, Alabdallah MA, Migdadi O, Gammoh IA, Al-Abdallat AM. 2023. Performance and stability analysis of selected durum wheat genotypes differing in their kernel characteristics. Plants, 12(14): 1-18. DOI: 10.3390/plants12142664

Amini A, Asadi AA, Chaichi M, Ezt-Ahmadi M, Ghasemi Kalkhoran M, Eivazi AR, Hosseinibay SK, Salehi P, Babaei T, Godsi M and Mirfakhraee N. 2023. Investigating the stability of promising bread wheat genotypes in cold climate using AMMI and GGE biplot analysis. Iranian Journal of Field Crop Science, 54(3): 119-134. (In Persian). DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.348569.654940

Amini A, Tabatabaee MT, Moghaddam HA, Ravari Z, Amin Azarm D. and Tajali H. 2021. Evaluation of grain yield and its stability in bread wheat genotypes in saline regions of Iran. Iranian Journal of Field Crop Science, 51(4): 191-202. (In Persian). DOI: 10.22059/ijfcs.2020.290344.654649

Annicchiarico P, Harzic N and Carroni AM. 2010. Adaptation, diversity, and exploitation of global white lupin (*Lupinus albus* L.) landrace genetic resources. Field Crops Research, 119(1): 114-124. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.022

Becker HC and Leon J. 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breeding, 101: 1-25. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x

Blanche SB and Myers GO. 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. Crop Science, 46: 946-949.https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0279

Dehghani H, Ebadi A and Yousefi A. 2006. Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. Agronomy Journal, 98: 388-393. DOI:10.2134/agronj2004.0310

Ehyaei M, Mostafavi K, Bakhtiar F and Mohammadi A. 2022. Yield stability of bread wheat genotypes using AMMI and GGE biplot analysis. Cereal Research, 12(2): 147-165 (In Persian). doi: 10.22124/CR.2023.23333.1746

Elakhdar A, Kumamaru T, Smith KP, Brueggeman RS, Capo-chichi LJA and Solanki S. 2017. Genotype by environment interactions (GEIs) for barley grain yield under salt stress condition. Journal of Crop Science and Biotechnology, 20(3): 193-204. DOI: 10.1007/s12892-017-0016-0

Esmailzadeh Moghaddam M, Zakizadeh M, Akbarimoghaddam H, Abedini Esfahlani M, Sayahfar M, Nikzad AR, Tabib-Ghafari SM and Lotfali Aeineh GA. 2011. Genotype × environment interaction and stability of grain yield of bread wheat genotypes in dry and warm areas of Iran. Seed and Plant Improvement Journal, 27(2): 257-273. (In Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.111062

Fan XM, Kang MS, Chen H, Zhang Y, Tan J and Xu C. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. Agronomy Journal, 99: 220-228. https://doi.org/10.2134/agronj2006.0144

Farshadfar E, Rashidi M, Jowkar MM and Zali H. 2012. GGE Biplot analysis of genotype × environment interaction in chickpea genotypes. European Journal of Experimental Biology, 3(1):417-423. ISSN: 2248 –9215 CODEN (USA): EJEBAU

Fattahi F and Yossefi A. 2006. Evaluation of yield stability of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using repeatable stability parameters and pattern analysis of AMMI model. *Iranian* Journal of Agricultural Science, 37: 317-326. (In Persian). https://www.researchgate.net/publication/3122188791470.

Gauch HG and Zobel RW. 1996. AMMI analysis of yield trials. P. 85-122. In: Kang MS, Gauch HG. (eds.) Genotype by environment interaction, 1-14 pp., CRC press. Boca Raton. http://dx.doi.org/10.1201/9781420049374.ch4

Gautam A, Sai Prasad SV, Jajoo A and Bassi FM. 2023. Evaluation of Indian durum wheat genotypes for yield and quality traits using additive main-effects and multiplicative interaction (AMMI) biplot analysis

under terminal heat stress conditions. Crop Breeding, Genetics and Genomics, 5(3): 1-23. https://doi.org/10.20900/cbgg20230004

Ghaedrahmati M, Hosseinpour T and Ahmadi A. 2017. Study of grain yield stability of durum wheat genotypes using AMMI. Journal of Crop Breeding, 9: 67-75. (In Persian). doi: 10.29252/jcb.9.23.67

Ghazvini H, Pour-Aboughadareh A, Sharifalhosseini M, Razavi SA, Mohammadi S, GhasemiKalkhoran, M, FathiHafshejani A and. Khakizadeh Gh. 2018. Phenotypic stability analysis of barley promising lines in the cold regions of Iran. Crop Breeding Journal 8 (1 & 2): 17-29. (In Persian). DOI: 10.22092/cbj.2019.127226.1037

Gupta, V, Mehta G, Kumar S, Ramadas S, Tiwari R, Singh G and Sharma P. 2023. AMMI and GGE biplot analysis of yield under terminal heat tolerance in wheat. Molecular Biology Reports, 50: 3459-3467. DOI: 10.1007/s11033-023-08298-4

Hassanpanah D. 2011. Analysis of G×E interaction using the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) in potato cultivars. African Journal of Biotechnology, 10(2): 154-158. DOI: 10.5897/AJB09.633

Jeberson MS, Kant L, Kishore N, Rana V, Walia DP and Singh D. 2017. AMMI and GGE biplot analysis of yield stability and adaptability of elite genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) for northern hill zone of India, International Journal of Bio-resource and Stress Management, 8: 635 - 641. DOI:10.23910/IJBSM/2017.8.5.1838

Kamkar, B., Kafi, M. and Nassiri Mahallati, M. 2004. Determination of the most sensitive developmental period of wheat (*Triticum aestivum*) to salt stress to optimize saline water utilization. 4thInternational Crop Science Congress. Brisbane, Australia.

Karimzadeh R, Hosseinpour T, Sharifi P, Alt Jafarby J, Shahbazi Homonlo K and Keshavarzi K. 2020. Grain yield stability of durum wheat genotypes in semi-warm rainfed regions, Cereal Research, 10(2):135-147 (In Persian). DOI: 10.22124/cr.2020.16274.1589

Karimizadeh R, Hosseinpour T, Alt Jafarby J, Shahbazi Homonlo K, Armion M and Sharifi P. 2020. Stability analysis of durum wheat genotypes by GGE Biplot method. Journal of Crop Breeding, 2(35): 1-17. (In Persian).DOI: 10.52547/jcb.12.35.1

Kendal E, Karaman M, Tekdal S and Dogan S. 2019. Analysis of promising barley (*Hordeum vulgare* L.) lines performance by AMMI and GGE biplot in multiple traits and environment. Applied ecology and environmental research, 17(2):5219-5233. DOI:10.15666/aeer/1702_52195233

Khorsandi F and Hasheminezhad Y. 2019. Agriculture in saline conditions. National Salinity Center, Ministery of Agriculture-Jahad, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). DOI: 10.22059/ijfcs.2020.290344.654649

Mahdavi AM, Babaeian Jelodar N, Farshadfar E and Bagheri N. 2022. Study of grain yield stability of bread wheat genotypes using non-parametric method and GGE biplot. Environmental Stresses in Crop Sciences, 15(2): 287-298. (In Persian).DOI: 20.1001.1.22287604.1401.15.2.1.7

Moayedi AA, Najafi Mirak T, Taherian M, Sasani S and Amin azarm D. 2020.Evaluation of grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) promising lines in moderate regions of Iran, Journal of Agroecology, 12(2): 345-358. (In Persian).DOI: 10.22067/jag.v12i2.85729

Mohammadi R, Armion M, Sadeghzadeh B, Golkari S, Khalilzadeh G, Ahmadi H, Abedi-Asl G and Eskandari M. 2016. Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. Applied Field Crops Research, 29(4): 25-42. (In Persian).DOI: 10.22092/aj.2017.102141.1037

Mohammadi R, Farshadfar E and Amri A. 2015. Interpreting genotype environment interactions for grain yield of rainfed durum wheat in Iran. The Crop Journal, 3(6): 526-535. https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.08.003

Mohammadi R, Armion M, Zadhassan E and Eskandari M. 2014. Analysis of genotype and environment interaction for grain yield in rain-fed durum wheat. Journal of Dryland Agriculture of Iran, 1(4): 23-32. (In Persian). https://doi.org/10.22092/idaj.2014.100185

Mohammadi R and Amri A. 2013. Genotype × environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. Euphytica, 192(2): 227-249. DOI:10.1007/s10681-012-0839-1

Mohammadi R, Armion M, Zadhassan E, Ahmadi MM and Sadeghzadeh Ahari D. 2012. Genotype × Environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE bipot Model. Seed and Plant International Journal, *3*: 503-518. (In Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.111122

Mohammadi R, Haghparast R, Amri A and Ceccarelli S. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi environment trials. Crop and Pasture Science, 61: 92-101. DOI:10.1071/CP09151

Mortazavian SMM, Nikkhah HR, Hassani FA, Sharif-al-Hosseini M, Taheri M and Mahlooji M. 2014. GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran, Journal of Agricultural Science and Technology, 16: 609-622. DOI: 20.1001.1.16807073.2014.16.3.5.3

Nachshon U. 2018. Cropland soil salinization and associated hydrology: Trends, processes and examples. Water, 10: 1030. https://doi.org/10.3390/w10081030

Najafi Mirak T, Agaee Sarbarzeh M, Moayedi A, Kaffashi A and Sayahfar M. 2021. Yield stability analysis of durum wheat genotypes using AMMI method, Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31(2): 17-28 (In Persian).DOI: 10.22034/saps.2021.13087

Najafi Mirak T, Moayedi AA, Sasani S and Ghandi A. 2019. Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences, 21(2): 127-138 (In Persian). DOI: 10.29252/abj.21.2.127

Olivoto T. 2019. Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. https://github.com/TiagoOlivoto/metan (accessed 24 June 2019). DOI:10.1111/2041-210x.13384

Omrani A, Omrani S, Khodarahmi M, Shojaei SH, Illés Á, Bojtor C, Mousavi SMN and Nagy J. 2022. Evaluation of grain yield stability in some selected wheat genotypes using AMMI and GGE biplot methods. Agronomy, 12(5): 1-14. DOI:10.3390/agronomy12051130

Omrani S, Naji AM and Esmaeilzadeh Moghaddam M. 2017. Yield stability analysis of promising bread wheat lines in southern warm and dry agro climatic zone of Iran using GGE biplot Model, journal of Crop Breeding, 9(23): 157-165(In Persian).DOI: 10.29252/jcb.9.23.157

Perkinz JM and Jinks JL. 1971. Environments and genotype environment components of variability III. Multiple lines and crosses. Heredity, 23: 339-356. https://doi.org/10.1038/hdy.1971.67

Purchase JL, Hatting H and Van Deventer CS. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat in south Africa: II. Stability analysis of yield performance. South Africa journal of plant and soil, 17(3): 101-107. DOI:10.1080/02571862.2000.10634878

Qureshi AS, Qadir M, Heydari N, Turral H and Javadi A. 2007. A review of management strategies for salt-rone land and water recourses in Iran. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 30p. (IWMI Working paper 125). https://doi.org/10.3910/2009.303

Ram K, Munjal R, Kesh H, Suresh and Kumari A. 2020. AMMI and GGE Biplot analysis for yield stability of wheat genotypes under drought and high temperature stress. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(5): 377-389. DOI:10.20546/ijcmas.2020.905.043

Rodriguez M, Rau D and Papa R. 2007. Genotype by environment interactions in barley (*Hordeum vulgare* L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. Euphytica, 163(2): 231-247. DOI:10.1007/s10681-007-9635-8

Sadiyah H and Hadi AF. 2016. AMMI model for yield estimation in multienvironment trials: A comparison to BLUP. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 9: 163-169. DOI:10.1016/j.aaspro.2016.02.113

Shahmohammadi M, Dehghani H and Yossefi A. 2004. Additive main effect and multiplicative interaction analysis (AMMI) in barley (*Hordeum voulgare* L.) genotypes. Seed and Plant, 20(4): 405-416. (In Persian). DOI:10.1501/Tarimbil_0000001292

Sharifi P. 2020. Application of multivariate analysis methods in agricultural sciences. Rasht Branch, Islamic Azad University press. 308 p.

Vaezi B, Pour-Aboughadareh A, Mohammadi R, Armion M, Mehraban A, Hossein-Pour T and Dorii M. 2017. GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. Cereal Research Communications, 45(3): 500-511. (In Persian). https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.019

Wang ZQ, Liu YX, Shi HR, Mo HJ, Wu FK and Lin Y. 2016. Identification and validation of novel low-tiller number QTL in common wheat. Theoretical and Applied Genetics, 129: 603–612. t https://doi.org/10.1007/s00122-023-04277-2

Yan W and Tinker NA. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Canadian Journal of Plant Science, 86: 623-645. DOI:10.4141/P05-169

Yan W and Kang MS. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press: Boca Raton FL, Gauch HG and Zobel RW. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. Crop Science, *37*: 311-326. DOI:10.1201/9781420040371

Yan W and Hunt LA. 2002a. Biplot analysis of diallel data. Crop Science, 42: 21-30. DOI:10.2135/cropsci2002.0021

Yan W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. Agronomy Journal, 94: 990-996. DOI:10.2134/agronj2002.9900

Yan W, Cornelius PL, Crossa J and Hunt LA. 2001b. Two types of GGE biplots for analyzing multi environment trial data. Crop Science, 41: 656-663. DOI:10.2135/cropsci2001.413656x

Yan W, Hunt LA, Sheng Q and Szlavnics Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. Crop Science, 40: 596-605. DOI:10.2135/cropsci2000.403597x

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 275-291

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Evaluation and Comparison of the Efficiency and Sustainability of soybean Production in Aq Qala and Aliabad-e-Katul counties based on the Emergy Analysis Technique

Ebrahim Asdkhani [1], Mahmoud Ramroudi [2*], Mohammd Reza Asghripour[2], Hamidreza Shahhoseini [3]

Received: 20 July 2023	Accepted: 11 December 2023

1-Student of Agroecology, University of Zabol, Zabol, Iran
2-Prof. of Det. of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran.
3-PhD. Graduated of Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
*Corresponding Author Email: mramroudi42@uoz.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The purpose of this study was to evaluate and compare the efficiency and sustainability of soybean (Glycine *max* L.) agricultural ecosystems in the counties of Aq Qala and Aliabad-e-Katul.

Materials and Methods: The study was conducted in 2018-2019. First, resources were divided into four categories: renewable environmental resources, nonrenewable environmental resources, purchased renewable resources and purchased nonrenewable resources. After determining the inputs and outputs of farms and their emergy equivalent, emergy indices were evaluated. In this study, production systems of soybean were evaluated using emergy indices in counties of Aq Qala and Aliabad-e-Katul (Golestan province), by questionnaires and face to face interview with farmers and managers of farms.

Results: The total emergy input to soybean farming ecosystems in Aq Qala and Aliabad-e-Katul was 6.21E+16 and 6.42E+16 sej ha^{-1}, respectively. In both agricultural ecosystems, dependence on non-renewable environmental inputs was much more than renewable environmental, renewable purchased and non-renewable purchased inputs, which was due to the large contribution of groundwater and soil erosion from the total emergy input.

Conclusion: Soybean production system in Aq Qala was more favorable in terms of resources use efficiency and environmental and economic sustainability than soybean production system in Aliabad-e-Katul. Implementation of the recommended solutions to reduce the consumption of non-renewable resources in providing purchased inputs, along with awareness, education and encouragement of farmers in this field, is effective in increasing efficiency and environmental and economic sustainability in agricultural ecosystems.

Keywords: Emergy Input, Environmental Load, Groundwater, Soil Erosion, Yield

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Mahmoud Ramroudi E-mail: mramroudi42@uoz.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.57633.3082

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۲۹۱-۲۷۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی و مقایسه کارایی و پایداری تولید سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول بر پایه روش تحلیل امرژی

ابراهیم اسدخانی [۱]، محمود رمرودی [۲*]، محمدرضا اصغری پور [۲]، حمیدرضا شاه حسینی [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲۹۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۰

۱-دانشجوی ارشد اگرواکولوژی، دانشگاه زابل
۲-استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل
۳- دانش آموخته دکتری آگرواکولوژی، دانشگاه زابل
* نویسنده مسئول: Email: mramroudi42@uoz.ac.ir

چکیده

اهداف: این تحقیق با هدف ارزیابی و مقایسه کارایی و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی سویا (*Glycine max* L.) در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول، انجام شد.

مواد و روش‌ها: مطالعه، در استان گلستان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و توسط پرسش‌نامه و مصاحبه با کشاورزان و مدیران مزارع انجام شد. در ابتدا منابع به چهار گروه محیطی تجدیدپذیر، محیطی تجدیدناپذیر، بازاری تجدیدپذیر و بازاری تجدیدناپذیر تقسیم شد. پس از تعیین ورودی‌ها و خروجی مزارع و معادل امرژی آنها، شاخص‌های امرژی ارزیابی شد.

یافته‌ها: ورودی امرژی کل به بوم‌نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به‌ترتیب $۶/۲۱\times۱۰^{۱۶}$ و $۶/۴۲\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار بود که نشان دهنده تراکم بیشتر امرژی در تولید سویا در شهرستان علی‌آباد کتول در مقایسه با آق‌قلا است. در هر دو بوم‌نظام زراعی، وابستگی به ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر، بسیار بیشتر از ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر، بازاری تجدیدپذیر و بازاری تجدیدناپذیر بود که به دلیل سهم زیاد آب زیرزمینی و فرسایش خاک از ورودی امرژی کل بود.

نتیجه‌گیری: کارآیی مصرف منابع، کارآیی اقتصادی، پایداری محیطی و پایداری اقتصادی در بوم‌نظام زراعی سویا در شهرستان آق‌قلا بیشتر از علی آباد کتول بود. اجرای راهکارهای توصیه شده برای کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر در تامین ورودی‌های خریداری شده، در کنار آگاهی، آموزش و تشویق کشاورزان در این زمینه، در افزایش کارایی و پایداری محیطی و اقتصادی در بوم‌نظام‌های زراعی موثر است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، فرسایش خاک، فشار محیطی، عملکرد، ورودی امرژی

مقدمه

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست، دو عامل مهم در کشاورزی پایدار هستند که می‌توانند در پیشبرد توسعه پایدار جهانی نیز سهیم باشند (سینگ جاتاو و نایک ۲۰۲۳). پایداری در کشاورزی به دلیل افزایش نیاز به تولید غذا طی دهه‌های اخیر و در نتیجه گسترش رویکرد کشاورزی صنعتی و با مصرف زیاد نهاده‌ها، کاهش یافته است (لمباردی و همکاران ۲۰۲۱). کشاورزی، به عنوان یک نظام تولید غذا، سرعت تخریب محیط، تخلیه منابع و انتشار آلودگی‌ها در هر دو سطح محلی و جهانی را افزایش داده است (منتیا و همکاران ۲۰۲۰). بنابراین، حل مسائل کمبود منابع طبیعی و آلودگی‌ها و پایداری سامانه‌های تولید- مصرف غذا باید در اولویت سیاست‌های تولید غذا قرار بگیرد. همچنین، به منظور اطمینان از قابلیت زیستی سامانه‌های تولید محصول پایدار، باید سودمندی کشاورزی، در کنار حفاظت از منابع و تولید سالم، در نظر گرفته شود (لمباردی و همکاران ۲۰۲۱).

کشاورزی و انرژی ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند؛ کشاورزی از یک طرف مصرف کننده انرژی و از طرف دیگر، تامین کننده انرژی به شکل زیستی می‌باشد (السوراگابی و همکاران ۲۰۱۹). در وضعیت کنونی کشاورزی، بهره‌وری تولید محصولات به مصرف کارامد انرژی در این بخش بستگی دارد (کائور و همکاران ۲۰۲۱). مصرف انرژی در بخش کشاورزی به دلیل افزایش مکانیزاسیون و کاربرد انرژی‌های تجاری، سریع‌تر از بخش‌های دیگر اقتصادی در جهان افزایش یافته است؛ با این وجود، افزایش مصرف ورودی‌ها به منظور کسب حداکثر عملکرد، ممکن است موجب کاهش پایداری شود؛ زیرا منابع طبیعی در حال کاهش و آلودگی‌های محیطی در حال افزایش است. بنابراین، بهبود کارایی مصرف انرژی به دلیل کاهش اثرات نامطلوب محیطی، از جمله کاهش پایداری، ضرورت دارد. مصرف کارامد منابع و انرژی در بخش کشاورزی، راهکار قابل دستیابی برای کاهش مصرف ورودی‌ها، کاهش ردپای بوم‌شناختی، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، کاهش تخریب منابع محیطی و در نتیجه دستیابی به کشاورزی پایدار است (موسوی اول و همکاران ۲۰۱۱). پایداری در کشاورزی، ایجاد تعادل بین امنیت غذایی و حفظ کیفیت محیط است و عملیات کشاورزی زمانی پایدار است که حافظ کیفیت محیط بوده و مقبولیت اجتماعی و مزایای اقتصادی داشته باشد (کوماراسوامی ۲۰۱۲). دستیابی به این امر نیازمند روش‌های ارزیابی است که اطلاعات مفیدی در خصوص وضعیت نظام و شدت و جهت تغییرات آن در اختیار قرار دهد. این روش‌ها باید شامل جنبه‌های محیطی، اجتماعی و اقتصادی باشد (کوئینترو آنجل و گنزالز آسودو ۲۰۱۸). روش‌های تحلیل محیطی، برای ارزیابی استفاده از منابع، آلودگی‌ها و پایداری در یک نظام به کار می‌روند و شامل تحلیل ورودی- خروجی محیطی، ردپای بوم‌شناختی، ارزش‌گذاری بوم‌شناختی، ارزیابی چرخه حیات، ارزیابی انرژی و ارزیابی امرژی است (پترسون و همکاران ۲۰۱۷).

مزیت روش ارزیابی امرژی نسبت به سایر روش‌ها این است که جریان‌های متنوع انرژی و ماده را به شکل واحدی در نظام مورد مطالعه منعکس می‌کند که نشان دهنده هر دو مورد کمیت و کیفیت آن است (براون و همکاران ۲۰۱۶). تحلیل امرژی با تبدیل تمام جریان‌ها و ذخایر طبیعی و منابع اقتصادی به واحدهای امرژی خورشیدی، پایداری یک بوم نظام را به طور کامل بررسی می‌کند (ادوم ۱۹۹۶). ارزیابی امرژی با تعیین میزان پایداری نظام‌های بوم‌شناختی و اقتصادی پیوسته، فهم ما از این نظام‌ها و چگونگی اثرات متقابل آنها بر هم را افزایش می‌دهد. شاخص‌های امرژی، ابزار خوبی برای تلفیق نظام‌های بوم‌شناختی- اقتصادی هستند و امکان اندازه‌گیری و مقایسه جنبه‌های مختلف این بوم نظام‌ها را فراهم می‌سازند (پترسون و همکاان ۲۰۱۷). این شاخص‌ها قادر به تعیین میزان کارآیی، تجدیدپذیری، فشار محیطی و پایداری محیطی و اقتصادی یک سامانه هستند (ادوم ۲۰۰۰ و براون و اولجیاتی ۲۰۰۴). امرژی، نشان دهنده مقدار کل انرژی مصرفی در یک نظام است و امرژی خورشیدی، مقدار

انرژی خورشیدی در دسترس است که به طورمستقیم یا غیرمستقیم مصرف شده تا به ارائه خدمت یا تولید محصول منجر شود که با امژول خورشیدی بیان می‌شود (ادوم ۱۹۹۶).

تحلیل شاخص‌های امرژی برای ارزیابی پایداری نظام‌های تولید در مقیاس‌های مختلف کاربرد دارد (ژای و همکاران ۲۰۱۷). ارزیابی پایداری تولید محصول بر پایه تحلیل شاخص‌های امرژی در هند و پاکستان نشان داد، ورودی های آب آبیاری و نیروی کارگری، بیشترین سهم از ورودی امرژی کل در هر دو کشور را داشتند و پایداری فعالیت‌های کشاورزی در هر دو کشور پایین بود (علی و همکاران ۲۰۱۹). همچنین، ارزیابی پایداری نظام‌های تولید سیر، پیاز و گندم سیستان با تحلیل شاخص‌های امرژی نشان داد، سهم منابع خریداری شده در هر سه نظام تولید، بیشتر از منابع رایگان محیطی بود. با این وجود، نظام‌های گندم و پیاز از پایداری بیشتری نسبت به نظام تولید سیر برخوردار بودند (یاسینی و همکاران ۲۰۲۰).

سویا، به عنوان محصول دانه روغنی مهم در ایران و جهان، دارای بیشترین پروتئین گیاهی است و کنجاله آن برای دام و طیور نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. استان گلستان، مقام نخست تولید سویا در ایران را دارد؛ به گونه ای که حدود ۷۵ درصد از کل سویای تولیدی در ایران را شامل می شود. میزان تولید و سطح زیر کشت این محصول در استان گلستان، در سال ۲۰۱۵، به ترتیب ۱۵۰۰۰۰ تن دانه و ۵۰۰۰۰ هکتار بود (عالی مقام و همکاران ۲۰۱۷). بخش عمده سویای تولیدی در این استان مربوط به شهرستان های آق قلا و علی‌آباد کتول است. با وجود اهمیت تولید این محصول، هیچ مطالعه‌ای در خصوص ارزیابی پایداری تولید، بر اساس تحلیل امرژی در ایران یافت نشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی و مقایسه کارایی و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی سویا (Glycine max L.) در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول و ارائه پیشنهاداتی برای مدیریت بهینه و پایدار نظام تولید این محصول بود.

مواد و روش‌ها

زمان و مشخصات منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در سال زراعی ۹۹ -۱۳۹۸ در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول، در استان گلستان، انجام شد.

جمع‌آوری داده‌ها

جمع‌آوری داده‌ها از طریق پرسشنامه و مصاحبه چهره به چهره با سویاکاران انجام شد. تعداد پرسشنامه با استفاده از رابطه کوکران (رابطه ۱) تعیین گردید (کوکران ۲۰۰۳).

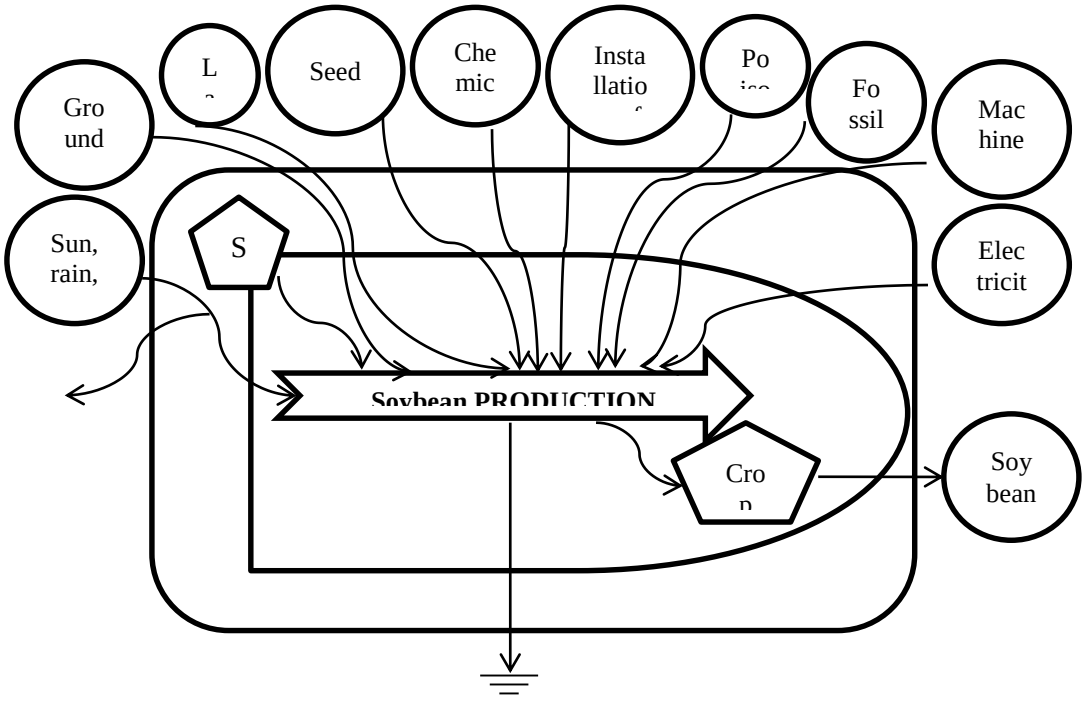
رابطه (۱)

$$n = \frac{\frac{z^2pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}\left(\frac{z^2pq}{d^2}-1\right)}$$

در این راب ، آماری، z خطای معی ، p نسبتی از جمعیت دارای صفتی معین (۰/۵)، q نسبتی از جمعیت فاقد صفتی معین (۰/۵) و d دقت احتمالی قابل قبول بود. انتخاب کشاورزان با روش نمونه برداری تصادفی انجام گرفت.

تحلیل امرژی

برای ارزیابی امرژی در یک نظام، ابتدا، مرزهای مکانی و زمانی، مهم‌ترین ورودی‌های نظام و جریان‌های ماده، انرژی و اقتصادی در آن تعیین می‌شوند (شکل ۱) است (ادوم ۱۹۹۶ و ادوم ۲۰۰۰). بر این اساس، ورودی‌ها به نظام، به محیطی یا غیرمحیطی، خریداری شده یا رایگان و تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر تقسیم می‌شوند (ادوم ۲۰۰۰).



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول

ارزیابی امرژی بر اساس تقسیم تمام ورودی‌ها به چهار گروه ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (R) مانند نور خورشید، باد، باران و تبخیر و تعرق آن، ورودی‌های محیطی که به طور بالقوه تجدیدپذیر هستند، اما به دلیل زمان بسیار زیاد در تجدید یافتن آنها به عنوان ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر در نظر گرفته می‌شوند (N0) مانند فرسایش خاک، تلفات ماده آلی خاک، آب‌های زیرزمینی و تبخیر و تعرق آن، ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر (F_R) و ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر (F_N) می‌باشد (کمپل و لاهری ۱۹۹۸ و اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹). مزارع انتخابی از مرحله آماده‌سازی زمین تا برداشت محصول مورد پایش قرار گرفته و اطلاعاتی شامل سابقه کشاورزی مزرعه، زمان و نوع انجام عملیات آماده‌سازی زمین، روش کاشت، کودپاشی، سم‌پاشی و برداشت، نوع و مقدار نهاده‌های مصرفی مانند کود شیمیایی و سموم شیمیایی، نوع ماشین‌آلات و دفعات استفاده از آنها، نوع و میزان سوخت مصرفی در هر عملیات زراعی، نوع، تعداد و مدت زمان بکارگیری نیروی کارگری و عملکرد ثبت شد. داده‌های مربوط به میزان فرسایش و ماده آلی خاک و داده‌های اقلیمی، به ترتیب از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری و اداره هواشناسی شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول جمع‌آوری گردید (پیوست ۱).

جریان امرژی منابع تجدیدپذیر برای هر کدام از مزارع سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول در این پژوهش، یکسان در نظر گرفته شد. برای تعیین مقدار ورودی کودها و سموم شیمیایی، مقدار ماده موثر آنها محاسبه شد. ضریب تجدیدپذیری نیز برای تمام ورودی ها تعیین شد. این ضریب برای نیروی کارگری، الکتریسیته و بذر سویا در ایران به ترتیب ۰/۱۰، ۰/۰۲ و ۰/۳۷ است (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۲۰). برای محاسبه میزان امرژی خورشیدی ورودی‌ها و خروجی در بوم نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول، ابتدا مقدار مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی در هر کدام از مزارع مورد مطالعه بر حسب واحد جرم (گرم) یا واحد انرژی (ژول) یا واحد پول (ریال)، در هکتار تعیین شد. محاسبات مربوط به وزن ماشین‌آلات (گرم) و مقادیر

انرژی (ژول) ورودی‌های نور خورشید، باد، باران و تبخیرو تعرق آن، فرسایش خاک، تلفات ماده آلی خاک، آب‌های زیرزمینی و تبخیر و تعرق آن، نیروی کارگری، سوخت فسیلی و الکتریسیته در پیوست الف نشان داده شده است. معادل انرژی عملکرد اقتصادی سویا (گرم) ۱۰۴×۱/۵۰ ژول در گرم در نظر گرفته شد (عالی‌مقام و همکاران ۲۰۱۷). تمام محاسبات مربوط به تحلیل امرژی، توسط نرم افزار EXCEL 2019 انجام شد.

پس از تعیین مناسب‌ترین ضریب تبدیل امرژی خورشیدی برای هر ورودی، مقدار امرژی خورشیدی از طریق ضرب مقدار عددی آن ورودی در ضریب تبدیل مربوطه‌اش محاسبه گردید (ادوم ۲۰۰۰). ارزیابی امرژی در این پژوهش بر اساس ضریب سیاره‌ای ۱۰۲۴×۱۲/۰۰ امژول خورشیدی در سال انجام گرفت و ضرایب تبدیل نیز بر این اساس تعیین شد (براون و همکاران ۲۰۱۶). ورودی امرژی کل در هر مزرعه با جمع مقادیر امرژی تمام ورودی‌ها به آن مزرعه محاسبه گردید. سپس، ورودی امرژی و خروجی امرژی برای هر یک از بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول با میانگین‌گیری از تمام مزارع مورد مطالعه محاسبه گردید. در نهایت، شاخص‌های ضریب تبدیل، نسبت عملکرد امرژی، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی، نسبت بارگذاری محیطی و شاخص پایداری امرژی، برای ارزیابی کارایی و پایداری بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول محاسبه شد.

جدول ۱- معادلات و خصوصیات شاخص‌های امرژی برای ارزیابی بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول

منبع	خصوصیات	فرمول	شاخص
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان	R	ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	جریان‌های بالقوه تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان که به عنوان تجدیدناپذیر در نظر گرفته می‌شوند	N0	ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع خریداری شده	F_R	ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع خریداری شده	F_N	ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	کل منابع امرژی مورد نیاز برای حمایت از نظام تولید	$U=R+N0+F_R+F_N$	ورودی امرژی کل
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	امرژی کل تولیدات نظام	$Y= R+N0+F_R+F_N$	خروجی امرژی کل
براون و اولجیاتی ۲۰۰۴	مقدار امرژی برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول است. AE انرژی قابل استفاده محصول است	$Tr = \frac{U}{AE}$	ضریب تبدیل
ادوم ۲۰۰۰	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی	$EYR = \frac{Y}{FR + FN}$	نسبت عملکرد امرژی
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	مقیاس شدت سرمایه‌گذاری اقتصادی و کاربرد منابع محیطی	$EIR = \frac{FR + FN}{R + N0}$	نسبت سرمایه گذاری امرژی
لو و همکاران ۲۰۱۴	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام	$ELR^* = \frac{N0 + FN}{R + FR}$	نسبت بارگذاری محیطی
لو و همکاران ۲۰۱۴	مقیاسی از پایداری نظام	$ESI^* = \frac{EYR}{ELR^*}$	شاخص پایداری امرژی

نتایج و بحث

ارزیابی ساختار امرژی ورودی و شاخص‌های امرژی: مقادیر امرژی مهم‌ترین جریان‌های محیطی و ورودی‌های خریداری شده و سهم هر یک از آنها از ورودی امرژی کل در بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- منابع طبیعی و اقتصادی، تجدیدپذیری، ضریب تبدیل و امرژی خورشیدی سویا در شهرستان آق‌قلا

منابع ضریب تبدیل	امرژی خورشیدی (٪)	امرژی خورشیدی (امژول خورشیدی/هکتار/سال)	ضریب تبدیل خورشیدی (امژول خورشیدی/واحد)	ضریب تجدیدپذیری	جریان یک‌ساله خام	واحد	متغیر
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر							
ادوم ۱۹۹۶	۰/۰۴	۲/۶۴×۱۰^۱۴	۱	۱	۲/۶۴×۱۰^۱۳	ژول	انرژی تابشی خورشید
امیری و همکاران ۲۰۲۱		۴/۱۰×۱۰^۱۳	۱/۲۵×۱۰^۳	۱	۳/۲۸×۱۰^۱۰	ژول	انرژی جنبشی باد
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۱/۰۰	۶/۲۱×۱۰^۱۴	۲/۲۵×۱۰^۴	۱	۲/۷۶×۱۰^۱۰	ژول	انرژی شیمیایی باران
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹		۶/۰۸×۱۰^۱۴	۲/۸۸×۱۰^۴	۱	۲/۱۱×۱۰^۱۰	ژول	تبخیر و تعرق باران
	۱/۰۴	۶/۴۷×۱۰^۱۴					جمع
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر							
کوآدرا و ریدبرگ ۲۰۰۶	۳۹/۶۱	۲/۴۶×۱۰^۱۶	۱/۹۲×۱۰^۵	۰	۱/۲۸×۱۰^۱۱	ژول	آب‌های زیرزمینی
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۳/۹۱	۲/۴۳×۱۰^۱۵	۲/۸۸×۱۰^۴	۰	۸/۴۳×۱۰^۱۰	ژول	تبخیر و تعرق آب‌های زیززمینی
برند ویلیامیز ۲۰۰۲	۷/۱۳	۴/۴۵×۱۰^۱۵	۹/۳۶×۱۰^۴	۰	۴/۷۵×۱۰^۱۰	ژول	تلفات ماده آلی و خاک
ادوم ۱۹۹۶	۲۵/۱۲	۱/۵۶×۱۰^۱۶	۱/۲۷×۱۰^۹	۰	۱/۲۳×۱۰^۷	ژول	فرسایش خاک
	۷۵/۷۷	۴/۷۱×۱۰^۱۶					جمع
ورودی‌های بازاری							
برند ویلیامیز ۲۰۰۲	۳/۴۳	۲/۱۳×۱۰^۱۵	۳/۰۹×۱۰^۱۰	۰	۶/۹۰×۱۰^۴	گرم	کود نیتروژن
لن و همکاران ۲۰۰۲	۰/۰۳	۱/۹۶×۱۰^۱۳	۳/۹۱×۱۰^۹	۰	۵/۰۰×۱۰^۳	گرم	کود میکرو
ادوم ۱۹۹۶	۵/۷۲	۳/۵۵×۱۰^۱۵	۲/۹۶×۱۰^۸	۰/۸۰	۱/۲۰×۱۰^۷	گرم	کود آلی
هو و همکاران ۲۰۱۰	۰/۱۸	۱/۱۳×۱۰^۱۴	۱/۸۹×۱۰^۱۰	۰	۶/۰۰×۱۰^۳	گرم	حشره‌کش
کمپل و همکاران ۲۰۰۵	۰/۱۳	۷/۸۵×۱۰^۱۳	۱/۰۱×۱۰^۱۰	۰	۷/۷۷×۱۰^۳	گرم	ماشین‌آلات
ادوم ۱۹۹۶	۰/۷۲	۴/۴۸×۱۰^۱۴	۸/۶۰×۱۰^۴	۰	۵/۲۱×۱۰^۹	ژول	سوخت فسیلی و روغن
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۰/۴۴	۲/۷۰×۱۰^۱۴	۲/۳۱×۱۰^۵	۰/۰۲	۱/۱۷×۱۰^۹	ژول	الکتریسیته
لو و همکاران ۲۰۰۹	۱/۹۳	۱/۲۰×۱۰^۱۵	۲/۲۲×۱۰^۶	۰/۱۰	۵/۴۱×۱۰^۸	ژول	نیروی کارگری
امیری و همکاران ۲۰۲۰	۱/۳۶	۸/۴۵×۱۰^۱۴	۲/۵۰×۱۰^۸	۰	۳/۳۸×۱۰^۶	ریال	دستگاه نصب سیستم آبیاری
لن و همکاران ۲۰۰۲	۹/۲۵	۵/۷۵×۱۰^۱۵	۶/۷۶×۱۰^۷	۰/۳۷	۸/۵۰×۱۰^۷	ریال	بذر
	۲۳/۱۹	۱/۴۴×۱۰^۱۶					جمع
	۱۰۰/۰۰	۶/۲۱×۱۰^۱۶					**جمع کل**
محاسبه شده		۶/۲۱×۱۰^۱۶	۱/۴۸×۱۰^۶		۴/۲۰×۱۰^۱۰	ژول	عملکرد اقتصادی

جدول ۳- منابع طبیعی و اقتصادی، تجدیدپذیری، ضریب تبدیل و امرژی خورشیدی سویا در شهرستان علی‌آباد کتول

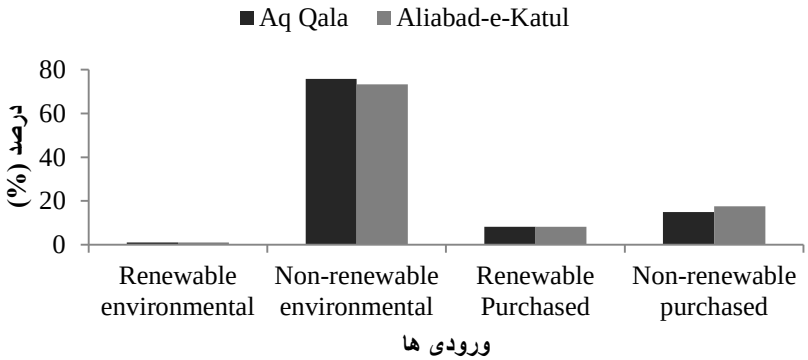
منابع ضریب تبدیل	امرژی خورشیدی	امرژی خورشیدی (امژول خورشیدی /هکتار/سال)	ضریب تبدیل خورشیدی (امژول خورشیدی/واحد)	ضریب تجدیدپذیری	جریان یکساله خام	واحد	
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر							
ادوم ۱۹۹۶	۰/۰۴	۲/۵۰×۱۰^{۱۳}	۱	۱	۲/۵۰×۱۰^{۱۳}	ژول	انرژی تابشی خورشید
امیری و همکاران ۲۰۲۱		۷/۵۰×۱۰^{۱۲}	۱/۲۵×۱۰^{۳}	۱	۶/۰۰×۱۰^{۹}	ژول	انرژی جنبشی باد
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹		۵/۴۷×۱۰^{۱۴}	۲/۲۵×۱۰^{۴}	۱	۲/۴۳×۱۰^{۱۰}	ژول	انرژی شیمیایی باران
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۰/۹۵	۶/۰۸×۱۰^{۱۴}	۲/۸۸×۱۰^{۴}	۱	۲/۱۱×۱۰^{۱۰}	ژول	تبخیر و تعرق باران
	۰/۹۹	۶/۳۳×۱۰^{۱۴}					جمع
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر							
کوآدرا و ریدبرگ ۲۰۰۶	۳۸/۳۲	۲/۴۶×۱۰^{۱۶}	۱/۹۲×۱۰^{۵}	۰	۱/۲۸×۱۰^{۱۱}	ژول	آب‌های زیرزمینی
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۳/۷۹	۲/۴۳×۱۰^{۱۵}	۲/۸۸×۱۰^{۴}	۰	۸/۴۳×۱۰^{۱۰}	ژول	تبخیر و تعرق آب‌های زیززمینی
برند ویلیامیز ۲۰۰۲	۶/۸۲	۴/۴۵×۱۰^{۱۵}	۹/۳۶×۱۰^{۴}	۰	۴/۷۵×۱۰^{۱۰}	ژول	تلفات ماده آلی و خاک
ادوم ۱۹۹۶	۲۴/۳۰	۱/۵۶×۱۰^{۱۶}	۱/۲۷×۱۰^{۹}	۰	۱/۲۳×۱۰^{۷}	ژول	فرسایش خاک
	۷۳/۲۳	۴/۷۱×۱۰^{۱۶}					جمع
ورودی‌های بازاری							
برند ویلیامیز ۲۰۰۲	۳/۳۲	۲/۱۳×۱۰^{۱۵}	۳/۰۹×۱۰^{۱۰}	۰	۶/۹۰×۱۰^{۴}	گرم	کود نیتروژن
لن و همکاران ۲۰۰۲	۰/۰۳	۱/۹۶×۱۰^{۱۳}	۳/۹۱×۱۰^{۹}	۰	۵/۰۰×۱۰^{۳}	گرم	کود میکرو
ادوم ۱۹۹۶	۵/۵۳	۳/۵۵×۱۰^{۱۵}	۲/۹۶×۱۰^{۸}	۰/۸۰	۱/۲۰×۱۰^{۷}	گرم	کود آلی
هو و همکاران ۲۰۱۰	۰/۱۸	۱/۱۳×۱۰^{۱۴}	۱/۸۹×۱۰^{۱۰}	۰	۶/۰۰×۱۰^{۳}	گرم	حشره‌کش
کمپل و همکاران ۲۰۰۵	۰/۱۴	۸/۸۴×۱۰^{۱۳}	۱/۰۱×۱۰^{۱۰}	۰	۸/۷۵×۱۰^{۳}	گرم	ماشین‌آلات
ادوم ۱۹۹۶	۱/۵۵	۹/۹۸×۱۰^{۱۴}	۸/۶۰×۱۰^{۴}	۰	۱/۱۶×۱۰^{۱۰}	ژول	سوخت فسیلی و روغن
اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹	۰/۴۲	۲/۷۰×۱۰^{۱۴}	۲/۳۱×۱۰^{۵}	۰/۰۲	۱/۱۷×۱۰^{۹}	ژول	الکتریسیته
لو و همکاران ۲۰۰۹	۴/۳۳	۲/۷۸×۱۰^{۱۵}	۲/۲۲×۱۰^{۶}	۰/۱۰	۱/۲۵×۱۰^{۹}	ژول	نیروی کارگری
امیری و همکاران ۲۰۲۰	۱/۳۲	۸/۴۵×۱۰^{۱۴}	۲/۵۰×۱۰^{۸}	۰	۳/۳۸×۱۰^{۶}	ریال	دستگاه نصب سیستم آبیاری
لن و همکاران ۲۰۰۲	۸/۹۶	۵/۷۵×۱۰^{۱۵}	۶/۷۶×۱۰^{۷}	۰/۳۷	۸/۵۰×۱۰^{۷}	ریال	بذر
	۲۵/۷۸	۱/۶۵×۱۰^{۱۶}					جمع
	۱۰۰/۰۰	۶/۴۲×۱۰^{۱۶}					**جمع کل**
محاسبه شده		۶/۴۲×۱۰^{۱۶}	۱/۴۸×۱۰^{۶}		۴/۸۰×۱۰^{۱۰}	ژول	عملکرد اقتصادی

امرژی خورشیدی برای هر ورودی، با ضرب مقدار آن ورودی در ضریب تبدیل امرژی خورشیدی مربوط به آن به دست آمده است. ورودی امرژی کل، به عنوان امرژی کل حمایت کننده بوم‌نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب برابر با ۶/۲۱×۱۰^{۱۶} امژول خورشیدی در هکتار (جدول ۲) و

$۶/۴۲\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار (جدول ۳) محاسبه شد که نشان می‌دهد تراکم امرژی در نظام تولید سویا در شهرستان علی‌آباد کتول بیشتر از نظام تولید این محصول در شهرستان آق قلا است. این مقدار برای نظام‌های تولید پاییزه و بهاره سیب زمینی در شهرستان گرگان، به ترتیب $۱/۷۱\times۱۰^{۱۶}$ و $۱/۷۶\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود (شاه حسینی و همکاران ۲۰۲۰).

ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

این ورودی‌ها شامل انرژی تابشی خورشید، انرژی جنبشی باد، انرژی شیمیایی باران و تبخیر و تعرق باران هستند. سهم این ورودی‌ها از ورودی امرژی کل در بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب ۱/۰۴ و ۰/۹۹ درصد بود (شکل ۲) که نشان دهنده سهم کم منابع محیطی تجدیدپذیر در تولید سویا در این دو شهرستان است.



شکل ۲- سهم ورودی‌های محیطی و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول

با وجود سهم کم منابع محیطی تجدیدپذیر از ورودی امرژی کل در هر دو نظام مورد مطالعه، این مقدار در آق‌قلا بسیار بیشتر از علی‌آباد کتول بود که نشان دهنده وابستگی بیشتر نظام زراعی سویا در شهرستان آق قلا به منابع محیطی تجدیدپذیر و در نتیجه شرایط پایدارتر تولید برای این نظام در مقایسه با نظام تولید سویا در شهرستان علی‌آباد کتول، از حیث اتکا به منابع محیطی تجدیدپذیر بود. بیشترین مقدار امرژی بین منابع تجدیدپذیر محیطی در بوم‌نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب مربوط به انرژی شیمیایی باران و تبخیر و تعرق باران بود (به ترتیب جدول‌های ۲ و ۳). ورودی‌های محیطی قابل‌تجدید به‌طور مستقیم از انرژی نور خورشید منشعب می‌شوند. لذا به‌منظور اجتناب از شمارش مضاعف، حاصل جمع ورودی محیطی تجدیدپذیر با بیشترین مقدار امرژی و امرژی ورودی نور خورشید، به‌عنوان امرژی محیطی تجدیدپذیر کل در نظر گرفته می‌شود (امیری و همکاران ۲۰۲۱) که در این تحقیق، برای دو نظام تولید سویا در آق‌قلا و علی آباد کتول به ترتیب انرژی شیمیایی باران و تبخیر و تعرق آن بود. این امر به دلیل بیشتر بودن دوره رشد محصول سویا در فصل پاییز و زمستان در شهرستان آق قلا نسبت به علی‌آباد کتول است که موجب شده، تولید سویا در آق قلا در مقایسه با علی آباد کتول به میزان بیشتری از بارندگی بهره‌مند شود. در مطالعه ارزیابی پایداری تولید کلزا در کلاله مشخص شد که بیشترین میزان امرژی بین ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر، متعلق به باران بود (لطفی و همکاران ۲۰۲۲).

ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر (N0)

بین ورودی‌های محیطی و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، بیشترین سهم از ورودی امرژی کل در هر دو نظام زراعی سویا در آق قلا و علی آباد کتول به ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر تعلق داشت (۷۵/۷۷ و ۷۳/۲۳ درصد، به ترتیب برای نظام های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول) (شکل ۲). سهم بسیار بالای این

ورودی در هر دو بوم نظام زراعی نشان دهنده این موضوع است که هزینه‌های محیطی تولید سویا در آنها بحرانی است. بیشترین ورودی محیطی تجدیدناپذیر در هر دو نظام تولید سویا در آق‌قلا و علی آباد کتول، آب زیرزمینی بود. همچنین در میان تمام ۱۸ ورودی در نظر گرفته شده در این پژوهش، سهم آب زیرزمینی از ورودی امرژی کل در هر دو نظام تولید سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول، بالاترین مقدار بود (به ترتیب جدول‌های ۲ و ۳). علت اصلی این امر، نیاز آبی زیاد سویا، در کنار کشت آن در فصل تابستان و افزایش نیاز به آبیاری به دلیل تبخیر و تعرق زیاد و بارندگی کم در این فصل در مناطق مورد مطالعه می‌باشد. استفاده از ارقام زودرس سویا با دوره رشد کوتاه‌تر و نیاز آبی کمتر در کاهش مصرف آب موثر خواهد بود. فرسایش خاک دومین سهم را هم از ورودی محیطی تجدیدناپذیر و هم از ورودی امرژی کل، در هر دو نظام زراعی سویا در آق قلا و علی آباد کتول داشت. اجرای روش های خاک‌ورزی حفاظتی و کاربرد ماشین‌آلات چند منظوره، با هدف کاهش دفعات ورود آنها به مزرعه، در کنار به کار بردن کودهای آلی، در جلوگیری از افزایش فرسایش و اتلاف ماده آلی خاک و در نتیجه کاهش ورودی امرژی به مزارع موثر است. سهم فرسایش خاک از ورودی امرژی کل، برای تولید پاییزه و بهاره سیب زمینی در گرگان، به ترتیب ۳/۱۸ و ۳/۰۹ درصد گزارش شده است (شاه حسینی و همکاران ۲۰۲۰).

ورودی های خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر (F_R, F_N)

ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر، کمترین سهم را میان ورودی های محیطی و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در هر دو نظام زراعی داشت (۸/۲۱ و ۸/۱۸ درصد، به ترتیب در نظام های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول)؛ با این وجود، سهم ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر، بسیار زیادتر از آن (۱۴/۹۸ و ۱۷/۶۰ درصد، به ترتیب در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول) بود (شکل ۲)، که نشان دهنده وابستگی زیاد ورودی های خریداری شده به منابع تجدیدناپذیر و در نتیجه فشار به محیط، برای تولید سویا در هر دو شهرستان مورد مطالعه است. سهم کل ورودی‌های خریداری شده از ورودی امرژی کل در هر دو نظام تولید (۲۳/۱۹ و ۲۵/۷۸ درصد، به ترتیب در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول)، کمتر از ورودی‌های محیطی رایگان بود. این امر نشان دهنده این موضوع است که تأثیر ورودی های خریداری شده از بازار بر تولید سویا زیاد نیست. با این وجود، سهم برخی ورودی‌های خریداری شده در این پژوهش، قابل توجه بود (جدول های ۲ و ۳). بنابراین مدیریت و مصرف بهینه این ورودی‌های خریداری شده، به ویژه ورودی‌های تجدیدناپذیر، به منظور کنترل و کاهش سهم منابع تجدیدناپذیر در تولید محصول ضروری است. میزان ورودی امرژی خریداری شده برای نظام زراعی سیب‌زمینی در چین $۹/۶۰\times۱۰^{۱۵}$ امژول خورشیدی در هکتار محاسبه شد (ژای و همکاران ۲۰۱۷).

ورودی بذر، اولین سهم بین ورودی های خریداری شده از ورودی امرژی کل به نظام زراعی سویا در هر دو شهرستان را داشت (به ترتیب ۹/۲۵ و ۸/۹۶ درصد در آق قلا و علی آباد کتول) (به ترتیب جدول های ۲ و ۳). بر اساس اطلاعات پرسش‌نامه‌ها، بذرکاری سویا در اغلب مزارع هر دو شهرستان به صورت دستی و بیشتر از مقدار توصیه شده بود. آموزش کشاورزان در خصوص نحوه کاشت مناسب و کاربرد ماشین‌آلات کاشت (تا حد امکان)، در کاهش مصرف این ورودی و در نتیجه کاهش ورودی امرژی و افزایش کارآیی در نظام تولید محصول، موثر است. تشویق و حمایت مالی از کشاورزان، مانند اعطای وام کم بهره، برای خرید ماشین های کاشت مناسب در این خصوص حائز اهمیت است. کود آلی، دومین سهم را بین ورودی‌های خریداری شده از ورودی امرژی کل در هر دو نظام مورد مطالعه در آق قلا (۵/۷۲ درصد) و علی‌آباد کتول (۵/۵۳ درصد) داشت. این مقادیر بیشتر از مقدار کل کودهای شیمیایی مورد استفاده در بوم‌نظام‌های زراعی سویا است که نشان دهنده سلامت نسبی این محصول از لحاظ میزان مصرف کودهای شیمیایی در هر دو شهرستان مورد مطالعه است. سهم ورودی نیروی کارگری از کل

ورودی امرژی، در تولید سویا در علی آباد کتول، بیش از دو برابر تولید این محصول در آق‌قلا بود (۴/۳۳ و ۱/۹۳ درصد، به ترتیب در نظام های زراعی سویا در شهرستان‌های علی‌آباد کتول و آق‌قلا) که اغلب به دلیل دستی بودن برداشت در اغلب مزارع مورد مطالعه در شهرستان علی‌آباد کتول بود. کاربرد ماشین‌آلات مدرن برداشت سویا، در کاهش این ورودی و همچنین کیفیت بیشتر محصول و کاهش خسارت در زمان برداشت، موثر خواهد بود. میزان امرژی نیروی کارگری برای نظام‌های معیشتی و تجاری تولید کلزا در شهرستان خرم‌آباد به ترتیب $۹/۷۵\times۱۰^{۱۴}$ و $۵/۰۶\times۱۰^{۱۴}$ امژول خورشیدی در هکتار محاسبه شد (امیری و همکاران ۲۰۱۹).

اگرچه سهم سوخت‌های فسیلی از ورودی امرژی کل در هر دو نظام مورد مطالعه زیاد نبود، اما مقدار آن برای تولید سویا در علی‌آباد کتول بیش از دو برابر آق‌قلا (به ترتیب ۱/۵۵ و ۰/۷۲ درصد در علی‌آباد کتول و آق‌قلا) بود. براساس مطالعات میدانی، موتورهای آبیاری در اغلب مزارع در شهرستان علی‌آباد کتول، گازوئیلی و فرسوده بودند. همچنین، عملیات مکرر خاک‌ورزی و کاربرد ماشین‌آلات فرسوده، به ویژه تراکتور، در اغلب مزارع در این شهرستان، موجب افزایش مصرف سوخت و در نتیجه بالا رفتن سهم این ورودی در تولید سویا در این شهرستان شد. آموزش و تشویق کشاورزان به کاربرد روش‌های خاک‌ورزی مناسب، نوسازی ماشین‌آلات و موتورهای گازوئیلی آبیاری یا برقی کردن آنها، می‌تواند در کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش ورودی امرژی به نظام‌های تولید سویا موثر باشد. سهم سموم شیمیایی از ورودی امرژی کل در هر دو نظام تولید سویا در شهرستان های آق‌قلا و علی‌آباد کتول، پایین (۰/۱۸ درصد در هر دو شهرستان) بود که نشان می‌دهد تولید سویا از لحاظ کاربرد سموم شیمیایی نیز از سلامت نسبی برخوردار است. عدم کاربرد علف‌کش در کنار کنترل دستی علف‌های هرز و عدم شیوع آفت و بیماری، در کاهش قابل توجه سهم این ورودی در تولید سویا موثر بود. ارزیابی پایداری تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره بر اساس تحلیل امرژی در گرگان نشان داد، سهم سموم شیمیایی به کار رفته، برای تولید این محصول، از ورودی امرژی کل به ترتیب ۰/۱۵ و ۰/۰۳ درصد بود (شاه حسینی و همکاران ۲۰۲۰).

ضریب تبدیل (Tr)

متوسط عملکرد اقتصادی در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب ۲۸۰۰ و ۳۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که کارآیی این دو نظام تولید در تبدیل ورودی‌ها به خروجی اقتصادی را نشان می‌دهد. همچنین امرژی اختصاص یافته به عملکرد اقتصادی در نظام‌های تولید سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب $۶/۲۱\times۱۰^{۱۶}$ و $۶/۴۲\times۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار برآورد شد. ضریب تبدیل، بیان‌گر کارآیی تولید در یک نظام کشاورزی است. مقادیر کمتر این شاخص نشان دهنده عملکرد و کارآیی بیشتر تولید از جهت رقابت های محیطی و اقتصادی است؛ به این معنی که به ازای هر واحد از محصول خروجی، ورودی امرژی کمتری اختصاص یافته است (ادوم ۲۰۰۰). مقدار ضریب تبدیل در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی آباد کتول به ترتیب $۱/۴۸\times۱۰^{۶}$ و $۱/۳۴\times۱۰^{۶}$ امژول خورشیدی بر ژول (جدول ۴) بود که نشان می‌دهد بوم‌نظام زراعی سویا در شهرستان علی‌آباد کتول از کارآیی تولید بالاتری نسبت به بوم‌نظام زراعی این محصول در شهرستان آق‌قلا برخوردار است. مقدار ضرایب تبدیل تولید سویا در این تحقیق کمتر از مقادیر $۶/۷۳\times۱۰۸$، $۴/۱۹\times۱۰۶$ و $۷/۱۲\times۱۰۶$ امژول خورشیدی بر ژول به ترتیب برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان بود (یاسینی و همکاران ۲۰۲۰).

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های امرژی در بوم نظام‌های زراعی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول

علی‌آباد کتول	آق قلا	واحد	شاخص
۱/۴۸×۱۰^{۶}	۱/۴۸×۱۰^{۶}	امژول خورشیدی بر ژول	ضریب تبدیل
۳/۸۹	۴/۳۱	-	نسبت عملکرد امرژی
۰/۳۵	۰/۳۰	-	نسبت سرمایه گذاری امرژی
۱۰۰/۴۷	۹۵/۰۵	-	نسبت بارگذاری محیطی
۰/۰۴	۰/۰۵	-	شاخص پایداری امرژی

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

این شاخص نشان دهنده کارآیی مصرف منابع و توانایی یک نظام در مصرف منابع محیطی رایگان، از طریق سرمایه‌گذاری در منابع خریداری شده می باشد و مقادیر بیشتر آن نشان دهنده جذب بیشتر امرژی محیطی در سامانه است (براون و اولجیاتی ۲۰۰۴). مقدار EYR در این تحقیق برای نظام های زراعی سویا در آق قلا و علی آباد کتول به ترتیب ۴/۳۱ و ۳/۸۹ بود (جدول ۴)، که نشان می‌دهد، نظام زراعی سویا در آق قلا از کارآیی مصرف منابع بالاتری نسبت به نظام زراعی این محصول در علی‌آباد کتول برخوردار است. کمترین مقدار برای EYR یک است که در این شرایط، سهم منابع محیطی در یک نظام تولید، کمترین مقدار و وابستگی به منابع خریداری شده در بالاترین مقدار است؛ بنابراین، مقادیر بیشتر این شاخص، مطلوب‌تر است (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹). اجرای راهکارهای کاهش مصرف ورودی‌های خریداری شده، برای مثال، نوسازی ماشین آلات و موتورهای آبیاری برای افزایش راندمان و در نتیجه کاهش مصرف سوخت (به عنوان ورودی خریداری شده) موجب افزایش این شاخص و در نتیجه کارآیی مصرف بیشتر در نظام‌های زراعی خواهد شد. مقدار EYR برای هر دو نظام زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول در این پژوهش بسیار بیشتر از مقادیر ۱/۱۷، ۱/۲۰، ۱/۲۸، ۱/۱۷ و ۱/۲۸ به ترتیب برای نظام های تولید با ورودی زیاد، ورودی متوسط، ورودی کم، تلفیقی و بوم شناختی تولید لوبیا در خرم‌دشت (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹) به‌دست آمد که نشان دهنده کارایی مصرف منابع بیشتر در نظام‌های تولید سویا در آق‌قلا و علی آباد کتول در مقایسه با نظام‌های تولید مذکور است.

نسبت سرمایه گذاری امرژی (EIR)

EIR، نشان دهنده میزان سرمایه‌گذاری یک نظام تولید در منابع اقتصادی و میزان وابستگی آن به محیط می‌باشد (ادوم ۲۰۰۰). مقدار EIR در این پژوهش برای نظام های زراعی سویا در آق‌قلا و علی آباد کتول به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۳۵ بود (جدول ۴) که نشان دهنده کارآیی بالاتر نظام زراعی سویا در آق قلا نسبت به علی آباد کتول می باشد؛ زیرا مقادیر کمتر برای این شاخص در یک سامانه، نشان دهنده هزینه های اقتصادی کمتر و وابستگی بیشتر به محیط بوده و مطلوب تر است (ادوم ۲۰۰۰). بنابراین، افزایش سهم منابع محیطی در نظام تولید و کاهش مصرف ورودی‌های اقتصادی و جایگزین کردن این ورودی ها با منابع محیطی، مانند استفاده از منابع انرژی محیطی در تامین الکتریسیته و سوخت یا کنترل زیستی آفات، در کاهش این شاخص و افزایش کارآیی اقتصادی و پایداری موثر است. مقدار EIR در این تحقیق برای هر دو نظام تولید سویا در آق‌قلا و علی آباد کتول کمتر از مقادیر ۲/۲۹ و ۰/۹۴ به ترتیب برای نظام های پاییزه و بهاره تولید سیب‌زمینی در شهرستان گرگان (شاه حسینی و همکاران ۲۰۲۰) بود که نشان دهنده کارایی بیشتر نظام‌های تولید سویا در شهرستان‌های آق قلا و علی‌آباد کتول در مقایسه با نظام‌های تولید مذکور است.

نسبت بارگذاری محیطی (ELR*)

ELR* بیان‌گر رابطه میان امرژی تجدیدپذیر کل و امرژی تجدیدناپذیر کل و مقیاس معکوسی از پایداری می‌باشد. بنابراین، مقادیر پایین‌تر این شاخص، مطلوب‌تر است (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹). مقدار ELR* برای بوم نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب ۹/۸۱ و ۹/۹۳ بود (جدول ۴) که نشان دهنده فشار محیطی کمتر در نظام زراعی سویا در آق‌قلا نسبت به علی‌آباد کتول است. در شاخص ELR*، مقادیر ۲>، ۱۰-۲ و ۱۰< به ترتیب نشان دهنده فشار محیطی پایین، متوسط و بالا هستند (براون و اولجیاتی ۲۰۰۴). این شاخص بر عدم سنخیت بین منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تاکید داشته و به عنوان مکملی برای شاخص ضریب تبدیل است (مارتین و همکاران ۲۰۰۶). افزایش امکانات و تجهیزات مورد نیاز برای تامین انرژی‌های محیطی تجدیدپذیر مانند نور خورشید و باد، برای مصارفی مانند تامین الکتریسیته مورد نیاز برای موتورهای آبیاری، در کاهش سهم ورودی های تجدیدناپذیر و در نتیجه افزایش پایداری محیطی در بوم نظام های زراعی سویا در آق قلا و علی آباد کتول موثر است. به دلیل اینکه ELR*، نسبت ورودی های تجدیدناپذیر به ورودی های تجدیدپذیر است، کاهش سهم منابع تجدیدناپذیر موجب کاهش این شاخص و پایداری بیشتر بوم‌نظام در بلندمدت نیز می‌شود؛ زیرا دسترسی به منابع تجدیدناپذیر با گذشت زمان کاهش می یابد. مقدار ELR* در این پژوهش برای نظام های زراعی سویا در آق‌قلا و علی آباد کتول کمتر از مقادیر ۲۸/۸۱، ۲۰/۰۰ و ۱۱/۴۷ به ترتیب برای نظام های تولید با ورودی زیاد، متوسط و کم تولید لوبیا در خرم‌دشت و بیشتر از مقادیر ۰/۶۲، ۱/۵۰ و ۱/۳۸ به ترتیب برای تولید برنج، سبزیجات و تناوب برنج و سبزیجات در چین (لو و همکاران ۲۰۱۰) بود.

شاخص پایداری امرژی (ESI*)

کمترین و بیشترین مقدار برای این شاخص به ترتیب صفر و بی‌نهایت است (لو و همکاران ۲۰۱۴). مقدار این شاخص برای نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۳۹ بود (جدول ۴). شاخص ESI* به بررسی بوم‌شناختی یک نظام تولید ولی از منظر متفاوت پرداخته و مقادیر بیشتر هر دو شاخص نشان دهنده پایداری بوم‌شناختی بیشتر سامانه است. در شاخص ESI* مقادیر ۱۰>، ۱۰-۱ و ۱< به ترتیب نشان دهنده نظام پایدار با فشار بسیار پایین، نظام های زنده و خوب و نظام‌های از بین برنده منابع هستند (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹). مقدار ESI* در نظام زراعی سویا در آق‌قلا بیشتر از نظام زراعی این محصول در علی‌آباد کتول بود که نشان دهنده پایداری بیشتر تولید سویا در آق قلا در مقایسه با تولید این محصول در علی آباد کتول است. با توجه به اهمیت پایداری محیطی برای حفظ سودمندی اقتصادی یک سامانه تولید، مطلوب‌ترین سیاست برای تولید سویا در شهرستان‌های آق‌قلا و علی‌آباد کتول، حفظ تعادل بین سودمندی اقتصادی و پایداری محیطی در آن است. ESI* نشان دهنده پایداری محیطی نظام بوده و مقادیر بیشتر آن مطلوب‌تر است (امیری و همکاران ۲۰۱۹). افزایش سهم منابع تجدیدپذیر، از طریق کاربرد منابع تجدیدپذیر به جای منابع تجدیدناپذیر در تامین ورودی‌های اقتصادی، در کاهش فشار و افزایش پایداری محیطی و در نتیجه افزایش ESI* در نظام‌های زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول موثر است. مقادیر ESI* در این پژوهش بیشتر از مقادیر ۰/۱۹ برای نظام تولید کلزا در کلاله (لطفی و همکاران ۲۰۲۲) و ۰/۲۴۶، ۰/۲۳۴، ۰/۲۲۹ و ۰/۲۱۸، به ترتیب برای نظام های گلخانه ای تولید خیار، گوجه فرنگی، فلفل دلمه ای و بادمجان در جیرفت (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰) بود.

نتیجه گیری

تراکم امرژی در بوم‌نظام زراعی سویا در شهرستان علی‌آباد کتول بیشتر از آق قلا بود. ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر، سهم بسیار بیشتری از ورودی امرژی کل را نسبت به ورودی های محیطی تجدیدپذیر، خریداری شده تجدیدپذیر و خریداری شده تجدیدناپذیر در هر دو بوم‌نظام زراعی سویا در آق‌قلا و علی‌آباد کتول داشت که به دلیل سهم زیاد آب زیرزمینی و فرسایش خاک از

ورودی امرژی کل بود. ارزیابی شاخص های امرژی نشان داد، تولید سویا در شهرستان آق قلا از لحاظ اغلب شاخص های امرژی شامل کارآیی مصرف منابع، کارآیی اقتصادی، پایداری محیطی و پایداری اقتصادی نسبت به علی آباد کتول برتری داشت و فقط کمی از لحاظ کارایی تولید پایین تر بود که به دلیل عملکرد کمتر سویا در آق قلا نسبت به علی آباد کتول بود. مدیریت دقیق تولید محصول، مانند اجرای صحیح عملیات خاک‌ورزی، آبیاری کافی و در زمان مناسب و مبارزه با آفات و علف‌های هرز در مناسب‌ترین زمان، در افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش کارایی تولید در نظام زراعی سویا در آق‌قلا موثر است. همچنین، اجرای راهکارهای توصیه شده برای کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر و استفاده از منابع تجدیدپذیر در تامین ورودی های خریداری شده، در کنار آگاهی، آموزش و تشویق کشاورزان در این زمینه، در افزایش کارایی و پایداری محیطی و اقتصادی در بوم‌نظام‌های زراعی سویا در هر دو شهرستان موثر است.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت مالی که از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به شماره IR-UOZ-GR-9360 تأمین شده، سپاسگزاری می گردد.

Appendix A:

A. Aq Qala

1- Solar energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (during growth season, 3.30E+09 J m^{-2}) × (1-albedo, 0.8) = 2.64E+13 J ha^{-1}

2- Wind, kinetic energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (air density, 1.3 kg m^{-3}) × (drag coefficient, 0.002) × (wind velocity × 3.7 m s^{-1})^3 × (growth season, 2.488e+7 s) = 3.28E+10 J ha^{-1}

3- Rain, chemical potential energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (rainfall, 0.583 m yr^{-1}) (density, 1,000 kg m^{-3}) (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 2.76E+10 J ha^{-1}

4- Rain evapotranspiration energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (transpiration, 0.446 m yr^{-1}) × (density, 1,000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 2.11E+10 J ha^{-1}

5- Ground water energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (average quantity, 2.73 m^3 m^{-2}) × (conversion, 1000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,690 J kg^{-1}) = 1.28E+11 J ha^{-1}

6- Ground water evapotranspiration energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (transpiration, 1.78 m yr^{-1}) × (density, 1,000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 8.43E+10 J ha^{-1}

7- SOM change: -0.05%

SOM reduction weight = (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (0.3 m, soil layer) × (1400 kg m^{-3}, Soil bulk density) × (-0.05%) = -2,100 kg ha^{-1}

SOM reduction energy: (-2,100 kg ha^{-1}, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg^{-1}) × (4186 J kcal^{-1}) =4.75E+10 J ha^{-1}

8- Soil erosion (J ha^{-1}):

Average soil loss from water erosion calculated by USLE model to be 12.35 tones ha^{-1}

Soil erosion = (area, 1 ha) × (soil loss rate, 12.35 tones ha^{-1}) × (1.0E+06 g tones^{-1}) = 1.23E+07 g ha^{-1}

9- Human labor (J ha^{-1}): (Working hour, 276 h ha^{-1}) × (1.96E+06 J h^{-1}) = 5.41E+08 J ha^{-1}

10- Agricultural Machinery steel (gr ha^{-1}):

1. Tractor: (Steel weight, 3.60E+06 g × work hours, 12.5 h ha^{-1}) = 4.50E07 g h ha^{-1}
2. Carrier tractor trail: (Steel weight, 7.50E+05 g × work hours, 2 h ha^{-1}) = 1.50E06 g h ha^{-1}
3. Moldboard plow: (Steel weight, 7.00E+05 g × work hours, 3 h ha^{-1}) = 2.10E06 g h ha^{-1}
4. Disc plow: (Steel weight, 6.00E+05 g × work hours, 0.5 h ha^{-1}) = 3.00E05 g h ha^{-1}
5. Leveler: (Steel weight, 4.50E+05 g × work hours, 3.0 h ha^{-1}) = 1.35E06 g h ha^{-1}
6. Planter: (Steel weight, 1.00E+06 g × work hours, 2 h ha^{-1}) = 2.00E06 g h ha^{-1}
7. Harrows: (Steel weight, 6.00E+05 g × work hours, 2 h ha^{-1}) = 3.60E06 g h ha^{-1}
8. Combine harvester: (Steel weight, 4.70E+06 g × work hours, 1.5 h ha^{-1}) = 7.05E06 g h ha^{-1}

Assume an economic life of 15 years, yearly work hours 540 h).

Agricultural Machinery (g ha^{-1}) = Σ (steel × work hours /economic life/yearly work hours) × hours ha^{-1} = 7.77E+03 gr ha^{-1}

11- Fuel for machinery (J ha^{-1}): (average quantity, 111.65 kg ha^{-1}) × (conversion, 4.67E+07 J kg-1) = 5.21E+09 J ha^{-1}

12- Electricity (J ha^{-1}): (average quantity, 325 kWh ha-1) × (conversion, 3.6E+06 J kWh^{-1}) = 1.17E+09 J ha^{-1}

B. Aliabad-e-Katul

1- Solar energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (during growth season, 3.12E+09 J m^{-2}) × (1-albedo, 0.8) = 2.50E+13 J ha^{-1}

2- Wind, kinetic energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (air density, 1.3 kg m^{-3}) × (drag coefficient, 0.002) × (wind velocity × 2.5 m s^{-1})^3 × (growth season, 1.477E+7 s) = 6.00E+09 J ha^{-1}

3- Rain, chemical potential energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (rainfall, 0.512 m yr^{-1}) (density, 1,000 kg m^{-3}) (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 2.43E+10 J ha^{-1}

4- Rain evapotranspiration energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (transpiration, 0.446 m yr^{-1}) × (density, 1,000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 2.11E+10 J ha^{-1}

5- Ground water energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (average quantity, 2.73 m^3 m^{-2}) × (conversion, 1000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,690 J kg^{-1}) = 1.28E+11 J ha^{-1}

6- Ground water evapotranspiration energy (J ha^{-1}): (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (transpiration, 1.78 m yr^{-1}) × (density, 1,000 kg m^{-3}) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg^{-1}) = 8.43E+10 J ha^{-1}

7- SOM change: -0.10%

SOM reduction weight = (area, 1 ha) × (10,000 m^2 ha^{-1}) × (0.3 m, soil layer) × (1400 kg m^{-3}, Soil bulk density) × (-0.05%) = -2,100 kg ha^{-1}

SOM reduction energy: (-2,100 kg ha^{-1}, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg^{-1}) × (4186 J kcal^{-1}) =4.75E+10 J ha^{-1}

8- Soil erosion (J ha^{-1}):
Average soil loss from water erosion calculated by USLE model to be 12.35 tones ha^{-1}
Soil erosion = (area, 1 ha) × (soil loss rate, 12.35 tones ha^{-1}) × (1.0E+06 g tones^{-1}) = 1.23E+07 g ha^{-1}
9- Human labor (J ha^{-1}): (Working hour, 640 h ha^{-1}) × (1.96E+06 J h^{-1}) = 1.25E+09 J ha^{-1}
10- Agricultural Machinery steel (gr ha^{-1}):

1. Tractor: (Steel weight, 3.60E+06 g × work hours, 15 h ha^{-1}) = 5.40E07 g h ha^{-1}
2. Carrier tractor trail: (Steel weight, 7.50E+05 g × work hours, 4 h ha^{-1}) = 3.00E06 g h ha^{-1}
3. Moldboard plow: (Steel weight, 7.00E+05 g × work hours, 3 h ha^{-1}) = 2.10E06 g h ha^{-1}
4. Disc plow: (Steel weight, 6.00E+05 g × work hours, 0.5 h ha^{-1}) = 3.00E05 g h ha^{-1}
5. Planter: (Steel weight, 1.00E+06 g × work hours, 2 h ha^{-1}) = 2.00E06 g h ha^{-1}
6. Harrows: (Steel weight, 6.00E+05 g × work hours, 4 h ha^{-1}) = 2.40E06 g h ha^{-1}
7. Combine harvester: (Steel weight, 4.70E+06 g × work hours, 1.5 h ha^{-1}) = 7.05E06 g h ha^{-1}

Assume an economic life of 25 years, yearly work hours 540 h).
Agricultural Machinery (g ha^{-1}) = Σ (steel × work hours /economic life/yearly work hours) × hours ha^{-1} = 8.75E+03 gr ha^{-1}
11- Fuel for machinery (J ha^{-1}):(average quantity, 248.5 kg ha^{-1}) × (conversion, 4.67E+07 J kg-1) =1.16E+10 J ha^{-1}
12- Electricity (J ha^{-1}): (average quantity, 325 kWh ha-1) × (conversion, 3.6E+06 J kWh^{-1}) = 1.17E+09 J ha^{-1}

منابع مورد استفاده

Ali M, Marvuglia A, Geng Y, Robins D, Pan H, Song X, Yu Z and Sun H. 2019. Accounting emergy-based sustainability of crops production in India and Pakistan over first decade of the 21st century. Journal of Cleaner Production, 207: 111-122. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.236

Alimagham SM, Soltani A, Zeinali E and Kazemi H. 2017. Energy flow analysis and estimation of greenhouse gases (GHG) emissions in different scenarios of soybean production (Case study: Gorgan region, Iran). Journal of Cleaner Production, 149: 621-628. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.118

Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Aghapoor Sabaghi M. 2020. Comparison of the sustainability of mechanized and traditional rapeseed production systems using an emergy-based production function: A case study in Lorestan Province, Iran. Journal of Cleaner Production, 258: 120891. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120891

Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Armin M. 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. Journal of Cleaner Production, 226: 1051-1066. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.091

Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE, Azizi K, Kakolvand E and Hassani Moghadam E. 2021. Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. Journal of Cleaner Production, 292: 126000. DOI:10.1016/j.jclepro.2021.126000

Asgharipour MR, Amiri Z and Campbell DE. 2020. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. Ecological Modelling 424: 109021. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109021

Asgharipour MR, Shahgholi H, Campbell DE, Khamari I and Ghadiri A. 2019. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. Environmental Monitoring and Assessment, 191(2): 1-21. https://doi.org/10.1007/s10661-018-7123-3.

Brandt-Williams SL. 2002. Handbook of Emergy Evaluation: Folio #4 Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy, Univercity of Florida, Gainesville, FL, USA.

Brown MT, Campbell DE, De Vilbiss C and Ulgiati S. 2016. The geobiosphere emergy baseline: A synthesis. Ecological Modelling, 339, 92-95. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.03.018

Brown MT and Ulgiati S. 2004. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. Ecological Modelling, 178: 201-213. doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002

Campbell DE, Brandt-Williams SL and Meisch MEA. 2005. Environmental accounting using Emergy: Evaluation of the state of West Virginia. EPA/600/R-02/011. USEPA, Office of research and Development, Washigton, DC, P. 116.

Cochran J. 2003. Patterns of sustainable agriculture adoption/non-adoption in Panama a thesis submitted to McGill University. McGill University, Montreal, Canad: 1-114.

Cuadra M and Rydberg T. 2006. Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. Ecological Modelling, 196, 421-433. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.02.010

Elsoragaby S, Yahya A, Mahadi MR, Mat Nawi N and Mairghany M. 2019. Energy utilization in major crop cultivation. Energy, 173, 1285-1303. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.142

Hu S, Mo XG, Lin ZH and Qiu JX. 2010. Emergy assessment of a wheat-maize rotation system with different water assignments in the North China Plain. Environmental Management, 46: 643-657. DOI: 10.1007/s00267-010-9543-x

Kaur N, Kumar Vashist K and Brar AS. 2021. Energy and productivity analysis of maize based crop sequences compared to rice-wheat system under different moisture regimes. Energy, 216: 119286. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119286

Kumaraswamy S. 2012. Sustainability issues in agro-ecology: Socio-ecological perspective. Agricultural Sciences, 3(2): 153-169. DOI:10.4236/as.2012.32018

Lan SF, Qin P and Lu HF. 2002. Emergy Assessment of Ecological Systems. Chemical Industry Press, Beijing, China, pp. 406–412 75 and 76.

Lombardi GV, Parrini S, Atzori R, Stefani G, Romano D, Gastaldi M and Liu G. 2021. Sustainable agriculture, food security and diet diversity. The case study of Tuscany, Italy. Ecological Modelling, 458: 109702. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109702

Lotfi S, Kazemi H, Kamkar B and Shahhoseini HR. 2022. Evaluating the Sustainability Indices for Rapeseed (Brassica napus L.) Production Systems Using Emergy Analysis (Case Study: Kalaleh County, Golestan Province). Journal of Agroecology, (In Persian). DOI: 10.22067/agry.2022.72035.1063

Lu H, Yuan Y, Campbell DE, Qin P and Cui L. 2014. Integated water quality, emergy and economic evaluation of three bioremediation treatment systems for eutrophic water. Ecological Engineering, 69: 244-254. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.04.024

Lu H, Bai Y, Ren H and Campbell DE. 2010. Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: Implications for agricultural policy in China. Journal of Environmental Management, 91: 2727-2735. doi:10.1016/j.jenvman.2010.07.025

Lu HF, Kang WL, Campbell DE, Ren H, Tand YW, Fengd RX, Luo JT and Chen FP. 2009. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. Ecological Engineering, 35: 1743-1757. doi:10.1016/j.ecoleng.2009.08.001

Martin JF, Diemont SAW, Powell E, Stanton M and Levy-Tacher S. 2006. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. Agriculture, Ecosystems and Environment, 115: 128-140. doi:10.1016/j.agee.2005.12.016

Montoya D, Gaba S, de Mazancourt C, Bretagnolle V and Loreau M. 2020. Reconciling biodiversity conservation, food production and farmers·demand in agricultural landscapes. Ecological Modelling, 416: 108889. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108889

Mousavi-Avval SH, Rafiee S, Jafari A and Mohammadi A. 2011. Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. Journal of Cleaner Production, 19: 1464-1470. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.013

Odum HT. 1996. Environmental accounting: Emergy and Environmental Decision Making. John Wiley & Sons, New York. USA. 384 pp.

Odum HT. 2000. Handbook of Emergy Evaluation. A Compendium of Data for Emergy Computation Folio #2 Emergy global processes. Center of Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. 28 pp.

Patterson M, McDonald G and Hardy D. 2017. Is there more in common than we think? Convergence of ecological footprinting, emergy analysis, life cycle assessment and other methods of environmental accounting. Ecological Modelling, 362: 19-36. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.022

Quintero-Angel M and Gonzalez-Acevedo A. 2018. Tendencies and challenges for the assessment of agricultural sustainability. Agriculture, Ecosystems and Environment, 254, 273-281. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.030

Shahhoseini HR, Ramroudi M and Kazemi H. 2020. Evaluating the Resources Use Efficiency and Sustainability Indices for Two Potato Production Systems using Emergy Analysis (Case Study: Gorgan county). Journal of Agroecology, 12(1): 127-142. (In Persian). Doi:10.22067/jag.v12i1.81189

Singh Jatav S and Naik K. 2023. Measuring the agricultural sustainability of India: An application of pressure-state-response model. Regional Sustainability, 4(3): 218-234.
https://doi.org/10.1016/j.regsus.2023.05.006

Yasini H, Ghanbari SA, Asgharipour MR and Seyedabadi E. 2020. Evaluating of Sustainability in Wheat, Onion and Garlic Cropping Systems by Joint Use of Emergy and Economic Accounting. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(2): 269-288. (In Persian).

Zhai X, Huang D, Tang S, Li S, Guo J, Yang Y, Liu H, Li J and Wang K. 2017. The emergy of metabolism in different ecosystems under the same environmental conditions in the agro-pastoral ecotone of northern China. Ecological Indicators, 74: 198-204. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.028

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 293-308

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Structural Analysis of Factors Affecting the Unauthorized Change of Agricultural Land Use in Azarshahr City

Hossein Raheli[1], Fatemeh Kazemiyeh [2*], Vahideh Faramarzi[3]

Received: 10 July 2023	Accepted: 13 May 2024

1- Prof. Dept. of Extension and Rural Development, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
2- Assoc. Prof., Dept. of Extension and Rural Development, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
3- MSc. Student of Agricultural Extension and Education, Department of Rural Extension and Development, Faculty of Agriculture, Tabriz University. Iran.
*Corresponding Author Email: kazemiyeh@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: The current research was conducted with the aim of structural analysis of the factors affecting the unauthorized change of agricultural land use in Azarshahr city.

Materials and Methods: The current research is applied based on its purpose and descriptive-correlational in nature and method, which used structural equation modeling and was carried out by causal-relational method and covariance-variance matrix analysis. In this research, information was collected from 220 people as a sample size using the purposeful sampling method. The participants included university professors, local informants and researchers in the field of agricultural development and extension. The data obtained from the research was analyzed at two levels of descriptive and inferential statistics using SPSS statistical software and then structural equation modeling was done in Lisrel software. Content and face validity were used to calculate validity, and Cronbach's alpha method was used to measure the reliability of the research questionnaire. Cronbach's alpha coefficient for analyzing the structural effects was 0.77, which indicates the reliability of the questionnaire.

Results: In the analysis of data in the Lisrel program environment, the presented model was compatible with the experimental data at the optimal level and the indicators had a good fit. In this study, the incorrect location of nuisance services from the environmental dimension, land speculation from the economic dimension, the expansion of collective spaces from the social dimension, and the diversity and mixing of uses from the physical-spatial dimension were identified as factors affecting the change of unauthorized uses in Azarshahr city.

Conclusion: Spatial expansion of cities and integration of villages and their surrounding lands is one of the important consequences of rapid urbanization, which has had a significant effect in Azarshahr city. In such a way that the continuous spatial expansion of this city during the last few years has integrated various villages with their agricultural lands, gardens and pastures around them in its context. In addition, the spatial expansion of this city has led to population inflation and the physical growth of surrounding villages. The result of this process has been vast changes in the land use of these villages.

Keywords: Agricultural Land, Azarshahr city, Land Use, Unauthorized Use

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Fatemeh Kazemiyeh E-mail: kazemiyeh@tabrizu.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.57412.3075

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۳۰۸-۲۹۳

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تحلیل عوامل موثر بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی در شهرستان آذرشهر

حسین راحلی[۱]، فاطمه کاظمیه [۲*]، وحیده فرامرزی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱۹	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲۴

۱- استاد گروه ترویج و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- دانشیار گروه ترویج و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ترویج و آموزش کشاورزی، گروه ترویج و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
* نویسنده مسئول: Email: kazemiyeh@tabrizu.ac.ir

چکیده

اهداف: پژوهش حاضر با هدف تحلیل عوامل موثر بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی در شهرستان آذرشهرانجام گردید.

مواد و روش‌ها: این تحقیق بر اساس هدف از نوع کاربردی بوده و از لحاظ ماهیت و روش از نوع توصیفی- همبستگی است که برای شناسایی عوامل موثر بر تغییر غیر مجاز کاربری اراضی کشاورزی از مدل سازی معادلات ساختاری به روش علی – ارتباطی و تحلیل ماتریس کواریانس – واریانس انجام شد. در این تحقیق با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده از تعداد ۲۲۰ نفر به عنوان حجم نمونه، اطلاعات جمع‌آوری گردید. مشارکت‌کنندگان شامل اساتید دانشگاهی، افراد مطلع محلی و پژوهشگران حوزه توسعه روستایی و ترویج کشاورزی بودند. داده‌های حاصل از تکمیل پرسشنامه های تحقیق در دو سطح آمار توصیفی و استنباطی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS22 مورد تحلیل قرار گرفته و سپس در نرم‌افزار لیزرل به صورت مدل‌سازی معادلات ساختاری انجام شد. برای محاسبه روایی، از روایی محتوایی و صوری و برای سنجش پایائی پرسشنامه تحقیق از روش آلفای کرونباخ استفاده شد. ضریب آلفای کرونباخ برای تحلیل اثرات ساختاری مقدار ۰/۷۷ بدست آمد که نشان دهنده پایایی پرسشنامه است.

یافته‌ها: در تحلیل داده‌ها در محیط برنامه لیزرل، مدل ارائه‌شده در سطح مطلوب با داده‌های تجربی سازگاری داشته و شاخص‌ها از نیکویی برازش برخوردار بودند. در این مطالعه، مکان‌یابی نادرست خدمات مزاحم از بعد زیست‌محیطی، سوداگری زمین از بعد اقتصادی، گسترش فضاهای جمعی از بعد اجتماعی و تنوع و اختلاط کاربری‌ها از بعد کالبدی- فضایی به عنوان مؤلفه‌های مؤثر بر تغییر کاربری‌های غیرمجاز در شهرستان آذرشهر شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری: مدل ارائه‌شده در سطح مطلوب با داده‌های تجربی سازگاری داشته و شاخص‌ها از نیکویی برازش برخوردار می‌باشند. «مکان‌یابی نادرست خدمات مزاحم» و «جلوگیری از توسعه منابع» و«مکان‌یابی نامناسب صنایع» از بعد زیست محیطی به عنوان متغیرهای تاثیرگذار بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی در شهرستان آذرشهر هستند.

واژه‌های کلیدی: اراضی کشاورزی، تغییر کاربری اراضی، شهرستان آذرشهر، کاربری غیرمجاز

مقدمه

موضوع تغییر کاربری اراضی کشاورزی به معنای استفاده بهینه از اراضی برای فعالیت‌ها و عملکردهای مختلف روستایی همواره از بحث‌های اساسی در برنامه‌ریزی روستایی بوده است. صنعتی شدن و به دنبال آن افزایش شهرنشینی، افزایش تقاضا برای فضاهای مسکونی و زیرساخت‌های سکونت‌گاهی، اراضی کشاورزی را از یک سو و جنگل‌ها و مراتع را از سوی دیگر تحت فشار شدید تغییرات قرار داده است (نظری سامانی و همکاران ۲۰۰۱). رشد و توسعه شهری در اراضی کشاورزی و طبیعی عمدتاً به دو دلیل صورت می‌گیرد. دلیل اول رشد و گسترش افقی شهرها به دلیل افزایش جمعیت و دلیل دوم تمایل به داشتن مسکن دوم و ویلا و مناطق خوش آب و هوا. اراضی کشاورزی از نظر تأمین مواد غذایی و به دنبال آن امنیت پایدار غذایی بسیار مهم بوده و بسیاری از اراضی کارکرد حفاظتی و اکولوژیکی بالایی دارند. لذا حفاظت از این اراضی روز به روز مهم‌تر جلوه می‌کند. برنامه‌ریزان توسعه روستایی استدلال کرده‌اند که کلید توسعه پایدار روستایی، سرمایه‌گذاری در ترکیب مناسبی از سرمایه انسانی، طبیعی، مالی و اجتماعی سودآور، با در نظر گرفتن تنوع زمینه‌های توسعه در کشورهای درحال‌توسعه می‌باشد (جانسن و همکاران ۲۰۰۶). این در حالی است که در بسیاری از نقاط جهان، کاربری زمین روستایی به‌سرعت در حال تغییر بوده و تغییرات از کاربری کشاورزی به غیر کشاورزی، اغلب بیش‌ترین توجه عمومی را به خود جلب می‌نماید. بزرگ‌ترین تغییر کاربری زمین اغلب شامل تغییر از استفاده سنتی از زمین روستایی به کاربری‌های دیگر می‌باشد (اسچیرمر و همکاران ۲۰۰۹). تغییر کاربری زمین، مسلماً، فراگیرترین نیروی محرکه تغییرات اجتماعی و اقتصادی و تخریب اکوسیستم است. جنگل‌زدایی، توسعه شهری، کشاورزی و دیگر فعالیت‌های انسانی به‌طور فراوان چشم‌انداز زمین را تغییر می‌دهند (مارلند و همکاران ۲۰۰۳). فرایند تغییر کاربری زمین پیوند حساس میان فعالیت‌های انسانی و تغییرات در زیست‌کره است (دیل و همکاران ۲۰۰۰). در طول دهه‌های اخیر، طیف وسیعی از مدل‌های تغییرات کاربری اراضی، برای پاسخگویی به نیازهای مدیریت زمین و برای ارزیابی بهتر و پروژه‌های آینده، نقش کاربری زمین و تغییر پوشش زمین در عملکرد سیستم زمین گسترش یافته است. مدل، به‌خصوص اگر در مقیاس چند فضایی صریح و روشن، یکپارچه و مرتب تهیه شده باشد، یک روش مهم برای طرح‌ریزی است. همچنین مدل‌سازی تغییر کاربری زمین، مهم است که به شیوه‌ای فضایی، صریح و روشن، یکپارچه و در مقیاس چندگانه انجام شود (ولدکمپ و لامبین ۲۰۰۱).

کاربری زمین شامل فعالیت‌های انسانی مثل تولید، مصرف، سرمایه‌گذاری، تفریح و غیره که مستلزم استفاده از فضای جغرافیایی هست، می‌باشد و به‌طورکلی در اشکال متفاوتی نمود می‌یابند. استقرار فضایی این فعالیت‌ها، پیامدهای مستقیمی در رابطه با کیفیت محیط‌زیست در یک ناحیه به دنبال دارد و زمانی حادتر می‌شود که کاربری‌های شکل‌گرفته در فضای جغرافیایی تضادهایی به لحاظ سازگاری و مطلوبیت داشته باشند که به معنی اهمیت و جایگاه کاربری زمین در مباحث توسعه ناحیه‌ای در چهارچوب توسعه پایدار است (فاضل نیا و افشار عمرانی ۲۰۱۳)؛ که توسعه پایدار بدون در نظر گرفتن استراتژی‌های مختلف در سطوح ملی، منطقه‌ای و محلی قابل حصول نمی‌باشد و در این میان نقش زمین به‌عنوان ابزاری مهم در تشخیص اهداف سیاست‌های ملی و منطقه‌ای بسیار حساس است (مشیری و قماش پسند ۲۰۱۲). از طرفی افزایش جمعیت باعث افزایش تقاضا برای زمین و مسکن و درنتیجه افزایش قیمت زمین‌های کشاورزی روستا و تغییر و تبدیل آن‌ها به کاربری‌های مسکونی، خدماتی، صنعتی می‌شود (ضیاء توانا و قادرمرزی ۲۰۰۹). تغییر پوشش زمین و کاربری زمین، باعث تغییر آب‌وهوا و از دست دادن تنوع زیستی شده و محیط‌زیست انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (مولر ۲۰۰۴). بااین‌حال، تغییر کاربری زمین، بدون هزینه نیست و تغییرات کاربری زمین شامل

اثرات مهم اقتصادی و زیست‌محیطی، پیامدهایی برای تجارت بین‌المللی، تغییر جهانی آب‌وهوا، حیات‌وحش و دیگر مسائل مربوط به سیاست است (لوبوسکی و همکاران ۲۰۰۸). برنامه‌ریزی کاربری زمین به‌عنوان محصول نهایی فرایند برنامه‌ریزی فضایی، به دنبال ارائه الگوی مطلوب کاربری زمین و تعیین اولویت‌های توسعه‌ای با توجه به ظرفیت‌هاست. این فرایند در غالب مطالعات صورت گرفته بر اساس تحلیل روند گذشته و تعمیم آن به آینده است که به دلیل عدم قطعیت شرایط و ویژگی‌های منطقه‌ای، با تعارض‌های ذاتی همراه است. از سوی دیگر رویکردهای موجود به دلیل عدم وجود نگاهی یکپارچه و در نظر نگرفتن همه ابعاد توسعه نمی‌توانند الگوی مناسب کاربری زمین را ارائه کنند. یکی از روش‌های رایج در این زمینه، ارزیابی و در نظر گرفتن توان و ظرفیت زمین در استقرار انواع کاربری‌هاست. نکته مشترک همه روش‌های به‌کاررفته به‌منظور ارزیابی توان اکولوژیکی، در نظر گرفتن توسعه یک نوع فعالیت انسانی به‌عنوان هدف ارزیابی در روند تحقیق بوده است. این در حالی است که در استقرار مکانی توسعه انواع فعالیت‌ها می‌توانند در یک رقابت، بهترین و متناسب‌ترین مکان را با توجه به جمیع شرایط انتخاب کنند (داداش‌پور و همکاران ۲۰۱۴). جدول ۱- مدل‌های تحلیل عوامل تغییر کاربری و پوشش اراضی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مدل‌های تحلیل عوامل تغییر کاربری و پوشش اراضی

مدل	مشخصات
مدل‌های میدانی (Field Models)	برای تخمین فرسایش بر اساس پارامترهای فیزیکی و بعضی از متغیرهای مدیریت (حفاظت خاک و آب) استفاده می‌شود.
مدل‌های مکان‌یابی (فضائی) (Spatial Allocation Models)	چندین نوع از این مدل‌ها توسعه یافته است که بر الگوهای تغییر کاربری زمین در ارتباط با یک مجموعه محدود متغیرهای جانشین (برای مثال، جاده‌ها، رودخانه‌ها و تراکم جمعیت) متمرکز است و به جایی که تغییر کاربری اتفاق می‌افتد، ربط داده می‌شود. این مدل‌ها می‌توانند پیامد بعضی سیاست‌ها مثل ساخت جاده، پیامد امتیازهای چوب‌بری یا سیاست‌های حفظ حیات وحش را نشان دهند. این نوع مدل‌ها برای تعیین اینکه چرا تغییر کاربری زمین اتفاق می‌افتد، هدف‌گذاری نشده‌اند اما پیش‌بینی‌های آن‌ها می‌تواند فرضیه‌های شبیه‌سازی را در مورد نقش عوامل از قبیل تغییرات سیاست یا یک عامل فشار بیرونی را در مهاجرت درونی، استخراج کند.
مدل‌های فرایندی (Process Models)	بسیاری از عوامل اصلی یا نیروهای تغییر کاربری زمین به فرآیندهای اقتصادی- اجتماعی (رشد بازار، تغییرات سیاست، مهاجرت) مربوط هستند. برای اینکه جواب بهتر داده شود به سؤال چرا، در ارتباط با این فرآیندهای مذکور، انواع مدل‌ها بکار گرفته می‌شود. بعضی تلاش می‌کنند تصمیم‌هایی که مردم برای پاسخ به ملاحظات اقتصادی، اتخاذ می‌کنند، نمایش دهند. برای مثال، یک مدل می‌تواند تعیین کند بازگشت (بازده) بالقوه کاربری‌های رقابتی زمین را در اثر کاهش فاصله تا بازارها، قیمت‌های کالا، توانایی کشاورزی. تغییر بهره‌وری زمین که باعث تغییر کاربری زمین خواهند شد.
مدل‌های عامل-پایه(ABM) (Agent-Based Model)	این مدل‌ها نقش عامل‌های تغییر (کشاورزان، رمه‌داران، مدیران زمین و دولت) را از طریق بررسی ویژگی‌های متغیرهای مؤثر بر تصمیم‌گیری آن‌ها، نشان می‌دهند. این مدل‌ها احتمال حفظ کاربری یک زمین را از طریق بررسی انواع متغیرهای مؤثر بر تصمیم‌گیری عاملان از قبیل، دسترسی خانواده به منابع، منافع انواع کاربری‌ها، وضعیت بازار و مدیریت ریسک، اندازه‌گیری می‌کنند.

مأخذ: (قاسمی ۲۰۲۱)

پایین بودن میزان بهره‌وری، بالا بودن هزینه‌های تولید، اتلاف منابع تولید، جلوگیری از الگوی مناسب زراعی، ناکارآمد کردن مدیریت مزرعه، عدم استفاده مؤثر از ماشین‌آلات، اختلاف میان کشاورزان و تضعیف هم‌بستگی‌های اجتماعی در جامعه روستایی و سرانجام فقر و مهاجرت روستایی همگی از پیامدهای این پدیده

هستند. در نهایت وجود این بی‌نظمی و سطح بالای پراکنش مالکیت اراضی باعث تخریب اراضی و همچنین مانع مدیریت پایدار زمین جهت دستیابی به توسعه کشاورزی مدرن خواهد شد. با توجه به اینکه نظام ساختار و الگوی پراکنش اراضی تحت تأثیر متغیرهای کلیدی مختلفی از جمله جمعیت بهره‌برداران وسعت اراضی وضعیت منابع پایه تولید عوامل، انسانی اجتماعی، طبیعی و غیره هست، لذا قبل از هر اقدامی در رابطه با اصلاح و توسعه کشاورزی لازم هست وضعیت موجود اراضی از جنبه تعداد بهره‌برداران مساحت قطعات، تعداد قطعات، فاصله بین قطعات شکل قطعات و در نهایت میزان خردی و پراکندگی مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفته و برحسب وضعیت حاکم بر اراضی راهبردهای لازم و متناسب بکار گرفته شود. با این حال پژوهش‌های جامع و گسترده‌ای در این زمینه در منطقه آذرشهر انجام نشده است. هدف اصلی این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی در شهرستان آذرشهر و ارایه راهکارهای مناسب می‌باشد. با استناد بر آمار و ارقام امور اراضی استان آذربایجان شرقی طی چهار سال اخیر در کل استان، ۶۵۰۰ مورد از اراضی کشاورزی به غیر کشاورزی و درونی بخش کشاورزی تغییر یافته است. طبق آمار و اطلاعات با کاهش اراضی کشاورزی از یک میلیون و ۲۰۰ هزار هکتار به ۹۰۰ هزار هکتار در استان رو به رو هستیم که در واقع ۳۰۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی به دلیل فرسایش خاک الحاق به محدوده طرح شهرها و روستاها طرح‌های عمرانی دولت و تغییر کاربری‌های غیرمجاز از بین رفته است که در صورت تداوم در ۴۰ یا ۵۰ سال آینده قطعاً کشور را دچار کمبود شدید منابع غذایی و قحطی خواهد نمود زیرا دیگر زمینی برای کشاورزی باقی نخواهد ماند. برخی شهرستان‌ها از جمله شهرستان تبریز، بستان‌آباد، شبستر، آذرشهر و هریس در شرایط بحرانی قرار دارند. لازم بذکر است این تعداد فقط موارد ثبت و پیگیری شده واحد امور اراضی می‌باشد و تعداد زیادی تغییر کاربری غیرمجاز با روند صعودی در حال افزایش است که گزارش یا ثبت نشده‌اند. لذا به بررسی عوامل مؤثر بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی در شهرستان آذرشهر پرداخته خواهد شد. در زمینه موضوع مورد پژوهش، مطالعات زیادی انجام گرفته است که در ادامه به آن‌ها پرداخته م‌شود.

براتی و همکاران (2014) در مطالعه ای به طراحی مدل معادلات ساختاری و تلفیقی علل و اثرات تغییر کاربری اراضی کشاورزی در ایران بر اساس دیدگاه کارشناسان سازمان امور اراضی کشاورزی پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه, علل تغییر کاربری اراضی کشاورزی در پنج گروه (اقتصادی, اجتماعی, محیط زیستی, فنی و سیاستی- برنامه ای) و اثرات آن در سه گروه (اقتصادی, اجتماعی و محیط زیستی) قابل تقسیم بندی است. این علل و آثار دارای همبستگی متقابل مستقیم و غیرمستقیم با یکدیگر بوده که برهم اثرگذارند. از دید کارشناسان, موثرترین علل و آثار تغییر به ترتیب علل اقتصادی و آثار اجتماعی هستند. فاطمی و همکاران (2016) در بررسی سیستم های عمده تغییر کاربری زمین در کشاورزی استان فارس نشان دادند متوسط درجه حرارت، کیفیت زمین، درآمد کشاورزی و رشد جمعیت، سازه های موثر در تعیین نوع سیستم کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه بوده است. اوستاوغلو و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی اقتصادی اراضی کشاورزی جهت برآورد تغییرات کاربری اراضی پرداخته‌اند. ارتباط علمی این کار توسعه یک روش جامع برای ارزیابی اقتصادی کاربری‌های زمین کشاورزی در کشورهای مختلف اتحادیه اروپا، ادغام ارزش‌های تولید اقتصادی زمین با رویکرد تناسب محلی در مدل کاربری زمین است. نتایج پژوهش امینی و همکاران (2017) نشان داد تغییر کاربری اراضی کشاورزی، رابطه مستقیمی با تغییر عملکرد اقتصادی در بخش‌های مربوط به زمین و مسکن در روستاهای مورد مطالعه داشته است. بر اساس نتایج قدیمی و همکاران (2018) میزان و سرعت روند تغییر کاربری اراضی کشاورزی بشدت رو به افزایش بود به گونه‌ای که وسعت اراضی سکونتگاهی در طول زمان مورد مطالعه از ۱۴ هزار هکتار به حدود ۳۹ هزار هکتار افزایش پیداکرده است و

اثرات آن بر مؤلفه‌های توسعه پایدار در چهار بخش زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و کشاورزی قابل‌تقسیم است. سعدی و همکاران (2018) پنج عامل را به عنوان علل گرایش به تغییر کاربری اراضی کشاورزی شناسایی نمودند که عبارتند از: توسعه نیافتگی کشاورزی، اقتصادی نبودن بخش کشاورزی، ضعف اطلاعات و اجرای نادرست برنامه‌های عمران روستاها، توسعه شهرها و تمایل جوانان به مشاغل غیر کشاورزی در شهرها. پائودل و همکاران(۲۰۱۹) نتیجه گرفتند که مساحت کل زمین‌های کشاورزی در نپال به طور قابل‌توجهی در طول زمان تغییر کرده است و مطالعات کمی به عوامل ایجاد کننده این تغییر پرداخته‌اند. ارزیابی ادراکات کشاورزان ابزاری مؤثر برای پرداختن به این موضوع است زیرا طیف کاملی از محرک‌های مرتبط با تغییرات کاربری زمین را منعکس می‌کند. میر و فروح مولر (۲۰۲۰) نشان دادند محدودیت‌های اقتصادی کشاورزان را وادار می‌کند تا کشاورزی را برای جنگل در مکان‌های حاشیه‌ای به قیمت چشم‌انداز فرهنگی دست نخورده کنار بگذارند. بر اساس مطالعه قاسمی و همکاران (2020) در تحلیل پدیده تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی در استان آذربایجان شرقی، ضروری‌ترین و اولین اقدام برای حفظ کاربری اراضی کشاورزی، این است که بر اساس آمایش سرزمین، قوانین و برنامه‌های جامع موردنیاز تدوین و اجرا گردد. نتایج مطالعه بنانی (2021) در استان قم نشان داد میل به بهره‌برداری‌های عمرانی و همچنین ایجاد مناطق سکونتگاهی در نواحی خوش آب‌وهوای استان، باعث شده تا اراضی کشاورزی بسیاری دستخوش تغییر کاربری شوند. موسوی و یزدان پناه (2021) نشان دادند، عوامل اقتصادی، اجتماعی، حقوقی و قانونی و توسعه بی رویه فضایی به عنوان علل تغییر کاربری اراضی کشاورزی می‌باشند. گورک و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تغییر کاربری کشاورزی و جنگل در ایالات متحده پرداخته‌اند. کاربری زمین در ایالات متحده توسط نیروهای متعددی که در سطح جهانی فعالیت می‌کنند، هدایت می‌شود، مانند رشد درآمد و جمعیت، بهبود بازده و بهره‌وری، سیاست تجاری، تغییرات آب و هوا و تغییر رژیم غذایی.

باتوجه به مطالب عنوان شده می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین قدم‌ها به سمت توسعه پایدار، حفاظت از تمامیت اراضی کشاورزی است. سالانه بخشی از بهترین اراضی کشاورزی کشور به دلایل متعدد تغییر کاربری یافته و به مصارف غیر کشاورزی تبدیل می‌گردند و خروج این‌گونه اراضی از مسیر تولید زراعی و باغی ضرر جبران‌ناپذیری را ایجاد می‌کند. در حال حاضر تغییر کاربری اراضی کشاورزی پس از کم آبی دومین مشکل اساسی کشاورزی ایران محسوب می‌شود و نمونه‌ای مهم از تأثیرگذاری انسان بر محیط‌زیست به شمار می‌رود. این امر سبب نابودی بخش اعظمی از زمین‌های کشاورزی شده و از دیدگاه امنیت غذایی، خودکفایی و اشتغال پایدار جامعه روستایی پیامدهای بسیاری را در پی داشته است. بنابراین انجام یک مطالعه جامع علمی در رابطه با علل مؤثر بر گرایش به تغییر کاربری ضروری به نظر می‌رسد. این تحقیق با هدف شناسایی عمده‌ترین علل گرایش کشاورزان به تغییر کاربری اراضی کشاورزی در شهرستان آذرشهر انجام می‌گیرد. نتایج این پژوهش می‌تواند با توجه به کاربردی بودن آن در ساماندهی مدیریت اراضی در کشور مورد استفاده قرار گیرد و همچنین در همه سازمان‌هایی که به نوعی درگیر با مسئله تغییر کاربری هستند قابل کاربرد است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق بر اساس هدف از نوع کاربردی بوده و از لحاظ ماهیت و روش از نوع توصیفی- همبستگی است که ازمدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده و به روش علی ارتباطی و تحلیل ماتریس کواریانس- واریانس انجام شده است. قلمرو مکانی تحقیق مناطق روستایی شهرستان آذرشهر است. نتایج حاصل از بررسی استنادی برای بررسی عوامل مؤثر بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی در شهرستان آذرشهر به‌صورت متغیرهای آشکار و پنهان با استفاده پرسشنامه محقق‌ساخته، در اختیار پاسخگویان قرار داده

شد. تعداد جامعه آماری ۵۲۰ نفر بود. حجم نمونه با استفاده از جدول کرجسی مورگان ۲۲۰ نفر بدست امد و از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده گردید. مشارکت‌کنندگان شامل اساتید دانشگاهی، افراد مطلع محلی و پژوهشگران حوزه توسعه روستایی و ترویج کشاورزی بودند. داده‌های حاصل از اجرای پژوهش در دو سطح آمار توصیفی و استنباطی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS22 مورد تحلیل قرار گرفته و سپس برای تحلیل مدل معادلات ساختاری از نرم افزار لیزرل استفاده شد. برای محاسبه روایی پرسشنامه تحقیق، از روش روایی محتوایی و صوری استفاده شد. همچنین برای سنجش پایائی پرسشنامه تحقیق از روش آلفای کرونباخ استفاده شد. ضریب آلفای کرونباخ در نرم‌افزار SPSS22 محاسبه شد. ضریب آلفای کرونباخ برای تحلیل اثرات ساختاری مقدار ۰/۷۷ بدست آمد که نشان دهنده پایایی و مطلوبیت پرسشنامه است. در این مطالعه از مدل‌سازی معادلات ساختاری با استفاده از نرم افزار لیزرل استفاده شده است که نتایج مدل معادلات ساختاری به شکل نمودار مسیر و تحلیل آماره t ارائه شده است.

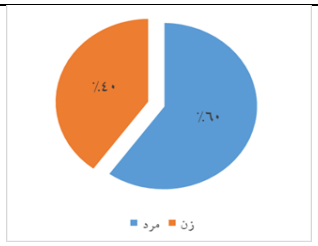
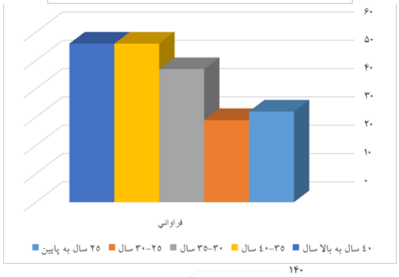
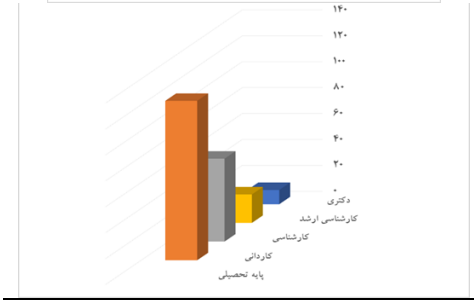
محدوده مورد مطالعه

شهرستان آذرشهر یکی از قدیمی‌ترین و معروف‌ترین بخش‌های شهرستان تبریز بوده که قبلاً به نام دهخوارقان معروف و نامیده می‌شد. بطوری که در سال ۱۳۰۶ شهرداری شهر آذرشهر مرکز شهرستان تشکیل و شروع به کار نموده است. آذرشهر در سال ۱۳۷۶ به شهرستان تبدیل شد. این شهرستان با وسعت ۸۴۰ کیلومتر مربع (۱٫۸ درصد مساحت استان) در ۳۰ کیلومتری تبریز واقع شده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۰ متر می‌باشد. این شهرستان از سمت شمال و شرق با شهرستان اسکو، از سمت غرب با دریاچه ارومیه و از سمت جنوب با شهرستان عجب‌شیر هم‌مرز است. طبق آخرین تقسیمات کشوری شهرستان آذرشهر دارای سه بخش به نام‌های حومه (شامل دهستان‌های شیرامین، قبله‌داغی، ینگجه و قاضی‌جهان)، ممقان (شامل دهستان شهرک) و گوگان (شامل دهستان‌های تیمورلو و دستجرد)، چهار نقطه شهری به نام‌های ممقان، آذرشهر، تیمورلو و گوگان و ۴۶ آبادی می‌باشد. براساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۴۰۰، جمعیت شهرستان آذرشهر در حدود ۱۱۰،۳۱۱ نفر (۵ درصد جمعیت استان) و جمعیت مرکز این شهرستان ۵۰،۸۹۶ نفر برآورد شده است. جمعیت شهری این شهرستان ۷۳،۸۹۶ نفر و جمعیت روستایی آن ۳۶،۴۱۳ نفر و تعداد خانوار آن ۳۵،۳۶۴ خانوار است.

نتایج و بحث

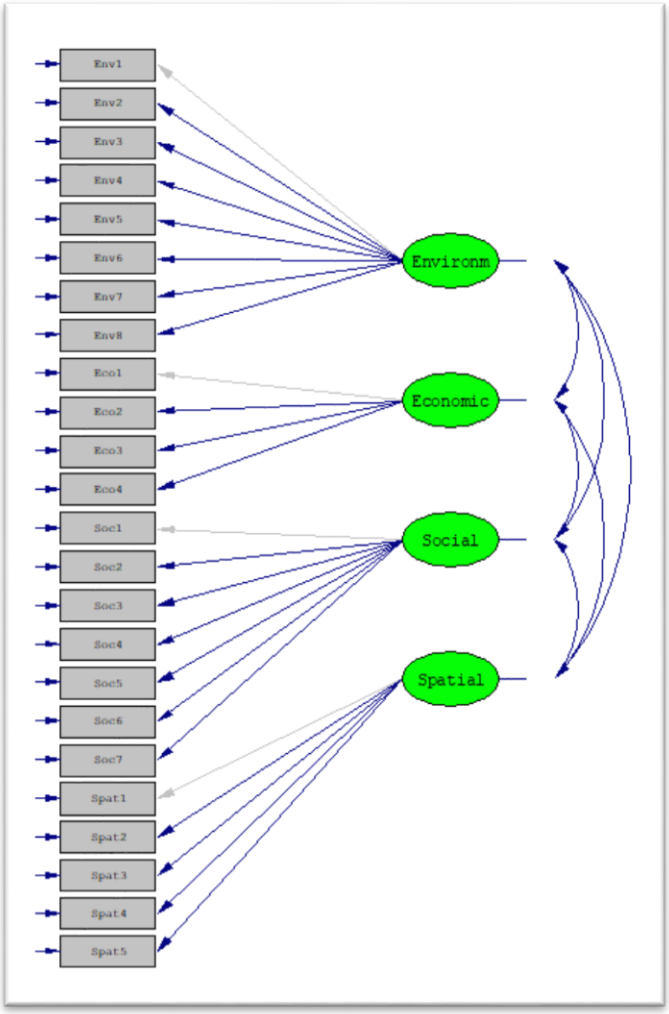
در این بخش از تجزیه و تحلیل آماری به بررسی چگونگی توزیع نمونه‌های آماری از حیث متغیرهای جمعیت‌شناختی همچون جنس، سن و میزان تحصیلات پرداخته شده است در ستون اول جدول (۳) متغیرهای پنهان نشان داده شده است که برای هرکدام از این متغیرها در قالب پرسشنامه، متغیرهای آشکاری تعریف شده است و پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از پرسشنامه‌های توزیع‌شده در بین پاسخگویان، به ارائه مدل پرداخته شده و سپس، بعد از بحث در روابط علی بین متغیرها، با استفاده از نرم افزار لیزرل به ارزیابی نیکویی برازش آن‌ها پرداخته و سازگاری مدل نظری با داده‌های تجربی از دیدگاه جامعه میزبان، بررسی شده است. جدول ۳ متغیرهای پنهان و آشکار موثر بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی را نشان داده است.

جدول ۲- توزیع فراوانی گروه نمونه برحسب جنسیت

نوع	شاخص‌های اماری	فراوانی	درصد فراوانی	نمودار
جنسیت	مرد	۱۳۲	۶۰	
	زن	۸۸	۴۰	
	مجموع	۲۲۰	۱۰۰	
سن	۲۵ سال به پایین	۳۲	۱۵	
	۲۵-۳۰ سال	۲۹	۱۳	
	۳۰-۳۵ سال	۴۷	۲۱	
	۳۵-۴۰ سال	۵۶	۲۵	
	۴۰ سال به بالا	۵۶	۲۵	
	مجموع	۲۲۰	۱۰۰	
تحصیلات	کاردانی	۱۲۳	۵۶	
	کارشناسی	۶۴	۲۹	
	کارشناسی ارشد	۲۲	۱۰	
	دکتری	۱۱	۵	
	مجموع	۲۲۰	۱۰۰	

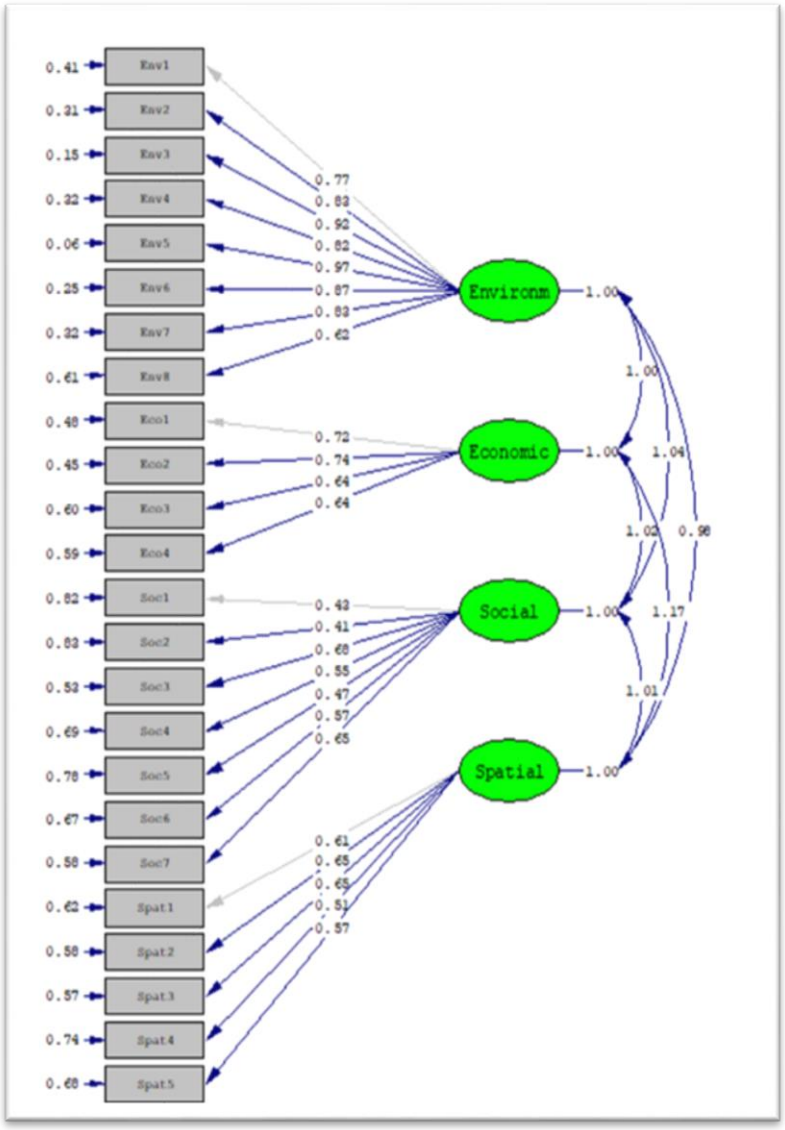
جدول ۳- متغیرهای پنهان و آشکار موثر بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی

متغیر پنهان	متغیر آشکار	کد
زیست‌محیطی (Environmental)	مانع مهم برای تخریب زمین	Env1
	مانع مهم حفظ پیوند بشر و طبیعت	Env2
	جلوگیری از توسعه منابع	Env3
	حفظ منابع تاریخی و فرهنگی	Env4
	گسترش فضای سبز	Env5
	مکان‌یابی نامناسب صنایع	Env6
	مکان‌یابی نادرست خدمات مزاحم	Env7
	عدم ایمنی از سوانح	Env8
اقتصادی (Economic)	عدم استفاده بهینه از زمین	Eco1
	سوداگری زمین	Eco2
	تعدیل حفظ مالکیت	Eco3
	استفاده از اضافه ارزش زمین در جهت منافع عمومی	Eco4
اجتماعی (Social)	کاهش نابرابری در کاربری اراضی	Soc1
	افزایش تسهیلات و خدمات عمومی	Soc2
	گسترش فضاهای جمعی	Soc3
	بهسازی بافت‌های قدیمی	Soc4
	زیباسازی محیط	Soc5
	اعتلای کیفیت کاربری مسکونی	Soc6
	اعتلای کیفیت کاربری خدماتی و تفریحی	Soc7
کالبدی- فضایی (Spatial)	توزیع متعادل کاربری	Spat1
	جلوگیری از تداخل کاربری‌های ناسازگار	Spat2
	تنوع و اختلاط کاربری‌ها	Spat3
	حفظ تناسب میان توده و فضا	Spat4
	تدوین معیارها و استانداردهای مناسب کاربری	Spat5



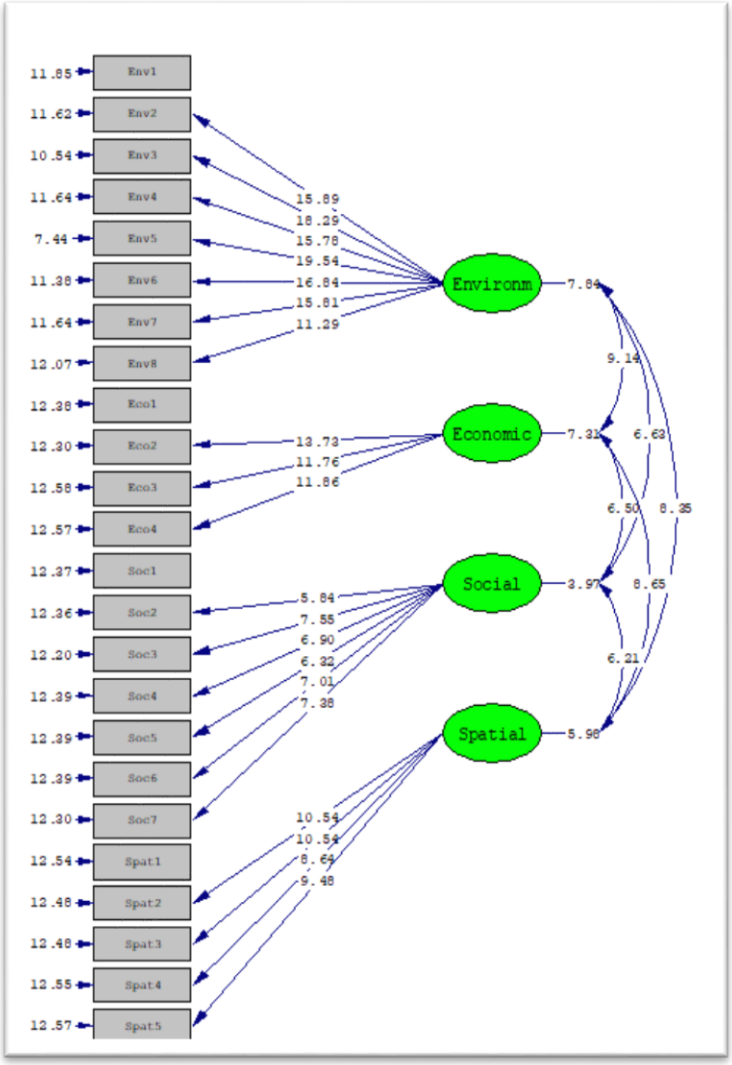
شکل ۲- مدل مفهومی معادلات ساختاری

برای اعتبارسنجی از طریق مدل معادلات ساختاری، در محیط نرم‌افزار لیزرل به تجزیه‌وتحلیل داده‌ها پرداخته شده است. ازآنجاکه متغیرهای نهفته فاقد مقیاس اندازه‌گیری هستند، بنابراین واحد اندازه‌گیری این متغیرها باید بر اساس مقیاس یکی از متغیرهای آشکار مربوط به خود تعریف شوند. برای این کار بار عاملی اولین متغیر آشکار مربوط به هر متغیر پنهان مقیاس‌دار شده و جهت قابل‌شناسایی بودن در لیزرل، با عدد یک تثبیت شده‌اند. مدل‌های معادلات ساختاری دارای دو بخش مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری است. با توجه به خروجی نرم‌افزار لیزرل و قابل‌قبول بودن آماره تی، اصلاح و پیرایش مدل نیاز نشد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۳- مدل استانداردشده (تحلیل مسیر)

شکل (۴) مقادیر آماره تی بارهای عاملی را نشان می‌دهد.



شکل ۴- مقادیر آماره تی بارهای عاملی

در این دیاگرام مقدار بارهای عاملی هر یک از متغیرهای آشکار و ارتباط درونی بین متغیرهای آشکار و ارتباط بیرونی هرکدام از متغیرهای پنهان به نمایش گذاشته می‌شود که تفسیر آن در ادامه برازش کلی مدل بیان خواهد شد. همچنان که از دیاگرام مشخص است معیار برای تعیین برازش کل مدل، ریشه میانگین توان دوم خطای تقریب است که تحت عنوان (RMSEA) در فایل برونداد ظاهر می‌شود. زمانی که مقدار این آماره بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۸ باشد برازش قبول خواهد بود که ۰/۰۷۹ در این برونداد نشان‌دهنده برازش قابل‌قبول این مدل است. میزان کای اسکوئر نیز نسبت به درجه آزادی در حد مطلوب قرار دارد که در جدول برازش مدل به‌تفصیل به آن پرداخته می‌شود. با پذیرش مطلوبیت مدل به خروجی fit نرم‌افزار مراجعه می‌کنیم که با قابل‌قبول بودن آماره‌های تعریف‌شده به مطلوبیت و قابل‌تعمیم بودن مدل پی برده می‌شود؛ و لذا خروجی مدل متنی نیز نشان از نیکویی برازش مدل است که در جدول به آنها پرداخته شده است.

جدول ۴- شاخص‌های نیکویی برازش مدل- خروجی SIMPLIS.

ردیف	شاخص‌ها		وضعیت مدل	مقادیر استاندارد	قضاوت
۱	ریشه میانگین توان دوم خطای تقریب	(RMSEA)	۰/۰۷۹	زمانی که مقدار این آماره کمتر از ۰/۰۵ باشد برازش قابل‌قبول، اگر بین ۰/۰۸ و ۰/۱ باشد برازش متوسط و اگر بزرگ‌تر از ۰/۱ باشد برازش ضعیف است.	نیکویی و قابل‌قبول بودن برازش
۲	ریشه میانگین مجذور باقی‌مانده	(RMR)	۰/۰۳۷	زمانی که مقدار این آماره کمتر از ۰/۰۵ باشد بیانگر قابل‌قبول بودن برازش مدل است.	برازش بسیار خوب مدل
۳	شاخص برازندگی	(GFI)	۰/۹۱	مقادیر GFI و AGFI باید بین صفر و ۱ باشند و مقدار بزرگ‌تر از ۰/۹ حاکی از برازش قابل‌قبول مدل است.	برازش امیدوارکننده
۴	شاخص هنجار شده برازندگی	(AGFI)	۰/۹۱		
۵	شاخص برازش غیرنرم	(NNFI)	۰/۹۳	مقدار بزرگ تر از ۰/۹ حاکی از برازش قابل قبول مدل است.	
۶	شاخص برازش مقایسه‌ای	(CFI)	۰/۹۳	بر پایه قرارداد مقادیر کمتر از ۰/۹۰ آن مستلزم تجدیدنظر در مدل است.	برازش قابل‌قبول
۷	شاخص متناسب نسبی	(RFI)	۰/۸۹	باید بالاتر از ۰/۹ باشند تا مدل برازش خوبی داشته باشد.	برازش قابل‌قبول

با توجه به توضیحات ارائه‌شده در تحلیل داده‌ها ، مدل ارائه‌شده در سطح مطلوب با داده‌های تجربی سازگاری داشته و شاخص‌ها از نیکویی برازش برخوردار می‌باشند. در جدول ۵ ماتریس کوواریانس متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۵- ماتریس کوواریانس متغیرهای مستقل

برآورد	شاخص	زیست‌محیطی	اقتصادی	اجتماعی	کالبدی- فضایی
مقدار	زیست‌محیطی	۰/۴۲۲			
خطای استاندارد		۰/۰۵۴			
مقادیر آماره تی		۷/۸۳۶			
مقدار	اقتصادی	۰/۴۰۹	۰/۴۰۰		
خطای استاندارد		۰/۰۴۵	۰/۰۵۵		
مقادیر آماره تی		۹/۱۳۵	۷/۳۰۹		
مقدار	اجتماعی	۰/۲۶۶	۰/۲۷۳	۰/۱۸۱	
خطای استاندارد		۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۶	
مقادیر آماره تی		۶/۶۳۰	۶/۵۰۴	۳/۹۶۷	
مقدار	کالبدی- فضایی	۰/۳۰۹	۰/۳۵۹	۰/۲۰۹	۰/۲۳۴
خطای استاندارد		۰/۰۳۷	۰/۰۴۱	۰/۰۳۴	۰/۰۳۹
مقادیر آماره تی		۸/۳۵۴	۸/۶۵۳	۶/۲۰۸	۰/۳۷۹

با توجه به نتایج حاصل در خصوص بررسی ماتریس کوواریانس متغیرهای مستقل، نتایج نشان می‌دهد:

- تخمین‌های مربوط به مسیر «اقتصادی» و «زیست‌محیطی» نشان می‌دهد که مقدار آن برابر ۰/۴۰۹ با خطای استاندارد ۰/۰۴۵ در حد بالایی معنی‌دار بوده به‌طوری‌که آماره تی آن برابر با ۹/۱۳۵ است؛
- تخمین‌های مربوط به مسیر «اجتماعی» و «زیست‌محیطی» نشان می‌دهد که مقدار آن برابر ۰/۲۶۶

با خطای استاندارد ۰/۰۴۳ در حد بالایی معنی‌دار بوده به‌طوری‌که آماره تی آن برابر با ۶/۶۳ است؛

- تخمین‌های مربوط به مسیر «اجتماعی» و «اقتصادی» نشان می‌دهد که مقدار آن برابر ۰/۲۷۳ با خطای استاندارد ۰/۰۴۲ در حد بالایی معنی‌دار بوده به‌طوری‌که آماره تی آن برابر با ۶/۵۰۴ است؛

- تخمین‌های مربوط به مسیر «کالبدی- فضایی» و «زیست‌محیطی» نشان می‌دهد که مقدار آن برابر ۰/۳۰۹ با خطای استاندارد ۰/۰۳۷ در حد بالایی معنی‌دار بوده به‌طوری‌که آماره تی آن برابر با ۸/۶۵۳ است؛

- تخمین‌های مربوط به مسیر «کالبدی- فضایی» و «اقتصادی» نشان می‌دهد که مقدار آن برابر ۰/۳۵۹ با خطای استاندارد ۰/۰۴۱ در حد بالایی معنی‌دار بوده به‌طوری‌که آماره تی آن برابر با ۸/۶۵۳ است؛

- تخمین‌های مربوط به مسیر «کالبدی- فضایی» و «اجتماعی» نشان می‌دهد که مقدار آن برابر ۰/۲۰۹ با خطای استاندارد ۰/۰۳۴ در حد بالایی معنی‌دار بوده به‌طوری‌که آماره تی آن برابر با ۸/۲۰۸ است؛

این بدان معنی است که همبستگی مثبت بسیار قوی بین این متغیرها وجود دارد.

با توجه به توضیحات ارائه‌شده در تحلیل داده‌ها ، مدل ارائه‌شده در سطح مطلوب با داده‌های تجربی سازگاری داشته و شاخص‌ها از نیکویی برازش برخوردار می‌باشند. در

جدول با عنایت به نتایج حاصل از خروجی نرم‌افزار گرافیکی لیزرل، به بررسی مقادیر تی متغیرهای آشکار تحقیق پرداخته شده است.

جدول ۶- مقادیر آماره تی

متغیر پنهان	متغیر آشکار	کد	مقادیر	اولویت اثرگذاری
زیست‌محیطی (Environmental)	مانع مهم برای تخریب زمین	Env1	-	-
	مانع مهم حفظ پیوند بشر و طبیعت	Env2	۱۵/۸۹	۴
	جلوگیری از توسعه منابع	Env3	۱۸/۲۹	۲
	حفظ منابع تاریخی و فرهنگی	Env4	۱۵/۷۸	۶
	مکان‌یابی نادرست خدمات مزاحم	Env5	۱۹/۵۴	۱
	مکان‌یابی نامناسب صنایع	Env6	۱۶/۸۴	۳
	گسترش فضای سبز	Env7	۱۵/۸۱	۵
	عدم ایمنی از سوانح	Env8	۱۱/۲۹	۱۰
اقتصادی (Economic)	عدم استفاده بهینه از زمین	Eco1	-	-
	سوداگری زمین	Eco2	۱۳/۷۳	۷
	تعدیل حفظ مالکیت	Eco3	۱۱/۷۶	۹
	استفاده از اضافه ارزش زمین در جهت منافع عمومی	Eco4	۱۱/۸۶	۸
اجتماعی (Social)	کاهش نابرابری در کاربری اراضی	Soc1	-	-
	افزایش تسهیلات و خدمات عمومی	Soc2	۵/۸۴	۲۰
	گسترش فضاهای جمعی	Soc3	۷/۵۵	۱۵
	بهسازی بافت‌های قدیمی	Soc4	۶/۹۰	۱۸
	زیباسازی محیط	Soc5	۶/۳۲	۱۹
	اعتلای کیفیت کاربری مسکونی	Soc6	۷/۰۱	۱۷
	اعتلای کیفیت کاربری خدماتی و تفریحی	Soc7	۷/۳۸	۱۶
کالبدی- فضایی (Spatial)	توزیع متعادل کاربری	Spat1	-	
	جلوگیری از تداخل کاربری‌های ناسازگار	Spat2	۱۰/۵۳	۱۱
	تنوع و اختلاط کاربری‌ها	Spat3	۱۰/۵۴	۱۲
	حفظ تناسب میان توده و فضا	Spat4	۸/۶۴	۱۴
	تدوین معیارها و استانداردهای مناسب کاربری	Spat5	۹/۴۸	۱۳

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق مبنی بر تحلیل عوامل موثر بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی در تحلیل داده‌ها، عوامل نهایی به عنوان عوامل کلیدی موثر بر تغییر کاربری غیرمجاز اراضی کشاورزی در شهرستان آذرشهر بر حسب اولویت اثرگذاری شناسایی شدند.

رشد صنعت و افزایش جمعیت در شهرها، به ساخت و سازهای سوداگرانه‌ای منجر شده است. این ساخت‌وسازها به مسائل بهداشتی و تأمین حداقل نور و هوا در مناطق متراکم شهری توجهی نداشته‌اند. از سوی دیگر، ضرورت ایجاد کاربری‌های جدید شهری، برای پاسخگویی به نیازهای روزافزون شهرنشینان به تدریج باعث کاهش سهم فضای سبز و باغ‌های شهری گردیده است که ماحصل آن آلودگی‌های زیست محیطی موجود می‌باشد. پارکها و فضاهای سبز از اهمیت استراتژیکی زیادی برای بهبود شرایط زیستی جوامع شهری امروزی برخوردارند. بسیاری عوامل همچون معیارهای نزدیکی به رودخانه، نزدیکی به مراکز مسکونی، سازگاری با کاربری اراضی، دسترسی به شبکه ارتباطی، نزدیکی به مراکز آموزشی، نزدیکی به تاسیسات و تجهیزات، نزدیکی به مراکز فرهنگی و دوری از فضاهای سبز موجود، تراکم بالای جمعیتی و سرانه پایین فضای سبز موجب می‌شود مکان بهینه برای ایجاد خدمات طراحی نشود و باعث تغییر غیرمجاز کاربری اراضی کشاورزی اطراف شود.

علیرغم ضرورت‌های حفظ کاربری اراضی و خطر نابودی اراضی کشاورزی، علت تغییر کاربری را علاوه بر گسترش روزافزون جمعیت و تقاضا برای مسکن، نیازهای رفاهی و گردشگری، تمایل به خوش‌نشینی، ارزش‌افزوده زمین، تمایل افراد به خردکردن اراضی و تملک و از طرفی ناهماهنگی دستگاه‌های اجرایی در ارائه خدمات و صدور مجوز برای ساخت و سازهای غیرمجاز باید دانست. تشدید تمایل به سوداگری زمین، عدم آگاهی از قانون و مجازات‌ها و اثرات مخرب زیست محیطی از دیگر علل تغییر کاربری است. تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی تهدیدی برای تولید کشاورزی، امنیت غذایی و خودکفایی است. با عنایت بر ضرورت توسعه فعالیت‌های ترویجی- آموزشی و نیز استفاده از فناوری‌های جدید در پایش تغییر کاربری، مسئولان دستگاههای اجرایی باید در صدور مجوزها دقت و کاربری اراضی زراعی و باغی را از جهاد کشاورزی استعلام کنند.

گسترش فضایی شهرها و ادغام روستاها و اراضی پیرامونی آنها, یکی از پیامدهای مهم شهرنشینی شتابان است که در شهر آذرشهر نمود چشمگیری داشته است. به گونه‌ای که گسترش فضایی پیوسته این شهر طی چند سال اخیر روستاهای مختلف را با زمین‌های زراعی, باغی و مراتع پیرامونشان در بافت خود ادغام کرده است. علاوه بر این گسترش فضایی منفصل این شهر منجر به تورم جمعیتی و رشد کالبدی روستاهای پیرامونی شده است. نتیجه این فرایند تغییرات وسیع در کاربری اراضی این روستاها بوده است.

امروزه با گسترش پارادایم‌هایی چون شهر فشرده، رشد هوشمند و نوشهرگرایی، کاربرد اختلاط کاربری زمین شهری به عنوان یکی از اصول مهم این پارادایم‌ها در شهرسازی کشورهای پیشرفته گسترش یافته است و محققان مختلف سعی در گسترش ادبیات موضوع و روش‌های ارزیابی کاربری زمین بر اساس مفهوم اختلاط کاربری داشته‌اند. مفهوم اختلاط کاربری به آن کاربری‌ها و فعالیت‌هایی اشاره دارد که در یک فضای محدود در ارتباط با هم هستند و بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند. یکی از علایق پژوهشگران حوزه کاربری اراضی شهری سنجش مناسب میزان اختلاط کاربری‌ها بوده است و سعی شده با استفاده از شاخص‌هایی درجه اختلاط و تنوع کاربری-ها را در سطح بخش‌های مختلف یک شهر بسنجند. با توجه به اهمیت موضوع در این شهرستان تفاوت زیادی بین محلات مختلف از نظر میزان اختلاط کاربری‌ها وجود دارد.

سپاسگزاری

از اساتید دانشگاهی، افراد مطلع محلی شهرستان آذرشهر و پژوهشگران حوزه توسعه روستایی و ترویج کشاورزی تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Amini S, Rahmani B and Majidi Khamene B. 2017. Economic consequences of land use changes in peri-urban villages Case: Dehistan Ji villages in Isfahan city. Space economy and rural development, 6(20): 17-40. (In Persian). htpps:\\doi: 10.22059/jurbangeo.2022.336711.1643.

Banani F. 2021. Investigating the change of unauthorized uses of agricultural land and its impact on soil erosion in Qom province, the fifth international conference on modern studies of civil engineering, architecture, urban planning and environment in the 21st century, Tehran. (In Persian).

Barati A, Asadi A, Kalantari Kh and Azadi H. 2014. Designing a model of structural and integrated equations of the causes and effects of agricultural land use change in Iran based on the opinion of the experts of the Agricultural Land Affairs Organization, Agricultural Extension Sciences and Education of Iran, 12 (1): 21-37. (In Persian). htpps:\\doi: 20.1001.1.20081758.1395.12.1.2.3

Dadashpour H, Rafiyan M, and Zarei A. 2014. Presenting an integrated model of land use allocation based on ecological potential in Nowshahr city, Urban Studies, 9: 31-44. (In Persian).

Dale V H, Brown S, Haeuber R A, Hobbs N T, Huntly N, Naiman R J, Riebsame, W E, Turner MG and Valone T J. 2000. Ecological principles and guidelines for managing the use of land: a report from the Ecological Society of America. Ecological Applications, 10 (3): 639–670. htpps:\\doi: 10.1890/1051-0761(2000)010[0639: EPAGFM]2.0.CO;2

Fatemi M, Karami A And Zamani G. 2016. Major systems of land use change in agriculture in Fars province. Agricultural extension and education sciences of Iran, 12(2): 197-214. (In Persian).

Fazel Nia G and Afshar Omrani A. 2013. Analysis of the effect of social demand on land use in the villages of Tankabon city, Geography and Development, 33: 27-38. (In Persian). 10.22111/gdij.2013.1320

Ghadimi SA, Papzan A and Amini A. 2018. Investigating the process of agricultural land use change and its impact on the components of sustainable development (case study: Zayandehroud basin, Isfahan province). Agricultural Extension and Education Research, 11(3): 41-58. (In Persian).

Ghasemi N. 2021. Analysis of agricultural land use change in East Azarbaijan province, PhD thesis on agricultural development, department of rural extension and development, Faculty of Agriculture, Tabriz University. (In Persian).

Ghasemi N, Raheli H, Koohestani H and Kazemiyeh F. 2020. Analysis of unauthorized change of use of agricultural land in East Azarbaijan province using foundation data theory, agricultural knowledge and sustainable production, 31(2): 317-338. (In Persian). 10.22034/saps.2021.13113.

Gurgel A C, Reilly J and Blanc E. 2021. Agriculture and forest land use change in the continental United States: Are there tipping points? iScience, 102772.

Jansen H G P, Pender J, Amy D and Schipper R. 2006. Rural development policies and sustainable land use in the Hillside areas of Honduras: a quantitative livelihoods approach. Research reports. International Food Policy Research Institute. 10.2499/0896291561.

Lubowski R N, Plantinga AJ and Stavins RN. 2008. What drives land-use change in the United States? A National analysis of landowner decisions. Land Economics, 84: 529-550.

Marland G, Pielke Sr MRA, Apps M and Avissar R. 2003. The climatic impacts of land surface change and carbon management and the implications for climate-change mitigation policy. Climate Policy, 3:149-157. 10.3763/cpol.2003.0318

Meyer M A and Früh-Müller A. 2020. Patterns and drivers of recent agricultural land-use change in Southern Germany. Land Use Policy, 99. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104959

Moshiri S R and Qomashpasand M T. 2011. An analysis of the effects and consequences of agricultural land use change in the villages of the central part of Lahijan city in the last decade. Human settlement planning studies, 7(21): 1-13. (In Persian).

Mousavi M and Yazdan Panah M. 2021. Factors affecting agricultural land use change in Bavi city of Khuzestan province. Land Management, 9(1):13-23. (In Persian). 20.1001.1.23456205.1400.9.1.2.9

Müller D. 2004. From agricultural expansion to intensification: Rural development and determinants of land-use change in the Central Highlands of Vietnam, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn.

Nazari Samani A, Ghorbani M and Kohbanani H R. 2001. Evaluation of the trend of land use changes in the Taleghan watershed in the period 1366 to 1380, Marta, 4(3):442-451. (In Persian).

Paudel B, Zhang Y, Yan J, Rai, R. and Li L. 2019. Farmers' perceptions of agricultural land use changes in Nepal and their major drivers. Journal of Environmental Management, 235;432–441. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.091

Sadi H A, Avatefi Akmal F. 2018. Factors affecting agricultural land use change in the villages of Hamadan city. Spatial Economy and Rural Development, 7(24): 211-226. (In Persian).

Schirmer J, Williams K and Dunn C. 2009. Socio-economic impacts of land use change in the Green Triangle and Central Victoria. Australian National University, University of Melbourne and Victorian Government, Department of Primary Industries.

Ustaoglu E, Perpiña Castillo C, Jacobs-Crisioni C and Lavalle C. 2016. Economic evaluation of agricultural land to assess land use changes. Land Use Policy, 56: 125–146. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.020

Veldkamp A and Lambin E F. 2001. Predicting land-use change. Agriculture, Ecosystems and Environment, 85: 1–6. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00199-2

Zia Tavana, M.H. and Ghader Mazi H. ۲۰۰۹. Land use changes in peri-urban villages in the process of urban creep in Naysar and Hassanabad villages of Sanandaj, Human Geography Research, 68: 119-135. (In Persian).

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 311-331

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Investigating the effect of Carbon Tax on Pollution Control in Iran's Agricultural Sector (with the implementation of the Energy Subsidy Targeting Law)

Fatemeh Taei Semiromi [1], Sadegh Khalilian[2*]

Received: 26 April 2021	Accepted: 28 December 2023

1-PhD Student, Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2-Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
*Corresponding Author Email: Khalil_s@modares.ac

Abstract

Background and Objective: Paying subsidies to energy carriers causes environmental pollution. Therefore, it is necessary to investigate the effective factors on pollution control during the targeted period of energy subsidies. The purpose of this study is to investigate the effect of applying the carbon tax policy on pollution control in Iran's agricultural sector.

Materials and Methods: To achieve this goal, the translog cost function was estimated through seemingly unrelated linear regression (SUR) for the period 1997 to 2018. Also, through a scenario-based approach, the effect of tax rate on pollution control was investigated for the period 2010 to 2018. Relevant statistical information has been collected from Central Bank, Iran Statistics Center, Ministry of Energy and FAO Organization.

Results: The results showed that the carbon tax policy in the agricultural sector is an efficient policy for energy storage and pollution control in the agricultural sector, so that by applying different scenarios of the carbon tax rate, it was found that the implementation of this policy saves energy consumption with an average of 92. 14 million barrels will be equivalent to crude oil and the reduction of carbon dioxide emissions will be an average of 87.3 million tons.

Conclusion: According to the results, in order to develop new technologies and sustainable growth of production to achieve the goals of saving energy consumption and reducing carbon dioxide emissions, it is suggested to accelerate pricing reforms by implementing the policy of increasing the carbon tax.

Keywords: Carbon Tax, Energy Consumption, Agriculture, Pollution Control, Targeted Energy Subsidie

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Sadegh Khalilian E-mail: Khalil_s@modares.ac
https://doi.org/10.22034/saps.2023.47609.2727

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۳۳۱-۳۱۱

دانش کشاورزی و تولید پایدار

بررسی اثر مالیات بر کربن بر کنترل آلودگی در بخش کشاورزی ایران (با اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی)

فاطمه طایی سمیرمی[۱]، صادق خلیلیان[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۶	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۷

۱- دانشجوی دکترای گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
* نویسنده مسئول: Email: Khalil_s@modares.ac

چکیده

اهداف: پرداخت یارانه به حامل‌های انرژی سبب آلودگی‌های محیط‌زیستی می‌شود. بنابراین، بررسی عوامل مؤثر بر کنترل آلودگی در دوره هدفمندی یارانه‌های انرژی ضرورت دارد. هدف از این مطالعه بررسی اثر سیاست مالیات بر کربن بر کنترل آلودگی در بخش کشاورزی ایران است.

مواد و روش‌ها: برای دستیابی به این هدف، به برآورد تابع هزینه ترانسلوگ از طریق رگرسیون به ظاهر نامرتبط خطی (SUR[۱]) برای دوره ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۷ پرداخته شد. همچنین از طریق یک رویکرد مبتنی بر سناریو برای دوره ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷ اثر نرخ مالیات بر کنترل آلودگی بررسی شد. اطلاعات آماری مربوطه از بانک مرکزی، مرکز آمار ایران، وزارت نیرو و سازمان فائو جمع‌آوری شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که سیاست مالیات بر کربن برای ذخیره‌سازی انرژی و همچنین کنترل آلودگی در بخش کشاورزی سیاستی کارآمد است، به طوری که با اعمال سناریوهای مختلف نرخ مالیات بر کربن مشخص شد که اجرای این سیاست سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی با متوسط ۱۴/۹۲ میلیون بشکه معادل نفت‌خام و کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن با متوسط ۳/۸۷ میلیون تن در دوره هدفمندی یارانه انرژی خواهد شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصله، به منظور توسعه فنآوری‌های جدید و رشد پایدار تولید برای دستیابی به اهداف صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن تسریع در اصلاحات قیمت‌گذاری با اجرای سیاست افزایش مالیات بر کربن پیشنهاد می‌گردد.

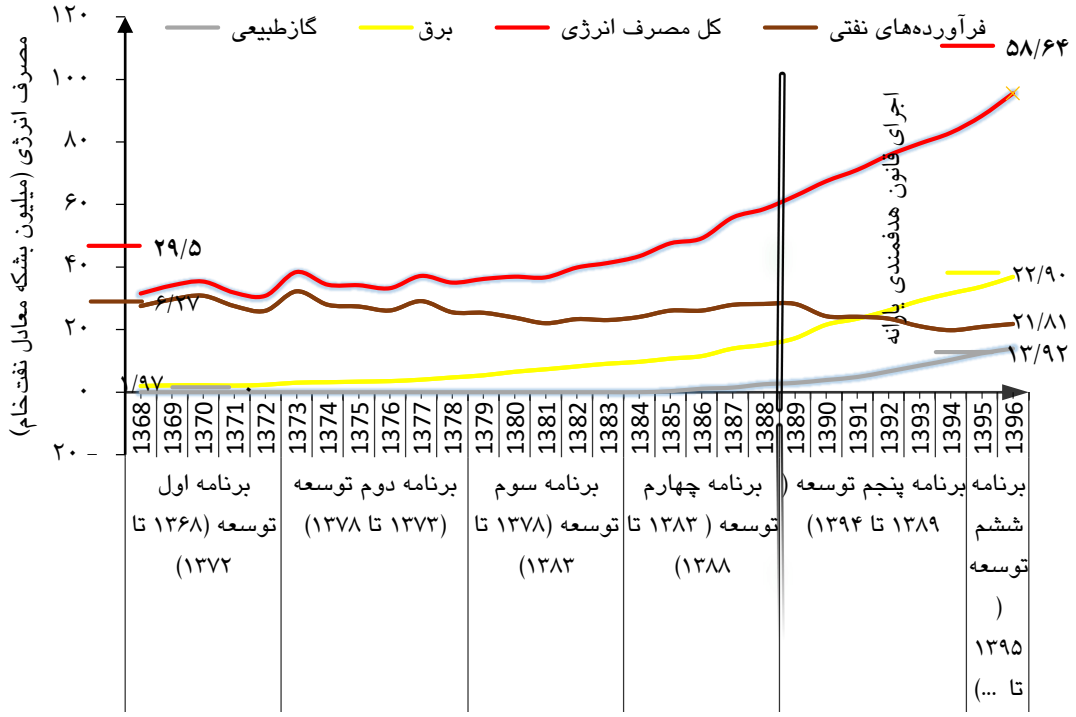
واژه‌های کلیدی: مالیات بر کربن، مصرف انرژی، کشاورزی، کنترل آلودگی، هدفمندی یارانه انرژی

مقدمه

توسعه اقتصادی بخش کشاورزی متکی به مصرف زیاد انرژی است (بوندشوه و چن ۲۰۱۴؛ چن و همکاران ۲۰۱۸؛ ساسانا و آمیناتا ۲۰۱۹). تداوم پرداخت یارانه به حامل‌های انرژی در بخش کشاورزی سبب افزایش مصرف انرژی و افزایش آلودگی‌های محیط‌زیستی شده است (لی ۲۰۲۲؛ چن و همکاران ۲۰۱۸). چنانکه شکل ۱ نشان می‌دهد، قانون هدفمندی یارانه انرژی در سه

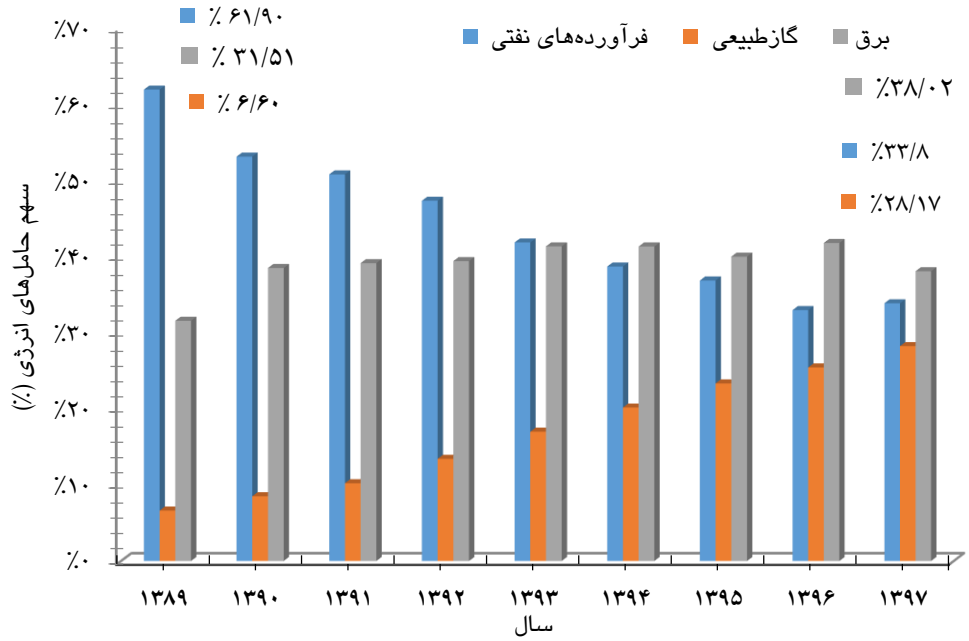
[1]- Seemingly unrelated regressions

مرحلـه اجرا گردید که مرحله اول آن از ۲۸ آذر ۱۳۸۹ تا فروردین ۱۳۹۳ ادامه داشـــت و ســـبب افزایش پرداخت نقدی به خانوارها شـــد و مرحله دوم آن که از فروردین ۱۳۹۳ برای برطرف کردن کاســـتی‌های مرحله نخســـت آغاز شد تغییر چندانی نسبت به مرحله اول نداشته است و حـدود ۹۰ درصـــد پرداخـت نقدی به خانوارها و فقط حدود یک درصـد به بخش تولید پرداخت شد و همچنین مرحله ســـوم آن از خرداد ۱۳۹۴ با افزایش قیمت انرژی اجرایی گردیـد (وزارت نفـت ۲۰۱۷). بـا توجـه بـه اینکه اهداف ســـیاســـت قانون هدفمندی یارانه انرژی شـــامل اصلاح قیمت انرژی و توزیع منابع حاصله در مراحل سه گـانـه اجرای آن محقق نگردیـد، اجرای این قـانون در برنامه ششم توسعه تمدید شد،



شکل ۱- روند مصرف انرژی در بخش کشاورزی در برنامه‌های مختلف توسعه اقتصادی (وزارت نیرو ۱۳۹۷)

اســـتـدلـال دولـت از اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی این بود که شـدت مصرف انرژی را کاهش دهد و بخش تولید را به سـمت اسـتفاده از تکنولوژی‌های جدید ترغیب کند که این سـیاسـت با وجود اینکه سبب افزایش چشـــمگیر قیمـت در اواخر ســـال ۱۳۸۹ شـــد؛ برای صـرفه‌جویی در مصـرف انرژی موفق عمل نکرده است، در حال حاضـر مصرف انرژی با سرعت چشمگیری در دوره هـدفمنـدی یـارانـه انرژی افزایش یـافته اســـت و همچنین این ســـیاســـت با ترغیب بخش تولید به ســـمت اســـتفـاده از تکنولوژی جـدیـد ســـبب تغییر در ترکیب نهـاده‌هـای تولیـد بـه ویژه تغییر در ترکیـب حـامل‌های انرژی می‌شـــود (وزارت نفت ۲۰۱۷). چنانکه از شـــکل ۲ مشهود است، در بخش کشاورزی ایران، با اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی، میزان ســهم حامل‌های انرژی در این بخش تغییر یافته اســـت، به طوری‌که ســـهم میزان فرآورده‌هـای نفتی از ۶۱/۹۰ درصـــد در ســـال قبل هدفمندی (۱۳۸۹) به ۳۳/۸۰ درصـد در سال ۱۳۹۷، سهم میزان برق مصـــرفی از ۳۱/۵۱ درصـــد در ســـال قبل هدفمندی (۱۳۸۹) به ۳۸/۰۲ درصـــد در ســـال ۱۳۹۷ و ســهم میزان گازطبیعی مصرفی از ۶/۶۰ درصد در سال ۱۳۸۹ به ۲۸/۱۷ درصـد در سال ۱۳۹۷ تغییر یافته است (وزارت نیرو ۲۰۱۸).



شکل ۲- سهم حامل‌های مختلف انرژی در تأمین انرژی بخش کشاورزی ایران در طی دوره ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷
(وزارت نیرو ۱۳۹۷)

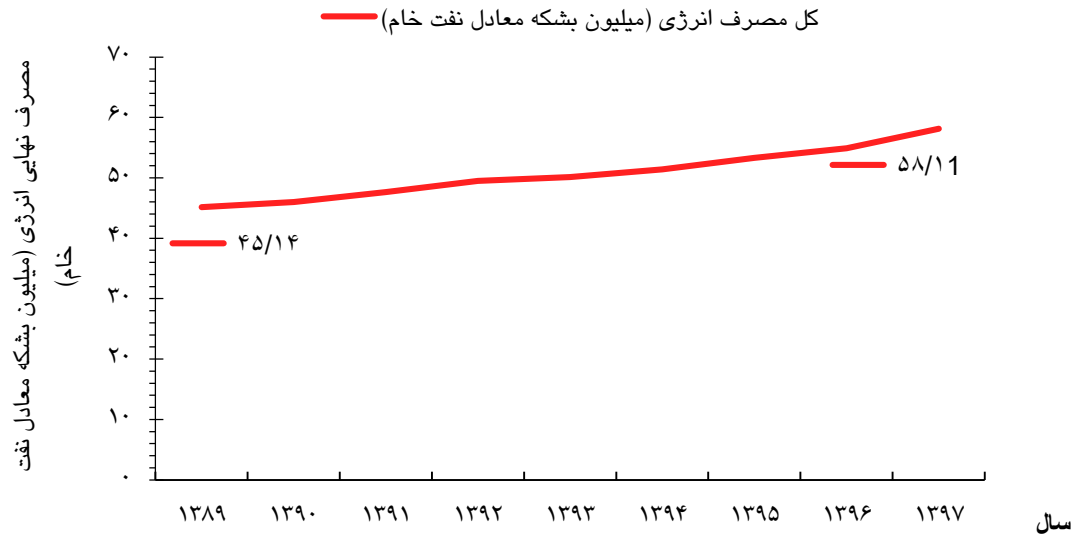
همچنین این سیاست با ترغیب بخش تولید به سمت استفاده از تکنولوژی جدید به دلیل افزایش بهره‌وری، هزینه‌های واقعی انرژی را کاهش داده است که این امر نیز به نوبه خود سبب افزایش مصرف انرژی می‌شود(سانتریوس ۲۰۱۶). از آنجا که پیشرفت تکنولوژی یک روش مهم برای دستیابی به اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است ممکن است با استفاده بیشتر از سوخت‌های فسیلی منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای شود (لین و لیو، ۲۰۱۷)[۲]. هر چند صرفه‌جویی در مصرف انرژی برای سوخت‌های فسیلی پیشرفت قابل توجه‌ای داشته است اما به علت وجود اثر بازگشت انرژی (جین و کیم، ۲۰۱۹)، تقاضای کل انرژی بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ بیشتر از ۱۴ درصد رشد داشته است، چنانکه شکل ۳ نشان می‌دهد، مصرف نهایی انرژی از ۴۵,۱۴ میلیون بشکه معادل نفت‌خام در سال ۱۳۸۹ به ۵۸,۱۱ میلیون بشکه معادل نفت‌خام در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است، به بیان دیگر مصرف انرژی در دوره هدفمندی یارانه انرژی تقریباً به میزان ۲۸,۷۳ درصد رشد داشته است که این نشان‌دهنده افزایش مصرف انرژی در دوره هدفمندی یارانه انرژی می‌باشد (وزارت نیرو ۲۰۱۸).

با گسترش مصرف انرژی در بخش کشاورزی، انتشار مواد آلاینده ناشی از احتراق حامل‌های انرژی نیز رو به افزایش بوده است، گاز دی‌اکسیدکربن به عنوان مهمترین محصول احتراق، نقش قابل توجهی در پدیده گرمایش جهانی دارد و از این رو به عنوان مهمترین گاز گلخانه‌ای شناخته شده است (رایحان ۲۰۲۳)، به طوری که تولید گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف سوخت در این بخش از ۱۳۶۸۲۲۷۱ (تن) در سال ۱۳۸۹ به ۱۴۵۲۶۰۰۸ (تن) در سال ۱۳۹۷ افزایش داشته است بدین معنی که میزان آلودگی در این دوره به میزان ۶,۱۷ درصد رشد داشته است(وزارت نفت ۲۰۱۷). با افزایش تقاضای انرژی در طی سال‌های اخیر و از همه مهمتر با اجرای برخی از سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی لازم است که قوانین و شرایطی برای کنترل کیفیت محیطزیست در بخش

[۲]- Lin & Liu

کشاورزی اعمال گردد، با نظر به اهیمت مسئله‌ی محیطزیستی در بخش کشاورزی ایران انتظار می‌رود که بررسی عوامل مؤثر بر کاهش آلودگی در این بخش بتواند کمک مؤثری به افزایش امنیت انرژی و افزایش کیفیت محیطزیستی کند. بنابراین، بررسی عوامل مؤثر بر شدت مصرف انرژی و کنترل آلودگی در بخش کشاورزی ایران در زمان اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی ضرورت دارد. با توجه به اهمیت موضوع، در این مقاله با استفاده از داده‌های سالیانه دوره ۱۳۹۷-۱۳۸۹ به دنبال پاسخ داد به این سوال که آیا اعمال سیاست مالیات بر کربن در زمان اجرای قانون هدفمندی یارانه‌های انرژی می‌تواند به کنترل میزان آلودگی در این بخش کمک کند یا خیر؟

در این راستا و در ادامه به بررسی نتایج بررسی‌های انجام شده در زمینه موضوع مورد بررسی در داخل و در خارج از کشور پرداخته شده است.



شکل ۳- مصرف نهایی انرژی در دوره هدفمندی در بخش کشاورزی (وزارت نیرو ۱۳۹۷)

سلمان پور (۲۰۱۸) به بررسی اثر رشد جمعیت، سرمایه انسانی و مصرف فرآورده‌های نفتی بر آلودگی محیطزیستی در ایران پرداخت و به این نتیجه رسید که سرمایه انسانی سبب کاهش آلودگی‌های محیطزیستی می‌شود، در صورتی‌که مصرف فرآورده‌های نفتی، جمعیت و درآمد ملی سبب افزایش آلودگی‌های محیطزیستی می‌شود.

آقایی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی ثبات مالی، مصرف انرژی، رشد اقتصادی و کیفیت محیطزیست در کشور ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ثبات مالی تأثیرمعنی‌داری بر بهبود کیفیت محیطزیست در بلندمدت نخواهد داشت، در حالی که رشد اقتصادی، تراکم جمعیت و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر منفی و معنی‌داری بر کیفیت محیطزیست دارد.

در پژوهش دیگر، قادری و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی که در ایران انجام دادند به این نتیجه رسیدند که رابطه مالیات‌های سبز و انتشار آلاینده‌ها برای استان‌های مورد بررسی منفی بوده است. همچنین تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر اثر معکوس بر انتشار آلاینده‌ها دارد، در صورتی که مصرف سوخت‌های فسیلی و توسعه انسانی میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را افزایش می‌دهد. بیبر و همکاران (۲۰۱۸) از طریق یک رویکرد مبتنی بر سناریو نشان دادند که سرمایه‌گذاری در زیر ساخت‌ها سهم انرژی

تجدیدپذیر را افزایش و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهد.

دنگ و همکاران (۲۰۱۸) به مطالعه تأثیر تغییرات قیمت انرژی و توسعه تکنولوژی بر عوامل تولید برق برای هفت منطقه چین پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که قیمت برق بر بهره‌وری برق تأثیر مثبت و قابل توجهی دارد ولی به دلیل اینکه توسعه تکنولوژی قابل توجه نیست، افزایش قیمت برق سبب اثر بازگشتی انرژی می‌شود. لین و جیا (۲۰۱۸) به بررسی اثر نرخ مالیات بر کربن بر مصرف انرژی، محیط‌زیست و اقتصاد پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که اگر مالیات بر کربن بر شرکت‌ها با مصرف انرژی بالا وضع شود تأثیر آن بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناچیز است. همچنین نتایج نشان داد که اثر نرخ بالای مالیات بر کربن بر ذخیره‌سازی انرژی و کاهش انتشار بیشتر است در صورتی که نرخ پایین مالیات بر کربن ممکن است اثر ناچیزی بر کنترل آلودگی داشته باشد. کوکاک و اولوکاک (۲۰۱۹) نشان دادند که هزینه‌های تحقیق و ذخیره‌سازی انرژی اثر قابل توجهی در کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن دارد.

مردا و علام (۲۰۱۹) نشان دادند که تولید ناخالص حقیقی در کوتاه‌مدت و بلندمدت بر مصرف انرژی اثر مثبت و معنی‌داری می‌گذارد، در صورتی که قیمت انرژی و فنآوری‌های جدید بر مصرف انرژی تأثیر منفی و معنی‌داری دارد. بهبودی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی روابط متقابل بین انرژی تجدیدپذیر توسعه پایدار- انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تکانه مثبت در مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر توسعه پایدار در ایران تأثیر مثبت دارد. همچنین شوک مثبت وارده به مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر موجب افزایش انتشار آلاینده دی‌اکسیدکربن به میزان متفاوت می‌شود. در مطالعه‌ای که در منطقه جنوب غربی ایالات متحده توسط منیر و همکاران (۲۰۱۹) برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ صورت گرفت، نشان دادند که انرژی‌های تجدیدپذیر سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود.

حاجک و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش رگرسیون پانل چندگانه نشان دادند که مالیات بر کربن در صنعت انرژی سیاستی کارآمد است، به طوری که افزایش نرخ مالیات بر کربن باعث کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌شود که بر اساس ضرایب رگرسیون جزئی (۰/۰۱۱۵۸)، افزایش مالیات بر کربن به میزان یک یورو در تن سبب کاهش انتشار آلودگی به میزان ۱۱/۵۸ کیلوگرم می‌شود. محمود و همکاران (۲۰۱۹) در کشور پاکستان به بررسی اثرات مصرف انرژی تجدیدپذیر، رشد اقتصادی، سرمایه انسانی بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که اثرات تعامل بین درآمد و انرژی‌های تجدیدپذیر سبب افزایش میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود. علاوه بر این، تجارت باز میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را افزایش می‌دهد و سرمایه انسانی به کاهش میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کمک می‌کند.

حنیف و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی اثر از مصرف سوخت‌های فسیلی، سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی و رشد اقتصادی بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن پرداختند. نتایج نشان داد که رشد اقتصادی، مصرف سوخت‌های فسیلی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی سبب تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود. لین و خو (۲۰۱۹) به بررسی اثرات حذف یارانه انرژی بر کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در صنعت متالورژی چین پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که صنعت متالورژی نسبت به تغییرات قیمت انرژی حساسیت کمتری نشان داده است، به طوری‌که با حذف یارانه انرژی، مقدار کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به میزان ۴۸۷/۲۹ میلیون تن بوده است که این مقدار برای کاهش انتشار کربن در چین مقدار ناچیزی بوده است.

شریماکین (۲۰۱۹) اثرات تغییر در تقاضای انرژی با تغییر قیمت انرژی و پیامد آن را بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه دست یافت که امکان جانشینی بین نهاده‌های تولید وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که اثرات جانشینی و اثرات تولیدی در کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از نظر آماری معنادار و منفی است. در مطالعه احمد و

همکاران (۲۰۲۰) که با هدف بررسی تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر آلودگی‌های محیط‌زیستی در پنج استان شمال غربی چین صورت گرفت، به این نتیجه رسیدند که شوک مثبت انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر نامطلوبی بر کاهش میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در بلندمدت دارد.

ایک و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که انرژی‌های تجدیدپذیر و قیمت انرژی اثر منفی بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن دارد و این در حالی است که حجم تجارت اثر مثبت بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن دارد. سارکودی و همکاران (۲۰۲۰) به این نتایج دست یافتند که افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر سبب کاهش گازهای گلخانه‌ای به میزان ۳۵/۳۲ درصد می‌شود و این در حالی است که سرمایه‌گذاری‌های خارجی و میزان درآمد سبب تشدید گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

کوئنگکان و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای که در کشور آمریکای لاتین و کشورهای کارائیب انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که رشد اقتصادی و مصرف سوخت فسیلی سبب انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود، در حالی‌که مصرف انرژی تجدیدپذیر سبب کاهش میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود. انرژی یک نهاده‌ی ضروری و همچنین عامل مهم تغییرات آب و هوایی در بخش کشاورزی است با توجه به ضرورت حفظ نهاده‌ی انرژی و همچنین کنترل آلودگی‌های محیط‌زیستی ما قادر نخواهیم بود که به هر میزانی از این نهاده در بخش کشاورزی استفاده کنیم، بنابراین لازم است ابزارهای اقتصادی برای دستیابی به این اهداف در این بخش تصویب شود. در بررسی مطالعات فوق، این جمعبندی حاصل شد که اغلب مطالعات داخلی و خارجی انجام شده در زمینه ابزارهای کنترل آلودگی کافی نبوده است. هدف مطالعه حاضر کمک به کاهش این شکاف با بررسی اثرات چندگانه افزایش سیاست مالیات بر کربن بر انتشار گاز دی اکسید کربن در بخش کشاورزی ایران در طول دوره هدفمندی یارانه انرژی است.

روش تحقیق

به منظور بررسی اثر مالیات بر کربن بر شدت مصرف انرژی و کنترل آلودگی در زمان اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی، ابتدا اثرات افزایش قیمت انرژی بر تابع تقاضای مشروط انرژی از قضیه لم‌شفارد بررسی می‌شود و در انتها از تابع تقاضای تخمین‌زده شده به‌عنوان ابزاری برای بررسی اثرات مالیات بر کربن بر شدت مصرف انرژی و کنترل آلودگی استفاده گردیده است.

برای مدلسازی مناسب در این مطالعه از تابع هزینه کاملاً انعطاف‌پذیر ترانسلوگ استفاده می‌شود در بررسی‌های مدل‌ها، چند معیار مناسب برای ارزیابی است از جمله این معیارها می‌توان به انعطاف‌پذیری، سازگاری با نظریه، قابلیت کاربرد، امکانات محاسباتی و ... اشاره کرد. همچنین در تخمین توابع هزینه از فرم‌های تابعی مختلف بهره گرفته می‌شود که در میان توابع انعطاف‌پذیر، لئونتیف تعمیم‌یافته از جمله ترانسلوگ و کاب داگلاس تعمیم‌یافته ساختار تابع هزینه ترانسلوگ به گونه‌ای است که برای محاسبه کشش جانشینی میان نهاده‌ها و همچنین روابط متقابل نهاده‌ها استفاده می‌گردد این تابع هیچگونه محدودیت اولیه بر مقادیر پارامترها، کشش‌های جانشینی و قیمتی نهاده‌ها تولیدی اعمال نمی‌کند و قابلت فروض محدودیت‌های آماری را دارد، به این ترتیب مناسب‌ترین فرم تابع که همسو با هدف تحقیق باشد تابع هزینه ترانسلوگ است. با بهره‌گیری از قضیه لم شفارد به راحتی می‌توان تابع تقاضا برای عوامل تولید را از تابع هزینه ترانسلوگ به دست آورد. بدیهی است که در چنین صورتی تقاضای استخراج شده، تقاضای مشروط است. چون در آن میزان نهاده مورد تقاضا به صورت تابعی از قیمت نهاده‌ها و سطح محصول بیان شده است. به عبارت دیگر تقاضای نهاده، بستگی به سطح خاصی از تولید دارد. دوم اینکه با انتخاب تابع هزینه ترانسلوگ فرض‌ها محدود می‌شوند و در نتیجه قیدهای کمتری بر الگو تحمیل می‌شود. سوم، در تابع هزینه ترانسلوگ موضوعاتی نظیر صرفه‌جویی ناشی از مقیاس به راحتی قابل بررسی است. به علاوه، مشکلاتی نظیر همخطی در

برآورد اقتصادسنجی در توابع تولید مطرح می‌گردد اما در روش تابع هزینه ترانسلوگ، چون قیمت نهاده‌ها به جای عوامل تولید در سمت راست معادله قرار دارند، همخطی بین قیمت عوامل تولید که متغیرهای مستقل الگو هستند، ضعیف است و لذا، تخمین را با مشکل مواجه نخواهد کرد و بلاخره تابع هزینه ترانسلوگ پس از برآورد تغییرات فنی را به طور مناسب مشخص می‌کند. به منظور بررسی اثر شدت مصرف انرژی و اثر مالیات بر کربن بر کنترل آلودگی، ابتدا اثرات افزایش قیمت انرژی بر تابع تقاضای مشروط انرژی بررسی می‌شود و در انتها از تابع تقاضای تخمین‌زده شده به‌عنوان ابزاری برای بررسی اثرات مالیات بر کربن بر شدت مصرف انرژی و کنترل آلودگی استفاده گردیده است. بر این اساس مدل تقاضای مشروط نهاده‌ها بر اساس قضیه لم‌شفارد در این مطالعه به صورت زیر بیان شد:

$$X_{CE} = F(P_E. P_K. P_L. T. P_M. Y) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در رابطه (۱)، X_{CE} تابع تقاضای مشروط نهاده‌ها، P_E قیمت انرژی؛ P_K نرخ بهره سرمایه، P_L دستمزد، P_M قیمت دیگر نهاده‌های واسطه‌ای به جزء سرمایه، T متغیر روند زمان به منظور بررسی اثرات تغییرات فنی است و Y میزان ارزش‌افزوده در بخش کشاورزی ایران است. بخش کشاورزی، واحد تولیدی است که از عوامل تولید برای تولید استفاده می‌کنند. این عوامل تولید در این مطالعه، عبارتند از: میزان انرژی مصرفی، تعداد نیروی‌کار، میزان سرمایه موجودی سرمایه و سایر واسطه‌ها که بیانگر سایر واسطه‌ها به جزء سرمایه است. تابع تبدیل ضمنی زیر را (که بیانگر تکنولوژی تولید) معرفی نمود. این تابع تبدیل، تابعی از سطح تولید، مقدار عوامل تولید و متغیر روند است:

$$F\,(Y. T. L. E. M\,.\,K) = 0 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در رابطه (۲)، T متغیر روند، L تعداد نیروی‌کار، Y میزان ارزش‌افزوده، E مقدار انرژی مصرفی، K میزان موجودی سرمایه و M بیانگر سایر واسطه‌ها به جزء سرمایه است.

تابع هزینه ترانسلوگ: به منظور مدلسازی در این مطالعه از تابع هزینه ترانسلوگ استفاده می‌گردد. از امتیازات این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: اول اینکه، تابع تقاضای شرطی نهاده‌ها خطی است. دوم اینکه، پارامترهای ناشناخته کمتری دارد. سوم اینکه، در این روش تقاضای نهاده‌ها بستگی به سطح خاصی از تولید دارد. چهارم اینکه، به علت آنکه در تابع هزینه ترانسلوگ، قیمت نهاده‌ها به جای عوامل تولید در سمت راست معادله قرار دارند به همین دلیل همخطی بین قیمت عوامل تولید که متغیر مستقل الگو هستند ضعیف است و لذا تخمین را با مشکل مواجه نخواهد کرد (کریستنسن و همکاران ۱۹۷۳). فرم کلی تابع هزینه ترانسلوگ در این مطالعه به صورت زیر بیان شد:

$$\begin{aligned} \ln C_t = \alpha_o + \sum \varphi_i \ln Y_t + \sum \beta_i \ln {Y^2}_t + \sum \vartheta_i \ln Pi_t \\ + \sum\sum \eta_{ij} \ln Pi_t \ln Pj_t + {}^1\!/_2 \sum\sum \delta_{ij} \ln Y_t \ln Pj_t \\ + \rho_i T \ln P_{it} + \varepsilon_{it}\; i.j = K. L. E\,.\,M \end{aligned} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

در رابطـه (۳)، C_t میزان هزینه، P_i قیمت عامل i، P_j قیمت عامل j، "t" زمان از سـال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۷، α_o، β_i، φ_i، ϑ_i، ρ_i، δ_{ij}، η_{ij} عرض از مبدأ و ضرایب هستند.

یـک مزیـت تابع هزینه این اسـت که می‌توان توابع تقاضـای نهاده‌ها را با گرفتن مشتق جزئی از تابع هزینه نسـبـت به قیمت عوامل تولید به دسـت آورد (دبرتین ۲۰۱۲). طبق قضـیه لم شفارد مشتق تابع هزینه به قیمت عامل تولید با تقاضـای مشـروط آن عامل تولید برابر اسـت، بنابراین، برای محاسـبه سـهم هزینه‌ای هر یک از عوامل تولید به روش زیر عمل می‌کنیم:

$$\frac{\delta \ln C_t}{\delta \ln P_{it}} = CS_{it} = \vartheta_i + \sum_j \eta_{ij} \ln P_{jt} + \varphi_i \ln Y_t + \rho_i T + \varepsilon_{it} \; i.j = K.L.E.M \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

در رابطـه (۴)، CS_i سـهم هزینه نهاده‌ها، P_j قیمت نهـاده j، Y_t ارزش‌افزوده، T متغیر رونـد، ϑ_i، η_{ij}، φ_i و ρ_i عرض از مبدأ و ضرایب هستند.

در رابطه با تابع هزینه ترانسـلوگ شـرط فوق به صورت زیر بیان شد:

$$\sum_i \vartheta_i = 1 \text{،} \sum_i \varphi_i = 0 \text{،} \sum_i \rho_i = 0 \text{،} \sum_i \eta_{ij} = \sum_j \eta_{ji} = 0 \text{،} \; \eta_{ij} = \eta_{ji} \text{،} \; i.j = K.L.E.M \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

چون مجموعه سـهم هزینه‌ها برابر با واحد اسـت، باید یکی از معادلات سهم هزینه (سهم هزینه سایر نهاده واسـطه‌ای به جزء سـرمایه) را در هنگام برآورد حذف نمود. بعـد از برآورد سـیسـتم معـادلات، پارامترهای مربوط به معادله سـهم هزینه حذف شـده به کمک قیود تقارن و همگنی و بر اسـاس سـایر پارامترها به دسـت آمده قابل محاسـبه اسـت. از آنجا که سـهم‌های هزینه دارای ویژگی خـاص جمع‌پـذیری اسـت. بنـابراین، n-1 معـادلـه سـهم هزینـه از اسـتقلال خطی برخوردارند. بنـابراین، برای رفع همبسـتگی معـادلات تعداد آن یکی تقلیل یافته است و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$CS_{it} = \gamma_i + \sum_j \eta'_{ij} \ln P'_{jt} + \varphi_i \ln Y_t + \rho_i T + \varepsilon_{it} \; i.j = K.L.E.M \qquad \text{(رابطه۶)}$$

$$P'_{jt} = \frac{P_{jt}}{P_{Mt}} \qquad \text{(رابطه۷)}$$

در رابطه (۶) و (۷)، علاوه بر پارامترها و متغیرهای کـه در روابط بـالـا معرفی شـد، P'_{jt} بیانگر تعدیل قیمت عوامـل تولیـد (نیروی‌کـار، سـرمایه و انرژی) به هزینه سایر نهاده‌های واسطه‌ای است.

کشـش جانشـینی آلن (۱۹۳۸)–اوزاوا (۱۹۶۲): در حالت کلی،کشـش جانشـینی جزئی آلن–اوزاوا بین دو نهاده با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\sigma_{ij}^{AES} = \frac{\widehat{\eta'_{ij}} + CS_i \, CS_j - CS_i \omega_{ij}}{CS_i CS_j} \qquad \text{(رابطه۸)}$$

در رابطه (۸)، $\omega_{ij} = 1$ اگر i=j و $\omega_{ij} = 0$ اگر j≠i باشد، σ_{ij}^{AES} کشش جانشینی آلن–اوزاوا، CS_i سهم نهاده i، CS_j سهم نهاده j، η'_{ij} مقدار ضرایب تخمینی بین نهاده i و نهاده j است. **کشش خودی و متقاطع**: به دلیل اینکه کشش جانشینی آلن–اوزاوا ماهیت تقارنی دارد و قادر به بیان خصوصیات انحنای عملکرد تولید نیست. بنابراین، کشش قیمتی متقاطع (CPE[3]) با وجود این که تغییرات مطلق نهاده‌ها را به جای تغییرات نسبی نهاده‌ها اندازه‌گیری می‌کند ولی به دلیل نامتقارن بودن کشش‌ها نسبت به کشش جانشینی آلن اوزوا (AES[4]) برتری دارد (لیو و همکاران ۲۰۱۸).

کشش خودی قیمتی تقاضای یک نهاده نشان‌دهنده درصد تغییرات در مقدار تقاضای یک نهاده وقتی قیمت آن نهاده یک درصد تغییر می‌کند و کشش متقاطع قیمتی نشان‌دهنده درصد تغییرات در مقدار تقاضای یک نهاده وقتی قیمت نهاده دیگر یک درصد تغییر می‌کند که با محاسبه کشش جانشینی آلن–اوزاوا، کشش‌های خودی و متقاطع قیمتی نهاده‌ها به صورت زیر محاسبه شد (توماس و تیلور۱۹۹۵):

$$\eta_{ij} = CS_j \times \sigma_{ij}^{AES}$$
$$\eta_{ii} = CS_i \times \sigma_{ii}^{AES} \qquad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه (۹)، η_{ij} کشش متقاطع تقاضا، η_{ii} کشش خودی قیمتی، CS_j سهم نهاده j، CS_i سهم نهاده i، σ_{ij}^{AES} کشش جانشینی آلن –اوزاوا است.

کشش جانشینی موریشیما: به علت اینکه کشش جانشینی آلن- اوزاوا و کشش قیمتی متقاطع بر اساس تغییرات قیمت واقعی نهاده‌ها نه تغییرات قیمت نسبی نهاده‌ها محاسبه می‌شوند و نسبت نسبی دو نهاده را نمی‌توان با نرخ نهایی جانشینی توضیح داد؛ درنتیجه معیار مناسبی برای بررسی ارتباط جانشینی بین نهاده‌ها تولید نیست (لیو و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین، کشش جانشینی موریشیما با ترکیب کشش جانشینی هیکس و نرخ نهایی جانشینی نه تنها تغییرات نسبی نهاده را مورد بررسی قرار داده است، بلکه برای برآورد تفاوت بین جایگزینی در سطح کلان و خرد نیز مناسب است (لیو و همکاران ۲۰۱۸؛ بلاکروبی و راسل ۱۹۸۹). این کشش به صورت درصد تغییر در نسبت یک جفت نهاده به درصد تغییر در نسبت قیمت یکی از نهاده‌ها تعریف می‌شود. علاوه بر این، کشش جانشینی موریشیما معیار مناسبی برای ارزیابی کیفی و کمی اثر تغییرات قیمت نهاده‌ها بر سهم هزینه نهاده‌های تولید می‌باشد (بلاکروبی و راسل ۱۹۸۹). کشش جاشنینی موریشیما به صورت زیر محاسبه شد:

$$\sigma_{ij}^{MES} = CS_j(\sigma_{ij}^{AES} - \sigma_{jj}^{AES}) \qquad \text{(رابطه ۱۰)}$$

در رابطه (۱۰)، σ_{ij}^{MES} کشش جانشینی موریشیما، CSj سهم عامل j، σ_{ij}^{AES} کشش جانشینی آلن است.

همچنین در این مطالعه برای بررسی اثر سیاست مالیات بر کربن با پیروی از مطالعه لیو و لین (۲۰۱۷) شدت مصرف انرژی برای بخش کشاورزی به صورت رابطه (۱۱) و با پیروی از مطالعه دو و همکاران (۲۰۲۱) شدت انتشار کربن برای بخش کشاورزی به صورت رابطه (۱۲) محاسبه شد:

- cross-price elasticity (CPE)

- Allen elasticity of substitution (AES)

$$\widehat{EI} = \frac{E}{Y} = \frac{P_Y}{P_E} \times \frac{E \times P_E}{Y \times P_Y} \quad \text{(رابطه ۱۱)}$$

$$\hat{e} = \frac{EM}{Y} = \frac{a \times E}{Y} = a \times \frac{P_Y}{P_E} \times (\frac{E}{Y} \times \frac{P_E}{P_Y}) \quad \text{(رابطه ۱۲)}$$

در رابطه (۱۱) و (۱۲)، $\widehat{EI}$ شدت مصرف انرژی، Y میزان ارزش افزوده در بخش کشاورزی، P_Y میزان قیمت ارزش افزوده، P_E قیمت انرژی، EM میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در بخش کشاورزی، $\hat{e}$ شدت انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در بخش کشاورزی، a میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از مصرف انرژی و E مصرف انرژی در بخش کشاورزی بوده است. با فرض اینکه بازار رقابت کامل باشد، خواهیم داشت:

$$Y \times P_Y = TC \qquad \frac{E}{Y} \times \frac{P_E}{P_Y} = S_E \quad \text{(رابطه ۱۳)}$$

در رابطه (۱۳)، TC هزینه کل و S_E سهم هزینه انرژی از کل هزینه‌ها است. با جایگذاری رابطه (۱۳) در رابطه (۱۱) و (۱۲) خواهیم داشت:

$$\widehat{EI} = \frac{P_Y}{P_E} \times \widehat{S_E} \quad \text{(رابطه ۱۴)}$$

$$\hat{e} = a \times \frac{P_Y}{P_E} \times \widehat{S_E} \quad \text{(رابطه ۱۵)}$$

معادله سهم هزینه انرژی به صورت زیر بیان شد:

$$\widehat{S_E} = \widehat{\alpha_E} + \widehat{\beta_E} T + \widehat{\rho_{EE}} \ln(P_E) + \widehat{\delta_{EL}} \ln(P_L) + \widehat{\zeta_{EK}} \ln(P_K) + \widehat{\varphi_E} \ln(Y) \quad \text{(رابطه ۱۶)}$$

در رابطه (۱۶)، T تکنولوژی، P_E قیمت انرژی، P_L دستمزد، P_K نرخ بهره سرمایه و Y میزان ارزش افزوده (به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳)، $\widehat{\alpha_E}$؛ $\widehat{\beta_E}$؛ $\widehat{\rho_{EE}}$؛ $\widehat{\delta_{EL}}$ ؛ $\widehat{\zeta_{EK}}$ و $\widehat{\varphi_E}$ ضرایب و عرض از مبدأ تخمینی هستند. با جایگذاری رابطه (۱۶) در رابطه (۱۴) و (۱۵) عبارت زیر بیان شد:

$$\widehat{EI} = \frac{P_Q}{P_E} \times (\widehat{a_E} + \widehat{\beta_E} T + \widehat{\rho_{EE}} \ln(P_E) + \widehat{\delta_{EL}} \ln(P_L) + \widehat{\zeta_{EK}} \ln(P_K) + \widehat{\varphi_E} \ln(Y)) \quad \text{(رابطه ۱۷)}$$

$$\hat{e} = a \times \frac{P_Q}{P_E} \times (\widehat{a_E} + \widehat{\beta_E} T + \widehat{\rho_{EE}} \ln(P_E) + \widehat{\delta_{EL}} \ln(P_L) + \widehat{\zeta_{EK}} \ln(P_K) + \widehat{\varphi_E} \ln(Y)) \quad \text{(رابطه ۱۸)}$$

با قرار داد عبارت $a \times \frac{P_Y}{P_E} = \lambda_{CO_2}$ و $\frac{P_Y}{P_E} = \lambda_{EI}$ خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \widehat{EI} = \lambda_{EI} \times \left(\widehat{a_E} + \widehat{\beta_E} T + \widehat{\rho_{EE}} \ln(P_E) + \widehat{\delta_{EL}} \ln(P_L) + \widehat{\zeta_{EK}} \ln(P_K) + \widehat{\varphi_E} \ln(Y)\right) = \lambda_{EI} \\ \times \widehat{a_E} + \lambda_{EI} \times \widehat{\beta_E} T + \lambda_{EI} \times \widehat{\rho_{EE}} \ln(P_E) + \lambda_{EI} \times \widehat{\delta_{EL}} \ln(P_L) + \lambda_{EI} \\ \times \widehat{\zeta_{EK}} \ln(P_K) + \lambda_{EI} \times \widehat{\varphi_E} \ln(Y) = \widehat{EI}_0 + \widehat{EI}_1 + \widehat{EI}_2 + \widehat{EI}_3 \end{aligned} \quad \text{(رابطه۱۹)}$$

$$\hat{e} = \lambda_{CO_2} \times (\widehat{\alpha_E} + \widehat{\beta_E} T + \widehat{\rho_{EE}} \ln(P_E) + \widehat{\delta_{EL}} \ln(P_L) + \widehat{\zeta_{EK}} \ln(P_K) + \widehat{\varphi_E} \ln(Y)) = \lambda_{CO_2} \times \widehat{a_E} + \lambda_{CO_2} \times \widehat{\beta_E} T + \lambda_{CO_2} \times \widehat{\rho_{EE}} \ln(P_E) + \lambda_{CO_2} \times \widehat{\delta_{EL}} \ln(P_L) + \lambda_{CO_2} \times \widehat{\zeta_{EK}} \ln(P_K) + \lambda_{CO_2} \times \widehat{\varphi_E} \ln(Y) = \hat{e}_0 + \hat{e}_1 + \hat{e}_2 + \hat{e}_3 \quad \text{(رابطه ۲۰)}$$

در رابطه (۱۹)، $\lambda_{EI} \times \widehat{a_E}$ اثرات بودجه بر شدت مصرف انرژی ($\widehat{EI}_0$)، $\lambda_{EI} \times \widehat{\beta_E} T$ اثرات تکنولوژی بر شدت مصرف انرژی ($\widehat{EI}_1$)، $\lambda_{EI} \times \widehat{\rho_{EE}} \ln(P_E) + \lambda_{EI} \times \widehat{\delta_{EL}} \ln(P_L) + \lambda_{EI} \times \widehat{\zeta_{EK}} \ln(P_K)$ اثر جانشینی بر شدت مصرف انرژی ($\widehat{EI}_2$) و $\lambda_{EI} \times \widehat{\varphi_E} \ln(Y)$ اثر مقیاس بر شدت مصرف انرژی ($\widehat{EI}_3$) است. در رابطه (۲۰)، $\lambda_{CO_2} \times \widehat{a_E}$ اثرات بودجه بر شدت انتشار کربن ($\hat{e}_0$)، $\lambda_{CO_2} \times \widehat{\beta_E} T$ اثرات تکنولوژی بر شدت انتشار کربن ($\hat{e}_1$)، $\lambda_{CO_2} \times \widehat{\rho_{EE}} \ln(P_E) + \lambda_{CO_2} \times \widehat{\delta_{EL}} \ln(P_L) + \lambda_{CO_2} \times \widehat{\zeta_{EK}} \ln(P_K)$ اثر جانشینی بر شدت انتشار ($\hat{e}_2$) و $\lambda_{CO_2} \times \widehat{\varphi_E} \ln(Y)$ اثر مقیاس بر شدت انتشار کربن ($\hat{e}_3$) است. همچنین در این مقاله برای بررسی اثر از محدودیت بودجه (با اعمال مالیات بر کربن) بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، تغییرات قیمت انرژی با پیروی از مطالعه یانگ و همکاران (۲۰۱۴) به صورت زیر محاسبه شد:

$$\Delta P = \frac{tc \times c}{P} \times 100\% \quad \text{(رابطه ۲۱)}$$

در رابطه (۲۱)، P قیمت نسبی انرژی قبل از مالیات، tc بیانگر نرخ مالیات بر کربن است. ΔP تغییرات در قیمت انرژی و C ضریب شدت انتشار کربن که به صورت زیر محاسبه شد (ترازنامه انرژی ۱۳۹۷):

$$C_{CO_2} = \frac{\text{نرخ رشد شدت انتشار کربن}}{\text{نرخ رشد ارزش افزوده}} \times 100 \quad \text{(رابطه ۲۲)}$$

در رابطه (۲۲)، C_{CO_2} بیانگر ضریب شدت انتشار کربن در بخش کشاورزی است. مالیات بر کربن قیمت انرژی را افزایش می‌دهد. بنابراین، در این بخش تأثیر مالیات بر کربن در صرفه جویی بر مصرف انرژی و کاهش انتشار تجزیه و تحلیل می‌شود. هدف اصلی از افزایش قیمت انرژی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. اطلاعات آماری مربوط به این مطالعه از مرکز آمار ایران، بانک مرکزی ایران، سازمان فائو و وزارت نیرو برای دوره ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۷ جمع‌آوری شده است که در جدول ۱ آورده شده است.

نتایج و بحث

نتایج آزمون ریشه واحد در متغیرها

اولین مرحله در تحلیل داده‌های سری‌زمانی بررسی مسئله ریشه واحد در داده‌ها است که در این مطالعه از آزمون ریشه واحد فیلیپس-پرون (۱۹۸۸) برای بررسی مانایی متغیرها استفاده شده است. بر اساس نتایج جدول ۲، بیشتر ضرایب در سطح پنج و ۱۰ درصد معنی‌دار شده‌اند که از ضرایب معنی‌دار شده برای محاسبه کشش جانشینی بین عوامل تولید استفاده گردیده است. نتایج نشان داد که همه متغیرهای مورد بررسی در این مطالعه انباشته از مرتبه $I(1)$ بوده است؛ به این معنی‌که متغیرها در سطح مانا نیستند؛ یعنی در طول زمان میانگین، واریانس و خودکواریانس متغیرها با هم برابر نیستند و با یک بار تفاضل‌گیری مانا می‌شوند. با توجه به اینکه هیچ یک از متغیرها انباشته از مرتبه $I(2)$ و بالاتر نبوده است، در نتیجه نتایج رگرسیون کاذب نبوده است.

نتایج از تخمین سهم عوامل تولید

نتایج از تخمین معادلات سهم عوامل تولید در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، بیشتر ضرایب[۵] در سطح پنج و ۱۰ درصد معنی‌دار شده‌اند که از ضرایب معنی‌دار شده در جهت محاسبه کشش جانشینی بین عوامل تولید در بخش کشاورزی استفاده گردید.

جدول۱- اطلاعات آماری سالیانه مربوط به متغیرها در طول دوره ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۷

متغیر	توضیح	منبع داده‌ها	محاسبه
Y_t	ارزش افزوده به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳	بانک مرکزی ایران	-
P_{Kt}	نرخ بهره سرمایه (یکی از بهترین روش‌های محاسبه نرخ بهره سرمایه توسط رومر معرفی شد (رومر، ۲۰۱۱). در این روش، $R(t)$ نرخ بهره سالیانه، $\delta(t)$ نرخ بهره استهلاک، $P^*(t)$ نرخ تورم و t بیانگر زمان از سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۳۹۶ است.	بانک مرکزی ایران	$P_{Kt} = R(t) + \delta(t) + P^*(t)$
K_t	موجودی سرمایه به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳	بانک مرکزی ایران	
TM_t	سایر نهاده‌های واسطه‌ای به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳	بانک مرکزی ایران	-
P_{Lt}	دستمزد	مرکز آمار ایران	-
L_t	تعداد نیروی‌کار	مرکز آمار ایران	
P_{Et}	قیمت انرژی (قیمت فرآورده‌های نفتی، برق و گازطبیعی قابل مقایسه نیستند؛ زیرا آن‌ها با واحدهای متفاوتی اندازه‌گیری می‌شوند. بنابراین، برای محاسبه قیمت واقعی انرژی، قیمت‌های بازاری انواع مختلف از انرژی مورد نیاز است. در این رابطه W_{it} سهم از هر حامل انرژی، P_{it} قیمت از هر حامل انرژی و شاخص i نشان‌دهنده نوع حامل انرژی که شامل: فرآورده‌های نفتی، برق و گازطبیعی در بخش کشاورزی است. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) نیز این نکته را تصدیق نمودند.	وزارت نیرو	$P_{Et} = \sum_i W_{it}P_{it}$
E_t	مصرف نهایی انرژی	وزارت نیرو	
TC_t	هزینه کل	بانک مرکزی، مرکز آمار ایران و وزارت نیرو	$TC_t = P_{Lt}L_t + P_{Kt}K_t + TM_t + P_{Et}E_t$

[۵]- لازم به ذکر است که ضرائب برآورد شده توابع سهم عوامل تولید به خودی خود معنا ندارند و تنها در قالب فرمول‌های کشش جانشینی آلن، کشش‌های قیمتی و سایر شاخصهای اقتصادی قابل تفسیر می‌باشند.

جدول ۲-نتایج آزمون ریشه واحد فیلیپس-پرون برای متغیرها

Series	t-Statistic	Critical Values		Result
		۵ درصد	ده درصد	
$\ln P_K$	-۹/۳۲۷*	-۳/۵۹۵	-۳/۲۳۳	I(1)
$\ln P_E$	-۳/۳۵۶*	-۳/۵۹۵	-۳/۲۳۳	I(1)
$\ln P_L$	-۳/۵۳۱*	-۳/۵۹۵	-۳/۲۳۳	I(1)
$\ln P_M$	-۳/۵۸۶*	-۳/۶۳۳	-۳/۲۵۵	I(1)
lnY	-۶/۱۳۲**,*	-۳/۵۹۵	-۳/۲۳۳	I(1)

مآخذ: یافته‌های پژوهش

** و * به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج و ۱۰ درصد است.

جدول ۳- نتایج تخمین معادلات سهم عوامل تولید در بخش کشاورزی

SC_E	SC_L	SC_K	Variable
۰/۱۳۵**	-۱/۵۰۰**	-۲/۱۸۶**	C
(۰/۰۴۷)	(۰/۰۱۸)	(۰/۰۰۰)	
-۰/۱۹۷**	۰/۱۱۲**	-۰/۱۰۰**	$\ln P_L$
(۰/۰۰۱)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۳)	
۰/۰۳۳**	-۰/۱۰۰**	۰/۰۲۱**	$\ln P_K$
(۰/۰۰۱)	(۰/۰۰۳)	(۰/۰۳۹)	
۰/۰۳۱**	-۰/۱۹۷**	۰/۰۳۳**	$\ln P_E$
(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۱)	(۰/۰۰۱)	
-۰/۰۶۳*	۰/۰۷۴*	۰/۱۷۸**	lnY
(۰/۰۶۳)	(۰/۰۶۷)	(۰/۰۰۰)	
۰/۰۴۸**	-۰/۰۷۰**	۰/۰۰۳	T
(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۴۲۶)	
۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۶	R^2

مآخذ: یافته‌های پژوهش

** و * به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج و ۱۰ درصد است

کشش های قیمتی خودی و متقاطع عوامل تولید در بخش کشاورزی

بر اساس نتایج جدول ۴، کشش قیمتی خودی برای انرژی، سرمایه و نیروی‌کار به‌ترتیب برابر با ۰/۲۹۵- درصد؛ ۰/۴۳۶- درصد و ۰/۳۰۷- درصد است که نشان می‌دهد، تمام کشش‌های قیمتی خودی نهاده های مورد بررسی کمتر از یک و منفی است، به این معنی‌که با افزایش قیمت نهاده‌ها، تقاضای نهاده‌ها به مقدار ناچیز کاهش می‌یابد. همچنین ارتباط بین قیمت نهاده‌ها و مقدار آن با تئوری‌های اقتصادی سازگاری دارد. از میان آن‌ها کشش قیمتی خودی انرژی نسبت به دو نهاده دیگر کوچکتر است، به این معنی که قیمت انرژی توسط دولت در سطح پایین کنترل می‌شود. بنابراین، افزایش قیمت انرژی اثر ناچیزی بر ذخیره‌سازی انرژی دارد. همچنین از نتایج مشخص می‌شود که افزایش قیمت انرژی روش مؤثری برای ذخیره‌سازی انرژی بوده است، ولی کافی نبوده است.در پژوهش دیگر، کمال و عباس (۲۰۱۵) دریافتند که افزایش قیمت انرژی سبب کاهش مصرف انرژی به میزان قابل توجهی می‌شود. در پژوهش‌های دیگر، کارفورا و همکاران (۲۰۱۹)؛ مراد و همکاران

(۲۰۱۹) و ایک و همکاران (۲۰۲۰) نیز این نکته را تصدیق می‌کنند. از نتایج مشخص می‌شود که سیاست افزایش قیمت انرژی یک راهکار مناسب در جهت ذخیره‌سازی انرژی است ولی کافی نبوده است، به دلیل آنکه سرعت اصلاحات قیمت‌گذاری انرژی در بخش کشاورزی پایین است. بنابراین، برای ذخیره‌سازی بیشتر انرژی در این بخش باید سرعت اصلاحات قیمت‌گذاری انرژی در بخش کشاورزی افزایش یابد و میزان کنترل قیمت انرژی توسط دولت نیز به حداقل برسد.

علاوه بر این، نتایج نشان داد که کشش جانشینی بین (سرمایه و انرژی) مثبت است. به این معنی‌که سرمایه جانشین مناسبی برای انرژی در بخش کشاورزی ایران است. در پژوهش دیگر، تان و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که فنآوری‌های نوین سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. شی و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود نشان دادند که توسعه انرژی پاک به طور قابل توجهی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در واحد تولید ناخالص داخلی و نرخ رشد انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش داده است. در مطالعه‌ای، لیو و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که ۴۵/۷۷ درصد تغییرات در شدت کربن مربوط به جانشینی انرژی و سرمایه است. همچنین نتایج نشان داد که مقدار این جانشینی برابر با ۰/۱۰۳ درصد است که مقداری ناچیز و کمتر از یک درصد است، به این معنی که افزایش قیمت انرژی اثر ناچیزی بر افزایش سرمایه‌گذاری در این بخش داشته است. این نتایج نشان می‌دهد که قیمت انرژی در بخش کشاورزی توسط دولت کنترل می‌شود که به دلیل کاهش هزینه‌های واقعی انرژی در بخش کشاورزی انگیزه کمتری برای کاربرد تکنولوژی‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی در این بخش در زمان هدفمندی ایجاد می‌شود که این باعث شده افزایش قیمت انرژی اثر کمتری در کاربرد تکنولوژی ذخیره‌سازی انرژی داشته باشند. این نتایج ضرورت اصلاحات قیمت‌گذاری انرژی در بخش کشاورزی را آشکارتر می‌سازد.

مقدار کشش جانشینی بین سرمایه و انرژی مقداری ناچیز است، این نشان می‌دهد، افزایش هزینه‌های انرژی در دوره هدفمندی یارانه انرژی تأثیر ناچیزی در بکارگیری فنآوری‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی برای این بخش دارد، به این معنی که توسعه تکنولوژی در دوره هدفمندی در بخش کشاورزی به کندی صورت گرفته است.

علاوه بر این، نتایج نشان داد که در دوره هدفمندی یارانه انرژی کشش جانشینی بین انرژی و نیروی‌کار منفی و برابر با ۳/۹۴۵ درصد است، به این معنی که افزایش دستمزد نیروی‌کار سبب کاهش تقاضا برای انرژی در بخش کشاورزی می‌شود. در پژوهش دیگر، لین و تان (۲۰۱۶) نشان دادند که افزایش دستمزد نیروی‌کار در بخش صنعت سبب کاهش مصرف انرژی به میزان ۰/۹۳- درصد می‌شود. این نتایج بیانگر این است که افزایش دستمزد می‌تواند به ذخیره‌سازی انرژی کمک کند به خصوص در بخش کشاورزی ایران که مازاد نیروی‌کار وجود دارد، به طوری‌که می‌تواند به کاهش هزینه‌ها تولید کمک قابل توجه‌ای کند. به این معنی که افزایش دستمزد نیروی‌کار در این بخش علاوه بر کاهش هزینه‌ها انرژی می‌توان به کاهش مازاد نیروی‌کار در این بخش نیز کمک کند. این نتایج در تضاد با نتیجه مطالعه لیو و همکاران (۲۰۱۸) است که نشان دادند نیروی‌کار و انرژی جانشین قوی هستند، به این معنی‌که با افزایش تعداد نیروی‌کار در فرآیند تولید مصرف انرژی و انتشار آلودگی کاهش می‌یابد. به طور مشابه، کشش جانشینی بین نیروی‌کار و انرژی در این مطالعه برابر با ۰/۷۲۹- درصد است که کمتر از یک درصد است، به این معنی‌که یک درصد افزایش در قیمت انرژی سبب کاهش تقاضای انرژی در بخش کشاورزی به میزانی کمتر از یک درصد می‌شود. این نتایج بیان می‌کنند که استخدام نیروی‌کار در بخش کشاورزی وابستگی کمتری به انرژی دارد و همچنین از نتایج مشخص شد که افزایش دستمزد اثر کمی بر کاهش مازاد نیروی‌کار در بخش کشاورزی دارد. بنابراین، می‌توان با استخدام بیشتر نیرویی‌کار در مشاغل دستی و مشاغل نیمه مکانیزاسیون، به کاهش عرضه نیروی‌کار در بخش کشاورزی کمک نمود ولی با توجه به اینکه ظرفیت جذب بخش کشاورزی برای نیروی‌کار کم و تقریباً حدود ۱۵ درصد کل اشتغال کشور را شامل

می‌شـــود و همچنین با توجه به اینکه نهاده ســـرمایه و نیروی‌کار جانشین یکدیگر هستند، این چالش را می‌توان با افزایش مســـتمر فنآوری‌های جدید صـــرفه‌جویی در مصـــرف انرژی جبران کرد و مقدار مازاد نیروی‌کار در بخش کشـاورزی را کاهش داد. بنابراین، کاهش مصرف انرژی با افزایش تعداد نیروی‌کار در بخش کشـــاورزی رویکرد پایداری نیست؛ درنتیجه جایگزینی نهاده سرمایه بـا نهـاده انرژی باید به‌عنوان یک رویکرد اصـــلی برای کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی در بخش کشـــاورزی مورد توجـه قرار گیرد کـه با این راهکار می‌توان سـهم بخش کشاورزی از ارزش افزوده که حدود ۱۰ درصد است را افزایش داد.

جدول ۴- کشش قیمتی خودی و متقاطع از نهاده‌های تولید در بخش کشاورزی

Factor i	η_{Ei}	η_{Ki}	η_{Li}
E	-۰/۲۴۴	۰/۱۰۳	-۰/۷۲۶
K	۱/۳۰۹	-۰/۴۳۶	۰/۲۰۶
L	-۳/۹۴۵	۰/۰۸۸	-۰/۳۰۷

مآخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج کشش جانشینی موریشیما

نتایج از محاسـبه کشـش جانشـینی موریشـیما در جدول ۵ آورده شـده اسـت. بر اسـاس نتایج این جدول، تمـام جفـت نهـاده‌هـا بـه جزء (انرژی و نیروی‌کـار) و (نیروی‌کار و انرژی) جانشـین یکدیگر هستند. انرژی یک جانشـین موریشیما برای سرمایه و یک مکمل موریشیما برای نیروی‌کار در بخش کشـــاورزی اســـت. در همین راسـتا، سـرمایه یک جانشـین موریشـیما برای انرژی و نیروی‌کـار یک مکمل موریشـــیما برای انرژی در بخش کشاورزی است.

جدول ۵- کشش جانشینی موریشیما برای عوامل تولید در بخش کشاورزی

عامل i Factor i	σ_{Ei}^{MES}	σ_{Ki}^{MES}	σ_{Li}^{MES}
E	۰	۰/۳۹۷	-۰/۴۳۱
K	۲/۱۸۳	۰	۰/۶۴۲
L	-۲/۹۹۵	۰/۳۹۵	۰

مآخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج بیانگر این اسـت که تقاضـا برای سـرمایه و نیروی‌کار در بخش کشـــاورزی به تغییرات قیمت انرژی در بخش کشاورزی حساس است. جانشینی بین سرمایه و انرژی بیانگر این اسـت که وقتی سایر عوامل مؤثر بر سـرمایه ثابت فرض شـود یک درصـد افزایش در قیمت انرژی سـبب افزایش سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی به میزان ۰/۳۹۷ درصد در بخش کشاورزی می‌شود. به بیان دیگر سرمایه جانشین مناسبی برای جبران افزایش هزینه‌های انرژی در بخش کشـــاورزی اســـت و ســـبب کاهش وابســـتگی به ســـرمایه‌گذاری‌های خارج از بخش کشـــاورزی که خود منجر به کاهش هزینه‌های تولید می شود.

نتایج از تخمین شدت مصرف انرژی با سیاست مالیات بر کربن در بخش کشاورزی

نتایج از تخمین شـدت مصـرف انرژی با سـیاسـت مالیات بر کربن در بخش کشـاورزی در جدول ۶ آورده شده است. بر اساس نتایج از این جدول، مالیات بر کربن در بخش کشـاورزی به طور متوسط سبب کاهش میزان شـدت مصـرف انرژی به میزان ۱/۱۶ درصـد می‌شـود،

علاوه براین، نتایج نشان داد که تأثیر اثر جانشینی و اثر مقیاس از مالیات بر کربن بر کاهش شدت مصرف انرژی به ترتیب برابر با متوسط ۰/۹۶ درصد و ۰/۴۱ درصد در دوره هدفمندی یارانه انرژی است. در پژوهش دیگر، لی و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که مالیات بر کربن آلودگی محیطزیستی را کاهش می‌دهد. کمال و عباس (۲۰۱۵) در مطالعه خود دریافتند که مالیات بر کربن سبب کاهش مصرف انرژی به میزان قابل توجهی می‌شود. در پژوهش‌های دیگر، کارفورا و همکاران (۲۰۱۹)؛ مراد و همکاران (۲۰۱۹) و ایک و همکاران (۲۰۲۰) نیز این نکته را تصدیق می‌کنند. از نتایج مشخص می‌شود که سیاست مالیات بر کربن نقش مهم و مؤثری در کاهش شدت مصرف انرژی و درنتیجه صرفه‌جویی در مصرف انرژی در بخش کشاورزی دارد.

جدول ۶- تجزیه اثرات مالیات بر کربن بر شدت مصرف انرژی در دوره هدفمندی یارانه انرژی (درصد)

اثر مقیاس	اثر جانشینی	اثر تکنولوژی	اثر بودجه	$\widehat{EI}$	سال
-۰/۳۶	-۰/۷۵	۰/۰۲	۰/۰۷	-۱/۰۲	۱۳۸۹
-۰/۳۶	-۰/۷۶	۰/۰۵	۰/۰۶	-۱/۰۱	۱۳۹۰
-۰/۲۹	-۰/۶۴	۰/۰۶	۰/۰۵	-۰/۸۲	۱۳۹۱
-۰/۴۳	-۰/۹۸	۰/۱۱	۰/۰۸	-۱/۲۲	۱۳۹۲
-۰/۳۵	-۰/۸۰	۰/۱۱	۰/۰۶	-۰/۹۸	۱۳۹۳
-۰/۳۷	-۰/۸۶	۰/۱۴	۰/۰۷	-۱/۰۲	۱۳۹۴
-۰/۴۳	-۱/۰۲	۰/۱۹	۰/۰۸	-۱/۱۸	۱۳۹۵
-۰/۵۹	-۱/۴۲	۰/۳۰	۰/۱۰	-۱/۶۱	۱۳۹۶
-۰/۵۶	-۱/۳۶	۰/۳۲	۰/۱۰	-۱/۵	۱۳۹۷
-۰/۴۱	-۰/۹۶	۰/۱۴	۰/۰۷	-۱/۱۶	میانگین

مآخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج از برآورد آلودگی با سیاست مالیات بر کربن در بخش کشاورزی

نتایج ازتخمین آلودگی با سیاست مالیات بر کربن در بخش کشاورزی در جدول ۷ آورده شده است. بر اساس نتایج جدول ۷، میزان کاهش آلودگی با سیاست مالیات بر کربن در بخش کشاورزی در زمان اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی برابر با متوسط ۲/۲۸۸- درصد است، به این معنی‌که سیاست مالیات بر کربن، سبب کاهش انتشار آلودگی به میزان ۲/۲۸۸- درصد می‌شود که از این میان تأثیر اثر جانشینی مالیات بر کربن بر کنترل آلودگی بیشتر و برابر با متوسط ۱/۹۶- درصد بوده است و تأثیر اثر مقیاس از مالیات بر کربن بر کنترل آلودگی برابر با متوسط ۰/۷۶ درصد است. در مطالعه دیگر، سن و وولبرگ (۲۰۱۸) دریافتند که مالیات بر کربن به میزان یک یورو میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به میزان ۰/۷۳ درصد در بلندمدت کاهش می‌دهد. ژو و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود نشان دادند که مالیات بر کربن سبب کاهش تقاضای انرژی و انتشار گاز دی اکسید کربن در بخش حمل‌ونقل می‌شود بدون اینکه اثر منفی بر اقتصاد چین داشته باشد. غزوانی و همکاران (۲۰۲۰) نیز این نکته را تصدیق می‌کنند. لیو و لین (۲۰۱۷) در مطالعه خود نشان دادند که مالیات بر کربن تقریباً سه درصد از انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در صنایع ساخت و ساز ساختمان در چین را کاهش داده است. اشملف و اسپک (۲۰۱۸) نشان دادند که مالیات بر محیطزیست یک ابزار مناسب در سیاست‌گذاری‌ها برای کاهش انتشار CO_2 است ولی ابزار کافی برای کاهش آلودگی نبوده است و نباید تنها به ابزار مالیات بر کربن برای کنترل آلودگی اکتفا کرد. از نتایج مشخص می‌شود که به محض اخذ مالیات بر کربن تأثیر آن بر هزینه‌های انرژی قابل توجه‌تر می‌شود به‌ویژه برای بخش کشاورزی که این انگیزه را در تولیدکنندگان این بخش ایجاد می‌کند که مصرف انرژی در بخش کشاورزی را کاهش دهند. بنابراین، این

سیاست می‌تواند به کاهش گاز دی‌اکسیدکربن در این بخش با اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی کمک قابل توجهی کند، اما به دلیل اینکه سیاست مالیات بر کربن در زمان اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی مقدار ناچیزی از آلودگی را کاهش داده است، نمی‌توان تنها به ابزار مالیات بر کربن برای کنترل آلودگی اکتفا نمود بلکه باید به ابزارهای دیگر نیز برای کنترل آلودگی توجه شود.

همچنین نتایج نشان داد که اثر تکنولوژی از مالیات بر کربن در بخش کشاورزی بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن مثبت است، به این معنی که احتمال دارد تکنولوژی مورد استفاده در بخش کشاورزی در زمان اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی با سطح انتشار کربن بالا بوده است. در پژوهش دیگر، چنگ و همکاران (۲۰۱۹) با برآورد مدل اقتصادسنجی فضایی دریافتند که فنآوری اطلاعات به طور قابل توجهی آلودگی محیط‌زیستی را افزایش می‌دهد. لیو و لین (۲۰۱۷) نیز اثر مقیاس را در کاهش آلودگی در برخی مناطق با اهمیت جلوه داده است. در مقابل در پژوهش‌های دیگر، میائو و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که فنآوری‌های جدید سبب افزایش بهره‌وری انرژی و در نتیجه کاهش انتشار آلودگی می‌شود. ، اشملف و اسپک (۲۰۱۸) در مطالعه خود نشان داد که توسعه انرژی هسته‌ای و آبی نقش مهمی در کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن دارد. این نتایج بیانگر این است که نوع تکنولوژی‌های مورد استفاده در بخش کشاورزی در زمان اجرای قانون هدفمندی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی مهم بوده است. به طوری‌که تکنولوژی‌ها جدید با سطح انتشار کم کربن مانند انرژی‌های هسته‌ای و آبی می‌تواند در کاهش میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در بخش کشاورزی کمک مؤثری کنند.

جدول ۷- تجزیه اثرات مالیات بر کربن بر کنترل آلودگی در دوره هدفمندی یارانه انرژی (٪)

اثر مقیاس	اثر جانشینی	اثر تکنولوژی	اثر بودجه	$\hat{e}$	سال
-۰/۶۹۲	-۱/۸۰	۰/۰۴۵	۰/۱۲۷	-۲/۳۲۱	۱۳۸۹
-۰/۶۲۶	-۱/۸۴	۰/۰۸۱	۰/۱۱۵	-۲/۲۷۰	۱۳۹۰
-۰/۶۴۰	-۱/۸۸	۰/۱۲۵	۰/۱۱۷	-۲/۲۷۹	۱۳۹۱
-۰/۶۵۶	-۱/۹۶	۰/۱۷۰	۰/۱۱۹	-۲/۳۲۹	۱۳۹۲
-۰/۶۳۴	-۱/۹۹	۰/۲۰۴	۰/۱۱۵	-۲/۳۰۳	۱۳۹۳
-۰/۶۴۲	-۲/۰۱	۰/۲۴۷	۰/۱۱۶	-۲/۲۹۰	۱۳۹۴
-۰/۶۷۷	-۲/۰۳	۰/۳۰۳	۰/۱۲۲	-۲/۲۸۲	۱۳۹۵
-۰/۶۶۹	-۲/۰۶	۰/۳۴۲	۰/۱۲۰	-۲/۲۶۸	۱۳۹۶
-۰/۷۴۹	-۲/۰۷	۰/۴۳۱	۰/۱۳۴	-۲/۲۴۷	۱۳۹۷
-۰/۶۶۵	-۱/۹۶	۰/۲۱۶	۰/۱۲۰	-۲/۲۸۸	میانگین

مآخذ: یافته‌های تحقیق

در این مطالعه فرض بر این است که نرخ مالیات بر کربن برابر با ۶۰ ریال به ازای هر تن انتشار گاز دی‌اکسیدکربن باشد.

نتایج از سناریوهای مختلف مالیات بر کربن در بخش کشاورزی

نتایج از سناریوهای مختلف مالیات بر کربن بر ذخیره‌سازی انرژی و کنترل آلودگی در جدول (۸) نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، افزایش نرخ مالیات بر کربن سبب ذخیره‌سازی انرژی با متوسط ۱۴/۹۲ میلیون بشکه معادل نفت‌خام و کاهش آلودگی با متوسط ۳/۸۷ میلیون تن در دوره هدفمندی می‌شود. همچنین از نتایج مشخص شد که تأثیر افزایش مالیات بر کربن در نرخ بالا بیشتر از نرخ پایین است. در پژوهش دیگر، دینگ و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که نرخ بالای مالیات بر کربن در کاهش انتشار آلودگی مؤثرتر از نرخ پایین است. لین و جیا (۲۰۱۸) به این نتیجه رسیدند که اثر نرخ بالای مالیات بر کربن بر ذخیره‌سازی انرژی و

کاهش انتشار بیشتر است در صورتی که نرخ پایین مالیات بر کربن ممکن است اثر ناچیزی بر کنترل آلودگی داشته باشد. همچنین حاجک و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که مالیات بر کربن به کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای در صنعت انرژی کمک می‌کند. به طوری‌که یک یورو به ازای هر تن آلودگی، انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را به میزان ۱۱/۵۸ کیلوگرم کاهش می‌دهد. از نتایج مشخص می‌شود که تأثیر نرخ بالای مالیات بر کربن بر حفاظت محیط‌زیست به نسب قابل توجه‌تر از نرخ پایین آن است، به طوری‌که ما شاهد کاهش آلودگی به میزان بیشتر در بخش کشاورزی در نرخ بالای مالیات بر کربن خواهیم بود. بنابراین، نقش نرخ بالای مالیات بر کربن در صرفه‌جویی مصرف انرژی و کنترل آلودگی در بخش کشاورزی با اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی بیشتر است.

جدول ۸- اثر سناریوهای مختلف مالیات بر کربن بر ذخیره‌سازی انرژی و کنترل آلودگی در بخش کشاورزی در زمان اجرای قانون هدفمندی یارانه انرژی

کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن (میلیون تن)	ذخیره‌سازی انرژی (میلیون بشکه معادل نفت‌خام)	کشش قیمتی انرژی	تغییرات قیمت انرژی (٪)	نرخ مالیات بر کربن
۱/۵۵	۶/۰۶	-۰/۲۴۴	۰/۴۹	۲۵
۳/۱۱	۱۱/۹۷	-۰/۲۴۴	۰/۹۸	۵۰
۴/۶۳	۱۷/۸۴	-۰/۲۴۴	۱/۴۶	۷۵
۶/۱۹	۲۳/۸۲	-۰/۲۴۴	۱/۹۵	۱۰۰

مآخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر سیاست مالیات بر کربن بر کنترل آلودگی در بخش کشاورزی ایران در دوره هدفمندی یارانه انرژی انجام گرفته است. بدین منظور، با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ کشش جانشینی بین عوامل تولید (تعداد نیروی‌کار، میزان موجودی سرمایه، میزان انرژی مصرفی و سایر واسطه‌های) محاسبه گردید. از نتایج مشخص شد که کشش قیمتی خودی انرژی منفی و در سطح پایین قرار دارد که این نشان می‌دهد قیمت انرژی در طول دوره هدفمندی یارانه انرژی توسط دولت کنترل می‌شود و هزینه‌های واقعی را منعکس نمی‌کند. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل سناریوهای چهارگانه، نرخ‌های متفاوت مالیات بر کربن تأثیر متفاوتی بر مصرف انرژی دارد، یعنی سناریوها با نرخ بالای مالیات بر کربن میزان مصرف انرژی در بخش کشاورزی را بیشتر کاهش داده، به طوری که میزان مصرف انرژی به ترتیب در سناریوهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد نسبت به سناریوهای ۵۰ و ۲۵ بیشتر کاهش یافته است. در مطالعه فنگ و تیان (۲۰۱۳)، دونگ و دای (۲۰۱۷) و لی و همکاران (۲۰۲۳) نتیجه مشابه حاصل شده است. بنابراین، وضع نرخ بالای مالیات بر کربن تأثیر بیشتری در ذخیره سازی انرژی نسبت به نرخ پایین آن دارد.

در بخش دیگری از یافته‌های تحقیق مشخص شد که وضع نرخ بالای مالیات بر کربن میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در بخش کشاورزی را نسبت به نرخ‌های پایین آن بیشتر کاهش داده است. بنابراین، وضع نرخ بالای مالیات بر کربن می‌تواند برای کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن مفید واقع شود. این نتیجه هم راستا با یافته‌های حاجک و همکاران (۲۰۱۹) برای صنعت انرژی است، آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که در کشورهای که قوانین و مقررات زیست‌محیطی وضع می‌شود، صنایع برای انجام فعالیت‌ها خود سعی می‌کند مصرف سوخت‌های فسیلی را به حداقل برسانند. به علاوه مطالعه لین و جیا (۲۰۱۸) وضع مالیات بالا بر کربن در کنترل آلودگی را تأیید می‌کنند. آن‌ها به این نتیجه

رسیدند که وضع نرخ بالاتر مالیات بر کربن شرکت‌های انرژی‌بر را بیشتر تحت فشار قرار می‌دهد که مصرف سوخت‌های فسیلی را به حداقل برسانند. نتیجه‌ای مطالعات ایک و همکاران (۲۰۲۰)، مردا و علام (۲۰۱۹) و ونگ و همکاران (۲۰۱۸) نیز این موضوع را تصدیق می‌کنند. از این رو، هنگامی که مالیات بر کربن بر مشاغل وابسته به انرژی وضع می‌شود، صنایع تحت فشار تورم ناشی از فشار هزینه قرار می‌گیرند و به دنبال آن تقاضا برای مصرف سوخت‌های فسیلی تا حد زیادی کاهش می‌یابد. همچنین این نتیجه مغایر با یافته‌های لین و خو (۲۰۱۹) است که نشان دادند در صنعت متالورژی تقاضای انرژی نسبت به تغییرات قیمت انرژی حساسیت کمتری دارد به طوری که با افزایش قیمت انرژی مقدار کمتری از انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد که این می‌تواند به دلیل ضروری بودن نهاده انرژی در این صنعت باشد.

از نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌گردد، برای اینکه تأثیر سیاست مالیات بر کربن بر کنترل آلودگی افزایش یابد، دولت باید نرخ بالای مالیات بر کربن را به جای نرخ پایین مالیات بر کربن وضع کند تا تولیدکنندگان بخش کشاورزی ترغیب به مصرف کمتر سوخت‌های فسیلی شوند که این امر سبب ذخیره‌سازی بیشتر انرژی و کاهش بیشترآلودگی‌های در بخش کشاورزی خواهد شد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس به جهت تأمین هزینه مورد نیاز این پژوهش تشکر قدردانی می‌نمایم.

منابع مورد استفاده

Allen RGD. 1938. London School of Economics and Political Science. Mathematical analysis for economists (Vol. 8). London: Macmillan.

Aghaei M, Rezagholizadeh M and Hosseini M. 2018. Financial Stability, Energy Consumption, Economic Growth, and Environmental Quality: Fresh Evidences of Iran. Journal of Macroeconomics, 13(26): 171-199. 10.22080/IEJM.2018.2232. (In Persian)

Ahmad F, Draz MU, Ozturk I, Su L and Rauf A. 2020. Looking for asymmetries and nonlinearities: the nexus between renewable energy and environmental degradation in the Northwestern provinces of China. Journal of Cleaner Production, 266: 121-714. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121714.

Bieber N, Ker JH, Wang X, Triantafyllidis C, van Dam KH, Koppelaar RH and Shah N. 2018. Sustainable planning of the energy-water-food nexus using decision making tools. Energy Policy, 113: 584-607. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.037.

Behboudi D, Mohammadzadeh P and Moosavi S. 2020. Investigation of Interrelationship between Renewable Energy-Sustainable Development-Co2 Emmision in Iran: Bayesian VAR Approach. Journal of Environmental Science and Technology, 22(2): 395-407.

Blackorby C and Russell RR. 1989. Will the real elasticity of substitution please stand Up? (A comparison of the allen/uzawa and Morishima elasticities). Am. Econ. Rev, 79: 882-888. https://www.jstor.org/stable/1827940.

Bundschuh J and Chen G. (Eds.). 2014. Sustainable energy solutions in agriculture. CRC Press.

Cheng Z, Li L and Liu J. 2019. The effect of information technology on environmental pollution in China. Environmental Science and Pollution Research, 26(32): 33109-33124. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06454-7.

Chen J, Cheng S and Song M. 2018. Changes in energy-related carbon dioxide emissions of the agricultural sector in China from 2005 to 2013. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94: 748-761. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.050.

Christensen LR, Jorgenson DW and Lau LJ. 1973. Transcendental logarithmic production frontiers. The review of economics and statistics. 28-45. https://www.jstor.org/stable/1927992.

Carfora A, Pansini RV and Scandurra G. 2019. The causal relationship between energy consumption, energy prices and economic growth in Asian developing countries: A replication. Energy Strategy Reviews, 23: 81-85. https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.12.004.

Chen J, Cheng S and Song M. 2018. Changes in energy-related carbon dioxide emissions of the agricultural sector in China from 2005 to 2013. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94: 748-761. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.050.

Debertin DL. 2012. Agricultural production economics.

Ding S, Zhang M and Song Y. 2019. Exploring China's carbon emissions peak for different carbon tax scenarios. Energy Policy, 129: 1245-1252. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.037.

Dong, H., Dai, H., Geng, Y., Fujita, T., Liu, Z., Xie, Y., ... & Tang, L. (2017). Exploring impact of carbon tax on China's CO2 reductions and provincial disparities. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77, 596-603. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.044.

Deng C, Li K, Peng C and Han F. 2018. Analysis of technological progress and input prices on electricity consumption: Evidence from China. Journal of Cleaner Production, 196: 1390-1406. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.103.

Du Z, Lin B and Li M. 2021. Is factor substitution an effective way to save energy and reduce emissions? Evidence from China's metallurgical industry. Journal of Cleaner Production, 287: 125-531. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125531.

Fang, G., Tian, L., Fu, M., & Sun, M. (2013). The impacts of carbon tax on energy intensity and economic growth–a dynamic evolution analysis on the case of China. Applied energy, 110, 17-28. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.041.

Ghazouani A, Xia W, Ben Jebli M and Shahzad U. 2020. Exploring the role of carbon taxation policies on CO2 emissions: contextual evidence from tax implementation and non-implementation European Countries. Sustainability, 12(20): 86-80. https://doi.org/10.3390/su12208680.

Ghaderi S, Khanzadi A and Karimi MS. 2021. Evaluating and Analyzing the Effects of Green Tax Policy Enforcement on Renewable Energies Development in Iran. Journal of Development and Capital, 6(2): 35-51. 10.22103/jdc.2021.16522.1105. (In Persian).

Hanif I, Raza SMF, Gago-de-Santos P and Abbas Q. 2019. Fossil fuels, foreign direct investment, and economic growth have triggered CO2 emissions in emerging Asian economies: some empirical evidence. Energy, 171: 493-501. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.011.

Hájek M, Zimmermannová J, Helman K and Rozenský L. 2019. Analysis of carbon tax efficiency in energy industries of selected EU countries. Energy Policy, 134: 110-955. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110955.

Ike GN, Usman O, Alola AA and Sarkodie SA. 2020. Environmental quality effects of income. energy prices and trade: The role of renewable energy consumption in G-7 countries. Science of the Total Environment, 721: 137-813. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137813.

Jin, T., & Kim, J. (2019). A new approach for assessing the macroeconomic growth energy rebound effect. Applied Energy, 239, 192-200. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.220.

Koengkan M, Fuinhas JA and Silva N. 2021. Exploring the capacity of renewable energy consumption to reduce outdoor air pollution death rate in Latin America and the Caribbean region. Environmental Science and Pollution Research, 28(2): 1656-1674. https://doi.org/10.1007/s11356-020-10503-x.

Koçak E and Ulucak ZŞ. 2019. The effect of energy R&D expenditures on CO 2 emission reduction: estimation of the STIRPAT model for OECD countries. Environmental Science and Pollution Research, 26(14): 14328-14338. https://doi.org/10.1007/s11356-019-04712-2.

Komal R and Abbas F. 2015. Linking financial development, economic growth and energy consumption in Pakistan. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44: 211-220. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.081.

Li K, Fang L and He L. 2019. How population and energy price affect China's environmental pollution? Energy Policy, 129: 386-396. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.020.

Li, J., Du, Q., Lu, C., Huang, Y., & Wang, X. (2023). Simulations for double dividend of carbon tax and improved energy efficiency in the transportation industry. Environmental Science and Pollution Research, 30(7), 19083-19096. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23411-z.

Li S. (2022). Natural extreme events, government subsidies and corporate environment responsibility: Evidence from China's energy sector. Energy Economics, 114: 106-278. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106278.

Lin B and Jia Z. 2018. The energy, environmental and economic impacts of carbon tax rate and taxation industry: A CGE based study in China. Energy, 159: 558-568. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.167.

Lin B and Xu M. 2019. Good subsidies or bad subsidies? Evidence from low-carbon transition in China's metallurgical industry. Energy Economics, 83: 52-60. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.06.015.

Liu H and Lin B. 2017. Energy substitution, efficiency, and the effects of carbon taxation: evidence from China's building construction industry. Journal of Cleaner Production, 141: 1134-1144. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.119.

Liu K, Bai H, Yin S and Lin B. 2018. Factor substitution and decomposition of carbon intensity in China's heavy industry. Energy, 145: 582-591. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.151.

Lin, B., Liu, W. (2017). Estimation of energy substitution effect in China's machinery industry--based on the corrected formula for elasticity of substitution. Energy, 129, 246-254. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.103.

Mounir A, Mascaro G and White DD. 2019. A metropolitan scale analysis of the impacts of future electricity mix alternatives on the water-energy nexus. Applied Energy, 256: 113-870. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113870.

Mahmood N, Wang Z and Hassan ST. 2019. Renewable energy, economic growth, human capital, and CO 2 emission: an empirical analysis. Environmental Science and Pollution Research, 26(20): 20619-20630. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05387-5.

Miao C, Fang D, Sun L, Luo Q and Yu Q. 2018. Driving effect of technology innovation on energy utilization efficiency in strategic emerging industries. Journal of Cleaner Production, 170: 1177-1184. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.225.

Murad MW, Alam MM, Noman AHM and Ozturk I. 2019. Dynamics of technological innovation, energy consumption, energy price and economic growth in Denmark. Environmental Progress & Sustainable Energy, 38(1): 22-29. https://doi.org/10.1002/ep.12905.

Ministry of Energy, *Energy* Balances, Macro Planning of Electricity and Energy. 2018. (In Persian)

Ministry of Petroleum, Hydrocarbon Balance, International Energy Studies Institute. 2017. (In Persian)

Phillips PCB and Perron P. 1988. Testing for a unit root in time series regressions, Biometrika 75: 335-346.

Romer D. 2011. Advanced Macroeconomics. McGraw-Hill/Irwin.

Raihan A. (2023). An econometric evaluation of the effects of economic growth, energy use, and agricultural value added on carbon dioxide emissions in Vietnam. Asia-Pacific Journal of Regional Science, 1-32. https://doi.org/10.1007/s41685-023-00278-7.

Sarkodie SA, Adams S and Leirvik T. 2020. Foreign direct investment and renewable energy in climate change mitigation: does governance matter? Journal of Cleaner Production, 263: 121-262. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121262.

Shmelev SE and Speck SU. 2018. Green fiscal reform in Sweden: econometric assessment of the carbon and energy taxation scheme. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90: 969-981. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.032.

Sen. S and Vollebergh H. 2018. The effectiveness of taxing the carbon content of energy consumption. Journal of environmental economics and management, 92: 74-99. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.08.017.

Salmanpour A. 2018. The Effect of population growth, human capital and petroleum products on environmental pollution in Iran. Journal of Environmental Science and Technology, 20(4): 239-255. (In Persian)

Sharimakin A. 2019. Measuring the energy input substitution and output effects of energy price changes and the implications for the environment. Energy Policy, 133: 110-919. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110919.

Santarius T. 2016. Investigating meso-economic rebound effects: production-side effects and feedback loops between the micro and macro level. Journal of cleaner production, 134: 406-413. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.055 .

Sasana H and Aminata J. 2019. Energy subsidy, energy consumption, economic growth, and carbon dioxide emission: Indonesian case studies. International Journal of Energy Economics and Policy, 9(2): 117.

Shi B, Wu L and Kang R. 2021. Clean Development, Energy Substitution, and Carbon Emissions: Evidence from Clean Development Mechanism (CDM) Project Implementation in China. Sustainability, 13(2): 860. https://doi.org/10.3390/su13020860.

Tan X, Li H, Guo J, Gu B and Zeng Y. 2019. Energy-saving and emission-reduction technology selection and CO2 emission reduction potential of China's iron and steel industry under energy substitution policy. Journal of Cleaner Production, 222: 823-834. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.133.

Thompson P and Taylor TG. 1995. "The Capital-Energy Substitutability Debate: a New Look", Review of Economics and Statistics, 77(3): 565-569. https://www.jstor.org/stable/2109916.

Uzawa H. 1962. Production functions with constant elasticities of substitution. The Review of Economic Studies, 29(4): 291-299. https://doi.org/10.2307/2296305.

Wang X, Wen X and Xie C. 2018. An evaluation of technical progress and energy rebound effects in China's iron and steel industry. Energy Policy, 123: 259-265. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.016.

Yang M, Fan Y, Yang F and Hu H. 2014. Regional disparities in carbon dioxide reduction from China's uniform carbon tax: a perspective on interfactor/interfuel substitution. Energy, 74: 131-139. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.056.

Zhou Y, Fang W, Li M and Liu W. 2018. Exploring the impacts of a low-carbon policy instrument: A case of carbon tax on transportation in China. Resources, Conservation and Recycling, 139: 307-314. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.015 .

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 333-350

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Investigating Different Populations of Dragon's head (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) in terms of Percentage and Yield of Protein in the Climatic Conditions of East Azarbaijan

Jalil Shafagh-Kolvanagh[1*], Adel Dabbagh-Mohammadi-Nasab[1], Yaegoob Raee[1], Payvand Samimifar[2], Mina Amani[3]

Received: 22 August 2023	Accepted: 22 February 2024

1- Prof., of Plant Ecophysiology Dept. Field of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2-Graduated Ph.D. in Crop Physiology, Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- PhD Student of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email:shafagh.jalil@gmail.com

Abstract

Background & Objective: The aim of this research is to investigate the yield and yield components as well as the percentage and protein yield of different ecotypes of dragon's head in East Azerbaijan region.

Materials & Methods: In order to evaluate the characteristics related to the yield of 49 ecotypes of dragon's head collected from different regions of the country, a research in the form of a randomized complete block design with 3 replications during the years 2014 and 2015 in the research farm of the Faculty of Agriculture University of Tabriz was implemented. The most important traits measured were: the number of seeds in a capsule, the number of capsules in each flower cycle in the main stem, the number of capsules in each cycle in the secondary branch, seed yield per unit area and also some qualitative traits such as protein percentage and protein yield in surface unit.

Results: The obtained results showed that the ecotypes showed significant differences with each other in most of the studied traits. Ecotype No. 37 (alvar village, Bostanabad) was highly superior in terms of many traits, especially in terms of grain yield. Ecotype No. 46 (Kurdistan 2) had the highest protein percentage, while the highest protein yield was obtained from Ecotype No. 48 (Zanjan). In the regression analysis of protein yield, the highest regression coefficient (0.873) was observed in protein yield per unit area and grain yield per unit area, respectively.

Conclusion: Based on the results of this research, ecotypes No. 37 (Alwar village of Bostanabad), 23 (Tabriz 4) and 24 (kolvanagh 14) were recognized as the most suitable and compatible ecotypes for Tabriz city in terms of grain yield traits.

Keywords: Ecotype, Protein Percentage, Protein Yield, Seed Yield, Tabriz.

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Jalil Shafagh-Kolvanagh E-mail: shafagh.jalil@gmail.com
https://doi.org/10.22034/SAPS.2023.58092.3101

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۳۵۰-۳۳۳

دانش کشاورزی و تولید پایدار

بررسی جمعیت‌های مختلف بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) از نظر درصد و عملکرد پروتئین در شرایط آب و هوایی آذربایجان شرقی

جلیل شفق کلوانق[۱*]، عادل دباغ محمدی نسب[۱]، یعقوب راعی[۱]، پیوند صمیمی‌فر[۲]، مینا امانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۳۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۳

۱- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- دانش‌آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳- دانشجوی دکتری تخصصی علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
* نویسنده مسئول: Email: shafagh.jalil@gmail.com

چکیده

اهداف: هدف از این پژوهش بررسی عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین درصد و عملکرد پروتئین اکوتیپ‌های مختلف بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) در منطقه آذربایجان شرقی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به منظور ارزیابی ویژگی‌های مرتبط با عملکرد ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری (قَرَه زَرَک) جمع‌آوری شده از مناطق مختلف کشور، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و طی سال‌های ۹۵ و ۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز اجرا گردید. مهم‌ترین صفات اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در هر چرخه گل در ساقه اصلی و شاخهٔ جانبی، عملکرد دانه در واحد سطح و همچنین برخی صفات کیفی از قبیل درصد و عملکرد پروتئین در واحد سطح.

یافته‌ها: نتایج به دست آمده نشان داد که اکوتیپ‌ها در اکثر صفات موردمطالعه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند. اکوتیپ شماره ۳۷ (روستای الوار بستان‌آباد) از نظر بسیاری از صفات مخصوصاً از نظر عملکرد دانه برتری بالایی داشت. اکوتیپ شماره ۴۶ (کردستان ۲) دارای بالاترین درصد پروتئین بودند، در صورتی که بالاترین میزان عملکرد پروتئین از اکوتیپ شماره ۴۸ (زنجان) به‌دست آمد. در تجزیه رگرسیونی عملکرد پروتئین بالاترین ضریب رگرسیونی (r=۰/۸۷۳) به‌ترتیب در عملکرد پروتئین در واحد سطح و عملکرد دانه در واحد سطح مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج حاصل از این تحقیق اکوتیپ شماره ۳۷ (روستای الوار بستان آباد)، ۲۳ (تبریز ۴) و ۲۴ (کلوانق ۱۴) از نظر صفت عملکرد دانه به عنوان مناسب‌ترین و سازگارترین اکوتیپ‌ها برای شهر تبریز شناخته شدند.

واژه های کلیدی: اکوتیپ، تبریز، درصد پروتئین، عملکرد پروتئین، عملکرد دانه

مقدمه

گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره‌برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند. تنوع آب و هوا و شرایط اکولوژیکی مختلف، باعث تنوع و غنای گیاهان دارویی در

سراسر ایران شده است. لزوم تحقیقات همه جانبه و بهره‌برداری صحیح از این گیاهان، به ویژه در زمانی که استفاده جهان از گیاهان دارویی در صنایع دارویی، آرایشی-بهداشتی و غذایی شتاب گرفته، بسیار ضروری است (شهبازی و همکاران ۲۰۱۲). در سال‌های اخیر، تلاش‌های فراوانی برای شناخت همه جانبه گیاهان دارویی از نظر تنوع و پراکنش گیاهان در ایران، شرایط بوم‌شناسی، استفاده‌های دارویی، استخراج و شناسایی مواد مؤثره، کشت و اهلی کردن، اصلاح گونه‌های مهم، بررسی شیوه‌های نوین در افزایش عملکرد مواد مؤثره و مطالعه اثرات دارویی آن‌ها انجام شده و نتایج جالب توجهی نیز به‌دست آمده است (شفق کلوانق و همکاران ۲۰۲۲). مطالعات انجام شده روی گیاهان دارویی در اکوسیستم‌های طبیعی و زراعی گویای آن است که استفاده از نظام کشاورزی پایدار بهترین شرایط را برای تولید این گیاهان فراهم آورده و حداکثر عملکرد کمی و کیفی در چنین شرایطی حاصل می‌گردد (جیانگ و هوانگ ۲۰۰۱). باتوجه‌به تأکیدی که کشاورزی پایدار بر افزایش کیفیت و پایداری عملکرد دارد، گیاهان دارویی که محصولات کیفی می‌باشند گزینه مناسبی در تنوع کشت محسوب می‌شوند و به نظر می‌رسد که در چنین شرایطی حداکثر رشد و عملکرد از آن‌ها حاصل می‌گردد (نظامی-وند چگینی و همکاران ۲۰۲۱).

بالنگوی شهری (قَرَه‌زَرَک) (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) یکی از گیاهان اسانس‌دار خانواده نعناعیان (Lamiaceae) می‌باشد. بالنگوی شهری از زمان‌های ماقبل تاریخ در جنوب غرب آسیا و جنوب شرق اروپا کشت می‌شود و بومی نواحی قفقاز می‌باشد . گیاه بالنگوی شهری دارای ساقه‌ای علفی، منفرد، باریک و ساده و تقریباً بدون کرک می‌باشد. ارتفاع گیاه حدود ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر است که گاهی در صورت مساعدبودن شرایط بیشتر از آن هم مشاهده شده است. برگ‌ها در هر گره ساقه به صورت جفت و متقابل قرار دارند. در قاعده هر برگ دوبرگواره و به عبارتی در هر گره چهار برگواره وجود دارد. گل‌های بالنگوی شهری دوجنسی و به رنگ سفید یا صورتی می‌باشند و زمان گلدهی آن خرداد تا تیرماه است. میوه جنس *Lallemantia* همانند سایر اعضای تیره نعناع از نوع فندقه است. اگرچه این گیاه شرایط نسبتاً سرد و خشک را ترجیح می‌دهد، ولی در شرایط آفتابی، رشد و نمو موفقی دارد؛ بنابراین در شرایط مناطق دیم ایران بخصوص در منطقه آذربایجان به‌دلیل سازگاری بیشتری که دارد به صورت خالص و یا مخلوط با نخود کشت می‌شود. بالنگوی شهری به خوبی در مناطق خشک رشد می‌کند، از این رو می‌تواند جایگزین مناسبی برای گیاهان زراعی سنتی در مناطق خشک باشد (یون و همکاران ۲۰۱۱). ایران یکی از مراکز عمده تنوع ژنتیکی بالنگوی شهری می‌باشد و کشت این گیاه دارویی در آن از قدمت زیادی برخوردار است، از این رو به دلیل سازگاری بالایی که این گیاه در طول زمان در این مناطق کسب نموده است، حاوی ژن‌های مطلوبی مانند تحمل به خشکی است. از موارد مصرف بالنگوی شهری می‌توان به تولید روغن از دانه، تولید موسیلاژ یا لعاب از دانه، تولید اسانس از پیکره رویشی گیاه، کاربرد کنجاله بعد از روغن‌کشی به‌عنوان غذایی برای انسان و دام، استفاده از برگ‌ها و سرشاخه‌های سبز گیاه قبل از گلدهی به عنوان سبزی تازه‌خوری و کاربرد به عنوان کود سبز اشاره کرد. مهمترین ویژگی گیاه بالنگوی شهری در دانه‌های آن نهفته است. این دانه‌ها منبع خوبی از فیبر، روغن و پروتئین هستند و خصوصیات دارویی و غذایی برای انسان دارند (رضوی و کراژیان ۲۰۰۹). این دانه‌ها به عنوان لینت‌بخش در رفع سرفه ناشی از سرماخوردگی (پارسا ۱۹۶۰؛ مورتون ۱۹۹۰؛ نقیبی و همکاران ۲۰۰۵) و نیز به عنوان تقویت‌کننده و مدّر استفاده سنّتی دارند (نقیبی و همکاران ۲۰۰۵). همچنین دانه موسیلاژی بالنگوی شهری استفاده وسیعی برای تهیه غذاهای گوناگون دارند و همچنین به عنوان یک افزودنی خوش طعم‌کننده در نوشیدنی‌های سرد و شربت‌ها، مورداستفاده قرار می‌گیرد (مالاویا و دات ۱۹۴۱).

باتوجه‌به تحقیقات اندک در زمینه نقش زراعی گیاهان غیراصلی مانند بالنگوی شهری در ایران جهت تأمین نیاز غذایی کشور، تحقیق حاضر به منظور مطالعه و ارزیابی

عملکرد توده‌های محلی گیاهان دارویی و چند منظوره بالنگوی شهری و همچنین به دست آوردن مطالب علمی جدید در مورد این توده‌های محلی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شده است. لازم به توضیح است که باتوجه‌به این که در سال‌های اخیر به دلیل بحران کمبود آب و خشکسالی، این گیاه در راستای تغییر الگوی کشت منطقه از گیاهان با نیاز آبی زیاد به گیاهان با نیاز آبی کم و یا دیم، به الگوی کشت رسمی استان آذربایجان شرقی اضافه شده است و در حال ترویج در بین کشاورزان منطقه می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی جمعیت‌های مختلف بالنگوی شهری از نظر درصد و عملکرد پروتئین در شرایط آب و هوایی آذربایجان شرقی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های اقلیمی و مشخصات محل آزمایش

توده‌های بومی گونه‌های زراعی و دارویی موجود در طبیعت علاوه بر ایجاد تنوع در اکوسیستم‌های طبیعی نقش بارزی در تغذیه و سلامت بشر و سایر موجودات دارند که در راستای نیل به این هدف و به منظور مطالعه برخی از ویژگی‌های مرتبط با سازگاری اکولوژیکی و زراعی در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری، در جهت شناسایی اکوتیپ‌های برتر، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و به مدت ۲ سال زراعی ۹۵ و ۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز اجرا گردید. این مکان در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز در ارتفاع ۱۳۶۰ متری از سطح دریا، در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی واقع شده است. بر اساس اطلاعات هواشناسی، این منطقه جزء اقلیم‌های نیمه استپی و نیمه خشک سرد محسوب می‌شود. در این منطقه بارندگی در فصل تابستان خیلی به ندرت اتفاق می‌افتد، به همین دلیل دارای فصل خشک در تابستان می‌باشد، در کل می‌توان گفت دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم می‌باشد و دما در زمستان کم و بیش سرد و تا زیر صفر تنزل می‌کند (عبدلی ۲۰۱۷).

مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

نوع خاک محل انجام پروژه بر اساس اصول صحیح نمونه‌برداری و آزمایش‌های خاک انجام گرفته، لومی – شنی بوده و نتایج حاصل از تجزیه آن به شرح جدول ۱ می‌باشد:

جدول ۱- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

نوع بافت	Ph	EC (ds/m)	سیلت	رس	شن	ماده آلی	آهک	ازت کل	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)
			(٪)							
لومی- شنی	۷/۷	۱/۱۲	۲۲	۱۸	۶۳	۱/۱	۱۱/۲	۰/۱	۵۸	۲۹۵

طرح آزمایشی مورداستفاده

کل زمین بر اساس طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار و هر تکرار دارای ۴۹ اکوتیپ که درنهایت به ۱۴۷ کرت تقسیم شد که ابعاد هر کرت به مساحت ۱/۵×۱ مترمربع بود. در هر کرت ۵ ردیف کاشت به طول ۱/۵ متر و به فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها تقریباً یک سانتی‌متر و کشت بذور به صورت خشکه‌کاری و در بستر مسطح انجام گرفت. ۴۹ اکوتیپ به‌صورت تصادفی در هر تکرار مورد کشت و مطالعه قرار گرفتند که مشخصات اکوتیپ‌های بالنگوی شهری و محل جمع‌آوری آن‌ها عبارت بودند از:

۱. محلی (شهرستان کلوانق ۱) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).

۲. محلی (شهرستان کلوانق ۲) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳. محلی (شهرستان کلوانق ۳) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۴. محلی (شهرستان کلوانق ۴) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۵. اهر (مختصات جغرافیایی: ۴۷ درجه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۶. محلی (شهرستان کلوانق ۵) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۷. محلی (شهرستان کلوانق ۶) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۸. محلی (شهرستان کلوانق ۷) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۹. محلی (سراب ۱) (مختصات جغرافیایی: ۴۷/۵۴ درجه شرقی و ۳۷/۹۲ درجه شمالی در استان اردبیل).
۱۰. محلی (شهرستان کلوانق ۸) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۱۱. محلی (شهرستان کلوانق ۹) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۱۲. تبریز ۲ (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۳۰ درجه شرقی و ۳۸/۰۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۱۳. تبریز ۵ (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۳۰ درجه شرقی و ۳۸/۰۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۱۴. تبریز ۳ (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۳۰ درجه شرقی و ۳۸/۰۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۱۵. تبریز ۱ (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۳۰ درجه شرقی و ۳۸/۰۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۱۶. تبریز ۷ (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۳۰ درجه شرقی و ۳۸/۰۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۱۷. تبریز ۶ (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۳۰ درجه شرقی و ۳۸/۰۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۱۸. تبریز ۸ (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۳۰ درجه شرقی و ۳۸/۰۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۱۹. محلی (شهرستان کلوانق ۱۰) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۲۰. محلی (شهرستان کلوانق ۱۱) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۲۱. محلی (شهرستان کلوانق ۱۲) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۲۲. محلی (شهرستان کلوانق ۱۳) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۲۳. تبریز ۴ (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۳۰ درجه شرقی و ۳۸/۰۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۲۴. محلی (شهرستان کلوانق ۱۴) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۲۵. محلی (روستای تازه کند ۱ هریس) (مختصات جغرافیایی: ۴۷ درجه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۲۶. محلی (شهرستان کلوانق ۱۵) (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۸/۱۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۲۷. روستای پارام ۱ هریس (مختصات جغرافیایی: ۴۶ درجه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳۸. شهرستان زرنق (مختصات جغرافیایی: ۵۰ درجه شرقی و ۳۶/۱۶ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).

۲۹. ورزقان ۱ (مختصات جغرافیایی: ۴۷ درجه شرقی و ۳۸/۳۴ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳۰. اهر ۱ (مختصات جغرافیایی: ۴۷ درجه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳۱. محلی (روستای تازه‌کند ۲ هریس) (مختصات جغرافیایی: ۴۷ درجه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳۲. ملکان (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۱۰ درجه شرقی و ۳۷/۱۴ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳۳. توده مشهد (مختصات جغرافیایی: ۵۹ درجه شرقی و ۳۶ درجه شمالی در استان خراسان رضوی).
۳۴. ورزقان ۲ (مختصات جغرافیایی: ۴۷ درجه شرقی و ۳۸/۳۴ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳۵. روستای پارام ۲ هریس (مختصات جغرافیایی: ۴۶ درجه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳۶. پیغام کلیبر (مختصات جغرافیایی: ۴۷ درجه شرقی و ۳۰ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳۷. روستای الوار بستان‌آباد (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۸۳ درجه شرقی و ۳۷/۸۴ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳۸. روستای دهلان هشترود (مختصات جغرافیایی: ۴۷ درجه شرقی و ۳۷ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۳۹. روستای کمارسفلی جلفا (مختصات جغرافیایی: ۴۶ درجه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۴۰. روستای گوندک بیجار کردستان (مختصات جغرافیایی: ۴۷/۵۲ درجه شرقی و ۳۵/۸۷ درجه شمالی در استان کردستان).
۴۱. مرز سرو ارومیه (مختصات جغرافیایی: ۴۴/۶۴ درجه شرقی و ۳۷/۷۲ درجه شمالی در استان آذربایجان غربی).
۴۲. روستای ارلان مرند (مختصات جغرافیایی: ۴۵ درجه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۴۳. روستای مجره خلخال (مختصات جغرافیایی: ۴۸ درجه شرقی و ۳۷ درجه شمالی در استان اردبیل).
۴۴. روستای لیلاب ورزقان (مختصات جغرافیایی: ۴۶ درجه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۴۵. شهرستان خاروانا (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۱۷ درجه شرقی و ۳۸/۶۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).
۴۶. کردستان ۲ (مختصات جغرافیایی: ۴۶/۹۹ درجه شرقی و ۳۵/۳۱ درجه شمالی در استان کردستان).
۴۷. تکاب (مختصات جغرافیایی: ۴۷/۱۱ درجه شرقی و ۳۶/۴۰ درجه شمالی در استان آذربایجان غربی).
۴۸. زنجان (مختصات جغرافیایی: ۴۸/۴۸ درجه شرقی و ۳۶/۶۶ درجه شمالی در استان زنجان).
۴۹. نظیرلو و درویش بقال (مختصات جغرافیایی: ۴۵ درجه شرقی و ۳۸ درجه شمالی در استان آذربایجان شرقی).

عملیات آماده‌سازی زمین

مراحل آماده‌سازی زمین موردنظر که شامل شخم اولیه (در پاییز ۹۴ و ۹۵ بعد از برداشت محصول) بود انجام گرفت. سپس باتوجه‌به مساعد شدن شرایط آب و هوایی عملیات شخم بهاره و دیسک‌زنی به منظور خرد کردن کلوخ‌ها در نیمهٔ دوم فروردین سال ۹۵ و ۹۶ انجام گرفت، جهت افزایش دقّت و یکنواختی به هنگام آبیاری قبل از انجام کاشت عملیات تسطیح زمین صورت گرفت. قطعه زمین موردنظر باتوجه‌به نقشه کاشت کرت‌بندی شده، تعداد ۱۴۷ کرت (۴۹ * ۳) به مساحت ۱/۵ مترمربع ایجاد شدند، البته عملیات تسطیح خاک داخل کرت‌ها هم صورت گرفت. عملیات کاشت بذور در سال اول در ۱۵ و ۱۶ اردیبهشت ماه سال ۹۵ و در سال دوم در تاریخ ۱ اردیبهشت ماه سال ۹۶ انجام گرفت؛ بدین‌ترتیب که از هر اکوتیپ ۱۵۰ بذر معادل ۰/۷۲ گرم وزن کرده و جدا شد. از آنجایی که در هر کرت بذرها در ۵ ردیف کاشته می‌شد، ۱۵ پاکت از هر اکوتیپ به مقدار گفته شده اندازه‌گیری و آمادهٔ کاشت شد، عملیات کاشت به صورت دست‌پاش (دست‌پاش یعنی بذرها را بدون رعایت هرگونه فاصله کاشتی روی کرت‌ها پاشیده می‌شود) و در بستر مسطح انجام گرفت. هر کرت به مساحت ۱/۵ مترمربع

(۱/۵×۱) می‌باشد که در هر کرت ۵ ردیف کاشت به طول ۱/۵ متر با فاصلهٔ بین ردیف ۲۰ سانتی‌متری و فاصلهٔ بین بذور در روی ردیف ۱ سانتی‌متر درنظر گرفته شد. عمق کاشت در حدود ۳-۲ سانتی‌متر از سطح خاک در نظر گرفته شد. کودپاشی قبل از کاشت در هر کرت انجام گرفته و سپس به وسیلهٔ شن‌کش با خاک زراعی هر کرت به خوبی مخلوط می‌شد. میزان کودهای مورداستفاده بر اساس نیاز خاکی شامل اوره (۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۴۸/۴۳ کیلوگرم در هکتار (معادل ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و سوپرفسفات تریپل (۴۶ درصد فسفر) به میزان ۱۰۸/۷ کیلوگرم در هکتار (معادل ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص) بود (قلی‌زاده خواجه ۲۰۱۷). تراکم کاشت بالنگوی شهری حدود ۵۰۰-۴۰۰ بذر در مترمربع (آقایی قراچورلو و همکاران ۲۰۱۳) بود، پس از کاشت روی بذرها به وسیلهٔ خاک نرم پوشانده شد.

عملیات داشت

بعد از کاشت به منظور تسهیل در جوانه‌زنی و سبز شدن، اولین آبیاری در سال اول در تاریخ ۹۵/۲/۲۰ و در سال دوم در تاریخ ۹۶/۲/۹ به صورت غرقابی (آبیاری غرقابی یک روش آبیاری است که در آن یک مزرعه اساساً با آب غرق می‌شود که اجازه می‌دهد خاک برای آبیاری گیاهان خیس شود) انجام گرفت. آبیاری‌های بعدی به فاصلهٔ هر ۷ روز یکبار و به صورت کرتی یا همان غرقابی انجام می‌شد. کنترل علف‌های هرز مزرعه به صورت وجین دستی و هر هفته انجام می‌گرفت. این عمل به خصوص در مراحل اولیه رشد گیاه به صورت مرتب انجام می‌گرفت.

در مرحلهٔ رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه بالنگوی شهری تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شد که در این انتخاب اثر حاشیه نیز منظور گردید. بعد از انتخاب، نمونه‌ها به آزمایشگاه اکولوژی گیاهان زراعی انتقال داده شدند و در آنجا نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، تعداد کپسول در هر چرخه گل در ساقه اصلی و شاخهٔ جانبی، تعداد دانه در هر کپسول اندازه‌گیری و شمارش شد.

به منظور تعیین عملکرد در واحد سطح، برداشت نمونه‌ها در تاریخ‌های ۹۵/۵/۷ و ۹۶/۵/۳ صورت گرفت. نمونه‌ها از مساحتی حدود ۰/۵ مترمربع در قسمت وسط کرت انتخاب شدند. تمام بوته‌های موجود در این مساحت از خاک بیرون کشیده شده به آزمایشگاه منتقل شد. کپسول‌های بالنگوی شهری که دانه‌ها در داخل آن‌ها قرار دارند، در هوای خشک بسته هستند که این امر مانع از ریزش بذور از داخل کپسول‌ها می‌گردد، اما در هوای مرطوب کپسول‌ها به طور خود به خود باز شده و دانه‌ها خارج می‌شوند (عبدلی ۲۰۱۷). با استفاده از این خاصیت طبیعی گیاه و بعد از جمع‌آوری نمونه‌ها در آزمایشگاه، مقداری آب روی قسمت گل‌آذین بوته‌ها اسپری گردید. مدت ۲۰ الی ۲۵ دقیقه زمان داده شد تا گل‌آذین کاملاً مرطوب و نرم شود، سپس دهانه کپسول‌ها باز شدند، بعد از آن بوته‌ها را دسته دسته گرفته و به صورتی که سر گیاه به سمت پایین و داخل یک سطل بزرگ باشد، با چند ضربه به دیوارهٔ سطل دانه‌ها به راحتی از داخل کپسول خارج شده و به داخل ظرف ریختند که پس از جمع‌آوری و هوا خشک شدن به مدت ۴۸ ساعت، توزین گشته و عملکرد دانه در نیم مترمربع به‌دست آمد و سپس برای یک مترمربع محاسبه گردید.

استخراج پروتئین

درصد پروتئین دانه‌های بالنگوی شهری از روش کجلدال (۱۸۸۳) و محاسبه درصد ازت انجام گرفت که این روش شامل سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون می‌باشد. در مرحله هضم از هر اکوتیپ به میزان ۵ گرم بذر آسیاب‌شده به همراه ۱۲ سی‌سی اسیدسولفوریک داخل لوله‌ها ریخته شد، سپس لوله‌ها به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد درون بلوک هضم قرار گرفتند. مرحله تقطیر و تیتراسیون در داخل دستگاه کجلدال انجام گرفت که در این مرحله لوله‌های آزمایش از بلوک هضم خارج شده و به هر کدام ۲۰ سی‌سی آب مقطر اضافه گردید. عمل تقطیر با استفاده از سود (NaOH) ۴۰ درصد و تیتراسیون اسیدکلریدریک ۰/۲ نرمال انجام گرفت. میزان ازت نمونه‌ها از طریق حساسیت الکترودها به تغییر رنگ محلول محاسبه شد

که انجام این ۲ مرحله برای هر نمونه حدود ۵ دقیقه به طول انجامید (کجلدال ۱۸۸۳).

درصد پروتئین دانه و عملکرد دانه از روابط ۱ و ۲ محاسبه و به دست آمد:

[۱] درصد پروتئین= ۶/۲۵ × درصد نیتروژن (پارسا و همکاران ۲۰۱۹)

[۲] عملکرد پروتئین= درصد پروتئین × عملکرد دانه در واحد سطح

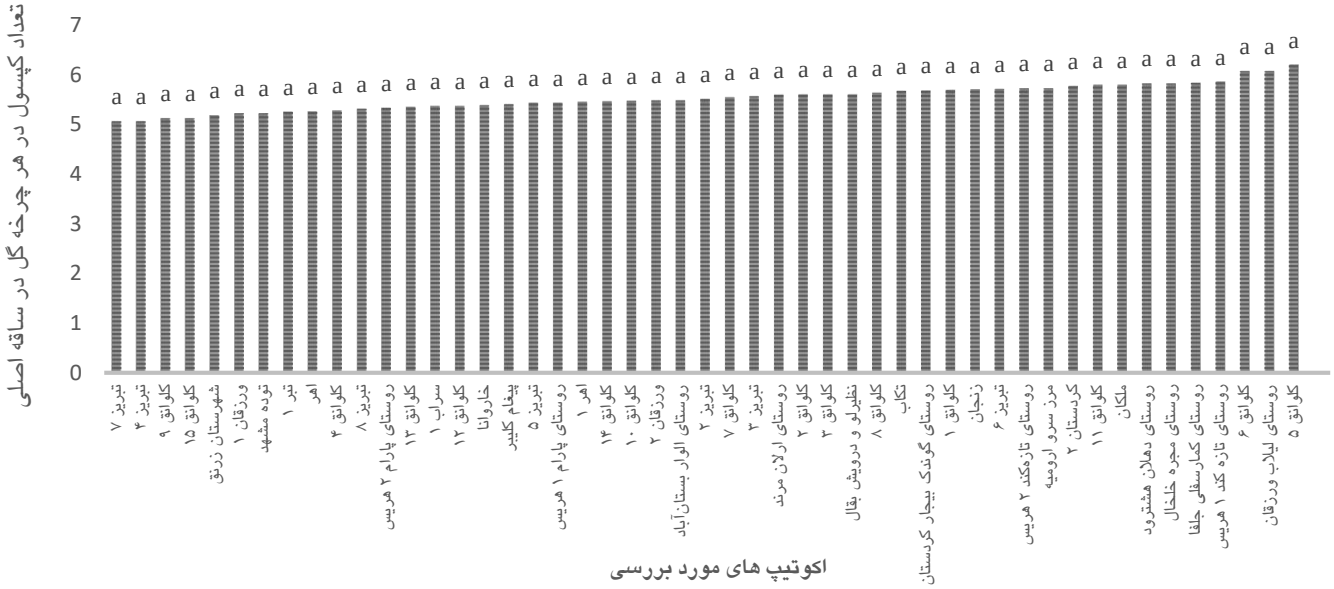
روش‌ها و محاسبات آماری

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک استفاده از نرم‌افزار SPSS و تجزیه آماری داده‌ها بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت تجزیه مرکب با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای MSTAT-C و SPSS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌های صفات مورد ارزیابی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد انجام گرفت و اثر سال غیرمعنی‌دار شد. همچنین برای گروه‌بندی اکوتیپ‌ها تجزیه خوشه‌ای به روش Ward انجام و محل برش دندروگرام حاصل با استفاده از تجزیه تابع تشخیص تعیین گردید، همچنین برای ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

تعداد کپسول در هر چرخه گل در ساقه اصلی و شاخه فرعی

بر اساس نتایج جدول ۲ تعداد کپسول در هر چرخه گل در ساقه اصلی، تحت تأثیر اکوتیپ قرار نگرفت و تمام اکوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری نداشتند. بیشترین تعداد کپسول در هر چرخه گل در ساقه اصلی مربوط به اکوتیپ شماره ۶ (محلی شهرستان کلوانق ۵) با میانگین ۶/۲ کپسول بود، همچنین کمترین تعداد کپسول نیز در اکوتیپ شماره ۲۳ (تبریز ۴) با میانگین ۵/۰۶ کپسول مشاهده گردید (شکل ۱).



شکل ۱- میانگین تعداد کپسول در هر چرخه گل در ساقه اصلی در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

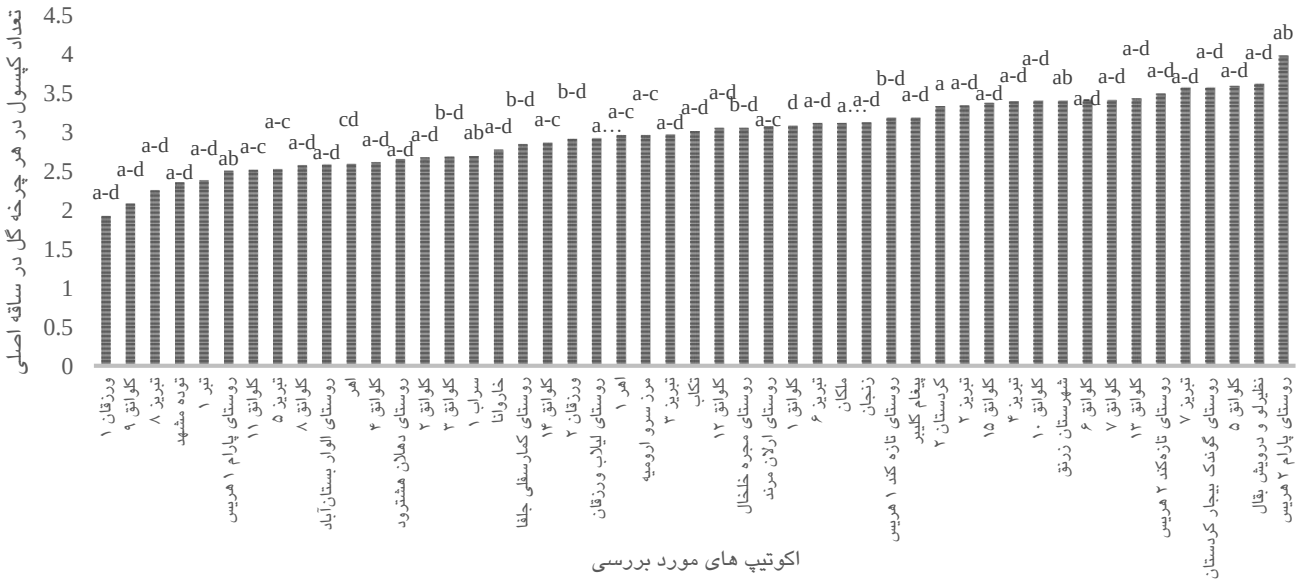
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد کپسول در هر چرخه گل در ساقه اصلی	تعداد کپسول در هر چرخه در شاخهٔ فرعی	تعداد دانه در هر کپسول	عملکرد دانه در واحد سطح	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین در واحد سطح
سال	۱	۴/۴۸۵^{ns}	۴/۶۸۶^{ns}	۳/۷۶۶^{ns}	۵۱۰/۹۷۳^{ns}	۱۷/۶۹^{ns}	۱۴/۳۹^{ns}
اشتباه آزمایشی۱	۴	۳/۷۰۰	۰/۴۸۷	۰/۰۹۰	۲۱۸۹/۵۷۰	۸۴/۷۴	۹۲/۷۳
اکوتیپ	۴۸	۰/۵۱۰^{ns}	۱/۵۴۴**	۰/۷۱۷**	۱۱۸۵/۰۳۰**	۴۰/۲۳**	۷۲/۳۶**
اکوتیپ × سال	۴۸	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۱۰^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۰/۵۱۴^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۲^{ns}
اشتباه آزمایشی ۲	۱۹۲	۰/۲۰۲	۰/۴۱۰	۰/۲۶۶	۳۷۵/۷۶۸	۰/۵۹	۱۷/۷۸
ضریب تغییرات (٪)	–	۸/۰۷	۲۱/۴۱	۱۶/۵۳	۲۲/۹۵	۳/۵۹	۲۳/۷۸

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر اکوتیپ بر تعداد کپسول در هر چرخه گل در شاخه جانبی معنی‌دار بود (جدول ۲). اکوتیپ شماره ۳۵ (روستای پارام ۲ هریس) با میانگین ۳/۹۹ کپسول، بیشترین تعداد کپسول در هر چرخه گل در شاخه فرعی را داشت. بعد از آن اکوتیپ‌های شماره ۴۹ (نظیرلو و درویش بقال) و ۶ (توده محلی کلوانق ۵) به ترتیب با میانگین‌های ۳/۶۳ و ۳/۶ کپسول در رتبه‌های بعدی قرار داشتند، درحالی‌که اکوتیپ شماره ۲۹ (توده محلی ورزقان ۱) با میانگین ۱/۹۳ کپسول کمترین تعداد کپسول در هر چرخه گل در شاخه فرعی را به خود اختصاص داد و بین اکوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲).



شکل ۲- میانگین تعداد کپسول در هر چرخه گل در ساقه فرعی در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

تعداد کپسول در گیاه یکی از اجزای مهم عملکرد است، زیرا کپسول‌ها از یک طرف دربرگیرنده تعداد دانه بوده و از طرف دیگر تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی موردنیاز برای دانه‌ها می‌باشند. لذا تعداد کپسول بیشتر، منجر به افزایش تعداد دانه و به تبع آن افزایش عملکرد دانه می‌شود (خرمدل و همکاران ۲۰۱۰). نتایج بررسی‌های قلی‌زاده (۲۰۱۷) روی اکوتیپ‌های بالنگوی شهری با نتایج حاضر مبنی بر اثر معنی‌دار اکوتیپ بر تعداد کپسول در

ساقه اصلی، مغایرت داشت. بر طبق تحقیقات عبدلی (۲۰۱۷) می‌توان گفت اکوتیپ‌هایی با بیشترین تعداد کپسول در هر چرخه گل در ساقه اصلی و تعداد دانه در کپسول، از نظر تعداد دانه در ساقه اصلی، تعداد دانه در بوته و همچنین عملکرد دانه، دارای ارزش بالایی خواهند بود. وجود شاخه‌های جانبی و کپسول‌های بارور در آن-ها باعث افزایش تعداد کپسول و تعداد دانه در بوته شده و از افت عملکرد دانه در شرایط نامساعد محیطی می-کاهد. در برخی یافته‌ها بیشترین تعداد کپسول در بالنگوی شهری در شرایط آبیاری مطلوب برابر با ۳۲ کپسول گزارش شده است (آقایی قراچورلو و همکاران ۲۰۱۳). نتایج مطالعه نصرتی مومونڈی و همکاران (۲۰۲۲) روی توده‌های بالنگوی شهری نشان داد که کمترین تعداد کپسول در هر بوته از توده کلیبر (۱۹۳/۳) به‌دست آمد که با توده کهریزی و توده تکاب تفاوت معنی‌داری نداشت. شفق کلوانق و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که بیشترین و کمترین تعداد کپسول در توده کردستان (۵/۶) و جمعیت خوانسار (۳) مشاهده شد.

تعداد دانه در هر کپسول

نتایج تجزیه واریانس جدول، بیانگر اثر معنی‌دار اکوتیپ بر تعداد دانه در کپسول بود (جدول ۲). اکوتیپ شماره ۲۵ (توده محلی روستای تازه کند ۱ هریس) با میانگین ۳/۶۶ دانه در کپسول بیشترین تعداد دانه در کپسول را به خود اختصاص داد، بعد از آن بیشترین تعداد دانه در کپسول مشترکاً مربوط به اکوتیپ شماره ۷ (توده محلی شهرستان کلوانق ۶) و اکوتیپ شماره ۴۶ (کردستان ۲) با میانگین ۳/۵۶ دانه بود (شکل ۳)، در حالی که اکوتیپ شماره ۴۳ (روستای مجره خلخال) با میانگین ۱/۹۷ دانه کمترین تعداد دانه در کپسول را داشت. تعداد دانه در کپسول با ثبات‌ترین جزء عملکرد است، زیرا تعداد سلول‌های تخم تقریباً در همه تخمدان‌ها برابر است، تعداد دانه در غلاف به طور قابل ملاحظه‌ای متأثر از شرایط تلقیح و موقعیت غلاف در گیاه است و روش‌های زراعی و شرایط آب و هوایی اختلاف کمی در تعداد دانه در غلاف ایجاد می‌کنند. قلی‌زاده خواجه (۲۰۱۷) در مطالعه روی اکوتیپ‌های بالنگوی شهری، بیشترین تعداد دانه در کپسول را ۲/۸۴ دانه و در اکوتیپ توده بومی کلوانق ۱۲ گزارش نمود. براساس یافته‌های اولد و همکاران (۱۹۸۰)، پاندی و همکاران (۱۹۸۳) و ژیا (۱۹۹۷) تعداد دانه در کپسول معمولاً کمتر تحت‌تأثیر عوامل محیطی قرار می-گیرد. درنتیجه به نظر می‌رسد بیشتر از ژنوتیپ متأثر شود. در مطالعه دیگری در صفت تعداد دانه در کپسول اختلاف معنی‌داری بین توده‌های بومی وجود داشت (شهبازی و همکاران ۲۰۱۲). نصرتی مومونڈی و همکاران (۲۰۲۲) روی توده‌های بالنگوی شهری نشان داد که بیشترین تعداد دانه در کپسول از توده کردستان به‌دست آمد که تنها با توده‌های کلیبر و جلفا تفاوت معنی-داری داشت.

عملکرد دانه در واحد سطح

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس، حاکی از اثر معنی‌دار اکوتیپ بر عملکرد دانه در واحد سطح می‌باشد (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح مربوط به اکوتیپ شماره ۳۷ (روستای الوار بستان‌آباد) با میانگین ۱۱۶/۳ گرم در مترمربع و کمترین عملکرد دانه در واحد سطح متعلق به اکوتیپ شماره ۴۳ (روستای مجره خلخال) با میانگین ۴۰/۲۵ گرم در مترمربع بود (شکل ۴). وجود اختلاف در بین عملکرد اکوتیپ‌های مختلف بالنگوی شهری، گزینش اکوتیپ با عملکرد مطلوب را امکان‌پذیر می‌سازد و از تنوع موجود می‌توان برای تولید جمعیت-های در حال تفکیک، انتخاب اکوتیپ‌های برتر و تولید ارقام جدید استفاده کرد. با این حال نباید نقش بخش‌های رویشی گیاه از جمله بخش‌های سبز را از لحاظ فتوسنتز نادیده گرفت، چرا که وجود مخازن زیاد ولی منابع کم در گیاه، باعث عدم تأمین مواد فتوسنتزی کافی و درنتیجه افت عملکرد خواهد شد.

باتوجه‌به اینکه عمده دلیل کشت گیاه دارویی-زراعی بالنگوی شهری، استفاده از دانه آن می‌باشد، لذا انتخاب اکوتیپی با بیشترین عملکرد دانه و کشت آن به منظور تولید دانه، اهمیت فراوانی دارد. به همین دلیل توصیه می-شود زارعین در کشت این گیاه از اکوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا استفاده کنند. نتایج مطالعه رشوند و همکاران (۲۰۲۱) روی اکوتیپ‌های مختلف بالنگو از ۳ گونه



شکل ۳- میانگین تعداد دانه در هر کپسول در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

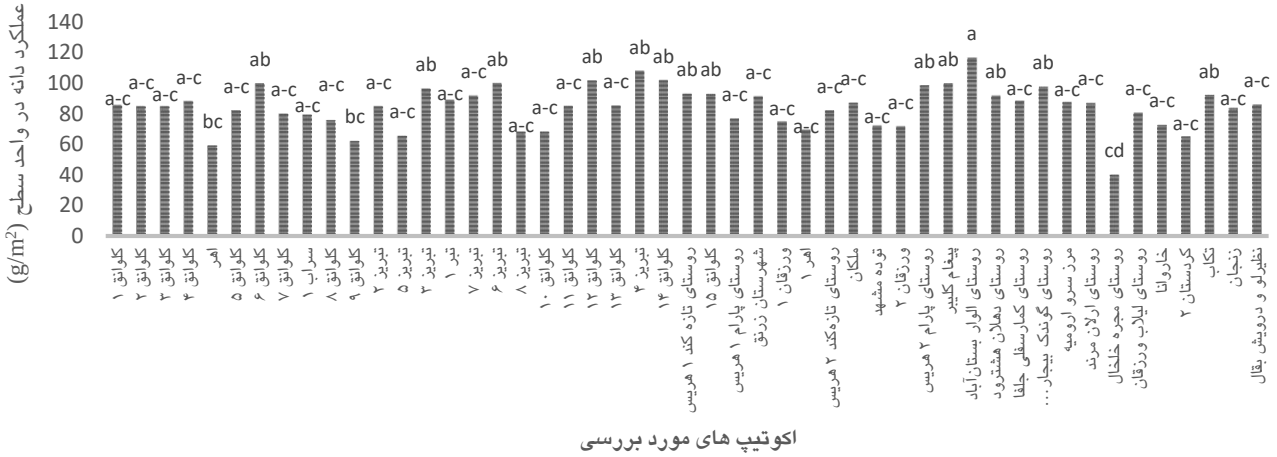
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

شامل *L. iberica*، *L. peltata* و *L. roylana* نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با ۴/۲۸ گرم در بوته در اکوتیپ آذرشهر مربوط به گونه *L. iberica* به‌دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با اکوتیپ تبریز و قزوین نداشت. ازجمله برتری بالنگوی شهری، سطح تاج پوشش بیشتر و طول دوره رویش طولانی‌تر نسبت به دو گونه دیگر است که از میزان عملکرد دانه بالاتری برخوردار می‌باشد. کوچکی و همکاران (۲۰۱۲) در بالنگو با مصرف کود دامی ۱۰ تن در هکتار عملکرد بین ۲۷۲/۵ تا ۴۸۷/۳ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. نتایج مطالعه شفق کلوانق و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در ارقام کردستان ۱/۵۱ گرم و خوانسار ۱/۴۸ گرم گزارش کردند که از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. نصرتی موموندی و همکاران (۲۰۲۲) روی توده‌های بالنگوی شهری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در توده کردستان (۴۷۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن از توده کلیبر (۱۸۲ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. نتایج فرضی و همکاران (۲۰۱۶) روی توده‌های بالنگوی شهری نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های بالنگوی شهری در توده هشترود با متوسط ۱۳۸۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار را در توده‌های نظیرلو و کلیبر با متوسط ۷۳۰ و ۸۱۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری تکمیلی نشان داد. در شرایط دیم بیشترین مقدار را توده کلیبر و کمترین عملکرد دانه را توده‌های تکاب و زنجان نشان داد. میزان عملکرد در نتایج آن‌ها در شرایط آبی ۷۳۰ تا ۱۳۸۰ کیلوگرم در هکتار و در شرایط دیم بین ۳۶۰ تا ۶۸۰ کیلوگرم در هکتار بود.

درصد پروتئین

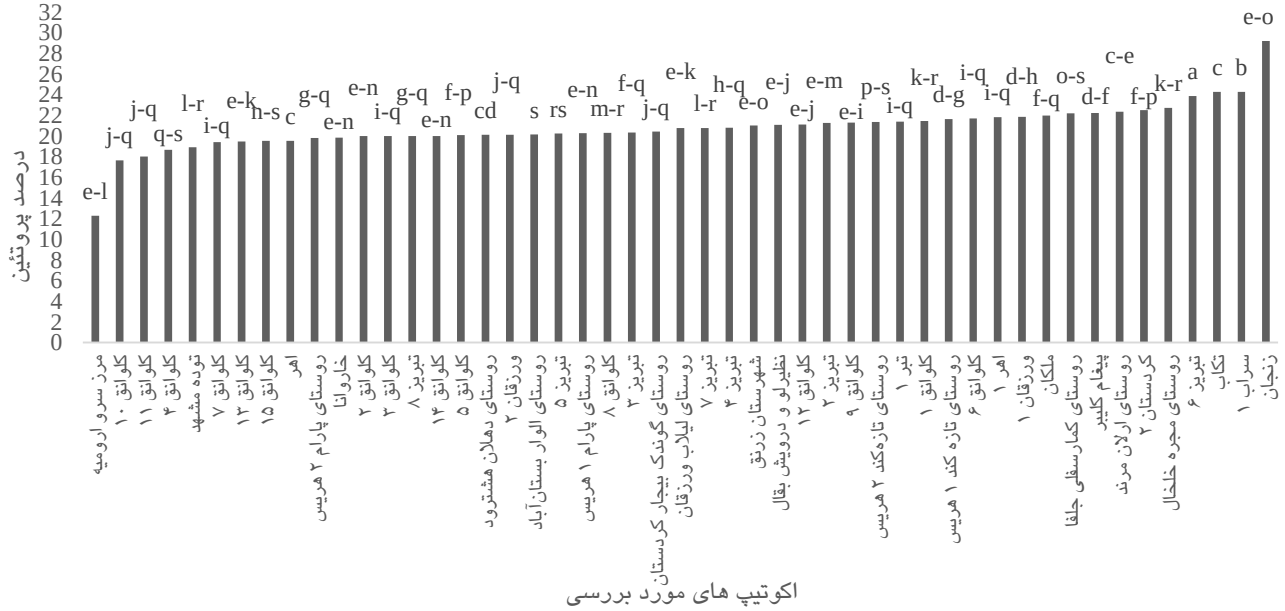
نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که درصد پروتئین دانه‌ها تحت تأثیر اکوتیپ‌ها قرار گرفته است. بیشترین درصد پروتئین با میانگین ۳۲/۵ درصد در اکوتیپ شماره ۴۶ (توده بومی کردستان ۲) مشاهده شد. پس از آن، اکوتیپ شماره ۴۸ (زنجان) با میانگین ۲۹/۲ درصد و اکوتیپ شماره ۹ (سراب) با میانگین ۲۴/۳ درصد در مراتب بعدی قرار گرفتند. کمترین درصد پروتئین با میانگین ۱۷/۶۴ درصد متعلق به اکوتیپ شماره ۱۹ (توده محلی کلوانق ۱۰) بود (شکل ۵). در پژوهشی که توسط عبدالهی و ملکی فراهانی (۲۰۱۵) روی دو اکوتیپ بالنگوی شهری و بالنگوی شیرازی *L. royleana* انجام شد. بین اکوتیپ‌های بالنگوی شیرازی تفاوت

معنی‌داری از نظر درصد پروتئین دانه وجود نداشت، اما در اکوتیپ مشهد (بالنگوی شیرازی) (۳۳/۶ کیلوگرم در هکتار) نسبت به اکوتیپ ارومیه (بالنگوی شهری) (۲۲/۱۶ کیلوگرم در هکتار) دارای درصد پروتئین بیشتری بود.



شکل ۴- میانگین عملکرد دانه در واحد سطح در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.



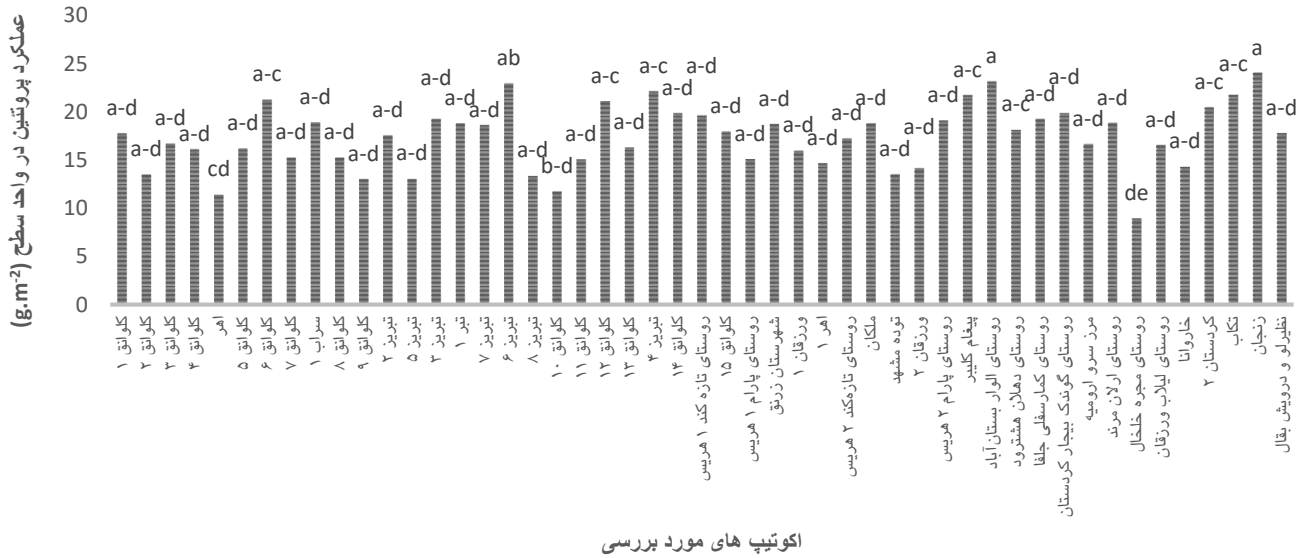
شکل ۵- میانگین درصد پروتئین در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

عملکرد پروتئین در واحد سطح

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر اکوتیپ بر عملکرد پروتئین در واحد سطح معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد پروتئین در واحد سطح متعلق به اکوتیپ شماره ۴۸ (زنجان) با میانگین ۲۴/۰۳ گرم در مترمربع بود و پس از آن اکوتیپ شماره ۳۷ (توده بومی روستای الوار بستان‌آباد) با میانگین ۲۳/۱۵ گرم در مترمربع در رتبه بعدی قرار گرفت. این دو اکوتیپ به همراه اکوتیپ شماره ۱۷ (توده بومی تبریز ۶) با میانگین ۲۲/۹۱ گرم در مترمربع در مقایسه با سایر اکوتیپ‌ها عملکرد پروتئین

بیشتری داشتند. همچنین اکوتیپ شماره ۸ (کلوانق ۷) با میانگین ۸/۹۶۶ گرم در مترمربع با قرار گرفتن در پایین‌ترین رده، کمترین عملکرد پروتئین در واحد سطح را به خود اختصاص داد (شکل ۶). در گزارشی از عبدالهی و ملکی فراهانی (۲۰۱۴) بیان داشتند که بالنگوی شهری با ۴۳/۸ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با بالنگوی شیرازی با عملکرد ۲۶/۴ کیلوگرم در هکتار عملکرد پروتئین بیشتری داشت.



شکل ۶- میانگین عملکرد پروتئین در واحد سطح در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

تجزیه خوشه‌ای بر اساس عملکرد پروتئین و صفات مرتبط با آن

نتایج گروه‌بندی اکوتیپ‌های بالنگوی شهری بر اساس عملکرد پروتئین در واحد سطح، در شکل ۷ آورده شده است. بر اساس نتایج جدول تجزیه تابع تشخیص، ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری در دو خوشه طبقه‌بندی شدند (جدول ۳). خوشه اول دارای ۳۱ اکوتیپ بود که عبارت بودند از ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۹، ۳۲، ۳۳، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۸. درصد انحراف از میانگین کل در این گروه برای صفت عملکرد دانه در واحد سطح مثبت، ولی برای درصد پروتئین منفی به دست آمد. در واقع اکوتیپ‌های گروه اول از نظر صفت عملکرد دانه در واحد سطح از ارزش بالاتری نسبت به میانگین کل برخوردار بودند. در خوشه دوم نیز اکوتیپ‌های ۶، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۹، ۲۰، ۲۸، ۳۰، ۳۱، ۳۴، ۳۵، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۹ قرار گرفتند. درصد انحراف از میانگین کل برای این خوشه برای صفت درصد پروتئین مثبت بود. در حالی که برای عملکرد دانه در واحد سطح منفی بدست آمد (جدول ۴). بر اساس این گروه‌بندی، خوشه اول دارای عملکرد دانه در واحد سطح بالایی هستند و از آن جایی که عملکرد پروتئین تابع عملکرد دانه است؛ لذا احتمال می‌رود اکوتیپ‌هایی که عملکرد دانه بالایی دارند از عملکرد پروتئین بالایی نیز برخوردار باشند (عبدلی ۲۰۱۷). نتایج مطالعه رشوند و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که در تجزیه خوشه‌ای براساس صفات مورد بررسی ۱۹ اکوتیپ در فاصله ژنتیکی ۱۸/۳۵ در سه خوشه مجزا قرار گرفتند. اکوتیپ‌های موجود در خوشه ۱ که متعلق به گونه *L. iberica* بودند دارای عملکرد بیشتر و دیررس بودند. اکوتیپ‌های خوشه ۳ که مربوط به گونه *L. roylana* بودند عملکرد عمدتاً زودرس و عملکرد کمتری داشتند. اکوتیپ‌های خوشه ۲ از لحاظ عملکرد و زمان رسیدن در حد واسط قرار داشتند. فرضی و همکاران (۲۰۱۶) ۲۵ اکوتیپ بالنگوی شهری را از طریق تجزیه خوشه‌ای

گروه‌بندی کردند. بر این اساس اکوتیپ‌ها در ۳ خوشه طبقه‌بندی شدند. خوشه اول شامل توده‌های کردستان، بستان‌آباد و هریس بود. ۹ توده شامل توده‌های ملکان، نظرکهریزی، مشهد و هشترود در خوشه دو قرار گرفتند که از نظر عملکرد دانه دارای ارزش بیشتری از میانگین کل بودند. خوشه سوم نیز اکوتیپ‌های تکاب، کلیبر، جلفا، زنجان و نظیرلو را شامل شد.

جدول ۳- تجزیه تابع تشخیص برای تعیین محل برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای عملکرد پروتئین و صفات مرتبط با آن در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

گروه	سطح احتمال	Wilks' lambda	Chi-square
۲	۱/۵۳×۱۰$^{-۸}$	۰/۴۸۲	۴۱/۱۵۴
۳	۱/۵۲×۱۰$^{-۴}$	۰/۶۴۳	۱۹/۲۱۱
۴	۰/۰۰۳	۰/۷۵۵	۱۰/۴۸۲
۵	۰/۶۴۹	۰/۹۸۴	۰/۱۸۱

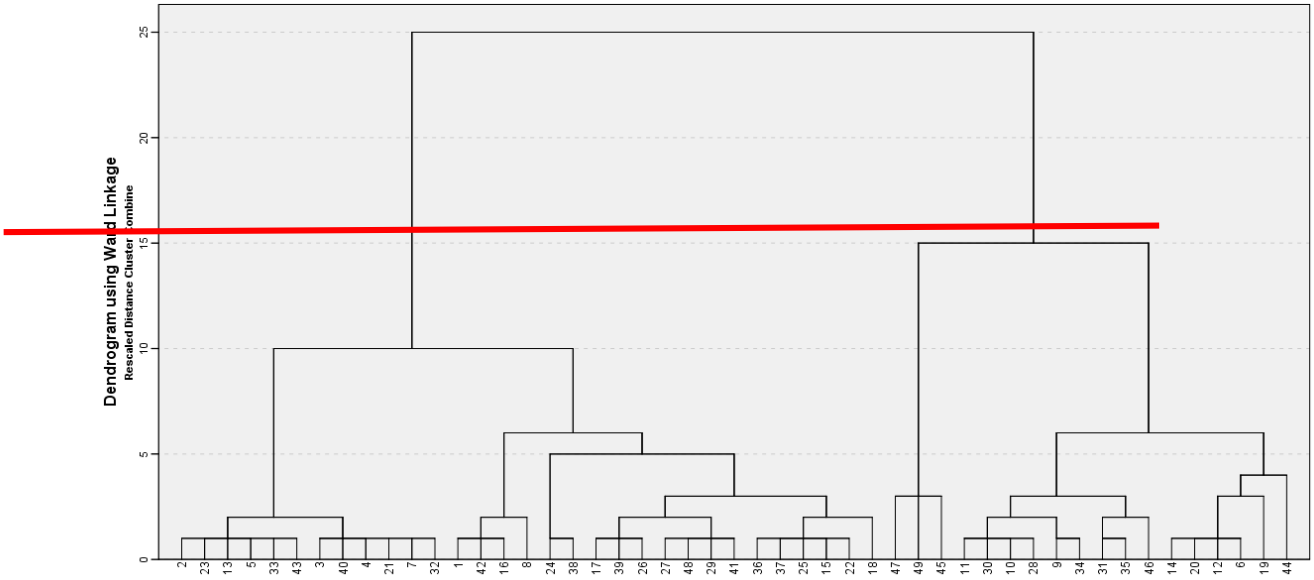
جدول ۴- میانگین گروه‌ها و درصد انحراف آن‌ها از میانگین کل صفات در ۲ خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس عملکرد پروتئین در واحد سطح و صفات مرتبط با آن

گروه		عملکرد دانه در واحد سطح	درصد پروتئین
گروه اول شامل اکوتیپ‌های ۲، ۲۳، ۱۳، ۵، ۳۳، ۳ ۳، ۴۳، ۴۰، ۴، ۲۱، ۷، ۳۲، ۱، ۴۲، ۱۶، ۸، ۲۴، ۳۸، ۱۷، ۳۹، ۲۶، ۲۷، ۴۸، ۲۹، ۴۱، ۳۶، ۳۷، ۲۵، ۱۵، ۲۲و ۱۸	میانگین	۹۲/۰۵	۲۰/۷۵
	درصد انحراف از میانگین کل	۹/۵۴	-۳/۲۲
گروه دوم شامل اکوتیپ‌های ۴۷، ۴۹، ۴۵، ۱۱، ۲۸،۹، ۱۰، ۳۰، ۳۴،۳۱،۳۵، ۴۶، ۱۴، ۲۰، ۱۲، ۶، ۱۹ و ۴۴	میانگین	۷۰/۲۳	۲۲/۶۲
	درصد انحراف از میانگین کل	-۱۶/۴۲	۵/۵۰
	میانگین کل	۸۴/۰۳	۲۱/۴۴

تجزیه رگرسیون به روش گام به گام

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون به روش گام به گام و بر اساس عملکرد پروتئین در واحد سطح، در جدول ۵ درج گردید. رگرسیون با ۲ درجه آزادی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. صفاتی که به عنوان مؤثرترین متغیرها بر عملکرد پروتئین در مدل باقی ماندند، به ترتیب شامل عملکرد دانه در واحد سطح و درصد پروتئین بودند. ضریب تبیین تصحیح شده در مدل برازش یافته برابر با ۰/۹۲۰ به دست آمد که نشان از توجیه ۹۲ درصد از تغییرات عملکرد پروتئین به وسیله این دو متغیر بود. عملکرد دانه در واحد سطح با توجیه ۷۳/۶ درصد از تغییرات به عنوان مؤثرترین متغیر در عملکرد پروتئین در واحد سطح در مدل رگرسیونی باقی ماند، یعنی بیش از ۵۰ درصد تغییرات عملکرد پروتئین در واحد سطح در ارتباط مستقیم با این متغیر بود. ضریب رگرسیونی برای صفت عملکرد دانه در واحد سطح ۰/۸۷۳ و برای درصد پروتئین ۰/۴۲۹ به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، با افزایش عملکرد دانه در واحد سطح، عملکرد پروتئین در واحد سطح نیز افزایش می‌یابد، همچنین درصد پروتئین نیز رابطه مثبت با عملکرد پروتئین در واحد سطح داشت (جدول ۶). بنابراین اگر هدف از کشت این گیاه استخراج پروتئین آن باشد، انتخاب اکوتیپ‌هایی

با عملکرد دانه بیشتر، نسبت به درصد پروتئین از اولویت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج رگرسیون گام به گام در آزمایش رحیمی و اوزون-دوجی (۲۰۱۴) نشان داد که صفات طول دوره گلدهی تا رسیدگی، طول غلاف و تعداد غلاف در ساقه اصلی به ترتیب دارای بیشترین اثر روی عملکرد دانه بوده و ۸۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند.



شکل ۷- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری براساس عملکرد پروتئین و صفات مرتبط با آن و با استفاده از روش Ward

جدول ۵- تجزیه واریانس مربوط به رگرسیون چندگانه به روش گام به گام برای عملکرد پروتئین در اکوتیپ‌های بالنگوی شهری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
رگرسیون	۲	۵۷۳/۳۲۲**
انحراف از رگرسیون	۴۶	۰/۳۳۹
کل	۴۸	
ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{Adj})		۰/۹۲۰

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

جدول ۶- تجزیه رگرسیون عملکرد پروتئین در واحد سطح (متغیر وابسته) با سایر صفات (متغیرهای مستقل) در اکوتیپ‌های بالنگوی شهری

		ضریب رگرسیون استاندارد شده (β)	
متغیر وابسته	R^2_{Adj}	عملکرد دانه در واحد سطح	درصد پروتئین
عملکرد دانه	۰/۹۲۰	۰/۸۷۳	۰/۴۲۹

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، اکوتیپ‌های شماره ۳۷ (روستای الوار بستان‌آباد) با میانگین ۱۱۶/۳ گرم در مترمربع، شماره ۲۳ (تبریز ۴) با میانگین ۱۰۷/۷ گرم در هر مترمربع و شماره ۲۴ (توده محلی کلوانق ۱۴) با میانگین ۱۰۱/۷ گرم در هر مترمربع دارای بیشترین

عملکرد دانه در واحد سطح بودند. در ارتباط با درصد پروتئین دانه‌ها بیشترین درصد پروتئین با میانگین ۳۲/۵ درصد در اکوتیپ شماره ۴۶ (توده بومی کردستان ۲) مشاهده شد و بالاترین عملکرد پروتئین در واحد سطح متعلق به اکوتیپ شماره ۴۸ (زنجان) با میانگین ۲۴ گرم در مترمربع بود. در گروه‌بندی اکوتیپ‌ها بر اساس عملکرد پروتئین دو گروه حاصل شد. اکوتیپ‌هایی دارای برتری نسبی از نظر عملکرد پروتئین هستند که دارای عملکرد دانه در واحد سطح بالایی باشند یعنی اکوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۹، ۳۲، ۳۳، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۸. با عنایت به نتایج تجزیه‌های آماری مختلف و همبستگی برخی صفات مهم با عملکرد دانه می‌توان گفت که انتخاب و کشت اکوتیپ‌های شماره ۳۷ (روستای الوار بستان‌آباد)، شماره ۲۳ (تبریز ۴)، شماره ۲۴ (توده محلی کلوانق ۱۴)، شماره ۲۵ (توده محلی تازه کند ۱ هریس) و شماره ۷ (کلوانق ۶) به‌عنوان مناسب‌ترین اکوتیپ‌ها برای بذرگیری به زارعین شهر تبریز توصیه می‌شوند و اکوتیپ‌های شماره ۷ (کلوانق ۶)، ۱۴ (تبریز ۳) با بالاترین عملکرد بیولوژیکی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

از دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز به خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abdoli S. 2017. Comparison of yield and some qualitative and quantitative characteres of common ecotypes of Lallemantia (Lallemantia iberica Fisch. et Mey). Master's thesis in the field of agriculture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. Tabriz, Iran. (In Persian)

Abdollahi M and Maleki Farahani S. 2014. Evaluation of seed yield, mucilage and protein of different species and ecotypes of balangu (Lallemantia spp.) under drought stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 31(4): 677-687. (In Persian) https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.102684

Abdollahi M and Maleki Farahani S. 2015. The effect of watering pattern on growth, yield and yield components in two specieas of Drogon's Head (Lallemanti royleana & Lallemanti iberica) of Mashhad and Urmia region. Journal of Iran's Agronomy Researches, 12(3): 502-515. (In Persian) https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.85893.1283

Aghaei-Gharachorlou P, Nasrollahzadeh S and Shafagh-Kolvanagh J. 2013. Effect of different irrigation treatments and plant density on yield and yield components of Dragon's head (Lallemantia iberica Fish. et Mey.). International Journal of Biosciences, 3(8): 144-149. (In Persian) http://dx.doi.org/10.12692/ijb/3.8.144-149

Auld DL, Bettis BL, Crock JE and Kephart KD. 1980. Planting date and temperature effects on germination, emergence and seed yield of chickpea (Cicer arietinum L.). Journal of Agronomy, 80: 909-914. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1988AgrJ...80..909A/doi:10.2134/agronj1988.00021962008000060014x

Evans, L.T. 1996. Crop evolution, adaptation and yield: Cambridge University Press.

Farzi M, Alizadeh K and Arshad M. 2016. Study on Dragons head (Lallemantia iberica L.) Landraces Under Supplementary Irrigation and Rainfed Conditions. Journal of Crop Ecophysiology, 10(38(2)): 401-412.

Ghasemi Gholezani K, Mohamadi S, Rahimzade-Khoei F and Moghadam M. 1994. Quantitative relationships between plant density & chickpea seed yield in different sowing dates. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 7: 59-73. (In Persian)

Gholizadeh-Khajeh B. 2017. Evaluation of agronomic characteristics and performance of 49 landraces Lallemantia (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey) collected from different regions of Iran. Master's thesis in the field of agriculture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. Tabriz, Iran. (In Persian)

Ion V, Basa AG, Sandoiu DI and Obrisca M. 2011. Results regarding biological characteristics of the species Lallemantia iberica in the specific conditions from south Romania. Scientific Papers, UASVM Bucharest, Series A, 54: 275-280.

Jiang Y and Huang N. 2001. Drought and heat stress injury to two cool season furfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science, 41: 436-442. http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x

Kjeldahl J. 1883. New methods for the determination of nitrogen in organic compounds. Journal of Analytical Chemistry, 22: 366-382. http://dx.doi.org/10.1007/BF01338151

Khorramdel S, Koocheki A, Nasiri mahalati M and Ghorbani R. 2010. Effect of Biofertilizers on the Yield and Yield Components of Black Cumin (Nigella sativa L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 8(5): 758-766. https://doi.org/10.22067/gsc.v8i5.8017

Koocheki AR, Bakhshaei S, Tabraei A and Jafari L. 2012. Evaluation of the effect of plant density and cultivation patterns on the quantitative and qualitative characteristics of the medicinal plant Balango (Lallemantia royleana Benth.). Journal of Agoecology, 6(2): 229-237. https://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39365

Malavya BK and Dutt S. 1941. Chemical examination of the fixed oil derived from theseeds of Lallemantia royleana Benth. or Tukhm–i-malanga. Proceedings of the Indian Academy of Scienes Section A, 14: 80-84. http://doi.org/10.1007/BF03049128

Morton JF. 1990. Mucilaginous plants and their uses in medicine. Journal of Ethno-pharmacology, 29: 245-266. https://doi.org/10.1016/0378-8741(90)90036-S

Naghibi F, Mosaddegh M, Mohammadi-Motamed M and Ghorbani A. 2005. Labiatae family in folk medicine in Iran: From ethnobotany to pharmacology. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 4(2): 63-79. https://doi.org/10.22037/ijpr.2010.619

Nezamivand Chegini R, Benakashani F, Alahdadi I and Soltani E. 2021. Quantification of salinity stress and drought effects on fourteen ecotypes of black caraway (Nigella sativa L.) medicinal plant. Environmental Stresses in Crop Sciences, 14(1): 211-220. (In Persian) https://doi.org/10.22077/escs.2020.2653.1688

Nosrati H, Diyanat M, Rafiee M and Hasanpour J. 2022. Yield and components of yield reactions of Dragon's head (Lallemantia iberica L.) landraces to different tillage systems in rainfed conditions. Applied Field Crops Research, 34(4): 118-98. (In Persian) https://doi.org/10.22092/aj.2022.355803.1563

Pandey RK, Herrera WAT and Pendelton JW. 1983. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. I. Yield and yield components. Journal of Agronomy, 76: 549-553. https://doi.org/10.2134/agronj1984.00021962007600040009x

Parsa A. 1960. Medicinal plants and drugs of plant origin in Iran. IV. Qualitas plantarum et Materae Vegetabiles, 7: 65-136. https://doi.org/10.1007/BF01260413

Parsa M, Kamaei R and Yousefi B. 2019. Effects of different biofertilizers on elements, essential oil and yield of Peppermint (Mentha piperita L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 35(5): 860-875. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.126004.2543

Rahimi M and Ozoni Davaji A. (2014). Study of relationships between yield and some physiological traits of spring rapeseed cultivars. Crop Physiology Journal, 6(23): 67-83. http://dorl.net/dor/20.1001.1.2008403.1393.6.23.5.9

Rashvand S, Jafari A and Fakhr-Vaezi A. 2021. Evaluation of seed yield in some ecotypes of three Lallemantia species. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(2): 278-289. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.343024.2796

Razavi SMA and Karazhiyan H. 2009. Flow properties and thixotropy of selectedhydrocolloids: experimental and modeling studies. Food Hydrocolloids, 23: 908-912. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.05.010

Shafagh Kolvanagh J, Azadmard Taleshmikaeel A, Raei Salmasi Y, Zehtab Salmasi S, Azadmard Damirchi S and Dastborhan S. 2018. Evaluation of Morphological Traits, Yield Components and Essential Oil Content of Dragon's Head (Lallemantia iberica Fischer & C.A. Meyer) under Weed Interference Periods. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 28: 135-150. (In Persian)

Shafagh-Kolvanagh J, Dehghanian H, Mohammadi-Nassab AD, Moghaddam M, Raei Y, Salmasi SZ and Gholizadeh-Khajeh B. 2022. Machine learning-assisted analysis for agronomic dataset of 49 Balangu (Lallemantia iberica L.) ecotypes from different regions of Iran. Scientific Reports, 12(1): 19237. https://doi.org/10.1038/s41598-022-23335-1

Shahbazi S, Alizadeh K and Fathirezaie V. 2012. Study on planting possibility of Dragon's head (Lallemantia iberica F. & C. M.) landraces in cold rainfed conditions. Iranian Dryland Agronomy Journal, 1(2): 82-95. (In Persian) https://doi.org/10.22092/idaj.2013.100159

Xia MZ. 1997. Effect of soil drought during the generative development phase on seed yield and nutrient uptake of faba bean (Vicia faba L.). Australian Journal of Agricultural Research, 48: 447-451. https://doi.org/10.22077/escs.2023.5560.2157

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 351-377

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Effect of Cold Storage of *Galleria mellonella* L. on the Fitness of *Habrobracon hebetor* Say

Nahid Vaez[1*], Pari Dastmalchi[2], Ali Mehrvar[3]

Received: : 16 August 2024	Accepted: 08 October 2024

1- Assist. Prof., Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Iran.
2- MSc. Student, Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Iran.
3- Assoc. Prof., Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Iran.
* Corresponding Author Email: naheedvaez@gmail.com

Abstract

Background and Objective: The aim of this experiment was to investigate the effect of different storage periods of the third instar larvae of the greater wax moth, *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) at 4 and 12ºC, on the biological and population parameters of *Habrobracon hebetor* Say. (Hymenoptera: Braconidae).

Materials and Methods: This study was carried out in a factorial based on completely randomized design in the Plant Protection Department of Azarbaijan Shahid Madani University. The first factor was consisted of the temperature at two levels (4 and 12ºC) and the second factor was including the duration of storage at five levels (0 as control, 1, 3, 7 and 15 days).

Results: The results showed that the storage of the third instar larvae of the greater wax moth, *G. mellonella* at 4 and 12ºC for 15 days, decreased the biological, reproductive and population parameters of the *H. hebetor*. The mean biological and reproductive parameters in 12ºC treatments did not show any significant difference with the control. Parasitism rate and sex ratio were not affected by experimental treatments. The longevity, the oviposition period and fecundity of the *H. hebetor* decreased with the increase in the cold storage duration of the host. The lowest longevity (24.56±0.8 days), oviposition period (23.91±0.87 days), fecundity (245.46±1.12 eggs) and population growth rate (r) (0.2425±0.004) were observed in 15 days' treatment at 4ºC.

Conclusion: To mass rearing of *H. hebetor*, the larvae of the greater wax moth, *G. mellonella* can be kept for two weeks at 12ºC and and for a maximum of one week at 4ºC.

Keywords: Fecundity, *Galleria mellonella*, *Habrobracon hebetor*, Mass Rearing, Parasitism Rate, Population Growth Rate

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Nahid Vaez E-mail: naheedvaez@gmail.com
https://doi.org/10.22034/SAPS.2024.62986.3268

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۳۷۷-۳۵۱

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تاثیر ذخیره‌سازی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *Galleria mellonella* L. در دماهای پایین روی کارایی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* Say.

ناهید واعظ[1*]، پری دستمالچی[2]، علی مهرور[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۶	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱۷

۱- استادیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
۳- دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
* نویسنده مسئول: Email: naheedvaez@gmail.com

چکیده

اهداف: هدف آزمایش بررسی تاثیر مدت زمان‌های مختلف ذخیره‌سازی لاروهای سن سوم پروانه مومخوار بزرگ، *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) در دماهای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس، روی پارامترهای زیستی و جمعیتی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* Say. (Hymenoptera: Braconidae) بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان انجام گرفت. فاکتور اول شامل دما در دو سطح (۴ و ۱۲ درجه سلسیوس) و فاکتور دوم شامل مدت زمان نگهداری در دو دمای یاد شده در پنج سطح (صفر به عنوان شاهد، ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روز) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد ذخیره‌سازی لاروهای سن سوم پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس تا ۱۵ روز، موجب کاهش پارامترهای زیستی، تولید مثلی و جمعیتی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* شد. میانگین پارامترهای زیستی و تولید مثلی زنبور پارازیتوئید در تیمارهای دمای ۱۲ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان ندادند. نرخ پارازیتیسم و نسبت جنسی زنبور تحت تاثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفت. طول عمر، طول دوره تخم‌ریزی و زادآوری زنبور با افزایش مدت زمان نگهداری میزبان در دماهای مورد بررسی کاهش یافت. کم‌ترین طول عمر (۰/۸ ± ۲۴/۵۶ روز)، طول دوره تخم‌ریزی (۰/۸۷ ± ۲۳/۹۱ روز)، زادآوری (۱/۱۲ ± ۲۴۵/۴۶ تخم) و نرخ رشد جمعیت زنبور (r) (۰/۰۰۴ ± ۰/۲۴۲۵) روی لاروهای میزبانی که به مدت پانزده روزه در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شده بودند، به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: جهت پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* می‌توان لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* را تا دو هفته در دمای ۱۲ درجه سلسیوس و حداکثر یک هفته در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری نمود.

واژه‌های کلیدی: پرورش انبوه، زادآوری، نرخ پارازیتیسم، نرخ رشد جمعیت، *Galleria mellonella*، *Habrobracon hebetor*

مقدمه

تولید انبوه حشرات مفید از گذشته‌های دور به عنوان یکی از ارکان اصلی برنامه‌های کنترل بیولوژیک به ویژه برنامه‌های مبتنی بر رهاسازی اشباعی شناخته شده است. مهم‌ترین مانع بر سر راه اجرای موفقیت‌آمیز برنامه‌های اشباعی، هزینه زیاد و دشوار بودن پرورش انبوه حشرات مفید و رهاسازی آن‌ها در زمان مناسب می‌باشد (راسی و رام ۲۰۱۸). برخلاف حشره‌کش‌ها، اغلب حشراتی که در برنامه‌های کنترل بیولوژیک استفاده می‌شوند دارای عمر محدودی بوده و به‌دلیل جاندار بودن از قابلیت نگهداری پایینی برخوردار هستند، بنابراین باید در مدت زمان کوتاهی پس از تولید استفاده شوند (کیدین و همکاران ۲۰۲۰). ذخیره‌سازی در دماهای پایین همواره به‌عنوان یک ابزار ارزشمند در پرورش انبوه عوامل کنترل بیولوژیکی مورد توجه بوده است. توسعه روش‌های کارآمد ذخیره‌سازی می‌تواند از طریق افزایش ماندگاری دشمنان طبیعی و فراهم ساختن یک ذخیره کافی و پایدار از آن‌ها، هزینه‌های کنترل بیولوژیک را کاهش دهد و امکان هماهنگ کردن رهاسازی دشمن طبیعی در مزرعه با مرحله بحرانی آفت را فراهم کند و در نتیجه شانس موفقیت برنامه کنترل بیولوژیکی را به میزان قابل توجهی افزایش دهد (لئوپولد ۲۰۰۷، کولینت و بویوین ۲۰۱۱، فیلو و همکاران ۲۰۱۴، انور و همکاران ۲۰۱۶، ابس و همکاران ۲۰۲۰، لین و همکاران ۲۰۲۱). ذخیره‌سازی در دماهای پایین می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای برای غلبه بر مشکلات پرورش انبوه که در ابتدای این بخش گفته شد در نظر گرفته شود. هم‌چنین انعطاف‌پذیری و اثربخشی را در طول تولید انبوه تضمین کرده و هزینه‌های نگهداری کلنی پرورش پارازیتوئید و میزبان را در دوره‌هایی که تقاضا کم است کاهش دهد (منصور ۲۰۱۷، عسکری سیاهویی و همکاران ۲۰۱۸، سیام و همکاران ۲۰۱۹). علاوه بر این، ذخیره‌سازی در دمای پایین می‌تواند ثبات ژنتیکی را بهبود بخشد زیرا نسل‌های کمی پرورش می‌یابند (چن و همکاران ۲۰۱۳). نگهداری حشرات در دماهای پایین نه تنها برای پرورش تجاری حشرات مفید استفاده می‌شود، بلکه برای نگهداری کلنی‌های حشرات در شرایط آزمایشگاهی به‌منظور انجام پژوهش نیز کاربردی می‌باشد (لئوپولد ۲۰۰۷، زندی سوهانی و تاملی طرفی ۲۰۲۴). زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* Say. از خانواده Braconidae یکی از مهم‌ترین پارازیتوئیدها در برنامه‌های کنترل بیولوژیک آفات است که علیه لارو بسیاری از بال‌پولکداران مورد استفاده قرار می‌گیرد (مباتا و وارسی ۲۰۱۹). این زنبور، پارازیتوئید خارجی[1]، همه‌جازی و جمعی[2] است که میزبان خود را قبل از تخم‌گذاری فلج کرده و پس از پارازیته کردن از نشو و نمای آن جلوگیری می‌کند[3]. فلج شدن میزبان دایمی بوده و در نهایت باعث مرگ میزبان می‌شود (حسن و همکاران ۲۰۲۰). زنبورهای ماده بالغ، تخم‌های خود را در روی بدن میزبان یا مجاور آن قرار می‌دهند. این افراد به هنگام جستجوی لاروهای میزبان، علاوه بر تخم‌ریزی روی آن‌ها، برخی دیگر را فقط با تزریق زهر فلج می‌کنند (بدون آن که روی آن‌ها تخم‌ریزی کنند) و از طریق تغذیه از همولنف آن‌ها بر تلفات لاروها می‌افزایند. این رفتار زنبورهای براکون و چندنسلی بودن آن‌ها موجب افزایش قدرت انهدامی‌شان شده است. این زنبور دارای میزبان‌های متعددی می‌باشد که اکثر آن‌ها از آفات مهم انباری و زراعی هستند (امیرمعافی و چی ۲۰۰۶). زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* به‌علت طیف میزبانی وسیع، نرخ تولید مثل بالا، مدت زمان کوتاه تولید نسل، بقای طولانی مدت افراد بالغ در شرایط گرسنگی و سازگاری با شرایط سرد زمستان به‌صورت گسترده‌ای در مطالعات اثر متقابل میزبان–پارازیتویید مورد استفاده قرار گرفته است (آلم و همکاران ۲۰۱۵، مباتا و وارسی ۲۰۱۹). در برنامه‌های کنترل بیولوژیک، زنبور *H. hebetor* به‌عنوان مکمل رهاسازی‌های زنبور تریکوگراما برعلیه آفات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ به‌این نحو که

[1] ectoparasitoid
[2] Gregarious
[3] Koinobiont

تخم‌های آفتی که توسط زنبوران تریکوگراما پارازیته نشده و به لارو تبدیل شده‌اند توسط زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* پارازیته شده و از بین می‌روند (عطاران ۱۹۹۶). زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نیز همه ساله در تعداد زیادی از انسکتاریوم‌های ایران به‌طور انبوه تکثیر می‌یابد (مخبر و همکاران، ۲۰۱۵). پرورش انبوه زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* توسط عوامل مختلفی از جمله کاهش و یا نبود میزبان در مواقع ضروری محدود می‌شود (چن و همکاران ۲۰۱۳). از سوی دیگر، تولید بیش از حد هر دو پارازیتوئید و لارو میزبان آن می‌تواند در مواقعی که رهاسازی انجام نمی‌شود، بیهوده باشد (حسن و همکاران ۲۰۲۲). در نتیجه یافتن روش‌های مناسب و مؤثر ذخیره‌سازی برای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* و میزبان آن جهت هماهنگی زمانی زنبور و میزبان ضروری است (کیدین و همکاران ۲۰۲۳). روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی پرورش و نگهداری زنبوران براکون توسعه یافته است، که یکی از این روش‌ها، ذخیره‌سازی شفیره‌ها و افراد کامل زنبور در دماهای پایین می‌باشد (زینگ و همکاران ۲۰۲۲). هم‌چنین می‌توان میزبان پارازیتوئیدها را ذخیره نمود تا در صورت نیاز از آن‌ها استفاده نمود (وارسی و مباتا ۲۰۱۸، کیو و همکاران ۲۰۲۴). استفاده از میزبان‌های ذخیره شده در دمای پایین برای تولید انبوه پارازیتوئیدها سودمند به نظر می‌رسد زیرا زمانی که جمعیت میزبان بیش از اندازه تولید شده و بلااستفاده باقی بماند و یا زمانی که درخواست برای استفاده از عوامل بیوکنترل بالا باشد و میزبان به تعداد کافی برای پرورش انبوه دشمن طبیعی در دسترس نباشد می‌توان از میزبان‌های ذخیره شده جهت پارازیتیسم و پرورش زنبوران پارازیتوئید استفاده نمود (حسن و همکاران ۲۰۲۲). بنابراین، ذخیره‌سازی میزبان یک روش مقرون به صرفه است که در مقایسه با طعمه زنده به هزینه و نیروی کار کمتری نیاز دارد (محقق و امیرمعافی ۲۰۰۷). پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بر روی لاروهای میزبان ذخیره شده در دمای پایین می‌تواند به‌طور بالقوه تعداد بیشتری از نتاج را تولید کند زیرا در این صورت لاروهای میزبان رشد کندی داشته و یک پنجره زمانی وسیع‌تر برای پارازیتیسم فراهم می‌شود (وارسی و همکاران ۲۰۱۸). بیشتر مطالعات انجام شده نشان داده که مناسب‌ترین دما جهت ذخیره‌سازی زنبورهای پارازیتوئید، بین دمای صفر تا پانزده درجه سلیسیوس می‌باشد (کولینت و بویوین ۲۰۱۱، چن و همکاران ۲۰۱۳، کیدین و همکاران ۲۰۲۳). موسی‌پور و همکاران (۲۰۱۵) عنوان نمودند که جهت پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* می‌توان لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، Anagasta kuehniella Zeller را تا چهار هفته در دمای ۱۲ درجه سلسیوس نگهداری نمود. یکی از مهم‌ترین نکات در مورد ذخیره‌سازی حشرات در دمای پایین، حفظ کیفیت والدین و نیز نتاج آن‌ها می‌باشد (ون لنترن و توماسینی ۲۰۰۳). ذخیره‌سازی در سرما می‌تواند به‌طور مستقیم برخی از پارامترهای بیولوژیکی و کیفیت دشمنان طبیعی از جمله میزان زنده‌مانی و طول عمر، درصد ظهور، توانایی تولیدمثل، قدرت پرواز در حشرات کامل و توانایی آن‌ها در پارازیته کردن را تحت تاثیر قرار دهد که در بیشتر پژوهش‌های انجام شده تاثیر منفی ذخیره‌سازی در سرما بر کیفیت و شایستگی پارازیتوئیدها به اثبات رسیده است (اسماعیل و همکاران ۲۰۱۰، عسکری سیاهویی و همکاران ۲۰۱۸، کیدین و همکاران ۲۰۲۰، آگوستین و شرا ۲۰۲۴، امینی و همکاران ۲۰۲۴، زندی سوهانی و تاملی طرفی ۲۰۲۴). علاوه بر دما، مدت زمان قرار گرفتن در معرض دمای پایین نیز عامل مهمی در تعیین بقای پارازیتوئیدها است. به عبارت دیگر، در مبحث ذخیره‌سازی در سرما، برآیند بین دما و طول مدت زمان ذخیره‌سازی، شدت اثرات منفی بر جای گذاشته شده بر پارازیتوییدها را تعیین می‌نماید. با کاهش دما و افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی، آسیب‌های ناشی از ذخیره‌سازی در سرما تشدید می‌شوند (کولینت و بویوین ۲۰۱۱، کیدین و همکاران ۲۰۲۰). هم‌چنین، نگهداری میزبان برای مدت طولانی در دمای پایین ممکن است بر نرخ پارازیتیسم پارازیتوئید و هم‌چنین نتاج حاصل از آن تأثیر بگذارد (اسماعیل و همکاران ۲۰۱۰). به‌منظور بهبود سیستم‌های پرورش انبوه دشمنان طبیعی و رهاسازی آن‌ها، آگاهی از رابطه بین مدت زمان ذخیره‌سازی، درجه

حرارت و عملکرد عوامل کنترل بیولوژیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (تز وبوتو ۲۰۰۴، کولینت و بویوین ۲۰۱۱). مطالعات متعددی در مورد اثرات ذخیره‌سازی حشرات کامل و شفیره‌های زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در دماهای پایین صورت گرفته است (اسماعیل و همکاران ۲۰۱۰، موسی پور و همکاران ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶، انور و همکاران ۲۰۱۶، عسکری سیاهویی و همکاران ۲۰۱۸، علی‌آبادی و همکاران ۲۰۱۹، لین و همکاران ۲۰۲۱، زینگ و همکاران ۲۰۲۲، کیدین و همکاران ۲۰۲۳، البهری ۲۰۲۴) اما در مورد ذخیره‌سازی میزبان این پارازیتوئید تحقیقات بسیار اندکی صورت گرفته است (موسی‌پور و همکاران ۲۰۱۵، سعادت و همکاران ۲۰۱۶، منصور ۲۰۱۷، حسن و همکاران ۲۰۲۲) بنابراین در این تحقیق سعی شد تاثیر مدت زمان‌های مختلف ذخیره‌سازی لاروهای سن سوم پروانه مومخوار بزرگ، *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) در دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس، روی پارامترهای زیستی و جمعیتی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

پرورش حشرات

در این آزمایش پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* که یکی از آفات مهم و جدی کندوهای زنبور عسل است به عنوان میزبان زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد استفاده قرار گرفت. لاروهای پروانه مومخوار بزرگ پس از جمع‌آوری از داخل کندوهای زنبور عسل آلوده در روستای چراغیل واقع در شهرستان آذرشهر، به آزمایشگاه انتقال داده شده و برای تشکیل کلنی جدید، مورد استفاده قرار گرفت. برای پرورش لارو این حشرات از غذای مصنوعی حاوی آرد گندم، موم رنده شده، مخمر، عسل و گلیسیرین استفاده شد (پوینر ۱۹۷۵). غذای مصنوعی تهیه شده، به ضخامت دو الی سه سانتی‌متر، داخل ظروف پلاستیکی شفاف به ابعاد ۱۰×۱۵×۲۵ سانتی‌متر که برای تهویه مناسب روی درب آنها سوراخی ایجاد و با توری پوشانده شده بود قرار داده شد. برای تخم‌گیری از حشرات کامل، کاغذ A4 چین‌خورده‌ای درون ظروف پلاستیکی یاد شده قرار گرفت. تخم‌های گذاشته شده روی برگه‌ها مجددا روی غذای مصنوعی تازه تهیه شده قرار گرفته و برای ادامه پرورش مورد استفاده قرار می‌گرفت. پرورش میزبان در شرایط دمایی ۱±۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی صورت گرفت. به‌منظور از بین بردن عادت غذایی قبلی، لاروها به مدت شش نسل روی ماده غذایی مصنوعی پرورش یافتند. از لاروهای سن سوم برای انجام آزمایش‌های اصلی استفاده شد. دلیل استفاده از لاروهای سن سوم پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella*، همسان بودن اندازه آن‌ها با لاروهای سن پنجم شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* بود که به‌عنوان میزبان پرورشی در انسکتاریوم‌های پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد استفاده قرار می‌گیرند.

زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد استفاده در این تحقیق به‌صورت حشرات کامل از انسکتاریوم پرورش زنبور براکون وابسته به جهاد کشاورزی استان گلستان، شهرستان گرگان تهیه شد. به‌منظور یکسان کردن شرایط پرورشی و از بین بردن تجربه قبلی پارازیتوئید، زنبوران مذکور داخل پتری‌هایی با قطر دهانه ۹ سانتی‌متر، به مدت سه نسل روی لاروهای سن سوم پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* پرورش داده شدند. برای تهویه، دریچه گردی به قطر ۲ سانتی‌متر در سطح بالایی پتری‌ها تعبیه و با پارچه توری مسدود شد. برای تغذیه زنبورها از آب عسل ٪۲۰ روی نوارهای کاغذی به‌ابعاد ۰/۵×۲/۵ سانتی‌متر استفاده شد. در داخل هر پتری ۱۰ لارو سن سوم پروانه مومخوار بزرگ به همراه یک جفت زنبور نر و ماده رهاسازی و سپس ظروف مذکور در یک ژرمیناتور با شرایط محیطی مشابه میزبان، نگهداری شدند. پس از سه روز زنبورها با آسپیراتور دستی جمع‌آوری و به ظروف پرورش جدید انتقال داده شدند. ظروف حاوی لاروهای پارازیته شده میزبان تا زمان ظهور حشرات کامل نسل جدید زنبور در دما، رطوبت و شرایط نوری یاد شده نگهداری شدند.

ذخیره‌سازی لاروهای میزبان

لاروهای سن سوم پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلیسیوس به مدت صفر (شاهد)، ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روز نگهداری شدند. در تیمار شاهد لاروهای سن سوم میزبان در شرایط دمایی ۱±۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند. مدت زمان نگهداری کوتاه (یک و دو هفته) انتخاب شد زیرا میزان مرگ و میر پارازیتوئید با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی افزایش می‌یابد (حسن و همکاران ۲۰۲۲). پس از طی زمان‌های ذکر شده در دماهای آزمایشی، لاروها از یخچال خارج شده و برای چند ساعت در همان ظروف نگهداری در دمای اتاق قرار داده شدند تا افزایش دمای محیط برای آن‌ها به صورت تدریجی صورت گیرد. سپس هر پنج لارو میزبان درون یک پتری پلاستیکی ۶ سانتی‌متری به همراه یک جفت زنبور نر و ماده *H. hebetor* به مدت ۲۴ ساعت داخل ژرمیناتور در دمای ۱±۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ (تاریکی: روشنایی) قرار گرفتند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، زنبورها از پتری‌ها خارج شده، تعداد تخم گذاشته شده توسط افراد ماده و درصد پارازیتیسم تعیین شد. سپس روی هر لارو میزبان یک عدد تخم نگهداری شده و بقیه تخم‌ها حذف شدند و تا خروج حشرات کامل زنبور، روزانه مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهایی نظیر طول دوره نشو و نمای نابالغ زنبور (شامل تخم، لارو و شفیره)، نسبت جنسی و نرخ ظهور افراد تعیین شدند. پس از خروج حشرات کامل، افراد نر و ماده بر اساس طول شاخک و وجود تخم‌ریز در افراد ماده تفکیک شده و درون هر پتری پلاستیکی ۶ سانتی‌متری یک جفت زنبور نر و ماده ۲۴ ساعته رها شد و روزانه ۵ عدد لارو سن سوم پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* از کلنی پرورشی در دمای ۲۶ درجه سلسیوس جدا و در اختیار زنبورها قرار داده شد. زنبورهای ماده به صورت روزانه به ظروف پتری جدید حاوی لاروهای میزبان منتقل و این کار تا مرگ آخرین فرد ماده تکرار شد و طول عمر، زادآوری، طول دوره تخم‌ریزی، پارامترهای جدول زندگی و جمعیت پایدار تعیین شد. جهت تغذیه زنبورها از آب‌عسل ۲۰٪ که روی کاغذی به‌ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر قرار گرفته بود استفاده شد (واعظ و همکاران ۲۰۱۹). هر تیمار شامل ۲۰ تکرار بود.

جدول زندگی[1]، منحنی بقا و پارامترهای رشد جمعیت پایدار

برای تشکیل جدول زندگی و محاسبه پارامترهای نرخ بقا[2] (l_x)، امید به زندگی[3] (e_x) و پارامترهای رشد جمعیت پایدار از روش کری (۱۹۹۳) استفاده شد. هم‌چنین برای تعیین نوع منحنی بقا از کمیتی به نام انتروپی[4] استفاده شد. نرخ ذاتی افزایش جمعیت[5] (r_m)، نرخ متناهی رشد[6] (λ)، نرخ ناخالص تولیدمثل[7] (GRR)، نرخ خالص تولید مثل[8] (R_0)، میانگین طول مدت یک نسل[9] (T) و مدت زمان دو برابر شدن جمعیت[10] (DT) با استفاده از فرمول‌های جدول ۱ محاسبه شدند. مقدار دقیق نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت با حل معادله اویلر- لوتکا[11] محاسبه شد (کری ۱۹۹۳). برای تعیین خطای استاندارد پارامترهای جمعیت پایدار از روش جک‌نایف[12] استفاده شد (مایا و همکاران ۲۰۰۰).

[1] Life tables
[2] Survival rate
[3] Life expectancy
[4] Entropy
[5] Intrinsic rate of increase
[6] Finite rate of increase
[7] Gross reproductive rate
[8] Net reproductive rate
[9] Mean Generation time
[10] Doubling time
[11] Euler-Lotka equation
[12] Jackknife

جدول ۱- پارامترهای رشد جمعیت پایدار و نحوه محاسبه آن‌ها

پارامتر رشد جمعیت	معادله مورد استفاده برای تعیین پارامتر
نرخ ناخالص تولیدمثل	$GRR=\sum m_x$
نرخ خالص تولید مثل	$R_0=\sum L_x m_x$
نرخ ذاتی افزایش جمعیت	$\sum_{x=0}^{\omega} l_x m_x e^{-r_m .x}=1$
نرخ متناهی رشد	$\lambda=e^{r_m}$
میانگین طول مدت یک نسل	$T=\frac{lnR_0}{r_m}$
مدت زمان دو برابر شدن جمعیت	$DT=\frac{ln2}{r_m}$

طرح آزمایشی و نحوه تجزیه داده‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی انجام گرفت. فاکتور اول شامل دما در دو سطح ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس و فاکتور دوم شامل مدت زمان نگهداری در دو دمای یاد شده در پنج سطح صفر، ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روز بود. تجزیه واریانس پارامترها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹ انجام شد و برای مقایسه میانگین پارامترها از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. رسم نمودارها در محیط Excel نسخه ۲۰۱۶ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج پارامترهای زیستی

بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که نگهداری لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های ذکر شده روی طول دوره جنینی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تاثیر معنی‌دار داشت ولی اثر متقابل دما و مدت زمان ذخیره‌سازی معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین طول دوره جنینی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* (۰/۱۴ ± ۱/۳۸ روز) روی لاروهایی بود که به مدت پانزده روز در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شده بودند که اختلاف معنی‌داری با شاهد (۰/۰۷ ± ۱/۱۰ روز) و تیمار یک روزه (۰/۰۵ ± ۱/۰۵ روز) این دما داشت. در دمای ۱۲ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری بین هیچ یک از تیمارها مشاهده نشد و نگهداری لاروهای میزبان تا پانزده روز در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تاثیر منفی روی طول دوره جنینی زنبور پارازیتوئید نداشت (جدول ۴). ابوالعلا و همکاران (۲۰۲۱) میانگین طول این دوره را برای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۲۶ درجه سلسیوس، ۱/۱۹ روز به‌دست آوردند که تقریبا با شاهد پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. هم‌سو با نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر، سعادت و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که طول دوره جنینی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲ ماه، ۱/۱۲ روز بود که با شاهد (۱/۳۱ روز) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر دما، مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل این دو فاکتور روی طول دوره لاروی، شفیرگی و کل دورخ نابالغ زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین طول دوره لاروی زنبور (۰/۱۴ ± ۳/۵۴ روز)، طول دوره شفیرگی

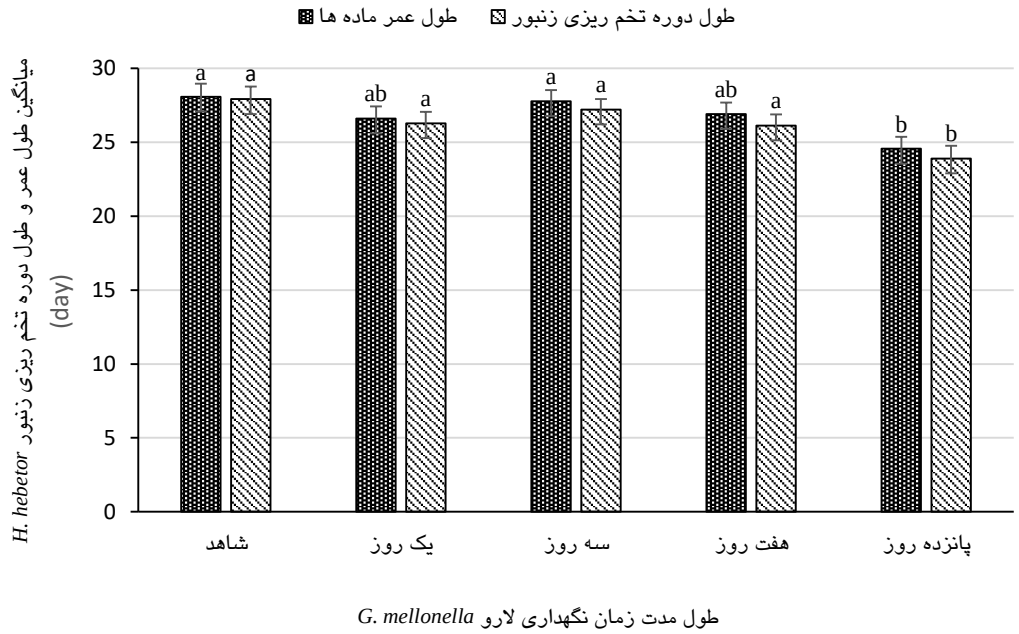
جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر دما و مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* روی پارامترهای زیستی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

منابع تغییر	درجه آزادی	مقدار F							
		طول دوره جنینی (day)	طول دوره لاروی (day)	طول دوره شفیرگی (day)	طول دوره نابالغ (day)	طول عمر افراد ماده (day)	نرخ پارازیتیسم (٪)	نرخ ظهور (٪)	نسبت جنسی (٪)
تیمار	۹	۲/۰۲*	۴/۷۷**	۸/۴۴**	۱۶/۹۳**	۲/۱۳*	۰/۳۸ns	۲/۶۸**	۱/۷۰ns
دما (A)	۱	۶/۲۴*	۱۲/۴۷**	۱۴/۹۵**	۴۳/۴۷*	۰/۵۸ns	۰/۰۷ns	۰/۰۷ns	۰/۴۳ns
زمان ذخیره‌سازی (B)	۴	۲/۸۴*	۶/۴۷**	۹/۳۱**	۲۱/۸۱*	۳/۱۹*	۰/۶۸ns	۴/۵۸**	۱/۲۶ns
دما × زمان ذخیره‌سازی (A×B)	۴	۰/۷۲ns	۳/۰۲*	۹/۷۵**	۱۲/۵۶*	۱/۷۹ns	۰/۱۱ns	۱/۶۶ns	۲/۳۶ns

* و ** : به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۵٪ و ns : عدم معنی‌داری است.

زنبور (۰/۲۳ ± ۷/۷۷ روز) و طول کل دوره نابالغ زنبور (۰/۲۴ ± ۱۲/۶۹ روز) در تیمار ۱۵ روزه دمای ۴ درجه سلسیوس بود که اختلاف معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت و با اختلاف ۱/۵۹ روز نسبت به شاهد دوره نابالغ زنبور تکمیل شد. در تیمار هفت روزه دمای ۴ درجه سلسیوس هم نتایج مشابهی مشاهده شد. در هر سه پارامتر مورد بررسی اختلاف بقیه تیمارها باهم وبا شاهد معنی‌دار نشد (جدول ۴). در یک تحقیق، میانگین طول دوره لاروی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۲۶ درجه سلسیوس، ۳/۰۲ روز به‌دست آمد که با شاهد پژوهش حاضر همسویی نشان می‌دهد (ابوالعلا و همکاران ۲۰۲۱). حسن و همکاران (۲۰۲۲) گزارش دادند که طول دوره لاروی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای شب‌پره هندی، *Plodia interpunctella* (Hubner) که به مدت ۱۰۵ روز در دمای ۱۵ درجه سلسیوس نگهداری شده بودند، نسبت به شاهد (۴/۱ روز) حدود ۲ روز طولانی‌تر بود. بر اساس گزارش سعادت و همکاران (۲۰۱۶) طول دوره لاروی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* به مدت ۲ ماه در دمای ۴ درجه سلسیوس، ۴/۷۷ روز، طول دوره شفیرگی ۵/۸۰ روز و طول کل دوره نشو و نمای نابالغ، ۱۲/۷۰ روز تعیین شد که در هر سه پارامتر با شاهد (طول دوره لاروی، شفیرگی و نشو و نمای نابالغ به‌ترتیب، ۵/۴۰، ۷/۳۸ و ۱۳/۹۱ روز) تفاوت معنی‌دار نشان دادند. برخلاف نتایج محققین یاد شده که عنوان نمودند طول دوره لاروی، شفیرگی و نشو و نمای نابالغ زنبور روی میزبان‌های کهنه (سرمادیده) کوتاه‌تر از لاروهای تازه (سرماندیده) است، بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مشخص شد که با افزایش مدت زمان ذخیره-سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس، طول دوره جنینی، طول دوره لاروی، طول دوره شفیرگی و طول کل دوره نابالغ زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* افزایش پیدا می‌کند؛ هرچند این افزایش روی میانگین پارامترهای طول دوره جنینی، لاروی و شفیرگی کمتر از یک روز بود و بین اکثر تیمارها معنی‌دار نشد. از مهم‌ترین عواملی که روی نشو و نمای مراحل نابالغ پارازیتوئیدها تاثیر می‌گذارد، دما است. دماهای بالا و پایین‌تر از حد بهینه موجب طولانی‌تر شدن دوره نشو و نمای پارازیتوئید می‌شود (ون‌درلی و همکاران ۲۰۰۷). طبق نظر باله (۱۹۹۶) احتمال می‌رود ذخایر پروتئینی بیشتری در بدن لاروهای سرما دیده تولید می‌شود که با توجه به این امر، طول دوره رشدی پارازیتوئیدی که از آن تغذیه می‌کند، کوتاه‌تر می‌شود. در پژوهش حاضر برخلاف نتایج گزارش شده محققین نامبرده طول دوره نشو و نمای نابالغ زنبور روی لاروهای میزبان سرما دیده بیشتر از لاروهای سرما ندیده بود که احتمال می‌رود به دلیل تفاوت در نوع میزبان و هم‌چنین مدت زمان ذخیره‌سازی میزبان باشد. منصور

(۲۰۱۷) عنوان کرد که نگهداری لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس به مدت یک تا چهار هفته تاثیر قابل توجهی روی طول دوره جنینی، لاروی و شفیرگی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* ندارد اما در تحقیق حاضر نشو و نمای زنبور روی میزبان‌های ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت هفت و پانزده روز با شاهد معنی‌دار شد هرچند این تفاوت حدود یک روز بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مدت زمان ذخیره‌سازی روی طول عمر زنبورهای ماده معنی‌دار شد درحالی‌که اثر دما و اثر متقابل دما و مدت زمان ذخیره‌سازی روی این پارامتر معنی‌دار نشد (جدول ۲). کم‌ترین طول عمر افراد ماده زنبور (۰/۸ ± ۲۴/۵۶ روز) در تیمار پانزده روزه مشاهده شد که حدود ۳/۵ روز نسبت به شاهد کمتر بود (شکل ۱). از ویژگی‌های مهم در انتخاب و استفاده از یک اکوتیپ یا یک گونه زنبور پارازیتوئید در برنامه‌های تولید انبوه، باروری و زادآوری بالا، ترجیح میزبانی، نسبت جنسی مناسب و طول عمر آن‌ها ذکر شده است. طول عمر یک صفت مهم پارازیتوئیدها است که برای انتخاب آن‌ها به عنوان عامل کنترل بیولوژیک مورد توجه قرار می‌گیرد. طول عمر بیشتر پارازیتوئید موجب رویارویی با تعداد بیشتری از میزبان می‌گردد. بنابراین، با افزایش طول عمر پارازیتوئید و ایجاد فرصت مناسب برای جستجوی مؤثر پارازیتوئیدها در یافتن میزبان احتمالاً می‌توان به افزایش موفقیت در برنامه‌های کنترل بیولوژیک امیدوارتر بود (ابوالعلا و همکاران ۲۰۲۱). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که طول عمر افراد ماده زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* به طور مستقیم تحت تاثیر مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای میزبان قرار گرفت و با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس، طول عمر زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* کاهش پیدا کرد. سعادت و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که طول عمر زنبور *H. hebetor* روی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲ ماه، ۱۳/۵۳ روز و روی لاروهای تازه میزبان، ۱۱/۸۵ روز بود و تفاوت بین این دو معنی‌دار نشد. برخلاف نتایج محققین یاد شده، افزایش طول عمر زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در درماهای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس مشاهده نشد. در نتایج محققین یاد شده از هیچ ماده غذایی برای تغذیه زنبورها استفاده نشده بود و به نظر می‌رسد به همین دلیل طول عمر به‌دست آمده توسط ایشان برای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بسیار کوتاه‌تر از پژوهش حاضر می‌باشد. انور و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که با افزایش مدت زمان نگهداری شفیره‌ها و افراد بالغ زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در دمای ۴ درجه سلسیوس از ۵ تا ۴۰ روز، طول عمر افراد نر و ماده هر دو کاهش می‌یابد. هرچند در پژوهش حاضر نه افراد بالغ و نه شفیره‌های زنبور بلکه میزبان در دمای پایین ذخیره شده بود ولی نتایج مشابهی با تحقیق یاد شده مشاهده شد به‌طوری‌که با افزایش مدت زمان نگهداری در دمای پایین، طول عمر افراد ماده کاهش یافت. افراد ماده زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* پس از نیش زدن میزبان قدری از همولنف آن تغذیه می‌کنند تا انرژی لازم برای تخم‌گذاری را کسب کنند و احتمال می‌رود کیفیت همولنف میزبان با افزایش مدت زمان نگهداری در دمای پایین تحت تاثیر قرار گرفته و اثر خود را به این طریق روی طول عمر افراد ماده گذاشته است. با وجود گزارش اثر مثبت تغذیه از ماده قندی بر طول عمر و زادآوری زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* (افشاری و نظری فندخت ۲۰۱۹)، بررسی‌ها در انسکتاریوم‌های موجود نشان داده که پرورش‌دهندگان این پارازیتویید معمولا از ماده قندی برای تغذیه زنبور استفاده نمی‌کنند. بنابراین، اسپری کردن یک ماده قندی مانند محلول آب‌عسل بر روی کابین‌های پرورش این زنبور در انسکتاریوم‌ها به ویژه اگر تولیدکننده قصد ذخیره‌سازی پارازیتویید در یخچال را داشته باشد، توصیه می‌شود (علی‌آبادی و همکاران ۲۰۱۹).



شکل ۱- مقایسه میانگین طول مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* روی طول عمر و طول دوره تخم‌ریزی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*
(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد به روش توکی می‌باشد)

نتایج پارامترهای تولیدمثلی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دما روی طول دوره قبل از تخم‌ریزی حشرات بالغ (APOP[1]) زنبور معنی‌دار شد ولی اثر مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل دما و مدت زمان ذخیره‌سازی معنی‌دار نشد (جدول ۳). میانگین طول دوره قبل از تخم‌ریزی حشرات بالغ زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* ذخیره شده در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس به‌ترتیب، ۰/۰۹ ± ۰/۳۹ و ۰/۰۳ ± ۰/۱۴ روز بود. بیش‌ترین میانگین طول دوره پیش از تخم‌ریزی حشرات بالغ (۰/۳ ± ۰/۶۷ روز) در تیمار هفت روزه ۴ درجه سلسیوس به‌دست آمد. سهایاراج و جیالکشمی (۲۰۰۲) گزارش دادند که دوره پیش از تخم‌ریزی سن شکارگر *Rhynocoris marginatus* Fab. روی لاروهای ذخیره شده بید برنج، *Corcyra cephalonica* Stainton در دمای ۱۸ درجه سلسیوس، ۲۹/۸ روز و روی لاروهای ذخیره نشده، ۲۰/۴ روز به‌دست آمد که مشابه نتاج به‌دست آمده در پژوهش حاضر ذخیره‌سازی میزبان در دمای پایین موجب افزایش دوره پیش از تخم‌ریزی شده است. دابی و همکاران (۲۰۱۳) دوره پیش از تخم‌ریزی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* را روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، ۰/۷۴ روز گزارش نمودند. در مورد طول دوره تخم‌ریزی زنبور، اثر مدت زمان ذخیره‌سازی معنی‌دار شد ولی اثر دما و اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نشد (جدول ۳). الگوی زمانی تخم‌ریزی یک از ویژگی‌های مهم است که تحت تاثیر دما قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر مشاهده شد که طول مدت تخم‌گذاری نیز مشابه طول عمر، با افزایش مدت زمان نگهداری میزبان در دمای پایین کاهش می‌یابد به‌طوری

[1] Adult pre-ovipostion period

که از ۰/۸۶ ± ۲۷/۹۲ روز در شاهد به ۰/۸۷ ± ۲۳/۹۱ روز در تیمار پانزده روز کاهش یافت، یعنی ۱۵ درصد کاهش در طول دوره تخم‌ریزی زنبور مشاهده شد. کاهش طول مدت تخم‌گذاری یکی از موارد ایجاد آسیب به باروری زنبور می‌باشد که با نگهداری میزبان در دمای پایین ارتباط نشان داد. نتایج مقایسه میانگین اثر مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای میزبان روی طول دوره تخم‌ریزی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج واعظ و همکاران (۲۰۱۸) نگهداری تخم‌های بید سیب‌زمینی، *Phthorimaeae operculella* (Zeller) تا یک ماه در دمای ۴ درجه سلسیوس موجب کاهش طول دوره تخم‌ریزی زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* Bezdenko (۴/۶۸ روز) نسبت به شاهد (۷/۶۰ روز) شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که نگهداری لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های ذکر شده روی طول دوره پس از تخم‌ریزی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تاثیر معنی‌دار داشت ولی اثر متقابل دما و مدت زمان ذخیره‌سازی معنی‌دار نشد (جدول ۳). کم‌ترین طول دوره پس از تخم‌ریزی زنبور (۰/۰۵ ± ۰/۰۵ روز) در شاهد و بیش‌ترین (۰/۳ ± ۰/۸۰ روز) در تیمار هفت روزه دمای ۴ درجه سلسیوس (مشابه طول دوره پیش از تخم‌ریزی حشرات بالغ) مشاهده شد (جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دما، مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل این دو فاکتور روی کل دوره قبل از تخم‌ریزی (TPOP[1]) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* (شامل طول دوره‌های تخم، لارو، شفیره و پیش از تخم‌ریزی حشرات بالغ) معنی‌دار شد (جدول ۳). کم‌ترین میانگین کل دوره قبل از تخم‌ریزی زنبور (۰/۰۸ ± ۱۱/۱۵ روز) در شاهد ۱۲ درجه سلسیوس و بیش‌ترین (۰/۳۵ ± ۱۳/۱۵ روز) در تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس مشاهده شد که حدود ۲ روز نسبت به شاهد بیش‌تر بود و اختلاف معنی‌داری با بقیه تیمارها به غیر از تیمار هفت روزه ۴ درجه سلسیوس نشان داد (جدول۵).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر دما روی زادآوری زنبور معنی‌دار نشد ولی اثر مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین زادآوری زنبور (۱۰/۱۸ ± ۴۰۴/۵۰ تخم) در شاهد ۴ درجه سلسیوس و کم‌ترین (۱۷/۳۳ ± ۲۴۵/۴۶ تخم) در تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس مشاهده شد (جدول ۵). میانگین تعداد تخم روزانه افراد ماده با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی کاهش نشان داد به‌طوری‌که از ۰/۱۸± ۱۳/۹۶ تخم در شاهد تا ۰/۱۹ ± ۱۱/۹۶ تخم در تیمار پانزده روزه کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین اثر مدت زمان ذخیره‌سازی روی تعداد

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر دما و مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* روی پارامترهای تولیدمثلی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

منابع تغییر	درجه آزادی	مقدار F				
		طول دوره قبل از تخم‌ریزی حشرات بالغ (APOP) (day)	طول دوره تخم‌ریزی (day)	طول دوره پس از تخم‌ریزی (day)	کل دوره قبل از تخم‌ریزی (TPOP) (day)	زادآوری (تعداد کل تخم تولید شده توسط ماده)
تیمار	۹	۱/۸۴^{ns}	۲/۴۹*	۲/۷۸**	۱۲/۰۵**	۱۰/۲۵**
دما (A)	۱	۸/۶۶**	۰/۱۵^{ns}	۱۰/۸۳**	۴۳/۵۵**	۰/۱۱ ^{ns}
زمان ذخیره‌سازی (B)	۴	۱/۴۸^{ns}	۴/۰۰**	۲/۶۷*	۱۴/۱۳**	۱۸/۶۴**
دما × زمان ذخیره‌سازی(A×B)	۴	۰/۹۰^{ns}	۲/۱۴^{ns}	۱/۷۸^{ns}	۶/۷۹**	۶/۰۱**

* و ** : به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۵٪ و ns : عدم معنی‌داری است.

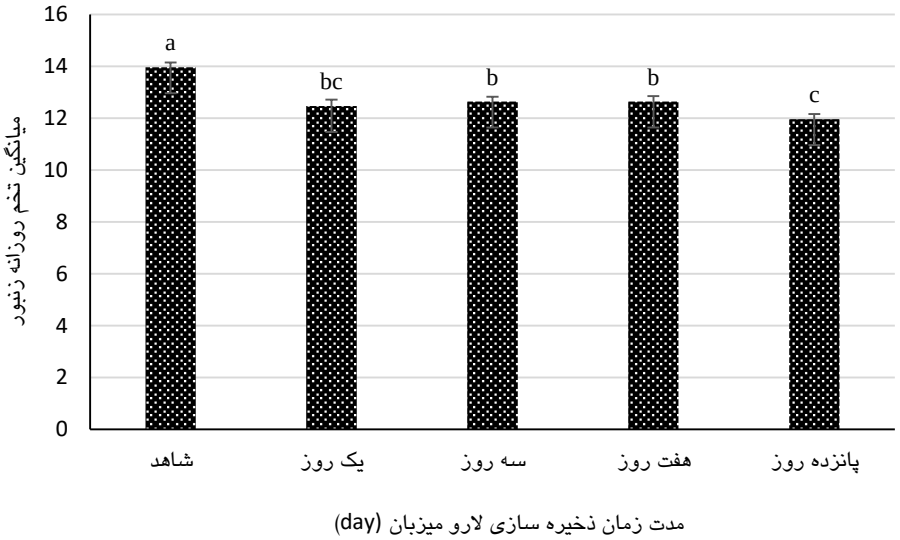
[1] Total pre-oviposition period

جدول ۴- میانگین (±SE) طول عمر و طول دوره‌های زیستی زنبور *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس

دما	مدت زمان ذخیره‌سازی	طول دوره جنینی (day)	طول دوره لاروی (day)	طول دوره شفیرگی (day)	طول دوره نابالغ (day)
۴ درجه سلسیوس	شاهد	۱/۱۰ ± ۰/۰۷ bc	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۷/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۱۱/۱۰ ± ۰/۰۷ c
	۱ روز	۱/۰۵ ± ۰/۰۵ c	۳/۱۱ ± ۰/۰۷ c	۷/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۱۱/۱۶ ± ۰/۰۸ c
	۳ روز	۱/۲۹ ± ۰/۱۱ abc	۳/۱۲ ± ۰/۰۸ c	۶/۹۴ ± ۰/۱۰ c	۱۱/۳۵ ± ۰/۱۵ c
	۷ روز	۱/۳۳ ± ۰/۱۳ ab	۳/۳۳ ± ۰/۱۳ b	۷/۳۳ ± ۰/۱۳ b	۱۲/۰۰ ± ۰/۱۹ b
	۱۵ روز	۱/۳۸ ± ۰/۱۴ a	۳/۵۴ ± ۰/۱۴ a	۷/۷۷ ± ۰/۲۳ a	۱۲/۶۹ ± ۰/۲۴ a
۱۲ درجه سلسیوس	شاهد	۱/۰۵ ± ۰/۰۵ c	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۷/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۱۱/۰۵ ± ۰/۰۵ c
	۱ روز	۱/۰۵ ± ۰/۰۵ c	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۷/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۱۱/۰۵ ± ۰/۰۵ c
	۳ روز	۱/۱۰ ± ۰/۰۷ bc	۳/۱۰ ± ۰/۰۷ c	۷/۰۵ ± ۰/۰۵ c	۱۱/۲۵ ± ۰/۱۰ c
	۷ روز	۱/۱۵ ± ۰/۰۸ abc	۳/۱۰ ± ۰/۰۷ c	۷/۰۵ ± ۰/۰۹ c	۱۱/۳۰ ± ۰/۱۰ c
	۱۵ روز	۱/۱۶ ± ۰/۰۹ abc	۳/۱۱ ± ۰/۰۷ c	۷/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۱۱/۲۶ ± ۰/۱۰ c

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارهاست (آزمون توکی)

تخم روزانه افراد ماده در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد در روزهای اول خروج حشرات کامل، تعداد تخم گذاشته شده کم بود ولی در زمان کوتاهی بر میزان آن افزوده شد به‌طوری‌که بیشترین تخم گذاشته شده توسط زنبور روی لاروهای میزبان ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس در شاهد (۱۳/۲۰ تخم) در روز دوازدهم، تیمار یک روزه (۱۱/۱۳ تخم) در روز چهاردهم، تیمار سه روزه (۱۰/۶۸ تخم) در روز دهم، تیمار هفت روزه (۱۰/۶۶ تخم) در روز چهاردهم و تیمار پانزده روزه (۱۰/۰۲ تخم) در روز یازدهم و در دمای ۱۲ درجه سلسیوس در شاهد (۱۳/۲۲ تخم) در روز دوازدهم،



شکل ۲- مقایسه میانگین طول مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* روی تعداد تخم روزانه زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد به روش آزمون توکی می‌باشد)

جدول ۵- میانگین (±SE) زادآوری و پارامترهای تولید مثلی زنبور *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس

دما	مدت زمان ذخیره‌سازی	طول دوره پس از تخم‌ریزی (day)	کل دوره قبل از تخم‌ریزی (TPOP) (day)	زادآوری (تعداد کل تخم تولید شده توسط ماده)
۴ درجه سلسیوس	شاهد	۰/۰۵ ± ۱/۱۲ c	۱۱/۲۰ ± ۱/۱۲ b	۴۰۴/۵۰ ± ۱/۱۲ a
	۱ روز	۰/۲۱ ± ۱/۱۲ bc	۱۱/۴۷ ± ۱/۱۲ b	۳۲۰/۰۵ ± ۱/۱۲ b
	۳ روز	۰/۳۵ ± ۱/۱۲ bc	۱۱/۸۸ ± ۱/۱۲ b	۳۶۱/۸۲ ± ۱/۱۲ ab
	۷ روز	۰/۸۰ ± ۱/۱۲ a	۱۲/۶۷ ± ۱/۱۲ a	۳۳۲/۳۳ ± ۱/۱۲ b
	۱۵ روز	۰/۶۱ ± ۱/۱۲ ab	۱۳/۱۵ ± ۱/۱۲ a	۲۴۵/۴۶ ± ۱/۱۲ c
۱۲ درجه سلسیوس	شاهد	۰/۰۵ ± ۱/۱۲ c	۱۱/۱۵ ± ۱/۱۲ b	۳۶۲/۴۵ ± ۱/۱۲ ab
	۱ روز	۰/۰۵ ± ۱/۱۲ c	۱۱/۱۵ ± ۱/۱۲ b	۳۲۵/۷۵ ± ۱/۱۲ b
	۳ روز	۰/۱۵ ± ۱/۱۲ c	۱۱/۴۰ ± ۱/۱۲ b	۳۲۵/۱۵ ± ۱/۱۲ b
	۷ روز	۰/۱۰ ± ۱/۱۲ c	۱۱/۴۵ ± ۱/۱۲ b	۳۲۵/۰۵ ± ۱/۱۲ b
	۱۵ روز	۰/۱۶ ± ۱/۱۲ c	۱۱/۴۷ ± ۱/۱۲ b	۳۱۲/۷۹ ± ۱/۱۲ b

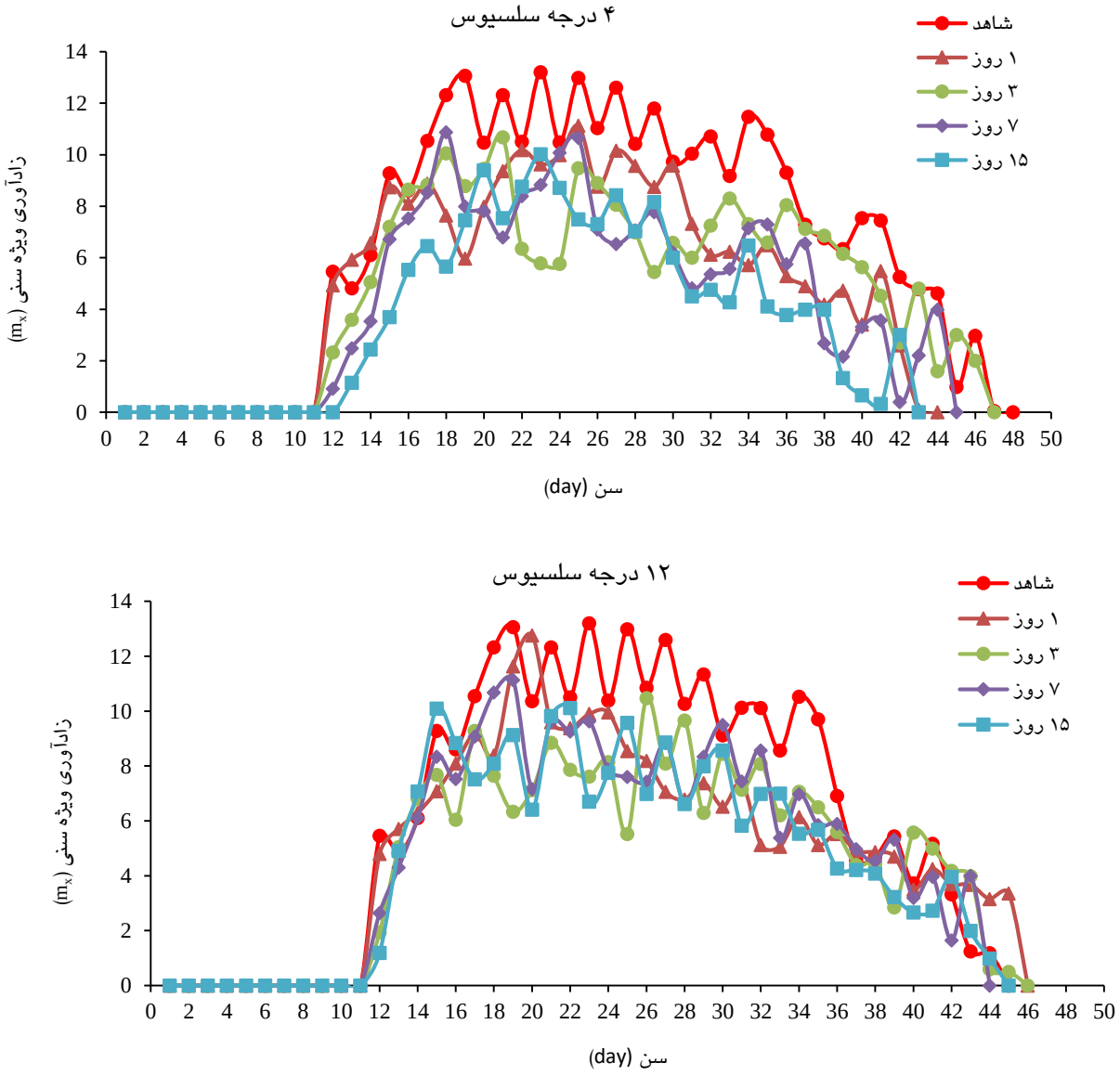
حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارهاست (آزمون توکی)

تیمار یک روزه (۱۱/۶۳ تخم) در روز هشتم، تیمار سه روزه (۱۰/۴۷ تخم) در روز پانزدهم، تیمار هفت روزه (۱۱/۱۴ تخم) در روز هشتم و تیمار پانزده روزه (۱۰/۱۲ تخم) در روز یازدهم مشاهده شد. باروری زنبورهای پارازیتویید به عوامل متعددی مانند تغذیه، دما و تعداد لاروهای میزبان در دسترس بستگی دارد و تخم‌گذاری با افزایش تراکم میزبان افزایش می‌یابد، درحالی‌که نرخ ظهور افراد بالغ و تفریخ تخم‌ها به دلیل سوپرپارازیتیسم روی لارو میزبان کاهش می‌یابد (ابوالعلا و همکاران ۲۰۲۱، لتمن و همکاران ۲۰۲۱). الیوپولوس و استاتوس (۲۰۰۸) عنوان کردند که زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* به‌طور متوسط روزانه ۱۲/۶ تخم قرار می‌دهد. امیرمعافی و چی (۲۰۰۶) گزارش نمودند که زنبورهای پارازیتوئید ماده *H. hebetor* اکثر تخم‌های خود را در ۱۰ روز اول طول عمر خود قرار می‌دهند و تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط زنبور ماده را به‌طور متوسط روزانه ۸ تا ۱۲ عدد گزارش کردند. منصور (۲۰۱۷) لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* را به مدت ۱، ۲، ۳ و ۴ هفته در دمای ۱۲ درجه سلسیوس نگهداری کرد و سپس در اختیار زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* قرار داد و عنوان کرد که با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی لارو میزبان، زادآوری زنبور کاهش می‌یابد که این کاهش به‌خصوص در هفته‌های سوم (حدود ۲۳۰ تخم) و چهارم (حدود ۲۱۰ تخم) بیش‌تر است. موسی‌پور و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که تعداد تخم به ازای هر زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تا چهار هفته (۸/۹ تخم) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با شاهد (۸/۷ تخم) ندارد، در حالی‌که در دمای ۹ و ۴ درجه سلسیوس کاهش قابل توجهی در میزان کارایی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای میزبان مشاهده می‌گردد و لذا برای ذخیره‌سازی مناسب نمی‌باشند. ایشان هم‌چنین عنوان کردند که افزایش زمان ذخیره‌سازی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella*، موجب کاهش کارایی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در باروری و پارازیتیسم می‌شود و به‌طور تقریبی می‌توان گفت که برای کسب نتایج مطلوب در ذخیره‌سازی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس، زمان‌های یک تا سه هفته قابل توصیه می‌باشد. سعادت و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند که زادآوری زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت

۲ ماه، ۱۸۵/۷۸ تخم بود که با شاهد (۱۷۳/۲۱ تخم) اختلاف معنی‌داری نشان نداد. زادآوری زنبور در پژوهش حاضر بیش‌تر از محققین یاد شده بود و هم‌سو با گزارش گیمیر و فیلیپس (۲۰۱۰) بود که عنوان نمودند زنبورهای پرورش یافته روی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* تخم‌ریزی بالاتری را نسبت به افرادی که روی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* پرورش یافته بودند نشان می‌دهند. با نگاهی به شکل ۳ که زادآوری ویژه سنی (m_x) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* را نشان می‌دهد و نمایانگر مجموع افراد ماده تولید شده توسط یک حشره ماده زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در سن x است، می‌توان عنوان نمود که تولید نتاج زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* با افزایش سن ماده‌ها کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر ماده‌های مسن‌تر نسبت به ماده‌های جوان تعداد نتاج کمتری تولید می‌کنند و این نشان می‌دهد که زادآوری در این زنبور وابسته به سن می‌باشد (امیرمعافی و چی، ۲۰۰۶، فتحی‌پور و همکاران ۲۰۲۰). در هر دو حشره پارازیتوئید و میزبان اگر زمان در معرض قرارگیری در دمای پایین به تاخیر بیفتد عواقب کشنده‌ای برای هر دوی آنها دارد. آسیب ناشی از دمای پایین موجب اختلالات فیزیولوژیکی مختلفی می‌شود. دمای کم باعث القای خالی شدن ذخیره انرژی پس از گرسنگی طولانی مدت می‌شود. از این رو، عواقب نگهداری در دمای پایین، گرسنگی و تاثیر سرما و یا ترکیب هر دوی آنها می‌باشد (هنس و همکاران ۲۰۰۷، انور و همکاران ۲۰۱۶، کیدین و همکاران ۲۰۲۰، آگوستین و شرا ۲۰۲۴، امینی و همکاران ۲۰۲۴، زندی سوهانی و تاملی طرفی ۲۰۲۴). بنابراین در پارازیتوئیدها و دیگر حشرات تعادلی بین بقا و تولیدمثل وجود دارد و ذخایر چربی نقش مهمی را در فیزیولوژی و تخصیص انرژی ایفا می‌کنند. این مسئله به خصوص در پارازیتوئیدهایی که توانایی سنتز لیپید را ندارند دارای اهمیت می‌باشد (ویسر و همکاران ۲۰۱۰). کاهش باروری پارازیتوئیدها پس از نگهداری در دمای پایین به صورت مکرر مشاهده شده است. در پژوهش حاضر نیز کاهش در باروری و اوج باروری روزانه هم‌زمان با افزایش مدت ذخیره‌سازی میزبان مشاهده شد که می‌تواند ناشی از تجمع متابولیت‌های سمی در بدن میزبان پس از طولانی شدن زمان نگهداری در سرما باشد (مارگوس و لیندستروم ۲۰۲۰).

نتایج نرخ پارازیتیسم، نرخ ظهور و نسبت جنسی

بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که نگهداری لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های ذکر شده روی نرخ پارازیتیسم زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تاثیر معنی‌دار با افزایش زمان ذخیره‌سازی میزبان، پارازیتیسم زنبور کاهش می‌یابد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مدت زمان نگهداری لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس روی نرخ ظهور زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تاثیر معنی‌دار داشت اما اثر دما و اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نشد (جدول ۲). در تمام تیمارها درصد ظهور زنبور بیش‌تر از ۹۷ درصد بود و کم‌ترین نرخ ظهور (۰/۲۹ ± ۰/۹۸) در تیمار پانزده روز مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با شاهد (۰/۱۳ ± ۰/۹۹) داشت. واعظ و همکاران (۲۰۱۹) گزارش دادند که نگهداری تخم‌های بید سیب‌زمینی، *P. operculella* به مدت دو هفته در دمای ۴ درجه سلسیوس تاثیر معنی‌داری روی نرخ ظهور افراد کامل زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* (۷۰/۳۲ درصد) ندارد ولی نگهداری تخم میزبان تا یک ماه در دمای یاد شده، موجب کاهش معنی‌دار نرخ ظهور حشرات بالغ زنبور (۳۵/۴۸ درصد) می‌شود. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که نگهداری لاروهای *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های ذکر شده روی نسبت جنسی نتاج زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تاثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۲). بیش‌ترین نسبت افراد ماده (۱/۶۷ ± ۷۱/۷۵ درصد) در شاهد و کم‌ترین (۱/۷۷ ± ۶۲/۶۹ درصد) در تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس مشاهده شد. سعادت و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش دادند که نگهداری لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲ ماه، روی نسبت جنسی زنبور



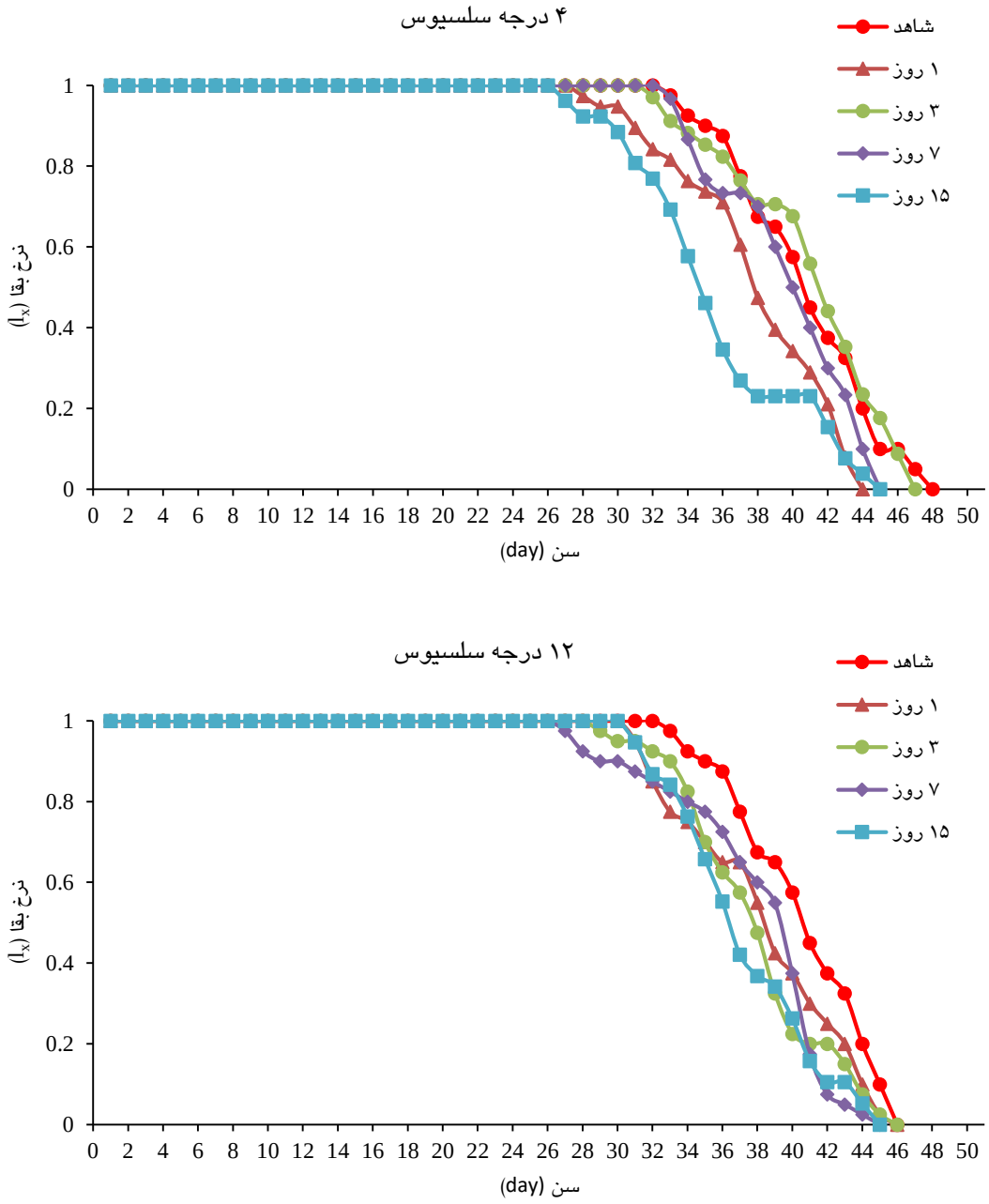
شکل ۳- روند تخم‌ریزی روزانه زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس

زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تاثیری نداشت و بین ۰/۵۳ (شاهد) تا ۰/۴۹ (لاروهای ذخیره شده) متغیر بود. هم‌سو با نتایج تحقیق حاضر، منصور (۲۰۱۷) عنوان کرد که نگهداری لاروهای *G. mellonella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس به مدت یک تا چهار هفته تاثیری روی نرخ پارازیتیسم و نسبت جنسی نتاج زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* ندارد و نرخ پارازیتیسم بین ۶۸ تا ۸۸ درصد و نسبت جنسی (ماده/ کل افراد) بین ۴۰ تا ۵۵ درصد متغیر بود. حسن و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش دادند نسبت جنسی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تحت تاثیر میزبان سرمادیده قرار نگرفت که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی نشان می‌دهد. ایشان میانگین نسبت جنسی را ۰/۵۲ اعلام کردند. نوسیدم و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که نگهداری شفیره‌های زنبور پارازیتوئید *H.*

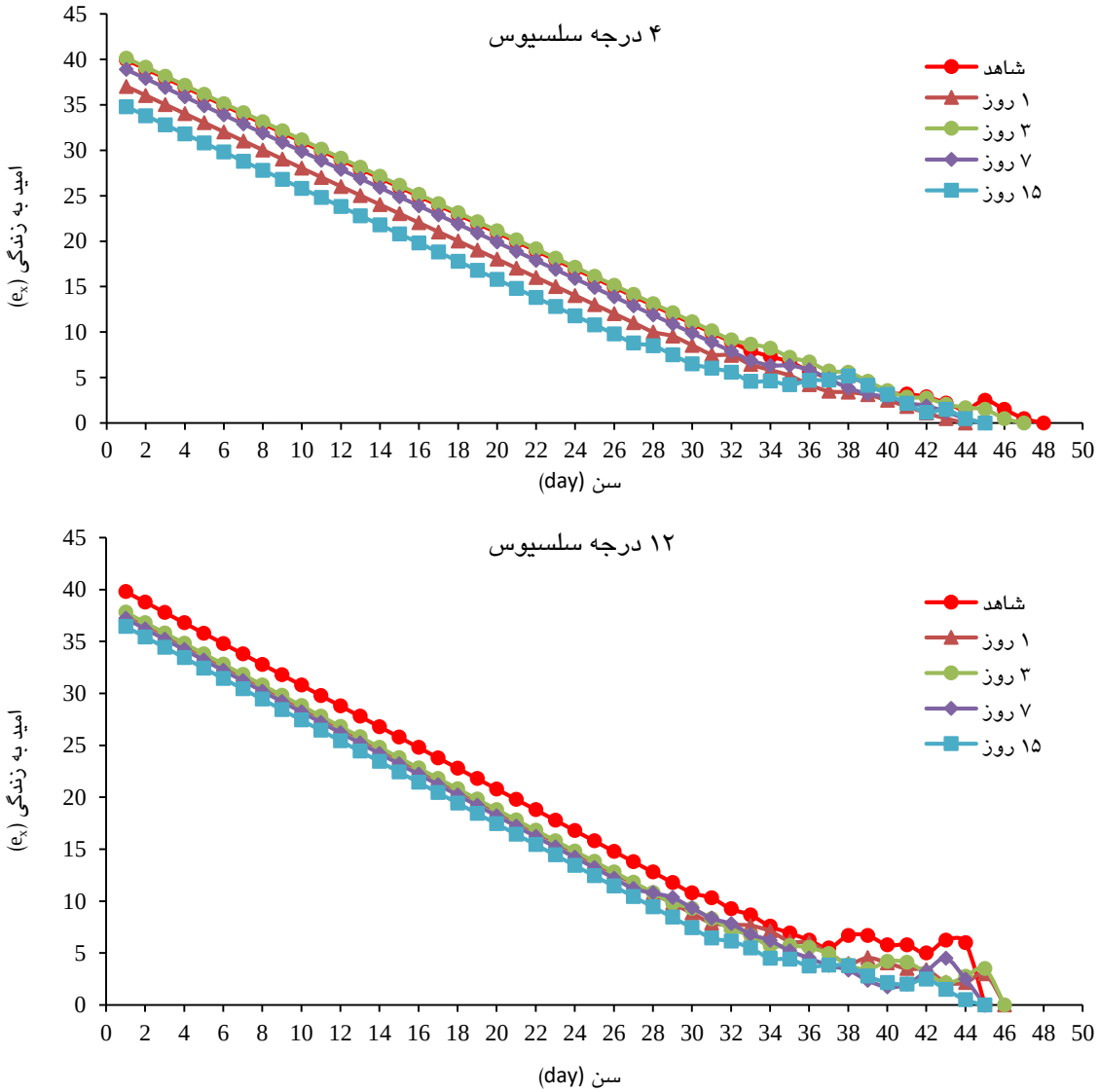
hebetor در دمای ۱۰ و ۱۵ درجه سلسیوس به مدت سه هفته و پرورش آن‌ها روی بید برنج، *Corcyra cephalonica* Stainton تاثیری روی نسبت جنسی زنبورها ندارد. واعظ و همکاران (۲۰۱۸) عنوان نمودند که هرچند نگهداری تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* به مدت یک ماه در دمای ۴ درجه سلسیوس تاثیر معنی‌داری روی نسبت جنسی زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* ندارد ولی با افزایش مدت زمان نگهداری میزبان در دمای پایین، نرزایی افزایش می‌یابد. هم‌سو با نتایج محققین یاد شده در تحقیق حاضر نیز با افزایش مدت زمان نگهداری میزبان در دمای ۴ درجه سلسیوس نرزایی افزایش یافت هرچند تفاوت با شاهد معنی‌دار نشد. نسبت جنسی پارازیتوییدها و تعداد حشره ماده‌ای که وارد اکوسیستم زراعی می‌شود از نظر کاربردی حائز اهمیت بوده و از طرفی نیز افزایش زنبورهای نر در سیستم پرورش انبوه از موارد نامطلوب به‌شمار می‌آید. به بیان دیگر هر اندازه تعداد افراد ماده بیشتر باشد می‌تواند نرخ رشد جمعیت و اثر بخش بودن آن‌ها را در برنامه‌های کنترل بیولوژیک افزایش دهد چرا که زنبورهای نر در عمل نقشی در ایجاد تلفات در آفت هدف ندارند (لوندگرن و هیمپل ۲۰۰۲).

نتایج نرخ بقا (l_x) وامید به زندگی (e_x)

منحنی بقای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در تیمارهای مختلف آزمایشی در شکل ۴ نمایش داده شده است. منحنی بقا در تمام تیمارها از نوع اول بود. مقدار انتروپی منحنی بقای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس در شاهد ۰/۱۰ و در تیمارهای، ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روزه به‌ترتیب، ۰/۱۰، ۰/۰۹، ۰/۰۸ و ۰/۱۲ و در دمای ۱۲ درجه سلسیوس در شاهد، ۰/۲۰ و در تیمارهای یاد شده به‌ترتیب، ۰/۱۳، ۰/۱۲، ۰/۱۱ و ۰/۱۰ به‌دست آمد که نشان‌دهنده نوع اول بودن منحنی‌های بقا است زیرا مقدارهای به‌دست آمده برای انتروپی زیر ۰/۵ می‌باشند. در این نوع منحنی، مرگ ومیر عمدتاً در افراد مسن بوده و به همین دلیل منحنی عمدتاً افقی بوده و با شیبی ملایم پیش رفته و در آخر ناگهان نزول می‌کند. کاهش نرخ بقا در حشرات کامل، سریع تر از مراحل نابالغ بود و در شاهد هر دو دما نسبت به بقیه تیمارها دیرتر (از روز سی و سوم) اتفاق افتاد درحالی‌که در دمای ۴ درجه سلسسیوس در تیمار پانزده روزه و در دمای ۱۲ درجه سلسیوس در تیمار هفت روزه، مرگ و میر زودتر (از روز بیست و هفتم) از بقیه تیمارها شروع شد. مساحت زیر منحنی بقا در واقع نشان‌دهنده طول عمر بیشتر افراد است و با نگاهی به جدول ۲ متوجه می‌شویم که دما تاثیری روی طول عمر افراد ماده نداشته و فقط مدت زمان ذخیره‌سازی لارو میزبان در دمای پایین از نظر آماری معنی‌دار شد و منحنی بقای زنبور در تیمارهای آزمایشی (شکل ۴) هم موید همین مطلب است که مساحت زیر منحنی بقا در تیمار پانزده روزه (به‌ویژه در دمای ۴ درجه سلسیوس) به‌طور مشخصی کمتر از بقیه تیمارهاست. دوز قرار گرفتن در معرض سرما پارامتری است که برای توصیف ترکیبی از زمان و دما استفاده می‌شود. کاهش دما ویا افزایش زمان قرارگیری در معرض دمای پایین می تواند منجر به صدمات تجمعی و غیرقابل برگشت شود (کولینت و بووین ۲۰۱۱). بسیاری از محققین بر این باورند که بقای پارازیتوئیدها با افزایش دوره ذخیره‌سازی میزبان در دمای پایین کاهش می‌یابد (کولینت و هنس ۲۰۱۱، واعظ و همکاران ۲۰۱۸،). نمودار امید به زندگی (e_x) که بیانگر مجموع مدت زمانی است که از یک فرد انتظار می‌رود تا سن x زنده بماند در شکل ۵ نشان داده شده است. مشخص است که با افزایش سن زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*، امید به زندگی روند نزولی پیدا می‌کند. تغییرات امید به زندگی و نرخ مرگ و میر رابطه معکوس دارند به‌طوری‌که در روزهای اول زندگی که نرخ مرگ و میر کم‌ترین مقدار است (شکل ۴)، امید به زندگی در بالاترین سطح خود قرار دارد (شکل ۵). امید به زندگی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس در آغاز آزمایش در شاهد، تیمارهای ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روزه به‌ترتیب، ۳۹/۹۵، ۳۷/۰۳، ۴۰/۱۵، ۳۸/۹۰ و ۳۴/۸۱ و در دمای ۱۲ درجه سلسیوس روی تیمارهای یاد شده به‌ترتیب، ۳۹/۸۰، ۳۷/۶۷، ۳۷/۸۲، ۳۷/۲۲ و



شکل ۴- نرخ بقای ویژه سن (lx) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس



شکل ۵- تغییرات امید به زندگی (ex) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس

۳۶/۴۵ به‌دست آمد. با توجه به شکل ۵ مشخص است که امید به زندگی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در تیمار پانزده روزه در هر دو دما (به‌ویژه دمای ۴ درجه سلسیوس) نسبت به بقیه تیمارها کمتر است.

نتایج پارامترهای جمعیت پایدار

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دما، مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل این دو فاکتور روی پارامترهای نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m)، نرخ متناهی رشد جمعیت (λ) و مدت زمان دو برابر شدن جمعیت (DT) معنی‌دار است. اثر دما روی نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) و نرخ خالص تولید مثل (R_0) معنی‌دار نشد ولی اثرات مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار شد. در مورد مدت زمان یک نسل (T) نیز اثر دما و مدت زمان ذخیره‌سازی معنی‌دار شد ولی اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نشد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین پارامترهای جمعیت پایدار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای میزبان در هر دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس نرخ ناخالص تولید مثل، نرخ خالص

تولید مثل، نرخ ذاتی افزایش جمعیت و نرخ متناهی رشد کاهش می‌یابد. بیش‌ترین نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) (۷/۸۳ ± ۳۱۱/۳۰ ماده/نسل) و کم‌ترین (۸/۹۳ ± ۱۶۴/۳۵) به‌ترتیب در شاهد و تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس مشاهده شد. در مطالعه سعادت و همکاران (۲۰۱۶) که اثرات ذخیره‌سازی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲ ماه را روی پارامترهای جمعیت پایدار زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بررسی کردند مشخص شد که نرخ ناخالص تولید مثل زنبور که بیانگر تعداد ماده‌های حاصل از هر زنبور ماده می‌باشد، روی میزبان‌های تازه (ذخیره نشده) ۱۲۹/۲۴ ماده/نسل و روی لاروهای ذخیره شده ۱۸۱/۰۷ ماده/نسل بود. مقدار کسب شده برای نرخ ناخالص تولید مثل توسط محققیان یاد شده کمتر از پژوهش حاضر می‌باشد که احتمال می‌رود دلیل آن تفاوت در نوع میزبان و جمعیت زنبور مورد بررسی باشد چرا که زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella*(به دلیل جثه بزرگتر میزبان) زادآوری بالاتری نسبت به *A. kuehniella* دارد (تجربیات نویسندگان). هم‌چنین بیش‌ترین نرخ خالص تولید مثل (R_0) (۷/۰۶ ± ۲۸۰/۷۷ ماده/ماده) و کم‌ترین (۱۰/۱۶ ± ۱۳۹/۱۶) نیز به‌ترتیب در شاهد و تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس مشاهده شد. با توجه به منحنی‌های بقا که از نوع اول می‌باشد با افزایش سن زنبور از نرخ بقای آن کاسته می‌شود. بنابراین نرخ خالص تولیدمثل کوچکتر از نرخ ناخالص تولیدمثل شده است. افزایش مرگ و میر افراد یکی از اثرات منفی نگهداری در دمای پایین و طولانی شدن مدت زمان نگهداری در دمای پایین است؛ به‌طوری که حتی اگر افراد پس از ذخیره‌سازی در دمای پایین زنده بمانند، برخی صفات زیستی و جمعیتی و کارایی آن‌ها ممکن است مستقیماً در مرحله ذخیره شده و یا در نسل بعدی در نتاج آن‌ها کاهش یابد. محققین مختلف اذعان نموده‌اند که نگهداری طولانی مدت حشرات در دمای پایین اغلب باعث افزایش مرگ و میر و کاهش برخی صفات زیستی از جمله طول عمر و باروری افراد ماده می‌شود (هان و دنلینگر ۲۰۱۱، مارگوس و لیندستروم ۲۰۲۰). در تحقیق حاضر نیز با افزایش مدت زمان نگهداری لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای پایین به خصوص در دمای ۴ درجه سلسیوس تا ۱۵ روز، مرگ و میر لاروهای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* افزایش نشان داد که تاثیر آن در پارامتر نرخ خالص تولید مثل (R_0) مشاهده شد که باعث کاهش حدود ۵۱ درصدی این پارامتر نسبت به شاهد شد. نرخ خالص تولیدمثل نشان‌دهنده میانگین تعداد نتاج ماده اضافه شده توسط یک

جدول ۶- تجزیه واریانس تاثیر دما و مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* روی پارامترهای جمعیت پایدار زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

منابع تغییر	درجه آزادی	مقدار F					
		نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) (ماده/نسل)	نرخ خالص تولید مثل (R_0) (ماده/ماده)	نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) (day^{-1})	نرخ متناهی رشد جمعیت (λ) (day^{-1})	مدت زمان یک نسل (T) (day)	مدت زمان دو برابر شدن یک نسل (DT) (day)
تیمار	۹	۳۶/۸۵**	۲۷/۶۵**	۱۷/۹۲**	۱۷/۷۵**	۵/۲۰**	۱۹/۱۲**
دما (A)	۱	۰/۵۸ ns	۱/۸۹ ns	۲۹/۲۷**	۲۸/۷۰ **	۲۱/۸۰**	۳۳/۳۴**
زمان ذخیره‌سازی (B)	۴	۷۸/۲۰**	۵۶/۲۳**	۳۱/۳۲**	۳۱/۲۱**	۵/۵۰**	۳۱/۸۹**
دما × زمان ذخیره‌سازی (A×B)	۴	۴/۵۶**	۸/۰۶**	۶/۷۵**	۶/۴۹**	۲/۲۱ ns	۸/۸۶**

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۵٪ و ns : عدم معنی‌داری است.

جدول ۷- میانگین (±SE) پارامترهای جمعیت پایدار زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس

دما	مدت زمان ذخیره‌سازی	نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) (ماده/نسل)	نرخ خالص تولید مثل (R_0) (ماده/ماده)	نرخ ذاتی افزایش جمعیت (day^{-1}) (r_m)	نرخ متناهی رشد جمعیت (day^{-1}) (λ)	مدت زمان یک نسل (day) (T)	مدت زمان دو برابر شدن یک نسل (DT) (day)
۴ درجه سلسیوس	شاهد	۳۱۱/۳۰ ± ۷/۸۳ a	۲۸۰/۷۷ ± ۷/۰۶ a	۰/۲۹۴۰ ± ۰/۰۰۴ ab	۱/۳۴۱۸ ± ۰/۰۰۵ ab	۱۹/۱۷ ± ۰/۲۶ bcd	۲/۳۵۷ ± ۰/۰۳ ef
	۱ روز	۲۲۵/۱۶ ± ۵/۸۲ bc	۱۹۷/۲۸ ± ۵/۶۸ dc	۰/۲۸۷۱ ± ۰/۰۰۵ bc	۱/۳۳۲۵ ± ۰/۰۰۷ bc	۱۸/۴۰ ± ۰/۳۹ d	۲/۴۱۴ ± ۰/۰۴ de
	۳ روز	۲۳۰/۱۵ ± ۶/۵۱ b	۲۰۴/۰۰ ± ۸/۵۶ c	۰/۲۷۰۶ ± ۰/۰۰۴ de	۱/۳۱۰۷ ± ۰/۰۰۵ de	۱۹/۶۵ ± ۰/۳۳ abc	۲/۵۶۱ ± ۰/۰۴ bc
	۷ روز	۱۹۶/۶۴ ± ۸/۴ d	۱۷۹/۴۲ ± ۶/۰۶ d	۰/۲۶۳۱ ± ۰/۰۰۶ e	۱/۳۰۰۹ ± ۰/۰۰۸ e	۱۹/۷۲ ± ۰/۴۲ ab	۲/۶۳۳ ± ۰/۰۶ b
	۱۵ روز	۱۶۴/۳۵ ± ۸/۹۳ e	۱۳۹/۱۶ ± ۱۰/۱۶ e	۰/۲۴۲۵ ± ۰/۰۰۴ f	۱/۲۷۴۵ ± ۰/۰۰۵ f	۲۰/۳۶ ± ۰/۲۱ a	۲/۸۵۷ ± ۰/۰۴ a
۱۲ درجه سلسیوس	شاهد	۳۰۶/۲۰ ± ۸/۰۶ a	۲۴۵/۵۲ ± ۱۰/۰۳ b	۰/۳۰۱۲ ± ۰/۰۰۲ a	۱/۳۵۱۵ ± ۰/۰۰۳ a	۱۸/۲۷ ± ۰/۱۷ d	۲/۳۰۱ ± ۰/۰۲ f
	۱ روز	۲۳۲/۹۹ ± ۸/۳۸ b	۱۹۸/۰۵ ± ۶/۸۹ cd	۰/۲۸۷۴ ± ۰/۰۰۳ bc	۱/۳۳۲۹ ± ۰/۰۰۴ bc	۱۸/۴۰ ± ۰/۲۴ d	۲/۴۱۲ ± ۰/۰۲ de
	۳ روز	۲۱۲/۰۵ ± ۷/۸۵ bcd	۱۸۲/۲۳ ± ۴/۲۳ cd	۰/۲۷۴۴ ± ۰/۰۰۳ cd	۱/۳۱۵۷ ± ۰/۰۰۴ cd	۱۸/۹۷ ± ۰/۲۴ bcd	۲/۵۲۶ ± ۰/۰۳ cd
	۷ روز	۲۲۰/۷۰ ± ۷/۰۰ bc	۱۹۲/۹۷ ± ۷/۱۴ cd	۰/۲۷۹۵ ± ۰/۰۰۳ cd	۱/۳۲۲۵ ± ۰/۰۰۴ cd	۱۸/۸۳ ± ۰/۲۵ cd	۲/۴۸۰ ± ۰/۰۳ cd
	۱۵ روز	۲۰۵/۴۳ ± ۵/۲۴ cd	۱۸۰/۲۰ ± ۵/۵۹ d	۰/۲۷۸۲ ± ۰/۰۰۳ cd	۱/۳۲۰۷ ± ۰/۰۰۴ cd	۱۸/۶۷ ± ۰/۲۰ d	۲/۴۹۱ ± ۰/۰۳ cd

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارهاست (آزمون توکی)

ماده در هر نسل می‌باشد و در پژوهش حاضر مشاهده شد که با افزایش طول دوره ذخیره‌سازی لاروهای میزبان، تعداد کل افراد ماده تولید شده توسط پارازیتوئید کاهش یافت. نمودار زادآوری ویژه سنی (m_x) نیز این نتیجه را بیان می‌کند. می‌توان گفت باروری زنبور به دلیل صرف انرژی و منابع حشره جهت بقا کاهش می‌یابد. احتمال می‌رود افزایش متابولیت‌های سمی تولید شده در بدن لاروهای میزبان در شرایط ذخیره‌سازی در دمای پایین (هنس و همکاران ۲۰۰۷)، موجب افزایش مرگ و میر پارازیتوئید آن می‌شود. در پژوهش حاضر نیز مرگ و میر زنبور با افزایش مدت زمان نگهداری لاور میزبان در دمای ۴ درجه سلسیوس کاهش نشان داد. در تحقیقات سعادت و همکاران (۲۰۱۶) نرخ خالص تولید مثل (R_0) زنبور روی لاروهای ذخیره شده شب‌پره مدیترانه‌ای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* ، ۸۵/۳۳ ماده/ماده و روی لاروهای ذخیره نشده، ۶۸/۱۴ ماده/ماده به‌دست آمد که تفاوت بین این دو معنی‌دار نشد. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) زنبور بین ۰/۰۰۲ ± ۰/۳۰۱۲ بر روز (شاهد ۱۲ درجه سلسیوس) و ۰/۰۰۴ ± ۰/۲۴۲۵ بر روز (تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس) متغیر بود. نرخ ذاتی افزایش جمعیت عبارت است از نرخ لحظه‌ای افزایش جمعیت به‌ازای هر ماده در روز در شرایط فیزیکی مشخص و در یک محیط نامحدود که اثرات تراکم قابل توجه نبوده باشد و یکی از مهم‌ترین شاخص‌های زیستی و جمعیتی حشرات است و مقدار آن توسط اکولوژیست‌ها اغلب به‌عنوان یک پارامتر مقایسه‌ای برای مشخص کردن اثر تیمارهای مختلف (دما، کیفیت گیاه میزبان و غیره) روی ظرفیت تولیدمثلی حشره استفاده می‌شود. در واقع r_m بیشترین میزان رشد جمعیت یک گونه را تحت شرایط فیزیکی معین نشان می‌دهد. علاوه بر این، از این پارامتر می‌توان به‌عنوان ملاکی برای انتخاب دشمنان طبیعی و پیش‌گویی میزان موفقیت عوامل کنترل بیولوژیک روی میزبان‌های مختلف استفاده کرد (برچ ۱۹۴۸). با توجه به فرمول اویلر – لوتکا مشخص می‌شود که در محاسبه نرخ ذاتی افزایش جمعیت میزان بقا و زادآوری نیز دخالت داده می‌شود بنابراین کاهش در میزان باروری و بقا منجر به کاهش نرخ ذاتی افزایش جمعیت نیز می‌شود. در پژوهش حاضر مشاهده شد که با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای پایین (به‌ویژه ۴ درجه سلسیوس) تا ۱۵ روز بقا و زادآوری افراد ماده تحت تاثیر قرار گرفت به‌طوری که زادآوری در حدود ۴۰ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد که می‌توان تاثیر آن را در نرخ ذاتی افزایش جمعیت با کاهشی در حدود ۲۰ درصد (۰/۲۴۲۵ بر روز) نسبت به شاهد (۰/۳۰۱۲ بر روز) مشاهده کرد. سعادت و همکاران (۲۰۱۶) عنوان

نمودند که نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده و نشده شب‌پره مدیترانه‌ای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* تفاوت معنی‌دار نداشت و به‌ترتیب، ۰/۲۵ و ۰/۲۲ بر روز به‌دست آمد. در پژوهش حاضر نرخ خالص و ناخالص تولید مثل و نرخ ذاتی افزایش جمعیت نسبت به نتایج سعادت و همکاران (۲۰۱۶) بیشتر بود و برخلاف نتایج ایشان تمام پارامترها با افزایش مدت زمان نگهداری میزبان در دمای پایین کاهش معنی‌داری با شاهد نشان داد. در گزارش محققین یاد شده ثبت نتایج پس از یک ماه صورت گرفته و در این فاصله هیچ داده‌ای ثبت نشده است، بنابراین به‌نظر می‌رسد علاوه بر تفاوت در میزبان مورد آزمایش و مدت زمان نگهداری در دمای پایین، نبود داده تا روز پانزدهم نیز دلیلی بر تفاوت‌ها باشد. نتایج مربوط به نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* ذخیره شده نشان داد که در دمای ۴ درجه سلسیوس در شاهد و تیمارهای ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روزه، زنبور می‌تواند جمعیت خود را در هر روز به‌ترتیب، ۱/۳۴، ۱/۳۲، ۱/۳۱، ۱/۳۰ و ۱/۲۷ برابر روز قبل و در دمای ۱۲ درجه سلسیوس در تیمارهای یاد شده به‌ترتیب، ۱/۳۵، ۱/۳۳، ۱/۳۱، ۱/۳۲ و ۱/۳۲ برابر روز قبل برساند. در مطالعات سعادت و همکاران (۲۰۱۶) نرخ متناهی رشد جمعیت زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد تازه (ذخیره نشده) ۱/۲۴ بر روز و روی میزبان ذخیره شده ۱/۲۹ بر روزبه دست آمد. در پژوهش حاضر بیش‌ترین میانگین طول مدت زمان یک نسل یا متوسط طول دوره زمانی بین تولد والدین و تولید نتاج (T) که نشان می‌دهد چه مدت زمانی نیاز است تا جمعیت اندازه نرخ خالص تولید مثل برابر افزایش یابد در زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* ذخیره شده، ۰/۲۱ ± ۲۰/۳۶ روز بود. به عبارت دیگر حدود ۲۰ روز طول کشید تا جمعیت زنبور به اندازه نرخ خالص تولیدمثل افزایش یابد که نسبت به شاهد (۰/۲۶ ± ۱۹/۱۷ روز) یک روز بیش‌تر بود. در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف ذخیره‌سازی و شاهد مشاهده نشد. طبق گزارش سعادت و همکاران (۲۰۱۶) میانگین طول مدت زمان یک نسل زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی میزبان تازه شب‌پره مدیترانه‌ای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* ۱۹/۴۲ روز و روی میزبان‌های ذخیره شده ۱۷/۶۳ روز به‌دست آمد که بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد برای دو برابر شدن جمعیت (DT) زنبور در تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس حدود ۳ روز لازم است درحالی‌که این رقم در شاهد حدود ۲ روز بود.

حشراتی که به مدت طولانی در دمای پایین نگهداری می‌شوند به دلیل مصرف قسمت زیادی از ذخایر غذایی بدن، بخش عمده‌ای از وزن خود را از دست می‌دهند (هان و دنلینگر ۲۰۱۱). طبق مطالعات حسن و همکاران (۲۰۲۲) کاهش عمده‌ای در وزن لاروهای *P. interpunctella* پس از ذخیره‌سازی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس تا ۱۰۵ روز مشاهده شد اما این کاهش وزن هیچ کاهش معنی‌داری در کیفیت میزبان جهت پرورش انبوه میزبان یا زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نداشت. به نظر می‌رسد برخی حشرات قادر به کاهش نرخ متابولیسم خود هستند تا از دست دادن منابع غذایی در دماهای پایین و شرایط نامساعد را محدود کنند (هان و دنلینگر ۲۰۱۱). نکته جالب توجه در مطالعات حسن و همکاران (۲۰۲۲) این بود که کمترین وزن در لاروهایی مشاهده شد که فقط پانزده روز در دمای ۱۵ درجه سلسیوس نگهداری شده بودند و لاروهایی که به مدت طولانی‌تری در این دما نگه داشته شده بودند، همگی دارای وزنی مابین افراد سنگین (شاهد) و افراد کم وزن (ذخیره شده تا ۱۵ روز) داشتند. یک توضیح احتمالی برای این الگوی غیرمنتظره این است که تفاوت‌های وزنی مشاهده شده در بین لاروهایی که برای دوره‌های زمانی مختلف غیرفعال بودند، بیشتر منعکس‌کننده محتوای آب بدن است تا تفاوت‌های جرم خشک. در پژوهش حاضر نیز نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت پانزده روز در بسیاری از پارامترهای

زیستی، تولیدمثلی و رشدی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* موجب کاهش معنی‌داری با شاهد شد. با اینکه می‌دانیم که حشرات در حالت دیاپوز می‌توانند آب بدن خود را از بخار آب موجود در هوای اطراف خود به‌دست آورند (دوهرتی و همکاران ۲۰۱۷) با این حال نمی‌دانیم که لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* نگهداری شده در دمای پایین قادر به جذب آب از محیط خود هستند یا خیر. حسن و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که لاروهای شب‌پره هندی، *P. interpunctella* ذخیره شده در دمای ۱۵ درجه سلسیوس (۱۵ تا ۱۰۵ روز) میزبان مطلوب‌تری برای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بودند. ایشان عنوان کردند که تاثیر مثبت ذخیره‌سازی میزبان در دمای پایین روی صفات زیستی پارازیتوئید احتمالا به دلیل افزایش ذخایر چربی میزبان قبل و یا در دوران سرما باشد که موجب شده تا میزبان کیفیت بیشتری برای پارازیتوئید فراهم سازد. از سوی دیگر ایشان گزارش دادند که نگهدای میزبان در دمای پایین تاثیر منفی روی اندازه بدن زنبورهای خارج شده از این میزبان‌ها نداشت. ایشان عنوان نمودند که می‌توان لاروهای شب‌پره هندی، *P. interpunctella* را تا سه ماه نگهداری و برای پرورش و تولید زنبور استفاده نمود. اندازه بدن رابطه مهمی با کارایی پارازیتوئید داشته و به طور کلی یک صفت مهم برای عوامل کنترل بیولوژیکی است زیرا اندازه بدن پارازیتوئید بر توانایی پرواز، پارازیتیسم، طول عمر و باروری افراد ماده و در نهایت کارایی عامل کنترل تأثیر می‌گذارد (گائو و همکاران ۲۰۱۶). در آزمایش حاضر اندازه بدن زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد بررسی قرار نگرفت بنابراین نگارندگان نمی‌توانند ارتباطی بین اندازه بدن پارازیتوئید و نتایج کسب شده ارائه دهند. برخی محققین بر این باورند که استفاده از میزبان‌های خفته (نگهداری میزبان در دمای ۱۵ درجه سلسیوس) برای پرورش پارازیتوئیدها جهت اجرای برنامه‌های کنترل بیولوژیک ممکن است سودمند باشد زیرا خواب ممکن است فیزیولوژی میزبان را به گونه‌ای تغییر دهد که برای تولید پارازیتوئید مطلوب باشد (وارسی و همکاران ۲۰۱۸). برای مثال، برنامه‌ریزی حشره برای دیاپوز اغلب با افزایش ذخایر چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها مرتبط است که می‌تواند توسط حشره برای حفظ بقای خود در طول یک دوره طولانی خواب استفاده شود (سینکلر ۲۰۱۵). دیاپوز و سایر اشکال خواب ناشی از دما می‌تواند علاوه بر ذخیره‌سازی و افزایش چربی‌ها، جنبه‌های دیگر متابولیسم میزبان از جمله تغییر در محتوای پروتئین و اسید آمینه یا محتوای کربوهیدرات خون و بافت را که می‌تواند برای تولید پارازیتوئید مفید باشد، تغییر دهد (هان و دنلینگر ۲۰۱۱). علاوه بر این، القای دیاپوز یا سایر اشکال خواب با دمای پایین ممکن است اثراتی بر سیستم ایمنی میزبان داشته باشد که می‌تواند میزبان را برای رشد موفقیت‌آمیز پارازیتوئید مطلوب‌تر کند. به‌عنوان مثال، عادت‌دهی به دماهای پایین موجب کاهش سیستم ایمنی در حشرات می‌شود. بنابراین، القای خواب ممکن است به دلیل سرکوب سیستم ایمنی میزبان، مزایای بیشتری برای تولید پارازیتوئید داشته باشد (فرگوسن و همکاران ۲۰۱۶، وارسی و مباتا ۲۰۱۸). در تمام پژوهش‌هایی که از اثرات مثبت ذخیره‌سازی میزبان در دمای پایین یاد شده است منظور نگهداری در دمای ۱۵ درجه سلسیوس می‌باشد که در پژوهش حاضر نیز نگهداری لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تاثیر منفی معنی‌دار روی پارامترهای زیستی و تولید مثلی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نداشت اما به‌دلیل اینکه در پژوهش حاضر وزن میزبان، ترکیبات همولنف میزبان از جمله محتوای پروتئین، چربی و کربوهیدرات مورد بررسی قرار نگرفته است بنابراین نگارندگان نمی‌توانند گفته‌های محققین یاد شده را تایید نمایند.

نتیجه‌گیری

با نگاهی به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر مشاهده شد که نگهداری لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس به مدت ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روز تاثیر معنی‌داری روی پارامترهای زیستی (طول دوره جنینی، لاروی، شفیرگی و طول کل دوره نابالغ، طول عمر) و تولید مثلی (طول دوره تخم‌ریزی، طول کل دوره پیش از تخم‌ریزی و زادآوری) و

پارامترهای جمعیت پایدار زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* ندارد. بنابراین جهت حفظ کارایی زنبور پارازیتوئید، نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تا دو هفته و در دمای ۴ درجه سلسیوس حداکثر تا یک هفته توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان اجرا شده است که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abbes K, Zouba A, Harbi A and Chermiti B. 2020. Effect of cold storage on the performance of *Trichogramma bourarachae* (Pintureau and Babault) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Egyptian Journal of Biological Pest Control, 30:27. https://doi.org/10.1186/s41938-020-00232-1

Abou El-Ela AS, Dessoky ES, Masry S, Arshad A, Munawar A, Qamer S, Abdelkhalek A, Behiry SI and Kordy A. 2021. Plasticity in life features, parasitism and super-parasitism behavior of *Bracon hebetor*, an important natural enemy of *Galleria mellonella* and other lepidopteran host species. Saudi Journal of Biological Science. 28(6): 3351-3361. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.082

Afshari A and Nazari Fandokht E. 2019. Effect of sugar concentration and feeding duration on the cold tolerance of *Bracon hebetor* Say adults. Plant Pest Research, 8(4): 55-69. (In Persian). DOI:10.22124/IPRJ.2019.3306

Alam M, Alam S, Miah M, Mian M and Hossain M. 2015. Mass rearing of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on wax moth, *Galleria mellonella* (Lep. Pyralidae) with varying density of parasitoid and the host. Journal of Crop Protection, 5(1): 39–48. http://jcp.modares.ac.ir/article-3-7636-en.html

Aliabadi A, Afshari A and Yazdanian M. 2019. Effect of sugar feeding frequency and mating status on the cold storage efficacy of adult *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 42(2): 19-37. (In Persian). DOI:10.22055/ppr.2019.14744

Anwar M, Zain ul Abdin, Abbas SK, Tahir M, Hussain F and Manzoor A. 2016. Effect of cold storage on the survival, sex ratio and longevity of ectoparasitoid, *Bracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae). Pakistan Journal of Zoology, 48(6): 1775-1780.

Amini A, Hosseini M, Sadeghi H and Goldansaz SH. 2024. Effect of cold storage on performance of *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared on *Ephestia kuehniella* and *Ectomyelois ceratoniae*. Journal of Entomological Society of Iran, 44(2): 129–139. https://doi.org/10.61186/jesi.44.4.2

Amir-Maafi M and Chi H. 2006. Demography of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on two pyralid hosts (Lepidoptera: Pyralidae). Annals of the Entomological Society of America, 99: 84-90. https://doi.org/10.1603/0013-8746(2006)099[0084:DOHHHB]2.0.CO;2

Askari Seyahooei M, Mohammadi-Rad A, Hesami S, Bagheri A. 2018. Temperature and exposure time in cold storage reshape parasitic performance of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). Journal of Economic Entomology, 111: 564–569. https://doi.org/10.1093/jee/toy004

Attaran, MR. 1996. Effect of laboratory hosts on biological attributes of parasitoid wasp *Bracon hebetor* Say. M. Sc. Dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran, 77 p. (In Persian).

Augustine NM and Shera PS. 2024. Effect of cold storage on the fitness of *Fulgoraecia melanoleuca* (Fletcher) (Lepidoptera: Epipyropidae), an ecto-parasitoid of *Pyrilla perpusilla* (Walker) (Hemiptera: Lophopidae), International Journal of Pest Management. https://doi.org/10.1080/09670874.2024.2334232

Bale JS. 1996. Insect cold hardiness: a matter of life and death. European Journal of Entomology, 93: 369-382.

Birch LC. 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. Journal of Animal Ecology, 17: 15-26. https://doi.org/10.2307/1605

Carey JR. 1993. Applied demography for biologists with special emphasis on insects. Oxford University Press UK.

Chen H, Zhang H, Zhu KY and Throne J. 2013. Performance of diapausing parasitoid wasps, *Habrobracon hebetor*, after cold storage. Biological Control, 64(3): 186-94. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.11.007

Coilent H and Boivin G. 2011. Insect parasitoids cold storage: A comprehensive review of factors of variability and consequence. Biological Control, 58: 83–95. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.04.014

Colinet H and Hance T. 2010. Interspecific variation in the response to low temperature storage in different aphid parasitoids. Annals of Applied Biology, 156: 147-156.https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00374.x

Dabhi MR, Korat DM and Vaishnav PR. 2013. Reproductive parameters of *Bracon hebetor* Say on seven different hosts. African Journal of Agricultural Research, 8(25): 3251-354.

Doherty J-F, Guay J-F and Cloutier C. 2017. Early springtime water absorption by overwintering eggs of *Monandrus abietinus* (Hemiptera: Aphididae): possible implications for cold hardiness and diapause termination. Canadian Entomologist, 150: 174–179. https://doi.org/10.4039/tce.2017.61

Elbehery HH. 2024. Effect of pupal cold storage on the life table parameters of larval ectoparasitoid *Bracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: braconidae). Archives of Phytopathology and Plant Protection, 57(2): 142-160. https://doi.org/10.1080/03235408.2024.2336303

Eliopoulos, PA and Stathas GJ. 2008. Life table of *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae) parasitizing *Anagasta kuehniella* and *Plodia interpunctella* (Lep.: Pyralidae): effect of host density. Journal of Economic Entomology, 101: 982-988. https://doi.org/10.1093/jee/101.3.982

Faal Mohammad-Ali, H and Shishebor P. 2013. Biological parameters of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae): effect of host diet. Journal of Crop Protection, 2(4): 411-419. https://sid.ir/paper/239141/en

Fathipour Y, Talaee L, Bagheri A, Talebi AA and Khajehali J. 2020. Age stage, two-sex life table of *Habrobracon hebetor* (Braconidae) on *Spodoptera exigua* (Noctuidae) reared on different sugar beet genotypes. Bulletin of Entomological Research, 110(4): 542-549. https://10.1017/S0007485319000919

Filho SRP, Leite GLD, Soares MA, Alvarenga AC, Paulo PD, Santos LDT and Zanuncio JC. 2014. Effects of duration of cold storage of host eggs on percent parasitism and adult emergence of ten trichogrammatidae species. Florida Entomologist, 97(1): 14–21. https://doi.org/10.1653/024.097.0102

Foerster LA and Doetzer AK 2006. Cold storage of the egg parasitoid *Trissolcus basalis* (Wollaston) and *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Scelionidae). Biological Control, 36: 232-237. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.10.004

Ferguson LV, Kortet R and Sinclair BJ. 2018. Eco-immunology in the cold: the role of immunity in shaping the overwintering survival of ectotherms. Journal of Experimental Biology, 221: jeb163873.https://doi.org/10.1242/jeb.163873

Gao S, Tang Y, Wei K, Wang X, Yang Z and Zhang Y. 2016. Relationships between body size and parasitic fitness and offspring performance of *Sclerodermus pupariae* Yang et Yao (Hymenoptera: Bethylidae). PLoS ONE, 11, e0156831. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156831

Ghimire MN and Phillips TW. 2010. Suitability of different lepidopteran host species for development of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). Environmental Entomology, 39(2): 449-458. https://doi.org/10.1603/EN09213

Hahn DA and Denlinger DL. 2011. Energetics of insect diapause. Annual Review of Entomology, 56: 103–121. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085436

Hance T, van Baaren J, Vernon P and Boivin G. 2007. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. Annual Review of Entomology, 52: 107–126.

Hasan MdM, Hasan MdM, Rahman ASMS, Athanassiou CG, Tussey DA and Hahn DA. 2022. Induced dormancy in Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner) and its impact on the quality improvement for mass rearing in parasitoid *Habrobracon hebetor* (Say). Bulletin of Entomological Research 112: 766–776. https://doi.org/10.1017/S0007485322000153

Ismail M, Vernon P, Hance T and van Baaren J. 2010. Physiological costs of cold exposure on the parasitoid *Aphidius ervi*, without selection pressure and under constant or fluctuating temperatures. BioControl, 55(6): 729-740. https://doi.org/10.1007/s10526-010-9303-0

Kidane D, Ferrante M, Man XM, Liu WX, Wan FH and Yang NW. 2020. Cold storage effects on fitness of the whitefly parasitoids *Encarsia Sophia* and *Eretmocerus hayati*. Insects, 11(7): 428: 1-13. https://doi.org/10.3390/insects11070428

Kidane D, Ferrante M, Man XM, Liu WX, Wan FH and Yang NW. 2023. Investigating the effect of cold on the possibility of storing pupae and whole insects of parasitoid bees. Entomology and Applied Science Letters,10(3): 51-59. https://doi.org/10.51847/27QmmdcVwl

Leopold RA. 2007. Colony maintenance and mass-rearing: Using cold storage technology for extending the shelf-life of insects. Area-wide control of insect pests: From research to field implementation 2007 Oct 30 (pp. 149-162). Dordrecht: Springer Netherlands.

Lettmann J, Mody K, Kursch-Metz T-A, Blüthgen N and Wehner K. 2021. *Bracon* wasps for ecological pest control–a laboratory experiment. PeerJ 9:e11540. https://doi.org/10.7717/peerj.11540

Lin J, Yang D, Hao X, Cai P, Guo Y, Shi S, Liu C and Ji Q. 2021. Effect of cold storage on the quality of *Psyttalia incisi* (Hymenoptera: Braconidae), a larval parasitoid of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). Insects, 12, 558. https://doi.org/10.3390/insects 12060558

Lundgren JG and Heimpel GE. 2002. Quality assessment of three species of commercially produced *Trichogramma* and the first report of thelytoky in commercially produced *Trichogramma*. Biological Control, 26: 68-73. https://doi.org/10.1016/S1049-9644(02)00117-2

Maia AHN, Luiz AJB and Campanhola C. 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspect. Journal Economic Entomology, 93: 511-518. https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.511

Mansour AN. 2017. Influence of cold storage on some biological aspects of the gregarious parasitoid, *Bracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae). Egyptian Journal of Biological Pest Control, 27(2): 205-210. https://doi/pdf/10.5555/20173278348

Margus A and Lindström L. 2020. Prolonged diapause has sex-specific fertility and fitness costs. Evolutionary Ecology, 34: 41–57. https://doi.org/10.1007/s10682-019-10024-1

Mbata GN and Warsi S. 2019. *Habrobracon hebetor* and *Pteromalus cerealellae* as tools in post-harvest integrated pest management. Insects, 10, 85: 1-12; https://doi:10.3390/insects10040085

Mohaghegh J and Amir-Maafi M. 2007. Reproduction of the predatory stinkbug *Andrallus spinidens* (F.) (Heteroptera: Pentatomidae) on live and frozen prey. Applied Entomology and Zoology, 42: 15–20. https://doi.org/10.1303/aez.2007.15

Mokhber A, Amoui AM, Charkame N and Taghikhani N. 2015. Entrepreneurship package for the production of biological agents, construction of an insectarium for *Bracon hebetor* in order to be used in the biological control of medicinal plant farms. Israr al-Alam Publications. Tehran Iran. 54 p. (In Persian).

Mousapour Z, Askarianzadeh A and Abbasipour H. 2015. Cold storage of adult parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) and the flour moth larvae, *Anagasta kuehniella* (Zeller) at 12°C. Plant Pest Research, 5(3): 17-29. (In Persian).

Noosidum A, Somsri W and Chandrapatya A. 2018. Effect of cold storage on development of *Habrobracon hebetor* (Say) (Braconidae: Hymenoptera) reared on *Corcyra cephalonica* Stainton (Lepidoptera: Pyralidae). Walailak Journal of Science and Technology (WJST), 17(2): 128–138. https://doi.org/10.48048/wjst.2020.3694

Poinar GO. 1975. Entomogenous nematodes. Leiden, Netherlands, EJ Bill.

Qiu R, Li J, Desneux N, Zang L, He X and Lü X. 2024. Dual effects of cold storage and stored host eggs of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on the reproductive capacity of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae). Insects, 15, 233. https://doi.org/10.3390/insects15040233

Rathee M and Ram P. 2018. Impact of cold storage on the performance of entomophagous insects: an overview. Phytoparasitica, 46: 421-449. https://doi.org/10.1007/s12600-018-0683-5

Saadat D, Asghar Seraj AA, Goldansaz SH and Williams L. 2016. Factors affecting reproductive success and life history parameters of *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) from three host-associated populations. Biological Control, 96: 86-92. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.008

Sahayaraj K and Jeyalekshmi T. 2002. Mass rearing of *Rhynocoris marginatus* Fab. on live and frozen larvae of *Corcyra cephalonica* Stainton. Entomologica Croatica, 6: 35–49.

SAS Institute, 2006: SAS/STAT User's Guide, Version 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Siam A, Zohdy NZM, ELHafez AMA, Moursy LE and Sherif HAEL. 2019. Effect of different cold storage periods of rearing host eggs on the performance of the parasitoid *Trichogramma evanescens* (Westwood) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Egyptian Journal of Biological Pest Control, 29: 34. https://doi.org/10.1186/s41938-019-0139-3

Sinclair BJ. 2015. Linking energetics and overwintering in temperate insects. Journal of Thermal Biology, 54: 5–11. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.07.007

Tezze AA and Botto EN. 2004. Effect of cold storage on the quality of *Trichogramma nerudai* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Biological Control, 30(1): 11-6. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2003.09.008

Vaez N, Mohammadi D and Pourgoli Z. 2019. The role of host storage in the quality of *Trichogramma brassicae* Bezdenko. Journal of Applied Research in Plant Protection, 8(1): 71-95 (In Persian). https://sid.ir/paper/237668/en

Vaez N, Pourgoli Z and Mohammadi D. 2018. Influences of cold storage period of *Anagasta kuehnieela* (Zeller) eEggs on biological parameters of *Trichogramma brassicae* Bezdenko. Journal of Applied Research in Plant Protection, 7(2): 145-162 (In Persian). https://arpp.tabrizu.ac.ir/article_7882.html?lang=en

van Lenteren, JV and Tommasini MG. 2003. Mass production, storage, shipment and release of natural enemies. In van Lenteren, JC. (Ed.). Quality control and production of biological control agents: theory and testing procedures. Wallingford UK: CABI publishing. pp. 181-189. https://doi.org/10.1079/9780851996882.0181

Visser B, Le Lann C, den Blanken FJ, Harvey JA, van Alphen JJM and Ellers J. 2010. Loss of lipid synthesis as an evolutionary consequence of a parasitic lifestyle. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107: 8677–8682. https://doi.org/10.1073/pnas.100174410

Wanderley EA, Ramalho ES, Zanuncio JC and Leite GLD. 2007. Thermal requirements and development of *Bracon vulgaris*, a parasitoid of the cotton boll weevil. Entomology, 35(4): 336-345.

Warsi S and Mbata GN. 2018. Impact of peanut depth and container size on the parasitism of diapausing and nondiapausing larvae of Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) by *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae)," Environmental Entomology, 47(5): 1226-1232. https://doi.org/10.1093/ee/nvy099

Warsi S and Mbata GN. 2018. Impact of peanut depth and container size on the parasitism of diapausing and nondiapausing larvae of Indian meal moth (Lepidoptera: Pralidae) *by Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). Environmental Entomology, 47: 1226–1232. https://doi.org/10.1093/ee/nvy099

Warsi S, Mbata GN and Payton ME. 2018. Improvement of reproductive performance of *Habrobracon hebetor*: consideration of diapausing and nondiapausing larvae of *Plodia interpunctella*. Biological Control, 118: 32–36. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.12.003

Xing B, Yang L, Gulinuer A, Li F and Wu S. 2022. Effect of pupal cold storage on reproductive performance of *Microplitis manila* (Hymenoptera: Braconidae), a larval parasitoid of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Insects, 13, 449. https://doi.org/10.3390/insects13050449

Zandi-Sohani N and Tamoli Torfi E. 2024. Effect of cold storage on biological and morphological characteristics of the parasitoid wasp, *Aenasius bambawalei* (Hym.: Encyrtidae). Plant Pest Research, 14(1): 61-72. (In Persian). https://doi.org/10.22124/iprj.2024.27090.1568

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2024, Pages 379-396

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

The effect of Different Tillage Methods and Application of Plant Residues on Yield and Growth Characteristics of triticale (X Triticosecale Wittmack)

Soheila Hosseinzadeh[1], [2*]Esfandiar Fateh, Amir Aynehband[3], Masoumeh Farzaneh[4], Jaafar Habibi Asl [5]

Received: : 30 April 2024	**Accepted:** 13 August 2024

1- PhD Student of Agroecology, Production Engineering and Plant Genetic Dept, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. Iran.
2- Assoc. Prof., Production Engineering and Plant Genetic Dept, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. Iran.
3. Prof., Production Engineering and Plant Genetic Dept, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. Iran.
4- Assist. Prof., Production Engineering and Plant Genetic Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. Iran.
5- Assist. Prof., Agriculture Engineering Research Dept, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran.
*Corresponding Author Email: e.fateh@scu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: This experiment was carried out with the aim of investigating the effect of different tillage methods and the use of plant residues on the yield and growth characteristics of triticale in the climatic conditions of Ahvaz, in the 2022-2023 growing season.

Materials and Methods: The experiment was carried out in split plots based on a randomized complete block design with three replications at Shahid Chamran University of Ahvaz during 2022-2023. The main factor includes different methods of tillage in three levels (conventional tillage, reduced tillage and no tillage) and the sub factor also includes 5 levels of plant residue application (without residues (control), wheat residues, mung bean, sesame and half of wheat residues + half of residues Mung bean) was considered.

Results: The results showed that the biological yield increased by 5% in conventional tillage treatment compared to reduced tillage and by 10.6% compared to no tillage. Among the application of different types of plant residues, the treatment related to the application of mung bean residues with 15.9 ton.ha^{-1} increased the biological yield with 33.6 percent compared to the treatment without application and 7.3 ton.ha^{-1}with 35.2 percent seed yield. The increase compared to the treatment without application was the highest. The lowest biological yield and grain related to the control treatment were 11.9 and 5.4 ton.ha^{-1}, respectively. The highest harvest index was related to conventional tillage treatment with 46.9% and the lowest of this trait was related to reduced tillage with 45.6%. The use of tillage type had a significant effect on plant height, spike length, number of spikes per square meter, seed yield and biological yield, but it did not affect the weight of 1000 seeds. The interaction effect of tillage treatments and the use of plant residues showed that the highest grain yield was equal to 8.6 ton.ha^{-1} from the treatment of conventional tillage and the use of mung bean residues, and the lowest value obtained at no tillage and without the use of residues (control) with 5.3 ton.ha^{-1}. The grain yield in the conventional tillage method was 13.3% and 7.9% more than the methods without tillage and reduced tillage.

Conclusion: It seems that, at least in the short term, the implementation of conservation tillage systems has no effect on yield or even causes it to decrease, and long-term studies are needed to determine the effectiveness of conservation tillage systems. Carrying out conservation tillage operations by maintaining residues on the soil surface to maintain yield potential, improve soil fertility and increase the activity of earthworms, increase moisture storage and increase organic matter.

Key words: Biological Yield, Increasing Organic Matter, Soil Fertility, Sanabad Cultivar, Sustainable Agriculture, Yield Components

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Esfandiar Fateh Email: e.fateh@scu.ac.ir
https://doi.org/ 10.22034/SAPS.2024.61454.3215

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۳۹۶-۳۷۹

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاربرد بقایای گیاهی بر عملکرد و ویژگی‌های رشدی تریتیکاله (X Triticosecale Wittmack)

سهیلا حسین‌زاده[۱]، اسفندیار فاتح*[۲]، امیر آینه‌بند[۳]، معصومه فرزانه[۴]، جعفر حبیبی‌اصل[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۳

۱. دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز،اهواز، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۵. استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، اهواز، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: e.fateh@scu.ac.ir

چکیده

اهداف: این آزمایش با هدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاربرد بقایای گیاهی بر عملکرد و ویژگی‌های رشدی تریتیکاله در شرایط آب و هوایی اهواز، در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار درمزرعه آموزشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا گردید. فاکتور اصلی، شامل روش‌های مختلف خاک‌ورزی در سه سطح(خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) و فاکتور فرعی نیز شامل پنج سطح کاربرد بقایای گیاهی (بدون مصرف بقایا(شاهد)، بقایای گندم، لوبیا چشم بلبلی، کنجد و نصف بقایای گندم + نصف بقایای لوبیا چشم بلبلی)در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد عملکرد بیولوژیک، در تیمار خاک‌ورزی مرسوم نسبت به کم‌خاک‌ورزی ۵ درصد و نسبت به بدون خاک‌ورزی ۱۰/۶ درصد افزایش داشت. در بین کاربرد انواع مختلف بقایای گیاهی، تیمار مربوط به کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی با ۱۵/۹ تن در هکتار عملکرد بیولوژیک با ۳۳/۶ درصد افزایش نسبت به تیمار بدون کاربرد و ۷/۳ تن در هکتار عملکرد دانه با ۳۵/۲ درصد افزایش نسبت به تیمار بدون کاربرد بیشترین مقدار را داشت. کمترین عملکرد بیولوژیک و دانه مربوط به تیمار شاهد به ترتیب با ۱۱/۹ و ۵/۴ تن در هکتار بود. بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم با ۴۶/۹ درصد و کمترین این صفت مربوط به کم‌خاک‌ورزی با ۴۵/۶ درصد بوده است. نوع خاک‌ورزی تاثیر معنی داری برارتفاع بوته ،طول سنبله ،تعداد سنبله در متر مربع ،عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تریتیکاله داشت ولی وزن هزار دانه را تحت تاثیر قرار نداد. اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و کاربرد بقایای گیاهی نشان داد بیشترین عملکرد دانه معادل ۸/۶ تن در هکتار از تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی و کمترین مقدار بدست آمده نیز مربوط به اثرتیمار بدون خاک‌ورزی و بدون کاربرد بقایا(شاهد) با ۵/۳ تن در هکتاربود. عملکرد دانه در روش خاک‌ورزی مرسوم ۱۳/۳ درصد و ۷/۹ درصد بیشتر از روش‌های بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی بود.

نتیجه‌گیری: به نظر می رسد حداقل در کوتاه مدت اجرای سامانه های خاک‌ورزی حفاظتی تاثیری بر عملکرد نداشته و یا حتی سبب کاهش آن شوند و به مطالعات دراز مدت برای تعیین اثر بخشی سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی نیاز است. در مجموع انتظار می‌رود در دراز مدت نتایج مثبتی از انجام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی با حفظ بقایا در سطح خاک جهت حفظ پتانسیل عملکرد، بهبود حاصل‌خیزی خاک و افزایش فعالیت کرم‌های خاکی، افزایش ذخیره رطوبتی وافزایش ماده آلی بدست آید.

واژه های کلیدی: اجزای عملکرد، افزایش ماده آلی، حاصل‌خیزی خاک، رقم سنابار، کشاورزی پایدار، عملکرد بیولوژیک

مقدمه

براساس گزارش صندوق جمعیت سازمان ملل متحد (UNPF)[1]پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ده میلیلرد نفر برسد و ایران نیز در سال مذکور جزو ۲۰ کشور اول پرجمعیت جهان خواهد بود. مطابق گزارش فائو[2](FAO) در سال۲۰۲۰ ، به منظور تأمین مواد غذایی مردم جهان در سال ۲۰۵۰، بایستی تولید محصولات کشاورزی و غذایی، حدود ۷۰ درصد افزایش یابد(میرزاشاهی و غفاری نژاد۲۰۲۰). افزایش نگرانی‌ها در مورد تولید غذای سالم و کیفیت محیط زیست و تاکید بر ظرفیت تولید پایدار خاک‌ها، لزوم استفاده از روش‌های مدیریتی مناسب به منظور حفظ و بهبود ماده‌آلی خاک را روشن می‌سازد(مو وهمکاران۲۰۱۶). خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تولید محصولات کشاورزی است. سلامت خاک عامل اساسی برای دستیابی به سامانه‌های کشاورزی پایدار و برآورد تقاضای روزافزون بشر برای غذا، خوراک، الیاف و سوخت می‌باشد (چروبین و همکاران ۲۰۱۷). سلامت خاک به ظرفیت خاک برای تحقق عملکرد به عنوان یک بوم نظام زنده که گیاهان، حیوانات و انسان ها را حفظ می کند و خدمات بوم نظام از جمله تولیدات کشاورزی را پشتیبانی می کند، اشاره دارد(ویلیامز و همکاران۲۰۲۰).

عملیات خاک‌ورزی با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بر عملکرد محصول مؤثر است (کاستلینی و دومنیکو ۲۰۱۲). ربیعی و همکاران (۲۰۱۱) شخم زدن مکرر را موجب تخریب ساختمان خاک و در پی آن ایجاد لایه ای سخت در عمق و خاک زیرین دانستند. ایجاد بستر مناسب رشد گیاهان با انتخاب و اجرای صحیح یک سیستم خاک‌ورزی فراهم می‌شود. خاک‌ورزی متداول به عنوان عاملی که فرسایش خاک را تسریع کرده، ذخیره کربن را کاهش داده و در تخریب ساختمان خاک نقش دارد، امروزه با چالش جدی مواجه است. تولید پایدار، مستلزم استفاده کارآمد و موثر از منابع درون مزرعه‌ای از قبیل بقایای‌گیاهی پس از برداشت می‌باشد(تورما ۲۰۱۸). پایداری کشاورزی نیازمند تغییر از روش‌های متداول به روش‌های کارآمدی است که ضمن تأمین تقاضای رو به افزایش مواد غذایی، امنیت فرصت‌های آینده و حفظ کیفیت و کمیت منابع طبیعی از جمله خاک را در نظر داشته باشد(لینگ و همکاران ۲۰۱۱).

تاکنون راهبردهای متفاوتی در این زمینه ارائه شده‌اند که آن جمله میتوان به کشاورزی حفاظتی[3] اشاره کرد. کشاورزی حفاظتی سبب کاهش مصرف انرژی در کشاورزی گردیده و از این طریق، انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد و در نتیجه‌ی افزایش فعالیت‌های زیستی در خاک، عملکرد و بهره‌وری عوامل تولید در بلندمدت افزایش یافته و به حفظ محیط زیست کمک می‌شود .به‌کارگیری این سامانه ضمن افزایش عملکرد تولید در بلندمدت، مبتنی بر پایداری اکولوژیکی بوده و در اثر به‌کارگیری آن، افزایش تنوع و فعالیتهای زیستی در خاک تقویت شده و همچنین به‌دلیل کاهش فرسایش خاک، استفاده از کودهای شیمیایی، آفت‌کشها و علف‌کشها در دراز مدت نیز کاهش مییابد .همه‌ی این

[1] United Nations Population Fund

[2] Food and Agriculture Organization of the United Nations

1.Conservation Agriculture

مسایل منجر به بهبود وضعیت سودآوری در کشاورزی خواهد شد.نتایج تحقیقات فتحی و همکاران(۲۰۲۱) نشان دادکه پذیرش سامانه کشاورزی حفاظتی به‌دلیل ایجاد بهره‌وری و عملکرد بیشتر، کاهش هزینه تولید و بهبود سودآوری، انعطاف‌پذیری بهتر در برابر تنش‌های محیطی، کاهش فرسایش و تخریب خاک و افزایش ماده آلی، به یک سامانه در حال رشد تبدیل شده است، به‌گونه‌ای که سطح زیر کشت به این شیوه در جهان از۲/۸ میلیون هکتاردر سال ۱۹۷۳ به بیش از ۱۸۰ میلیون هکتار در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته است. سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی با حفظ و اضافه کردن بقایای گیاهی موجب افزایش مواد آلی و دست‌یابی به توازن مناسب مواد آلی خاک می‌گردد(ازپینار و کای ۲۰۱۶، زاپار و همکاران۲۰۱۲، کوپر و همکاران ۲۰۲۰).

نگهداری بقایای محصول در خاک‌های کشاورزی دارای اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر سلامت و کیفیت خاک است(لال ۲۰۱۶). کریمی و قدسی (۲۰۱۹) اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر میزان عملکرد، حجم آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب و خصوصیات زراعی محصولات در تناوب زراعی پنبه-گندم در منطقه معتدل خراسان رضوی را مورد بررسی قراردادند، نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب گندم بصورت غیرمعنی‌داری از تیمار بی‌خاک‌ورزی و بدون بقایای گیاهی حاصل شد. آنها علت این موضوع را حذف عملیات خاک‌ورزی و کشت مستقیم دانسته که موجب افزایش عملکرد دانه گندم گزارش شده که از نظر اقتصادی نیز قابل توصیه اعلام شده ضمن اینکه کاهش هزینه‌های تولید علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌ها و بهبود خصوصیات ساختار خاک، عملکرد بالاتری حاصل گردیده و همان‌گونه که در فواید کشاورزی حفاظتی آمده است موجب بهبود و افزایش بهره وری مصرف آب خواهد گردید، بر اساس این آزمایش حفظ یا حذف بقایای گیاهی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد نداشته ولی اثرات مثبت بقایای گیاهی بر بهبود خصوصیات خاک و به تبع آن بر عملکرد محصولات زراعی در میان مدت یا دراز مدت قابل انتظار گزارش شده است.

امانی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی در کشت گندم در منطقه خنداب استان مرکزی نتیجه گرفتند که با انجام روش‌های خاک‌ورزی حفاظتیعملکرد محصول گندم کاهش قابل‌توجهی نمی‌یابد و اختلاف عملکرد این روش با روش کشت متداول معنی‌دار نبوده که علت را تردد کمتر ماشین‌آلات در مزرعه و صرف انرژی کمتر عنوان نمودند. قاضی نژاد و همکاران(۲۰۲۲) اثر روش خاک‌ورزی و بقایای گندم بر بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی و عملکرد ذرت دانه ای را در دزفول مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که خاک‌ورزی مرس‌وم در ش‌رای‌ط ع‌دم وج‌ود بقایای گندم و بدون خاک‌ورزی در شرایط وجود بقایای گندم به ترتیب با ۳/۷۳ و ۱/۹۶درصد، بیشترین و کمترین ضریب سرعت سبز شدن را به خود اختصاص دادند. بیشترین عملکرد دانه ذرت در سامانه ی کم‌خاک‌ورزی و حفظ بقایا گزارش شد که نسبت به سامانه‌ی بدون خاک‌ورزی منجر به افزایش ۳۴ درصدی عملکرد محصول شد که ناشی از ذخیره رطوبتی خاک در بقایای موجود در سطح خاک و استقرار و تماس مناسب بذر با خاک و تغییر در معدنی شدن و ثبات بیشتر عناصر غذایی در خاک به وسیله افزایش جمعیت میکروبی و عرضه عناصر غذایی به گیاه می‌باشد.

تاکنون مطالعات زیادی در خصوص تاثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و مدیریت بقایای گیاهی بر میزان عملکرد گیاهان مختلف از جمله گیاهان خانواده غلات درنقاط مختلف کشور و جهان صورت پذیرفته با این حال، سطح زیرکشت کشاورزی حفاظتی در ایران حدود ۱/۷ میلیون هکتار می‌باشد(زلقی و همکاران۲۰۱۷). در ایران که زمین‌های فقیر و غیرحاصل‌خیز رو به فزونی نهاده و همچنین خشکی همواره عامل اصلی محدودکننده تولید در گندم‌زارها بوده ضرورت تغییر الگوی کاشت و سوق به سوی کشت محصولاتی که قادر به تحمل شرایط سخت ونامطلوب

باشند اجتناب‌ناپذیر است. یکی از این گیاهان تریتیکاله[1] بوده که از قابلیت بالایی در تحمل به تنش‌های محیطی برخوردار می‌باشد، تریتیکاله به‌عنوان گیاه جدید با داشتن دامنه سازگاری وسیع‌تر از هریک از والدین خود (گندم به عنوان والد مادری و چاودار به عنوان والد پدری) قادر است سطح کشت بیشتری را در دنیا به خود اختصاص دهد. این دستاورد اصلاح نباتات در قرن گذشته با استفاده از منابع تنوع ژنتیکی در گیاهان و با هدف ایجاد غله‌ای با کیفیت برتر گندم (بالابودن درصد پروتئین و عملکرد بیشتر) و دارا بودن تحمل به تنش‌های

افزایش بهره‌وری در این گونه اراضی و کاهش واردات خوراک دام شود. لذا در راستای برآورده نمودن چالش‌هایی همچون تامین مواد غذایی،کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی، توجه جدی به حفظ کیفیت خاک بعنوان مولفه اصلی در کشاورزی پایدار این پژوهش با هدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاربرد بقایای گیاهی بر عملکرد و ویژگی‌های رشدی تریتیکاله در شرایط آب و هوایی اهواز اجرا شد.

مواد و روش‌ها

زنده و غیرزنده (مقاومت به سرما، مقاومت به بیماریها، رشد سریع)همچون چاودار ایجاد شده است.

تریتیکاله به عنوان یک منبع جدید تهیه علوفه دام و طیور در اراضی کم بازده و حاشیه ای ضرورت دارد(قدسی و همکاران ۲۰۱۳). با توجه به سایر موارد ذکر شده و نظر به‌اینکه بخش قابل‌توجهی از اراضی استان خوزستان از اراضی کم‌بازده می‌باشد که در برخی موارد با محدودیت‌های کمبود آب و شوری نیز مواجه هستند و خصوصیات زراعی تریتیکاله، کشت این گیاه در اراضی‌حاشیه ای و کم‌بازده استان می‌تواند علاوه بر بهبود وضع اقتصادی کشاورزان، موجب

آزمایش در مزرعه آموزشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. مزرعه مذکور در جنوب غربی شهرستان اهواز، در حاشیه غربی رود کارون، با موقعیت جغرافیایی: ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی (طول جغرافیایی) و ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی (عرض جغرافیایی) با ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد. قبل از اجرای طرح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد تجزیه قرار گرفت برخی از مشخصات خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ – خواص فیزیکی شیمیایی خاک محل آزمایش

ماده آلی (%)	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	پتاسیم قابل جذب (mg/ kg)	فسفر قابل جذب (mg /kg)	نیتروژن کل (%)	بافت خاک	عمق نمونه برداری (cm)
۰/۳	۱/۲۴	۷/۸	۱۴۴	۱۴/۴	۰/۱	رسی لومی	۰-۳۰

طرح آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی روش‌های مختلف خاک‌ورزی در سه سطح شامل۱- خاک‌ورزی مرسوم[2]،۲- کم‌خاک‌ورزی[3] و۳- بدون خاک‌ورزی[4] و فاکتور فرعی کاربرد بقایای گیاهی در پنج سطح شامل۱- شاهد(عدم وجود بقایای گیاهی):M1، ۲- کاربرد بقایای گندم:M2 ، ۳- کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی:M3، ۴- کاربرد بقایای کنجد:M4 و ۵- کاربرد نصف بقایای گندم + نصف بقایای لوبیا چشم بلبلی:M5 بود. کشت قبلی گندم بود که تمامی بقایا قبل از انجام تهیه زمین و اجرای نقشه کشت از سطح مزرعه آزمایشی جمع آوری شد. بقایای مورد استفاده در طرح آزمایشی با توجه به زمان برداشت هر کدام از آنها از سطح مزارع استان جمع‌آوری و میزان بقایای در

1. Wittmack Triticosecale .X
2. Conventional tillage
3. Reduced tillage
4. No tillage

نظر گرفته برای هر کرت، تقریبا ۳۰٪ عملکرد کاه و کلش و بیولوژیک محصول بوده که بر این اساس برای گندم، کنجد و لوبیا چشم بلبلی به ترتیب ۳، ۱/۵ و ۱ تن در هکتار می‌باشد. با توجه به مساحت هر کرت فرعی که ۶ متر مربع بود، به ترتیب مقادیر ۱۸۰۰، ۹۰۰ و ۶۰۰ گرم از بقایای مورد نظر استفاده شد. از نظر نحوه کاربرد بقایا در زمان تهیه کرت های فرعی با توجه به نقشه کشت بقایای مورد نظر بصورت پابیل با خاک مخلوط شدند، هر تکرار شامل ۱۵ تیمار بود و در مجموع تعداد ۴۵ کرت که فاصله کرت‌های اصلی ۵ متر و کرت‌های فرعی نیم متر و فاصله بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. جهت اعمال تیمار خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان‌دار به همراه دو دیسک و ماله استفاده شد. در تیمار کم‌خاک‌ورزی فقط از دو باردیسک استفاده گردید و در تیمار بدون‌خاک‌ورزی کشت مستقیم بذر بدون هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی و بصورت دستی و با استفاده از شیارکن و نیروی کارگری انجام شد. بذررقم مورد نظر از موسسه بذر و نهال کرج تهیه و در تاریخ ۲۸ آبان ۱۴۰۱ با توجه به نقشه آزمایش عملیات کاشت تریتیکاله با استفاده از دست انجام پذیرفت. رقم تریتیکاله کاشته شده رقم، سناباد و میزان بذر مصرفی ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و کشت بصورت ردیفی با استفاده از شیارکن به فاصله خطوط کشت ۲۰ سانتی صورت گرفت. از نظرمیزان کود مصرفی تمامی کود فسفات (حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل) و پتاس(حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم)و یک سوم کود اوره (نیترات آمونیوم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در زمان کاشت و مابقی کود اوره در دو مرحله(پتجه‌زنی و اوایل‌گلدهی) به صورت سرک (هر مرحله ۱۰۰کیلوگرم در هکتار) با دست در مزرعه پخش و دو مرحله نیز از کود ریز مغذی هوموکسال ۹۵٪ مولتی‌کم[1] که از شرکت توسعه و بهبود نهاده‌های کشاورزی پارس یزد بعنوان وارد کننده این کود ریزمغذی نهیه و بصورت محلول پاشی همراه آب آبیاری(به میزان یک کیلو گرم در هکتار) در کرت‌ها استفاده شد. این کود ریز مغذی شامل ۱۲٪ پتاسیم محلول در آب ،۴۸ ٪ اسید هیومیک و ۲۵ ٪ اسید فولویک میباشد. سایر عملیات زراعی شامل آبیاری کرتی و وجین علف‌های هرز بطور یکسان برای تمامی کرتها اعمال شد. قبل از برداشت نهایی جهت اندازه‌گیری اجزای عملکرد پس از کادراندازی جهت تعیین تعداد بوته در متر مربع تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و تعداد دانه در سنبله،وزن هزار دانه به‌همراه ارتفاع بوته،وزن خوشه،اندازه خوشه اندازه‌گیری شدند و در زمان برداشت که در ۱۴ اردیبهشت ۱۴۰۲ و بصورت یکسان برای کلیه تکرارها صورت گرفت، بوته‌های تریتیکاله از مساحت ۲ متر مربع با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای با داس بریده و برداشت شدند. در این آزمایش ویژگی‌هایی شامل ارتفاع بوته، طول و وزن سنبله، عملکرد دانه وعملکرد بیولوژیک، اجزای‌عملکرد، شاخص‌برداشت و سایر صفات مورد مطالعه قرار گرفت. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار آماری SAS ۹/۳ انجام و برای مقایسه میانگین ها هم از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید. همچنین رسم شکل‌ها نیز به کمک نرم افزار Excel ۲۰۱۶ صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر تیمارهای خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار می‌باشد(جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر ارتفاع بوته نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته(۱۳۴/۷ سانتی متر) از برهم‌کنش تیمار خاک‌ورزی مرسوم و تیمار ترکیبی (کاربرد نصف بقایای گندم ونصف بقایای لوبیا چشم بلبلی) و کمترین(۱۱۲/۷ سانتی متر) از تیمار بدون‌خاک‌ورزی و شاهد (عدم کاربرد بقایا) بدست آمد(جدول ۴). بررسی مقایسه میانگین روش‌های مختلف خاک‌ورزی افزایش ۷/۸ درصدی روش خاک‌ورزی مرسوم نسبت به بدون‌خاک‌ورزی و ۵/۷ درصدی نسبت به کم‌خاک‌ورزی را نشان داد، در روش بدون خاک‌ورزی به دلیل گسترش کمتر ریشه در این

1. Humuxal%95

روش، نهایتاً رشد کمتر رویشی و کاهش ارتفاع ساقه دور از انتظار نیست.

همچنین بین نوع کاربرد بقایا از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در یک گروه قرار گرفتند ولی هر کدام به تنهایی نسبت به تیمار شاهد(عدم کاربرد بقایا) بین ۵/۳ تا ۷/۶ درصد افزایش نشان دادند(جدول ۳).برخی از محققین رشد اندام‌های هوایی را تابعی از رشد ریشه‌ها دانسته و معتقدند با افزایش عمق عملیات خاک‌ورزی رشد رویشی گیاه بهبود پیدا می‌کند. در مقایسه بین بدون‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی، احتمالاً کم‌خاک‌ورزی به دلیل به هم زدن لایه سطحی خاک و بهبود شرایط تهویه‌ای آن به خصوص در ابتدای فصل رشد و توزیع یکنواخت‌تر عناصر غذایی در پروفیل خاک نقش مؤثرتری درافزایش ارتفاع بوته داشته است. از سوی دیگر افزایش ارتفاع بوته رابطه مستقیمی با میزان مصرف آب، توسعه ریشه در عمق بیشتر خاک برای جذب آب و مواد آلی خاک دارد.اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک ممکن است باعث کاهش رشد در ابتدای دوره رشد شود و در برخی از موارد این کاهش رشد در انتهای دوره ممکن است جبران شود. این امر احتمالا به دلیل آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی از بقایای برگردانده شده می‌باشد(کونگ ۲۰۱۴). ضمیر و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که ارتفاع گیاه تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی قرار دارد به طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته در خاک‌ورزی مرسوم و کمترین ارتفاع بوته مربوط به بی‌خاک‌ورزی گزارش شد. نتایج تحقیقات شهپری و همکاران(۲۰۱۶)در بررسی تاثیر نوع بقایا ، مدیریت بقایا و نیتروژن بر عملکرد ،کیفیت گندم دوروم و عناصر غذایی پر مصرف مؤید آن است که تیمار برگرداندن بقایای گیاهی اثر مثبتی بر ارتفاع بوته داشت و تا حدی باعث افزایش فراهمی عناصر موجود در خاک شد.

طول و وزن سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایا بر روی دو صفت مذکور معنی دار نبود(جدول ۲). بیشترین میزان بدست آمده در تیمارهای خاک‌ورزی به ترتیب مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم(۱۴/۱ سانتی‌متر) و وزن(۳/۴ گرم) و کمترین آن با طول ۱۳/۳ سانتی‌متر و وزن ۳/۳ گرم مربوط به تیمارهای بدون‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی بود که در یک گروه قرارگرفتند. در بین تیمارهای کاربرد بقایای گیاهی، تیمار کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی، بیشترین طول (۱۵ سانتی‌متر) و وزن سنبله(۴/۲ گرم) را داشت(جدول ۳). وزن تک سنبله بستگی به تعداد سنبلچه ها، وزن دانه و سنبلچه ها دارد. برخورداری گیاه در ابتدای فصل رشد و فراهمی عناصر نقش اساسی در تعیین تعداد سنبلچه و وزن آنها دارد که در نتیجه استمرار این فراهمی و جذب راحت تر و سریع تر عناصر کودهای شیمیایی منجر به افزایش وزن سنبله درتیمارهای کاربرد بقایای گیاهی شده است. برخی از پژوهش‌گران رشد اندام‌های هوایی را تابعی از رشد ریشه‌ها می‌دانند ،که بهبود محیط رشد ریشه سبب افزایش جذب و در نتیجه افزایش رشد قسمت‌های هوایی شده است.کمیلی و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی تاثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم گزارش نمودند بیشترین طول سنبله از تیمار خاک‌ورزی متداول و عدم کاربرد بقایا بدست آمد.گوپتا و همکاران(۲۰۲۴) در بررسی اثر متقابل مدیریت طولانی مدت بقایای گیاهی و کوددهی فسفر بر روی عملکرد گندم و سلامت خاک با حفظ بقایای برنج – گندم گزارش نمودند حفظ بقایای برنج – گندم طول سنبله را به میزان ۱۱/۵ در مقایسه با تیمار بدون بقایا بهبود بخشیده است.

تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن‌ست که اثرمتقابل خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر صفت تعداد دانه در سنبله معنی‌دار نمی‌باشد ولی اثر کاربرد بقایا بر روی این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در بین روش‌های خاک‌ورزی، بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم(۵۱/۷ دانه) و کمترین مربوط به تیمار بدون‌خاک‌ورزی(۴۹/۸ دانه) بود. در خصوص تیمارکاربرد بقایا،کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی و تیمار ترکیبی (نصف کاربرد بقایای گندم و نصف کاربرد

بقایای لوبیا چشم بلبلی) به ترتیب با ۵۹/۲ و ۵۵/۸ دانه در سنبله بیشترین مقدار را از نظر این صفت دارا بوده و کمترین مقدار بدست آمده (۴۹/۴ دانه) از تیمار عدم کاربرد(شاهد) حاصل شد(جدول ۳).

مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا در مورد این صفت نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم با کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی(۶۱/۷ دانه) و کمترین مقدار نیز در تیمار کم‌خاک‌ورزی و عدم کاربرد بقایا(شاهد) با ۴۸/۴ دانه در سنبله به‌دست آمد(جدول ۴). آزاد سازی عناصر غذایی در هنگام تشکیل و پر شدن دانه‌ها و افزایش ماده خشک در اندام‌های رویشی (ساقه و برگ) از پوکی سنبلچه جلوگیری و سبب افزایش تعداد دانه در سنبله می‌شود. در این ارتباط دو و همکاران(۲۰۲۰) در بررسی عملکرد برنج معطر در سامانه های مختلف خاک‌ورزی (بدون‌خاک‌ورزی و مرسوم)در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ گزارش نمودند در سال‌های ابتدایی اجرای طرح (فصل زراعی اول)عملکرد دانه و تعداد دانه در خوشه در بدون‌خاک‌ورزی نسبت به مرسوم به علت کاهش تجمع ماده خشک و عدم تحرک و تجمع نیتروژن کل،فسفر و پتاسیم و کاهش میزان فتوسنتز خالص و محدود نمودن رشد و نمو برنج و محدودیت جذب نیتروژن کاهش و در فصل‌های بعدی زراعی بدون‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش قابل ملاحظه عملکرد گردید که علت افزایش نعداد خوشه مؤثر،تعداد دانه در خوشه و افزایش جذب مواد مغذی و افزایش فتوسنتز خالص و محتوی کلروفیل بالاترمی‌باشد. گوپتا و همکاران(۲۰۲۴) در بررسی اثر متقابل مدیریت طولانی مدت بقایای گیاهی و کوددهی فسفر بر روی عملکرد گندم و سلامت خاک با حفظ بقایای برنج – گندم گزارش نمودند تعداد دانه در سنبله با توجه به افزایش محتوی ماده آلی خاک و در دسترس بودن مواد مغذی و تعدیل گرمایی خاک بهبود یافته است که با نتایج چادهاری و اقبال(۲۰۱۳) ، مینا و همکاران (۲۰۱۵) و شارما و همکاران (۲۰۱۹)مطابقت دارد.

وزن هزار دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بروی صفت وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد(جدول ۲). وزن هزار دانه یک ویژگی ژنتیکی بوده و کمتر تحت تاثیر عوامل محیطی و مدیریتی قرار می‌گیرد و از آنجایی‌که تنها جزیی از عملکرد است که در انتهای چرخه رشد و نموی غلات شکل گرفته و میزان آن تابعی از مهیایی محیط برای رشد و البته تابعی از اثرات جبرانی بین اجزای عملکرد است(شریفی و همکاران،۱۳۹۷).

از نظر تیمارکاربرد بقایای گیاهی، بیشترین وزن هزار دانه به ترتیب از تیمار کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی (۵۲/۷گرم)و ترکیبی (نصف بقایای گندم + نصف بقایای لوبیا چشم بلبلی) به مقدار ۵۱/۸گرم و سپس کاربرد بقایای گندم(۵۰/۸گرم) حاصل شد. کمترین مقدار بدست آمده نیز مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد بقایا) (۴۸/۴گرم) بود(جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و کاربرد بقایای مختلف گیاهی نیز نشان داد بیشترین وزن هزار دانه در تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی (۵۶/۱ گرم) و کمترین(۴۷/۷گرم) در تیمار بدون‌خاک‌ورزی و عدم کاربرد بقایا(شاهد) بود(جدول ۴).

خلیلی‌طرقبه و همکاران (۲۰۲۲) گزارش دادند اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر روی وزن هزار دانه گندم تاثیر معنی‌داری دارد و در سطوح مختلف تیمار عدم خاک‌ورزی به طور معنی‌داری کمتر می‌باشد، آنها گزارش نمودند بیشترین وزن هزار دانه در خاک‌ورزی متداول و در سطح ۳۰ درصد بقایای گیاهی مشاهده شد که علت را وجود بقایای گیاهی و برگشت بقایا به خاک از طریق انجام عملیات خاک‌ورزی و افزایش نیتروژن و کربن آلی خاک و فراهمی مطلوب‌تر عناصر غذایی در مقایسه با شرایط عدم وجود بقایای گیاهی گزارش دادند. خواجوی و لک (۲۰۲۳) نیز گزارش نمودند کمترین وزن هزار دانه در سیستم بی خاک‌ورزی بود که علت را کاهش عملکرد زیستی و در نتیجه کم بودن سطوح فتوسنتز کننده در زمان پرشدن دانه ها و کاهش مراحل مختلف رشد و نمو گندم در اثر کاهش دمای خاک دانستند.

جدول۲ – تجزیه واریانس میانگین مربعات اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایای گیاهی برصفات مورفولوژیکی و عملکرد کمی تریتیکاله

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		ارتفاع بوته	طول سنبله	وزن سنبله	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
بلوک	۲	۲۷/۸ *	۱/۳ **	۰/۱ ^{ns}	۴۸/۵ ^{ns}	۸/۹ ^{ns}	۵/۳ ^{ns}	۲/۳ *	۳/۲ ^{ns}	۳۲/۱ ^{ns}
خاک‌ورزی	۲	۳۶۲/۳ **	۳/۸ **	۰/۳ ^{ns}	۸/۶ ^{ns}	۱۵/۹ ^{ns}	۶۷۹/۶ **	۲/۶ **	۷/۲ *	۶/۶ ^{ns}
خطای اصلی	۴	۲/۷	۰/۰۱	۰/۳	۱۳/۷	۲۳/۹	۷۹/۷	۰/۴	۰/۷	۲۴/۱
بقایا	۴	۱۱۳/۶ **	۱۳/۳ **	۳/۲ **	۱۲۸/۹ **	۳۰/۲ **	۲۴۳/۸ **	۵/۱ **	۲۱/۶ **	۱۴/۵ ^{ns}
خاک‌ورزی × بقایا	۸	۸۸/۱ **	۰/۵ ^{ns}	۰/۳ ^{ns}	۷/۱ ^{ns}	۶/۶ **	۱۵/۸ *	۰/۹ **	۱/۷ ^{ns}	۶۷/۶ *
خطای کرت فرعی	۲۴	۹/۶	۰/۶	۰/۵	۱۰/۹	۱/۶	۷/۷	۰/۲	۱/۶	۲۹/۴
ضریب تغییرات (٪)		۲/۵	۵/۳	۲۲	۶/۰۱	۲/۵	۱/۲	۷/۱	۹/۱	۱۱/۷

ns، **و * به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح یک و پنج درصد می‌باشد.

تعداد سنبله در مترمربع

تعداد سنبله در مترمربع تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و کاربرد بقایا در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۵٪ قرار گرفت(جدول ۲). بیشترین تعداد سنبله در مترمربع در سیستم خاک‌ورزی مرسوم(۲۳۷/۹) و کمترین آن از تیمار بدون‌خاک‌ورزی(۲۲۴/۵) به‌دست آمد. همچنین مقایسه میانگین اثر کاربرد بقایا نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در مترمربع مربوط به کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی(۲۳۸/۳) و کمترین مقدار مربوط به تیمار عدم کاربرد بقایا(شاهد) با ۲۲۵ سنبله در متر مربع بود(جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا نیز نشان داد تیمار خاک‌ورزی مرسوم با کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی، بیشترین(۲۴۷/۴) و تیمار بدون‌خاک‌ورزی و عدم کاربرد بقایا(شاهد) کمترین (۲۱۹/۲) تعداد سنبله در مترمربع را تولید کرد (جدول ۴).

به نظر می رسد در شرایط ابتدای فصل رشد که تعداد سنبله در واحد سطح تعیین می‌شود، وجود بقایا از طریق فراهمی بهتر رطوبت توانسته اثر مثبتی بر این جزء عملکرد داشته باشد. مشخص شده است که انجام عملیات خاک‌ورزی بهینه از طریق تاثیر بر هوادهی خاک، پیوستگی و پایداری و اندازه منافذ و همچنین مقدارمنافذ زیستی خاک، درجه حرارت خاک، میزان رطوبت و عناصر غذائی خاک و نیز برهم‌کنش آنها، می‌تواند میزان رشد ریشه و در نتیجه رشد بخش‌های هوایی گیاه را افزایش دهد(سپیده دم و رمرودی۲۰۱۵). آینه بند (۲۰۰۵) گزارش کرد که برگشت بقایای گیاهی به خاک، اثر معنی داری بر تعداد سنبله گندم در واحد سطح داشته و این اثر به میزان مصرف کود نیتروژن در گندم بستگی دارد. خلیلی‌طرقبه و همکاران(۲۰۲۲) گزارش نمودند اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و بقایای گیاهی برتعداد سنبله در مترمربع گندم معنی‌دار بود، آنها گزارش نمودند عدم خاک‌ورزی تعداد سنبله را به طور معنی داری کاهش داد اما بین سطوح مختلف بقایای گیاهی در تیمار عدم خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر روش‌های خاک‌ورزی و کاربرد بقایای گیاهی، بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد کمی تریتیکاله

روش‌های خاک‌ورزی	کاربرد بقایا	ارتفاع بوته (cm)	طول سنبله (cm)	وزن سنبله (gr)	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (gr)	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه ($ton.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($ton.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (٪)
مرسوم	بدون بقایای گیاهی(شاهد)	۱۲۵$^{c-e}$	۱۲/۵^{de}	۲/۹^{cd}	۴۹/۳^{ef}	۴۸/۱^{g}	۲۲۹/۱$^{e-g}$	۵/۴^{hi}	۱۲/۲^{de}	۴۴/۳$^{a-d}$
	بقایای گندم	۱۳۲/۶^{ab}	۱۴/۹^{ab}	۲/۸^{cd}	۵۶/۶$^{a-c}$	۵۲/۴^{bc}	۲۴۱/۴^{b}	۷/۱^{bc}	۱۵/۳$^{a-c}$	۴۶/۴$^{a-d}$
	بقایای لوبیا چشم بلبلی	۱۲۸/۸^{bc}	۱۵/۲^{a}	۴/۱^{ab}	۶۱/۷^{a}	۵۶/۱^{a}	۲۴۷/۴^{a}	۸/۶^{a}	۱۶/۵^{a}	۵۲/۱^{a}
	بقایای کنجد	۱۲۶/۵^{cd}	۱۳/۶^{cd}	۳/۳$^{a-d}$	۵۱$^{c-e}$	۴۹$^{e-g}$	۲۳۲^{de}	۵/۸$^{f-i}$	۱۳/۵$^{b-d}$	۴۲/۹$^{a-d}$
	ترکیبی(نصف بقایای گندم+نصف بقایای لوبیا چشم بلبلی)	۱۳۴/۷^{a}	۱۴/۲$^{a-c}$	۳/۵$^{a-c}$	۵۷/۷^{ab}	۵۲/۹^{b}	۲۳۹/۴^{bc}	۷/۳^{b}	۱۵/۳^{ab}	۴۷/۷$^{a-d}$
کم خاک‌ورزی	بدون بقایای گیاهی(شاهد)	۱۱۶^{gh}	۱۱/۴^{e}	۲/۷^{cd}	۴۸/۴^{f}	۴۹/۲$^{e-g}$	۲۲۳/۸^{fg}	۵/۶$^{g-i}$	۱۱/۸^{de}	۴۷/۴$^{a-d}$
	بقایای گندم	۱۲۰/۶$^{e-g}$	۱۳^{cd}	۳/۴$^{a-d}$	۵۵/۸$^{b-d}$	۵۰/۴$^{c-f}$	۲۳۵/۲^{cd}	۶/۹$^{b-e}$	۱۳/۸$^{b-d}$	۵۰^{ab}
	بقایای لوبیا چشم بلبلی	۱۳۲/۷^{ab}	۱۴/۹^{ab}	۴/۲^{ab}	۵۷/۹^{ab}	۴۹/۸$^{d-g}$	۲۳۸^{bc}	۶/۴$^{c-f}$	۱۶/۴^{a}	۳۹^{d}
	بقایای کنجد	۱۱۷/۷^{gh}	۱۲/۵^{de}	۲/۹$^{b-d}$	۵۳/۹$^{b-f}$	۴۹/۶$^{d-g}$	۲۲۹/۶^{ef}	۶/۲$^{e-g}$	۱۲/۲^{de}	۵۰/۸^{a}
	ترکیبی(نصف بقایای گندم+نصف بقایای لوبیا چشم بلبلی)	۱۲۵/۲$^{c-e}$	۱۳/۹^{bc}	۳/۶$^{a-c}$	۵۴/۵$^{b-e}$	۵۱/۶$^{b-d}$	۲۳۱$^{d-f}$	۶/۲$^{e-g}$	۱۵/۱$^{a-c}$	۴۱$^{b-d}$
بدون خاک‌ورزی	بدون بقایای گیاهی(شاهد)	۱۱۲/۷^{h}	۱۱/۵^{e}	۲/۱^{d}	۵۰/۴$^{d-f}$	۴۷/۷^{g}	۲۱۹/۲^{i}	۵/۳^{i}	۱۱/۴^{e}	۴۶/۵$^{a-d}$
	بقایای گندم	۱۲۳/۳$^{d-f}$	۱۴/۲$^{a-c}$	۳/۷$^{a-c}$	۵۴/۷$^{b-e}$	۴۹/۷$^{d-g}$	۲۲۴/۵^{gh}	۶/۱$^{f-h}$	۱۲/۷^{de}	۴۸$^{a-c}$
	بقایای لوبیا چشم بلبلی	۱۱۹/۲^{fg}	۱۴/۹^{ab}	۴/۳^{a}	۵۷/۹^{ab}	۵۲/۱^{bc}	۲۲۹/۵^{ef}	۶/۹$^{b-d}$	۱۴/۹$^{a-c}$	۴۶/۳$^{a-d}$
	بقایای کنجد	۱۲۸/۲$^{b-d}$	۱۲/۵^{de}	۳/۲$^{a-d}$	۵۱/۱$^{c-f}$	۴۸/۵^{fg}	۲۲۱/۷^{hi}	۵/۵$^{g-i}$	۱۳/۷$^{b-d}$	۴۰/۱^{cd}
	ترکیبی(نصف بقایای گندم+نصف بقایای لوبیا چشم بلبلی)	۱۱۷^{gh}	۱۳/۲^{cd}	۳/۴$^{a-d}$	۵۵/۱$^{b-d}$	۵۰/۹$^{b-e}$	۲۲۷/۴$^{e-g}$	۶/۴$^{d-f}$	۱۳/۲$^{c-e}$	۴۸/۵$^{a-c}$

دار نیستن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی LSD های دارای حروف مشترک برای هر صفت در هر ستون با استفاده از آزمون میانگین

جدول ۴- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایای گیاهی، بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد کمی تریتیکاله

تیمارهای آزمایش	ارتفاع بوته (cm)	طول سنبله (cm)	وزن سنبله g)	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه g)	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه ($ton.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($ton.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (%)
روش‌های خاک‌ورزی									
مرسوم	۱۲۹/۵^{a}	۱۴/۱ ^{a}	۳/۴^{a}	۵۱/۷^{a}	۴۶/۵^{a}	۲۳۷/۹ ^{a}	۶/۸^{a}	۱۴/۶^{a}	۴۶/۶^{a}
کم خاک‌ورزی	۱۲۲/۵^{b}	۱۳/۳^{b}	۳/۳^{a}	۵۰/۱ ^{a}	۴۷/۶^{a}	۲۳۲/۱^{ab}	۶/۳^{ab}	۱۳/۹ ^{ab}	۴۵/۳^{a}
بدون خاک‌ورزی	۱۲۰/۱^{c}	۱۳/۳ ^{b}	۳/۳^{a}	۴۹/۸ ^{a}	۴۷/۵^{a}	۲۲۴/۵^{b}	۶^{b}	۱۳/۲^{b}	۴۵/۴^{a}
کاربرد بقایا									
بدون بقایای گیاهی(شاهد)	۱۱۷/۹^{b}	۱۱/۸^{d}	۲/۶^{c}	۴۹/۴^{c}	۴۸/۴^{c}	۲۲۵^{d}	۵/۴^{c}	۱۱/۹^{d}	۴۵/۴^{a}
بقایای گندم	۱۲۵/۵^{a}	۱۴^{b}	۳/۳^{b}	۵۵/۷^{b}	۵۰/۸^{b}	۲۳۳/۷^{b}	۶/۷^{b}	۱۳/۹^{bc}	۴۸/۲^{a}
بقایای لوبیا چشم بلبلی	۱۲۶/۹^{a}	۱۵^{a}	۴/۲^{a}	۵۹/۲^{a}	۵۲/۷^{a}	۲۳۸/۳^{a}	۷/۳^{a}	۱۵/۹^{a}	۴۵/۹^{a}
بقایای کنجد	۱۲۴/۲^{a}	۱۲/۹^{c}	۳/۱^{cb}	۵۲^{c}	۴۹^{c}	۲۲۷/۸^{c}	۵/۸^{c}	۱۳/۲^{c}	۴۳/۹^{a}
ترکیبی(نصف بقایای گندم+نصف بقایای لوبیا چشم بلبلی)	۱۲۵/۶^{a}	۱۳/۸^{b}	۳/۵^{b}	۵۵/۸^{b}	۵۱/۸^{ab}	۲۳۲/۶^{b}	۶/۶^{b}	۱۴/۵^{b}	۴۵/۵^{a}

میانگین های دارای حروف مشترک برای هر صفت در هر ستون و هر فاکتور آزمایشی با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی دار نیستند

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد عملکرد دانه تریتیکاله تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی ، بقایا و بر هم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا اثر معنی دار در سطح احتمال یک درصد نشان داد(جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از تیمار خاک‌ورزی مرسوم (۶/۸ تن در هکتار) و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار بدون خاک‌ورزی(۶ تن در هکتار)بود. عملکرد دانه در روش خاک‌ورزی مرسوم ۱۳/۳ درصد و ۷/۹ درصد بیشتر از روش‌های بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی بود. اثر اعمال کاربرد بقایا نشان داد که بیشترین عملکرد (۷/۳ تن در هکتار) از تیمار کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی و کمترین(۵/۴ تن در هکتار) از تیمار بدون کاربرد بقایا(شاهد) بدست آمد(جدول ۳).

بررسی مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا نیز نشان داد بیشترین عملکرد دانه(۸/۶ تن در هکتار) مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم با کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی و کمترین عملکرد(۵/۳ تن در هکتار) از تیمار بدون‌خاک‌ورزی و عدم کاربرد بقایا(شاهد) به‌دست آمد(جدول ۴). افزایش عملکرد دانه گندم بهاره در سیستم خاک‌ورزی مرسوم نسبت به سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی گزارش شده است(وزنیاک و همکاران ،۲۰۱۵). نوع عملیات خاک‌ورزی بر نحوه تأثیر شخم بر رشد ریشه، میزان آب در دسترس و اندازه خاک دانه‌های لایه متراکم خاک و مصرف کودهای شیمیایی قطعاً تأثیرگذار است. ناکافی

بودن ویژگی‌های فیزیکی مؤثر بر انتقال آب در خاک، هوادهی نامناسب برای سیستم ریشه و افزایش علف‌های هرز می تواند از علل کاهش عملکرد دانه در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی عنوان شود. همچنین شواهدی وجود دارد که به دلیل آماده سازی غیر بهینه بستر بذر در روش‌های حفاظتی ، ممکن است عملکرد محصول تحت تأثیر قرار گیرد(کوپر،۲۰۲۰).

افزایش عملکرد دانه گندم بهاره در سیستم خاک‌ورزی مرسوم نسبت به سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی نیز گزارش شده است(وزنیاک و همکاران،۲۰۱۵). پگ و همکاران (۲۰۲۰) گزارش نمودند که معمولا پنج سال اول خاک‌ورزی حفاظتی سال‌های اولیه محسوب شده و طی آن تغییرات محسوسی در میزان مواد آلی و خصوصیات فیزیکی خاک روی نخواهد داد و به تبع آن حتی ممکن است عملکرد دانه چندان تحت تاثیر قرار نگیرد. گوپتا و همکاران(۲۰۲۴) در بررسی اثر متقابل مدیریت طولانی مدت بقایای گیاهی و کوددهی فسفر بر روی عملکرد گندم و سلامت خاک با حفظ بقایای برنج – گندم گزارش نمودند حفظ بقایا عملکرد را در روش‌های خاکورزی حفاظتی به علت شرایط مطلوب ایجاد شده در این روش خاک‌ورزی و به تبع آن بهبود حفاظت از آب و حفظ رطوبت مطلوب ، وزن مخصوص ظاهری کمتر ، تجمع بهتر میکروارگانیسم‌های مفید خاک در ناحیه ریشه و بازیافت مؤثرتر مواد مغذی به دلیل افزایش کربن آلی خاک بهبود می‌بخشد.

هیل و همکاران(۲۰۱۶) مدیریت بقایای گیاهی و روش‌های خاک‌ورزی (کاهش‌یافته و مرسوم)بر تولید گندم زمستانه،باقلا و ذرت در طی ۷ سال تناوب در آب و هوای معتدل و خاک‌های لومی مورد مطالعه قراردادند نتایج نشان داد خاک‌ورزی مرسوم در تمام سال‌ها منجر به افزایش عملکرد نسبت به خاک‌ورزی کاهش‌یافته شد که علت را درصد جوانه زنی پایین به ویژه در سال‌های خشک‌تر بیان کردند، از نظر آن‌ها در آب و هوای معتدل خاک‌ورزی نسبت به تیمارهای بقایای گیاهی بر تولید محصول تاثیر بیشتری دارد،محققان دیگری همچون برنان و همکاران(۲۰۱۴) و پیتل کو و همکاران(۲۰۱۴) نیز گزارش دادند عملکرد محصول تحت آب و هوای معتدل در خاک‌ورزی مرسوم بیشتر از خاک‌ورزی کاهش‌یافته می‌باشد،آنها اعلام کردند تاثیر بقایا در شرایط آب و هوایی خشک‌تر و در شرایط محدودیت آب و تنش آبی بیشتر می‌باشد.

اسنسو و همکاران(۲۰۱۸) اثر روش‌های خاک‌ورزی برخواص شیمیایی خاک و عملکرد ذرت در جنوب چین را در طی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار دادند آنها گزارش نمودند عملکرد ذرت در روش بی‌خاک‌ورزی نسبت به روش‌های دیگر کاهش یافت، بر اساس گزارش آن‌ها در طی دو سال آزمایش وزن هزار دانه ،ماده خشک تولیدی، عملکرد دانه و شاخص برداشت در بدون‌خاک‌ورزی نسبت به روش‌های دیگر کاهش یافت. آن‌ها علت را تراکم ظاهری کمتر برای نفوذ ریشه و عدم جذب مواد مغذی خاک بیان نمودند. میرزاوند و مرادی طالب بیگی(۲۰۲۰) نیز با بررسی تغییرات ماده آلی خاک و عملکرد محصول در سامانه های خاک‌ورزی در تناوب گندم–ذرت اعلام نمودند بی‌خاک‌ورزی منجر به کاهش ۴۸ درصدی عملکرد دانه گندم نسبت به کم‌خاک‌ورزی گردید و حفظ بقایای ذرت نیز در بی‌خاک‌ورزی منجر به افزایش ۲۱ درصدی عملکرد دانه گندم نسبت به بدون بقایا شد.

دو و همکاران(۲۰۲۲) در بررسی اثرات مالچ کاه و کلش و خاک‌ورزی کاهشی در عملکرد و محیط در گانسو چین گزارش نمودند مالچ کاه و کلش می‌تواند محتوی مواد آلی خاک را افزایش داده و با حفظ رطوبت دمای خاک را تعدیل نموده ولی با این‌حال مستعد افزایش آفات و بیماری‌ها و تغییر ساختار جامعه میکروبی خاک گردد،آن‌ها بیان کردند کاربرد مالچ باعث افزایش عملکرد از طریق افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد،کاهش خاک‌ورزی یکپارچگی خاک را حفظ نموده که منجر به حفاظت از آب و خاک می‌شود اما در عین حال بر عملکرد محصول تاثیر منفی می‌گذارد.وانگ و همکاران(۲۰۱۹) با بررسی اثر مالچ پاشی و کاربرد نیتروژن بر عملکرد گندم ، برنج و ذرت گزارش دادند عملکرد هر یک از محصولات در شرایط استفاده از مالچ بقایای گیاهی نسبت به عدم کاربرد افزایش داشته است.

نوگشواندتنرو همکاران(۲۰۱۵) در بررسی طولانی مدت بین سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ اثرات خاک‌ورزی و گیاهان پیش کاشت(ذرت،چغندر، گندم دوروم،آفتابگردان و سویا)در تناوب با گندم زمستانه گزارش نمودند عملکرد در بی‌خاک‌ورزی پس از گذشت چند سال بهبود یافت و در سال‌های اولیه عملکرد در بی‌خاک‌ورزی نسبت به سایر سامانه های خاک‌ورزی کمتر بود. نجفی‌نژاد و همکاران(۲۰۲۳) در بررسی اثر پس‌ماندهای گندم برذخیره رطوبت خاک و عملکرد دانه ذرت در کشت تابستانه گزارش دادند تیمار حفظ پسماندهای گیاهی از طریق افزایش وزن هزاردانه منجر به افزایش عملکرد دانه شده است، همچنین کاهش عملکرد دانه ذرت در شرایطی که پسماندها جمع‌آوری شده اند بیان شده است.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر روش‌های خاک‌ورزی در سطح احتمال ۵٪ و کاربرد بقایا بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی دار می‌باشد. این در حالی است که اثر برهم‌کنش خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر روی این صفت معنی دار نبود(جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر روش‌های خاک‌ورزی نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۴/۶تن در هکتار) از تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کمترین(۱۳/۲ تن در هکتار) از تیمار بدون‌خاک‌ورزی بود(جدول۳).

نتایج نشان داد تیمار خاک‌ورزی مرسوم ۵ درصد نسبت به کم‌خاک‌ورزی و ۱۰/۶ درصد نسبت به بدون‌خاک‌ورزی افزایش نشان داده است ، همچنین مقایسه میانگین کاربرد بقایا نشان داد که کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی(۱۵/۹ تن در هکتار) بیشترین عملکرد بیولوژیک را داشت که نسبت به تیمار عدم کاربرد بقایا(شاهد) ۳۳/۶ درصد افزایش داشته است(جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک(۱۶/۵ تن در هکتار) از تیمار خاک‌ورزی مرسوم و با کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی بود که تفاوت معنی‌داری با کاربرد همین بقایا در تیمار کم‌خاک‌ورزی نداشت و کمترین(۱۱/۴ تن در هکتار) از تیمار بدون‌خاک‌ورزی و عدم کاربرد بقایا (شاهد) بدست آمد(جدول ۴).

عملکرد بیولوژیک نشان دهنده ی توانایی سایه انداز گیاهی در استفاده از عوامل محیطی مانند نور و مواد غذایی برای تولید ماده خشک می‌باشد. افزایش فشردگی خاک مانعی در جهت رشد و نمو گیاه بوده و از این طریق عملکرد بیولوژیک تحت تاثیر قرار میگیرد(صفری و همکاران۲۰۱۳).

امینی و همکاران(۲۰۱۴) گزارش دادند عملکرد بیولوژیک گندم تحت تاثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و کاربرد بقایا قرار گرفت. بیشترین عملکرد بیولوژیک گندم مربوط به سیستم خاک‌ورزی مرسوم و کاربرد بقایا به میزان ۶۰ درصد بود که با تیمارهای بی‌خاک ورزی و کم‌خاک ورزی و سطح کاربردبقایای صفر، ۳۰ و ۶۰ درصد بقایا در یک گروه آماری قرار گرفتند.

خلیلی‌طرقبه(۲۰۲۲) گزارش داد در شرایط عدم خاک‌ورزی عملکرد بیولوژیک گندم به طور معنی‌داری کاهش یافت،بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار خاک‌ورزی متداول و در سطوح مختلف بقایای گیاهی بدست آمد. گزارش‌های علمی حاکی از آن است که در سیستم خاک‌ورزی حداقل به‌علت افزایش غیر متحرک‌سازی عناصر و نیز کاهش معدنی شدن آن‌ها در خاک، قابلیت دسترسی عناصر برای گیاهان ، حداقل در سال اول تغییر سیستم خاک‌ورزی رایج به سیستم خاک‌ورزی حداقل کاهش می‌یابد (میراوریچ ۲۰۰۹) و این امر می‌تواند عامل کاهش عملکرد بیولوژیک باشد.

بورگس و همکاران(۲۰۱۴) اعلام نمودند در بوم‌نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی، عناصر غذایی تجمع یافته در سطح خاک، در اثر خاک‌ورزی و مخلوط شدن با خاک، به میزان بیشتری در دسترس ریشه‌ها قرار می گیرد .در سیستم بدون خاک‌ورزی به دلیل وجود مقادیر زیاد بقایای گیاهی در سطح خاک از طریق تداخل در کار دستگاه‌های کشت، جهت برش مناسب خاک و هم‌چنین قرار گرفتن مقادیر زیاد بقایا بر روی بذر جلوگیری از برقراری تماس مستقیم بذر با خاک، موجب کاهش رشد

اولیه گیاهچه‌های گندم و در نهایت کاهش عملکرد بیولوژیک در مقایسه با خاک‌ورزی حفاظتی می‌شوند.

کمیلی و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی تاثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم گزارش نمودند با افزایش میزان بقایا ازصفر به ۶۰ درصد عملکرد بیولوژیک با ۱۳۵۶۰ و دانه با ۵۲۲۴ کیلوگرم در هکتار بطور نسبی افزایش یافت و بیشترین مقادیر آنها ازتیمار حفظ ۶۰ درصد بقایا حاصل شد.

شاخص برداشت

شاخص برداشت صفتی است که از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک بدست می‌آید و هر گونه تغییر در این دو فاکتور منجر به تغییر شاخص برداشت خواهد شد. به طور کلی مهمترین فاکتوری که در راستای افزایش عملکرد مورد توجه قرار می گیرد شاخص برداشت است، البته باید توجه داشت که بالا بودن شاخص برداشت به معنی بالا بودن عملکرد نیست و ممکن است رقمی شاخص برداشت بالا و عملکرد پایینی داشته باشد که به دلیل کاهش نسبت دانه به کل ماده خشک هوایی می باشد. به عبارت دیگر با تخصیص مواد تولیدی بیش تر به دانه و یا افزایش عملکرد بیولوژیک می توان بدون تغییر در شاخص برداشت، عملکرد دانه را افزود(موسوی طلب و حبیبی اصل۲۰۱۴).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص برداشت تحت تاثیر اثرات برهم‌کنش خاک‌ورزی و کاربرد بقایا در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت(جدول۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بین سطوح مختلف خاک‌ورزی، بیشترین شاخص برداشت(۴۶/۶ درصد) در تیمار خاک‌ورزی مرسوم و در بین سطوح مختلف بقایا، کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی، بیشترین (۴۸/۲ درصد) مقدار را به خود اختصاص داد، این در حالی بود که بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در یک گروه قرار گرفتند(جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات خاک‌ورزی و کاربرد بقایا نشان داد که بیشترین شاخص برداشت(۵۲/۱ درصد) از تیمار خاک‌ورزی مرسوم و با کاربرد بقایای لوبیا چشم بلبلی بود(جدول ۴).

با توجه به بالاتر بودن میزان عملکرد دانه و بیولوژیک در سیستم خاک‌ورزی مرسوم وکم‌خاک‌ورزی نسبت به بدون خاک‌ورزی همچنین فزونی یافتن میزان افزایش عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت افزایش یافته است. با توجه به کاهش کمتر عملکرد زیستی در سیستم بدون خاک‌ورزی نسبت به دو نظام خاک‌ورزی دیگر در مقایسه با کمتر بودن عملکرد دانه در سیستم بدون‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی، کاهش شاخص برداشت در سیستم بدون‌خاک‌ورزی دور از انتظار نبود. میرزاوند و مرادی طالب بیگی(۲۰۲۰) اعلام نمودند بیشترین درصد شاخص برداشت مربوط به خاک‌ورزی رایج با حفظ بقایا بدست آمد.

نتیجه گیری کلی

به طور کلی نتایج نشان داد روش‌های خاک‌ورزی خصوصیات رشدی و ویژگی‌های کمی و کیفی تریتیکاله را تحت تاثیر قرارداد. این تغییرات در روش خاک‌ورزی مرسوم نسبت به دو روش خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر بود. بیشترین تعداد دانه در سنبله ، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در روش خاک‌ورزی مرسوم به‌دست آمد. نتایج این آزمایش نشان داد عملکرد دانه در روش خاک‌ورزی مرسوم ۱۳/۳ درصد و ۷/۹ درصد بیشتر از روش بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی بود. گزارش های ضد و نقیضی در رابطه با تاثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد گیاهان زراعی وجود دارد که می‌تواند ناشی از شرایط متفاوت آزمایش باشد. البته خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از دیدگاه حفاظت خاک مطرح می‌باشد که در مقایسه با خاک‌ورزی رایج برتری دارند که اثرات آن‌ها در مطالعات طولانی مدت قابل ملاحظه‌ترمی‌باشد ولی در مجموع نتایج این آزمایش برتری روش خاک‌ورزی مرسوم در مقایسه با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی را به وضوح نشان می‌دهد.

خصوصیات اقلیمی، وضعیت خاک، اجرای تناوب زراعی، فصل کاشت و وضعیت آفات، بیماریها و

علف‌های هرز رایج در هر منطقه و سایر موارد تاثیر بسزایی در افزایش یا کاهش عملکرد سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی تسبت به روش‌های مرسوم دارد. مدیریت بقایای گیاهی یکی از روش‌های اصلاح و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک وحفاظت از محیط زیست می‌باشد با توجه به اینکه متاسفانه در اکثر مناطق کشورمان، بقایای گیاهی که منبع اصلی تامین کربن برای تولید زیست توده میکروبی و بهبود حاصلخیزی خاک می‌باشند توسط کشاورزان از مزارع خارج و یا سوزانده می‌شود و نظر به اینکه اثرات خاک‌ورزی حفاظتی در اجرای دوره‌ی طولانی مدت نمود می‌یابد و فاقد منافع آنی بر عملکرد تسبت به خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد پیشنهاد می‌شود آزمایشات وسیع منطقه ای برای دستیابی به الگوی رایج و مقایسه بین سیستم‌های رایج و حفاظتی از لحاظ مصرف انرژی و هزینه ها در راستای حفاظت از منابع و پایداری در تولید اجرا گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهش و فنآوری دانشگاه شهید چمران اهواز جهت تأمین هزینه این پژوهش که قسمتی از قرارداد پژوهانه شماره SCU.AA1400.309 می‌باشد سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

Amini A, Rajaei M and Farsinejad K. 2013. The effect of different tillage methods and plant residue management on wheat yield and yield components, Journal of Plant Ecophysiology, 6(16):27-37. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087713.1402.14.2.3.5

Ayaneband A. 2014. Rotation of Crop Plants, Mashhad Academic Press, 407 p.

Asenso E, Li J, Hu L , Issaka F, Tian K, Zhang L , Zhang L and Chen H.2018. Tillage Effects on Soil Biochemical Properties and Maize Grown in Latosolic Red Soil of Southern China. Applied and Environmental Soil Science. Volume 2018, Article ID 8426736, 10 pages.https://doi.org/10.1155/2018/8426736

Brennan J, Hackett R, McCabe T, Grant J, Fortune R and Forristal P.2014. The effect of tillage system and residue management on grain yield and nitrogen use efficiency in winter wheat in a cool Atlantic climate. European Journal of Agronomy.54:61_69. DOI:10.1016/j.eja.2013.11.009

Burgess M, Mehuys G and Madramootoo C. 2014. Tillage and crop residue effects on corn production in Quebec. Agronomy Journal. 88: 792-797.

Castellini M and Domenico V. 2012. Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy. Soil and Tillage Research.124: 47-56.

Chaudhary S and Iqbal J.2013. Weed control and nutrient promotion in zero-tillage wheat through rice straw mulch. Pak. J. Weed Sciences Research. 19:465–474.

Cherubin M, Tormena C and Karlen D. 2017. Soil quality evaluation using the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in Brazilian oxisols with contrasting texture. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 41: Pages e0160148

Cooper R , HamaAziz Z, Hiscock K, Lovett A, Vrain E, Dugdale S, Sünnenberg G, Dockerty T , Hovesen P and Noble L. 2020.Conservation tillage and soil health: Lessons from a 5-year UK farm trial (2013–2018). Soil and Tillage Research. 202:104648. DOI: 10.13140/RG.2.2.32753.51046

Czapar G, William Simmons F and Bullock D. 2012. Delayed control of a hairy vetch (Vicia villasa Roth) cover crop in irrigated corn production. Crop Protection. 21: 507-510. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00141-7

Du B, He, L , Lai R, Luo H , Zhang T and Tang X.2020. Fragrant rice performances in response to continuous zero-tillage in machine-transplanted double-cropped rice system. Scientific reports.10 (1):8326.

Du C, Li L and Effah Z.2022. Effects of Straw Mulching and Reduced Tillage on Crop Production and Environment: A Review. Water. 14(16):2471. https://doi.org/10.3390/w14162471

Fathi R , Asodar M and Ghaseminejad Rainin D .2020. An overview of the conservation agriculture situation in the world with a focus on one of the successful countries. Scientific Journal of Land Management. 9(1):101-87. 20.1001.1.23456205.1400.9.1.6.3

Ghazinejad M, Manjezi N, Rahnama Qahfarkhi A and Sheikh Davoudi M.1401. The effect of tillage method and wheat residues on the physical productivity of water consumption and grain corn yield in Dezful city, Knowledge of Agriculture and Sustainable Production, 32 (1): 17-32. magiran.com/p2423949

Gupta R, Sraw P and Kang J .2024. Interactive effects of long-term management of crop residue and phosphorus fertilization on wheat productivity and soil health in the rice–wheat. Scientific Reports. 14, 1399 (2024). https://doi.org/10.22092/lmj.2021.124395

Gupta N, Yadav S, Humphreys E , Kukal S, Balwinder S and Eberbach P.2016. Effects of tillage and mulch on the growth, yield and irrigation water productivity of a dry seeded rice-wheat cropping system in north-west India. Field Crops Research.**196**: 219–236. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.005

Hiel M, Chélin M, Parvin N , Barbieux , Degrune F, Lemtiri A , Colinet G , Degré A , Bodson B and Garré S. 2016. Crop residue management in arable cropping systemsunder a temperate climate. Part 2: soil physical properties and crop production. A review. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement .20:245-256.

Kamili H, Rizvani Moghadam P, Qudsi M , Nasiri Mahalati M, Jalal Kamali M .2013. Evaluation of wheat yield and yield components under different tillage treatments and plant residue management. Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran. 10.22067/JAG.V8I3.34502

Karimi M and Qudsi. 2018. Yield and water consumption efficiency of wheat in cotton-wheat rotation in different tillage treatments and plant residues. Journal of water research in agriculture, 33 (1): 81-94. https://doi.org/10.22092/jwra.2019.119116

Khajawi A and Lak S. 1402. The effect of different levels of tillage and residue management on the quantitative and qualitative yield of wheat plants in the climatic conditions of Khuzestan. Bi-Quarterly Journal of Crop and Plant Sciences, 1(13): 65-83. magiran.com/p2544182

Khalili Targhabeh A, Kochaki A, Zare Faizabadi A and Nasiri Mahalati M.2022. Investigating the effect of different methods of tillage and plant residue management on the agricultural characteristics of wheat and changes in soil organic carbon and nitrogen in a three-year crop rotation. Agricultural Ecology, 14(2): 217-205

Kong L. 2014. Maize residues, soil quality, and wheat growth in China. A review. Agronomy for Sustainable Development, 34:405-416.

Lal R. (2016). Soil health and carbon management. Food and Energy Security. 5(4):212-222.

Ling L, Gao-bao H, Ren-zhi Z, Bellotti B , Li G and Kwong Yin Chan K. 2011. Benefits of conservation agriculture on soil and water conservation and its progress in China. Agricultural Sciences in China.10 (6):850-859. DOI:10.1016/S1671-2927(11)60071-0

Meena J, Behera U, Chakraborty D and Sharma A.2015. Tillage and residue management effect on soil properties, crop performance and energy relations in green gram (*Vigna radiata L.*) under maize-based cropping systems. International Soil and Water Conservation Research. 3(4): 261–272. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.11.001

Meyer-Aurich A, Gandorfer G and Kainz M.2009. Tillage and fertilizer effects on yield, profitability, and risk in a corn-wheat-potato-wheat rotation. Agronomy Journal. 101: 1538-1547. DOI:10.1016/S1671-2927(11)60071-0

Mirzashahi K and Ghaffari Nejad S.A. 2020. Sustainable Land Management to Ensure Food Security. Land management, 8(2):154-141. SID. https://sid.ir/paper/964335/fa.

Mirzavand J and Moradi Taleb Beigi R. 2019. The effect of tillage methods and corn residues on wheat yield, abundance of organic matter and earthworms in Zarghan, Fars. Journal of Plant Ecophysiology, 12(42):237-226. 10.22092/RAFHC.2021.123367.1166

Mousavi Talab F and Habibi ASL S.1393. Investigating the effect of different tillage methods on yield and water consumption in wheat cultivation in Khuzestan region. Journal of Research and Construction (Agriculture Journal), 27(103):55-60.

Mu X, Zhao Y, Liu K, Ji B, Guo H, Xue Z and Li C. 2016. Responses of soil properties, rootgrowth and crop yield to tillage and crop residuemanagement in a wheat–maize cropping systemon the North China Plain. European Journal of Agronomy.78: 32-43. 10.1016/j.eja.2016.04.010

Najafinejad H, Rashidi N, Rostami M and Javaheri M. 2023. The effect of wheat residues on soil moisture storage and corn grain yield in summer cultivation. Water conservation and productivity, 4(7): 87-93. magiran.com/p1773627

Neugschwandtner R; Kaul H ; Liebhard P and Wagentristl H .2015. Winter Wheat Yields in a Long-Term Tillage Experiment under Pannonian Climate Conditions. Plant, Soil and Environment. 61(4):145-150.doi: 10.17221/820/2014-PSE

Ozpinar S and Cay A. 2016. Effect of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay–loam soil in semi-arid north-western Turkey. Soil and Tillage Research.88 (1): 95-106. doi:10.1016/j.still.2005.04.009

Page K, Dang Y and Dalal R. 2020. The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield. Frontiers in Sustainable Food Systems. 4:31:17pages. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Pittelkow C, Liang X, Linquist B, Van Groenigen K, Lee J, Lundy M, Van Gestel N, Six J, Venterea R and Van Kessel C. 2014. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. Nature Publishing Group. 517 (7534):365–368. DOI: 10.1038/nature13809

Qudsi M, Vahabzadeh M, Nazeri M, Khodarahmi M, Ghasemi M, Kohken S and Tejali S. 2013. Senabad, Chowdham cultivar suitable for planting in temperate and cold temperate regions of the country. Research findings in agricultural and garden plants, 2 (2):153-143. DOI:10.1007/s13593-012-0106-9

Rabiei M, Faiznia S and Pirvan h.2018. Investigation of runoff and soil losses in watershed work units. Hugh, Scale comparison of rain simulators. Journal of Earth Sciences, 20(8):62-57.

Safari A, Asoudar,M, Ghaseminejad M and Abdali Mashhadhi A.2013. The effect of residue conservation, different conservation tillage methods and planting on soil physical properties and wheat yield. Agricultural knowledge and sustainable production. 23(2):49-59.

SepidehDem S, Ramroudi M. 2014. The effect of tillage systems and nitrogen fertilizer on yield, yield components and wheat grain protein. Plant Ecophysiology Applied Research, 2 (2): 33-46.

Shahpari Z, Fateh A and Ayaneband A. 2015. Investigating the effect of residue type, residue and nitrogen management on the performance, quality of durum wheat and soil nutrient elements. Crop Production Journal, 9(2): 87-104.

Sharifi H, Gazanchian G and Anahid P.2017. Effect of planting date and seed priming on dry matter allocation coefficients, yield and yield components of wheat. Iran Seed Science and Technology, 7(1): 257-280. 10.22034/IJSST.2018.117731

Sharma S, Thind H, Yadvinder-Singh S, Jat, M and Parihar C.2019. Effects of crop residue retention on soil carbon pools after 6 years of rice-wheat cropping system. Environmental Earth Sciences.**78** (296). https://doi.org/10.1007/s12665-019-8305-1 Torma S, Vilček J, Lošák T, Kužel S and Martensson A. 2018. Residual plant nutrients in crop residue–an important resource. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil and Plant Science.68 (4): 358-366. https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134

Wang X ; Fan J; Xing Y; Xu G; Wang H; Deng J; Wang Y; Zhang F; Li P and Li Z .2019. The Effects of Mulch and Nitrogen Fertilizer on the Soil Environment of Crop Plants.Advances in Agronomy. 153: 121–173. 10.1016/bs.agron.2018.08.003

Williams H, Colombi T and Keller T. 2020.The influence of soil management on soil health: An on-farm study in southern Sweden. Geoderma.360:114010. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114010.

Wozniak A , Wesolowski M and Soroka M. 2015. Effect of long-term reduced tillage on grain yield, grain quality and weed infestation of spring wheat. Journal of Agriculture Science and Technology.17: 899-908. DOR: 20.1001.1.16807073.2015.17.4.3.0

Zamir M , Javeed H, Ahmed W , Ahmed A, Sarwar N , Shehzad M, Sarwar M and Iqbal S. 2013. Effect of tillage and organic mulches on growth, yield and quality of autumn planted maize (*Zea mays L.*) and soil physical properties. Cercetari Agronomice in Moldova. 46(2): 17-26.

Zalqi F.2016. Conservation agriculture, change of conventional and traditional agricultural culture to modern and conservation agriculture.The site of the Ministry of Agricultural Jahad.

راهنمای تهیه و شرایط پذیرش مقاله

نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار مقاله های علمی و پژوهشی در زمینه کشاورزی پایدار را با رعایت موارد زیر می‌پذیرد:

۱- شرایط پذیرش

۱-۱- مقاله ای برای چاپ پذیرفته می‌شود که مولف یا مولفین با توجه به زمینه های علمی که توسط هیات تحریریه این نشریه تعیین و تایید شده و در سایت دانشگاه تبریز به آدرس sustainagriculture.tabrizu.ac.ir قابل دسترسی می‌باشد، همخوانی و ارتباط موضوع مقاله ی ارسالی را با یک یا چند مورد از آن زمینه ها به طور دقیق مشخص کرده و در صفحه ی مشخصات مقاله، ذکر نمایند. بدیهی است که تایید نهایی تطبیق کامل موضوع مقاله با زمینه های علمی انتشار نشریه به عهده هیات تحریریه نشریه خواهد بود.

۱-۲- متن مقاله ارسالی عینا در هیچ نشریه، مجموعه مقاله های همایش‌ها و نشریه های دیگر منتشر و یا همزمان برای چاپ ارسال نشده باشد. در ضمن موارد مربوط به تکراری بودن یا چاپ قبلی مطالب در سایر مجلات از داوران مقاله مورد سوال و بررسی قرار میگیرد.

۱-۳- ترتیب اسامی همراه با آدرس نگارندگان به فارسی و انگلیسی (با قید مرتبه علمی) در یک صفحه جداگانه که به امضای آنان رسیده است، با مشخص کردن مسئول مکاتبه ضمیمه شود. مسئولیت مطالب مندرج در مقاله به عهده نگارندگان آن است.

۱-۴- هیات تحریریه با توجه به نظر داوران محترم حق رد، قبول و یا ویرایش مقاله را دارد.

۱-۵- در صورت عدم دریافت مقاله ظرف مدت یک ماه از جانب مولف مبنی بر تنظیم مقاله با فرمت نشریه، مقاله از روند بررسی خارج می شود.

"توصیه می‌شود از مقالات چاپ شده مجله در فهرست منابع مقالات در حال تدوین استفاده گردد".

در منابع بعد از شماره صفحه کد DOR یا DOI مقاله نیز اضافه شود.

۲- نحوه نگارش و تدوین

نمونه فایل چکیده با فرمت جدید

۲-۱- موارد کلی

۲-۱-۱- مقاله در کاغذ A۴ و حد اکثر در ۱۵ صفحه به صورت تک ستونی ، فاصله سطور یک سانتی‌متر و حاشیه (از بالا ۵/۳ ، پایین ۲، طرف راست ۲ ، طرف چپ ۲ باشد) تورفتگی به فاصله پنج حرف در شروع پاراگراف‌ها و به صورت فایل (۲۰۱۳) تهیه گردد. همچنین لازم است فایل مقاله و مشخصات نویسندگان، فایل تعهدنامه و فایل تعارض منافع در یک فایل جداگانه ضمیمه شوند.

مقاله از طریق سایت دانشگاه تبریز به آدرس زیر sustainagriculture.tabrizu.ac.ir ارسال گردد.

۲-۱-۲- نوع و اندازه قلم به شرح زیر خواهد بود:

عنوان مقاله B Titre پررنگ ۱۴

عنوان فرعی و اسامی نویسندگان Byagot پررنگ ۱۲

متن Byagot 12

عنوان جدول‌ها و شکل‌ها Byagot پررنگ ۱۱
کلمه ها و اعداد داخل جدول‌ها و شکل‌ها Byagot 10
پاورقی Byagot 9
۲-۱-۳- کلیه حروف، کلمه ها و جمله های خارجی با قلم Times New Roman نوشته شوند.
عنوان مقاله پررنگ ۱۲، اسامی پررنگ ۱۱، متن ۱۱، آدرس نگارندگان ۱۱، خود عنوان Abstract و Keyword پررنگ ۱۱
۲-۱-۴- هر نوع واژه خارجی مخفف در متن مقاله ، به استثنای اسامی علمی، با ذکر شماره های بدون پارانتز در سمت چپ به زیرنویس ارجاع داده شود. اسامی نویسندگان منابع خارجی در متن مقاله نیز به زبان فارسی و بدون زیرنویس درج گردند.
۲-۱-۵- اسامی علمی در : متن مقاله، چکیده های فارسی و انگلیسی، واژه های کلیدی و در منابع مورد استفاده با حروف ایتالیک تایپ شوند.
۲-۱-۶- عنوان جدول‌ها در بالا و عنوان شکل‌ها در زیر آنها بدون استفاده از پارانتز و بعد از شماره مسلسل و خط تیره نوشته شود. عنوان جدول‌ها و شکل‌ها می‌بایست کامل و گویا بوده و بدون نقطه گذاری در آخر عنوان باشد.
۲-۱-۷- به جای به کار بردن عنوان‌هایی مانند نمودار، تصویر، عکس ، نقشه و... از واژه "شکل" استفاده شود. در شکل‌ها نام متغیرها و مقیاس آنها در هر دو محور افقی و عمودی قید گردیده و واحد اعداد در سیستم متریک ارایه و به زبان فارسی تایپ شوند.
۲-۱-۸- جدول‌ها بدون استفاده از خط‌های عمودی رسم شده و خط‌های افقی نیز فقط برای جدا کردن عنوان‌ها، سرتیترها و سایر موارد ضروری به کار روند. شکل‌ها نیز بدون استفاده از چارچوب و زمینه تهیه شوند.
۲-۱-۹- ارجاع به جدول‌ها و شکل‌ها در متن مقاله بدون درج پارانتز صورت گیرد، مگر این که شماره آنها در آخر جمله و به همراه واژه جدول و شکل ذکر گردد. مثال:
- شکل ۲ رابطه خطی دو متغیر را نشان می‌دهد.
- رابطه دو متغیر خطی است (شکل ۲).
۲-۱-۱۰- شماره کلیه فرمول‌ها (در صورت شماره دار بودن) در داخل کروشه درج گردد.
۲-۱-۱۱- کلیه زیر نویس‌های خارجی با حرف بزرگ شروع شوند.
۲-۱-۱۲- درج منابع در متن مقاله با روش نام و سال صورت گیرد و مقاله های ارایه شده به نشریه بر این اساس تنظیم شوند. در این روش سال انتشار بعد از نام خانوادگی نویسندگان در داخل پارانتز آید. اگر تعداد نویسندگان بیش از دو نفر باشد، ابتدا نام خانوادگی نویسنده اول و سپس عبارت "و همکاران" قید شود. در صورتی که منبع مورد استفاده در پایان جمله و در داخل پارانتز آورده شود، نام خانوادگی نویسندگان بر حسب سال انتشار منبع نوشته شود. تمام منابع مندرج در متن می‌بایست در بخش منابع مورد استفاده نیز درج شوند. همچنین در منابع داخل متن سال مقالات به میلادی نوشته شود.
مثال:
- هال و دراکوپ (۱۹۷۵) با استفاده از روش مونت کارلو، هیدروگراف‌های جریان ورودی برای تحلیل عملکرد یک مخزن آبرسانی را ترسیم کردند.

- صنوبر کالیفرنیایی از اندازه ژنوم متوسط، رشد سریع، سهولت نسبی دست وروزی و امکان دسترسی به دامنه ای از ابزارهای ژنتیکی برخوردار است (استتلر و برادشاو ۱۹۹۶ و توسکان و همکاران ۲۰۰۴)
- مرادی شهر بابک (۲۰۰۰) وراثت پذیری تداوم شیردهی در محدوده ۰/۱ تا ۰/۲ گزارش شده است (شانکز و همکاران ۱۹۸۱ و اسوالو ۱۹۹۵)

۲-۱-۱۳- **برگ مشخصات مقاله** شامل نام خانوادگی و نام نگارنده یا نگارندگان مقاله، مرتبه علمی، محل خدمت و نشانی آنها به هر دو زبان فارسی و انگلیسی به همراه شماره تلفن و **در صورت داشتن کد ارکید**، به ویژه تلفن همراه، و آدرس پست الکترونیکی به دفتر نشریه ارسال شود. در زیر عنوان مقاله از آوردن اسامی و مشخصات نگارندگان خودداری گردد.

۲-۲- ترتیب بخش‌های مختلف مقاله و نحوه تدوین آنها

۲-۲-۱- **عنوان مقاله** به صورت خلاصه، روان و گویای محتوی مقاله بوده و حداکثر در ۲۰ کلمه تنظیم شود. آوردن اسامی علمی موجودات زنده در صورت داشتن نام عمومی ضروری نیست. از علامت‌های اختصاری و فرمول‌های شیمیایی نیز در عنوان استفاده نشود. همچنین، به کار بردن کلماتی مانند "مطالعه" و "بررسی" در ابتدای عنوان توصیه نمی‌گردد.

۲-۲-۲-چکیده مقاله (***اعم از فارسی و انگلیسی***) به صورت سازمان یافته و مبسوط دارای ساختار زیر (چهار زیر بخش) و دارای ۲۵۰ کلمه (با تاکید بر "مواد و روش ها" و "نتایج" تنظیم شود. در این بخش از ارجاع به منابع، شماره شکل و جدول و یا زیرنویس اجتناب شود. همچنین، بهتر است از معادله ها، فرمول‌ها و علامت‌های اختصاری (به جز علامت‌های استاندارد) در چکیده استفاده نگردد. در صورت عدم ذکر اسامی علمی و فرمول‌های شیمیایی در عنوان، می توان این موارد را در چکیده درج کرد.

۱- **اهداف** (Objective & Background)

این بخش حداکثر در دو تا سه جمله در ارتباط با ضرورت انجام مطالعه باشد. اهداف جملاتی روشن و قابل دستیابی باشد و در همه قسمت های مقاله یکسان استفاده گردد.

۲- **مواد و روش ها** (Materials & Methods)

باید شامل اطلاعات کلی در مورد مطالعه، جامعه و نمونه، روش و ابزار جمع آوری داده ها و زمان و نوع تیمار ها باشد.

۳- **یافته ها** (Results)

یافته ها متناسب با هدف به تفکیک تیمار های مطالعه با آزمون های آماری استفاده شده بیان گردد.

۴- **نتیجه گیری** (Conclusion)

این بخش نباید تکرار یافته های پژوهش باشد. در این بخش جمع بندی نهایی یافته ها همراه با توصیه های محقق، کاربردهای بخش یافته ها یا نتایج در رشته تخصصی بیان گردد. پیشنهادات و محدودیتها و موانعی که در سر راه تحقیق وجود داشته نیز ذکر گردد.

۲-۲-۳- **واژه های کلیدی** حداکثر در **هفت کلمه** و به صورت الفبایی (ابتدا واژه های فارسی و سپس خارجی) بلافاصله بعد از چکیده فارسی نوشته شوند.

۲-۲-۴- **مقدمه** شامل طرح موضوع پژوهش ، سوابق کار و مرور منابع علمی مرتبط با موضوع پژوهش بوده و در آخر آن هدف از پژوهش عنوان شود.

۲-۲- ۵- مواد و روش‌ها می‌بایست به طور گویا در برگیرنده ویژگی‌های محل اجرای آزمایش، شرح مواد، ابزار کار، روش‌های به کار رفته از جمله طرح‌های آزمایشی و روش‌های آماری باشند. در این بخش از توضیح روش‌هایی که در پژوهش موردنظر استفاده نشده است، خودداری می‌گردد. علاوه براین، بهتر است از شرح کامل روش‌های متداول اجتناب و به ذکر منابع مورد استفاده و تغییرات انجام یافته در آنها اکتفا شود. روش کار نیز می‌بایست به حد کافی واضح و روشن باشد تا سایر پژوهشگران در صورت نیاز بتوانند آن را تکرار نمایند.

۲-۲-۶- نتایج و بحث مشتمل بر یافته‌های حاصل از پژوهش به صورت متن، جدول و شکل ، بحث مستدل و نتیجه-گیری کلی در آخر است. در این بخش از تکرار و یا ذکر مواد و روش‌های انجام یافته اجتناب گردد. شکل‌ها و جدول‌ها نباید همزمان دارای اطلاعات تکراری باشند. از شرح جزئیات جدول‌ها و شکل‌ها نیز خودداری شده و فقط به آوردن نکات مهم آنها اکتفا گردد. نتایج تجزیه و تحلیل های آماری بهتر است به صورت جدول یا شکل منعکس شده و اختلاف‌های معنی‌دار نیز با علامت‌های مناسب مشخص شوند.

بحث شامل تحلیل داده‌های آزمایش، ذکر علت ها و معلول‌ها و کاربردهای احتمالی در ابعاد نظری و عملی می‌باشد. علاوه بر این لازم است از یافته‌های دیگر پژوهشگران نیز در تحلیل نتایج و غنا بخشیدن به بحث استفاده شود. با وجود این، برای یک بحث مستدل تنها ذکر عبارت‌هایی مانند " مطابقت و عدم مطابقت یافته‌ها با نتایج دیگران" کافی نیست و اظهارنظر در مورد چگونگی این مشابهت ها و تضادها می‌تواند به غنای بحث کمک نماید. بنابراین، هیات تحریریه از پذیرش مقاله هایی که فاقد ارجاع به منابع در این بخش هستند، معذور است.

تبصره : نتایج و بحث را می‌توان به حالت توام و یا جداگانه تدوین کرد ولی در صورت جدا کردن این دو بخش، بحث نبایستی تکرار مجدد نتایج باشد، بلکه کلیات، مفاهیم و تحلیل نتایج ارایه شود.

۲-۲-۷- در بخش **سپاسگزاری (بخش اجباری)** می‌توان از همکاری و مساعدت اشخاص حقیقی و حقوقی در انجام پژوهش سپاسگزاری نمود.

۲-۲-۸- منابع مورد استفاده شامل فهرستی از منابع فارسی (به انگلیسی) و منابع خارجی بوده و به ترتیب حروف الفبا و بدون شماره گذاری تنظیم شوند. نکات زیر در تدوین این بخش رعایت گردد.

۲-۲-۸-۱- این بخش تنها دربرگیرنده منابع ارجاع شده در متن مقاله بوده و از آوردن منابعی که در متن به آنها اشاره نشده است خودداری شود.

۲-۲-۸-۲- در کلیه منابع ابتدا نام خانوادگی و سپس مخفف نام نویسندگان آورده شود. در یک منبع اسامی نویسندگان تا نفر ماقبل آخر توسط ویرگول و نفر آخر توسط کلمه and از هم جدا شود.

۲-۲-۸-۳- در بخش منابع اسامی کلیه نویسندگان هر منبع بدون ذکر عبارت .*et al* درج گردد.

۲-۲-۸-۴- در صورتی که از یک نویسنده چند منبع مورد استفاده قرار گیرد، ابتدا مقاله های منفرد و سپس مقاله های مشترک به ترتیب نام نویسندگان بعدی بر حسب حروف الفبا درج شوند. اگر دو یا چند منبع از نویسندگان یکسانی برخوردار باشند، این منابع بر حسب سال انتشار از قدیم به جدید تنظیم می شوند و در صورت مشابه بودن سال انتشار، منابع مذکور با قرار دادن حروف a، b، c و ... در مقابل سال در منابع از هم متمایز گردند.

۲-۲-۸-۵- سال انتشار بلافاصله بعد از نام خانوادگی و نام نویسندگان ذکر گردد. قبل و بعد از سال نقطه درج شود.

۲-۲-۸-۶- از جزوه درسی نمی توان به عنوان منبع استفاده کرد.

۲-۲-۸-۷- در مورد مقاله در نشریه های علمی علاوه بر موارد پیش گفته، نام نشریه، شماره جلد و صفحه های اول و آخر مقاله، در مورد مقاله در همایش‌های علمی عنوان همایش، ماه برگزاری، محل برگزاری و شماره صفحه های اول و آخر مقاله و در مورد کتاب‌ها و تک نگاشت‌ها نام ناشر در آخر منبع مورد استفاده آورده شود.

۲-۲-۸-۸- در منابع کلمه اول عناوین و اسامی نگارندگان و نیز تمامی کلمات مربوط به نام مجلات، عناوین همایشی و نام ناشرین و موسسات با حروف بزرگ شروع شود.

۲-۲-۸-۹- در منابع نام مجله بصورت کامل نوشته شود.

۲-۲-۸-۱۰- استناد به منابع اینترنتی مورد پذیرش نیست.

۲-۲-۸-۱۱- توصیه می‌شود از مقالات چاپ شده مجله در فهرست منابع مقالات در حال تدوین استفاده گردد

۲-۲-۸-۱۲- در منابع بعد از شماره صفحه کد DOR یا DOI مقاله نیز اضافه شود.

هزینه چاپ مقاله: ۴۰۰۰۰۰۰ ریال که بعد از پذیرش مقاله برای هزینه چاپ اخذ می‌شود

نمونه هایی از نحوه درج منابع در بخش منابع مورد استفاده:

مقاله مندرج در نشریه های علمی

نام خانوادگی و مخفف نام نویسندگان، سال، عنوان مقاله، نام نشریه، شماره جلد و دامنه صفحه ها.

Pourgholam M, Nemati N and Oveysi M. 2013. Effect of zinc and iron under the influence of drought on prolin, protein and nitrogen leaf of rapeseed (***Brassica napus*** L.). Annals of Biological Research, 4(7): 200-203. (In Persian with English Abstract).

Schweizer LE, Nyquist WE, Santini JB and Kimes TM. 1986. Soybean cultivar mixtures in a narrow-row, noncultivatable production system. Crop Science, 26: 1043-1046.

مقاله مندرج در مجموعه همایش‌ها

نام خانوادگی و مخفف نام نویسندگان، سال انتشار، عنوان مقاله، دامنه صفحه ها، نام همایش، موسسه (در صورت وجود) و شهر محل برگزاری.

Habibi M. 1997. Calculating sediment discharge using a developed computer package. Proceedings of the 8th International Conference on Rainwater Catchment Systems. Tehran, Iran. Pp. 854-864.

کتاب

– اگر کلیه فصل‌های یک کتاب مشترکا توسط یک یا چند نفر نوشته شود، ذکر منبع به ترتیب زیر است:

نام خانوادگی و مخفف نام نویسندگان، سال انتشار، عنوان کتاب، نام ناشر

Malakooti MJ and Tehrani MH. 1998. The Role of Micronutrients In Enhancing The Performance And Improve The Quality Of Agricultural Products. Publication of Tarbiat Modarres. (In Persian with English Abstract).

Hay KM and Robert R. 1989. An Introduction To The Physiology of Crop Yield. Leonard Hill, London.

– اگر فصل‌های یک کتاب، دارای نگارنده یا نگارندگان جداگانه‌ای بوده و کل کتاب توسط یک یا چند نفر هماهنگ کننده تدوین گردد، روش درج آن منبع به شرح زیر است:

نام خانوادگی و مخفف نام نویسندگان، سال انتشار، عنوان فصل، دامنه صفحه های فصل، نام خانوادگی و نام هماهنگ کنندگان کتاب، عنوان کتاب و نام ناشر

Knuiman MW and Laird NM. 1990. Parameter estimation in variance component models for binary response data. Pp. 177-189. In: Gianola D and Hammond K (eds). Advances in statistical methods for genetic improvement of livestock. Springer- Verlag.

پایان نامه

نام خانوادگی و مخفف نام نویسنده، سال انتشار، عنوان پایان نامه، مقطع تحصیلی، نام دانشکده و دانشگاه

Ghanbari A. 2000. Wheat-bean intercropping as a low-input forage. PhD. Thesis University of London

ثبت اختراع و اکتشاف (Patent)

Titcomb ST and Tuers AA. 1976. Reduced calorie bread and method of making same. USA Patent 3 979 323. Date issued: 7 September.

- در مورد منبعی که دارای نویسنده مشخص نیست به جای نام نویسنده از کلمه **"Anonymous"** استفاده می‌شود.

Anonymous. 1992. Maize in human nutrition. FAO Food and Nutrition Series, No. 25. FAO, Rome.

تذکر: از درج مقاله های ارایه شده به نشریه های علمی ولی فاقد پذیرش، شماره جلد و محدوده شماره صفحه ها در قسمت منابع اجتناب شود. ارجاع به این نوع منابع در متن مقاله پس از ذکر نام صاحب اثر (یا منبع اطلاع) با قید عبارت "مکاتبه شخصی" در داخل پارانتز خواهد بود.

۲-۲-۹- چکیده انگلیسی در آخرین بخش مقاله می آید و ترجمه کاملی از چکیده فارسی است. نکات زیر در تهیه چکیده انگلیسی رعایت می شوند.

۲-۲-۹-۱- کلیه اصول ذکر شده برای چکیده فارسی در مورد چکیده انگلیسی نیز لحاظ می‌شود.

۲-۲-۹-۲- در عنوان مقاله حرف اول کلیه کلمه ها به استثنای حروف ربط، با حرف بزرگ نوشته می‌شود.

۲-۲-۹-۳- اسامی نویسندگان شامل نام و نام خانوادگی به صورت کامل نوشته شود.

۲-۲-۹-۴- واژه های کلیدی بر حسب حروف الفبا تنظیم شوند.

حق تکثیر (کپی رایت):

مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز مالکیت حق چاپ تمام موارد منتشر شده را دارد. با این وجود بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس می باشد.

AGRICULTURE SCIENCE AND SUSTAINABLE PRODUCTION

Liscence Holder:	Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Managing Director: Safar Nasrollahzadeh,	Prof., Dept .of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Editor-in-chief Adel Dabbagh Mohammadi Nasab,	Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Coordinating Manager: Ali Bandehagh	Prof., Plant Breeding and Biotechnology Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Editorial Board:

Mohammad Reza Shakiba	Dept. of Plant Eco-Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Yaegoob Raee	Prof., Dept of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Saeid Zehtab-Salmasi	Center for Sustainable Agricultural Studies, School of Plant and Environmental Sciences, University of New Mexico, USA
Raouf Seyed sharifi	Prof., Dept. of Agronomy and plant breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran.
Bahman Pasban Eslam	Assoc. Prof., Horticulture and Crops Research Dept, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Tabriz, Iran.
Sahebali Bolandnazar	Prof., Dept. of Horticulture Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Rouhollah Amini	Prof, Dept. of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Reza Amirnia	Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Uremia, Uremia, Iran
Aydin Hamidi	Assoc. Prof., of Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI)-Karaj, Karaj, Iran.
Ali Reza Sirousmehr	Assoc. Prof., Dept. of Agronomy,Faculty of Agriculture,University of Zabol, Zabol, Iran.
Khalil Kariman	University of Western Australia
Mohammad Radwan Mahmoud	Faculty member, Al-Muthana University of Baghdad, Baghdad, Iraq

Office: Faculty of Agriculture, University of Tabriz, 5166614766 Tabriz, Iran

Tel: 0098 41-33392037, Fax: 0098 41-33356002

E-mail: assp.tabrizu@gmail.com ,
https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/

Journal Officer
Roghaye Saadatpour

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 4, 2025, Pages 1-396

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

CONTENTS

Evaluation of Radiation Use Efficiency and Yield in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and Lathyrus (*Lathyrus sativus L.*) Intercropping ……..
Amin Yari, Farzad Mondani, Alireza Bagheri, Hamid Reza Chaghazard **1**

Assessment of the Yield and Yield Components of Balangu (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) in Intercropping with faba beans (*Vicia faba* L.) ……
Jalil Shafagh Kolvanagh, Yageoob Raei, Hassan Dehghanian, Elham Kouhi **17**

Evaluation of Agrobiodiversity in Afghanistan; Species and Genetic Diversity of Field Crops
Mohammad Yosef Jami, Alireza Koocheki, Mahdi Nassiri Mahallati, Soroor Khorramdel, Ramin Nazarian **27**

Growth-Promoting Bacteria effect on Yield and Quality Indicators of rice (*Oryza sativa* L.) under different levels of Chemical and Organic Fertilizers……
Omid Divsalar, Arastoo Abbasian, Morteza Nasiri, Rahmat Abbasi **45**

Water Cut Effects at Two Important Growth Stages on Agronomic Traits of Bread Wheat….
Shahryar Sasani, Reza Amiri, Rasoul Jalilian **67**

Impact of Biological and Chemical Fertilizers on some Morphophysiological Traits and Yield of Canola (*Brassica napus* L.)
Yaghoub Raei, Sara Azarnejad[2], Safar Nasrollahzadeh[1], Younes Kheirizadeh-Arough[1] **85**

Combined effects of Biochar and Nitrogen on some Agronomical Triats of Rapseed and Water Use Efficiency under Water Deficit Conditions……
Asad Ghaderpoor, Adel Reyhanitabar, Nosratollah Najafi, Davoud Zarehaghi,
Soheil Salimi Trazoj **103**

Morphological and Physiological Response of gladiolus (*Gladiolus grandiflora*) to the Application of humic acid and amino acid ……..
Zahra Mostafanezhad, Mahnaz Karimi, Vida Chalavi **125**

The Effect of Humic Acid on Physiological and Growth Parameters of Two-year-old Jujube Seedlings (*Ziziphus jujuba* Mill.) in Nursery Conditions ………
Iman Sahebalam, Davoud Kartoolinejad, Alireza Zare, Ebrahim Ganji Moghaddam **139**

Effect selenium on Growth, Physiology and Secondary Metabolites of Basil *(Ocimum basilicum* L.*)* under Frought Dtress Condition ……..……
Masome Moradi, Behrooz Esmaielpour, Saeid Alipour, Mosa Torabi Giglou **153**

The Effect of Different Nutrient Solutions on the Qualitative and Physiological Characteristics of two Pepper cultivars ……..
Jaber Panahandeh,Rana Ohebbi Mayan, , Sahebali Bolandnazar, Mina Amani, Zahra Dadashian **173**

Effect of 24-epibrassinolide, Spermine, and Silicon on Growth Traits and Grain Yield in maize under Water Deficit Stress ……..……
Azizolah Ghasemi, Salim Farzaneh, Sajjad Moharramnejad, Raouf Seyed Sharifi, Ahmed Fathy Youesf **189**

Investigating the Spatial Relationship of Black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) with Soil Characteristics in Wheat Field Using Geostatistical Relationships ……
Abbas Nasiri Dehsorkhi, Seyed Ahmad Ghanbari, Hassan Makarian, Mohammad Reza Asgharipour **201**

Weed Population and Efficiency of Herbicide influenced by Integrated Wheat Residue Management and mung bean Green Mulch in corn Field ……
Hossein Sarkheh, Ali Monsefi, Payman Hassibi **223**

Study of Cross-(in) compatibility and introduction of the best Pollinizer in four almond Promising Genotypes to achieve Sustainable Crop Production ……
Mohammad Zarrinbal, Jalil Dejampour, Hossein Fathi **237**

Yield Stability Analysis of Promising Bread Wheat Genotypes under Saline Conditions Using AMMI and GGE-Biplot analysis ……..……
Ashkboos Amini, Ali Akbar Asadi, Seyyed Mohammad Taghi Tabatabai, Zabihullah Rawari, Davood Amin Azram, Elias Arazamjo, Omid Podineh **253**

Evaluation and Comparison of the Efficiency and Sustainability of soybean Production in Aq Qala and Aliabad-e-Katul counties based on the Emergy Analysis Technique ……
Ebrahim Asdkhani, Mahmoud Ramroudi, Mohammd Reza Asghripour, Hamidreza Shahhoseini **275**

Structural Analysis of Factors Affecting the Unauthorized Change of Agricultural Land Use in Azarshahr City ……..……
Hossein Raheli, Fatemeh Kazemiyeh, Vahideh Faramarzi **293**

Investigating the effect of Carbon Tax on Pollution Control in Iran's Agricultural Sector (with the implementation of the Energy Subsidy Targeting Law) ……
Fatemeh Taei Semiromi, Sadegh Khalilian **311**

Investigating Different Populations of Dragon's head (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) in terms of Percentage and Yield of Protein in the Climatic Conditions of East Azarbaijan ……..……
Jalil Shafagh-Kolvanagh, Adel Dabbagh-Mohammadi-Nasab, Yaegoob Raee, Payvand Samimifar, Mina Amani **333**

Effect of Cold Storage of *Galleria mellonella* L. on the Fitness of *Habrobracon hebetor* Say
Nahid Vaez, Pari Dastmalchi, Ali Mehrvar …….. **351**

The effect of Different Tillage Methods and Application of Plant Residues on Yield and Growth Characteristics of triticale (X Triticosecale Wittmack) ……
Soheila Hosseinzadeh, Esfandiar Fateh, Amir Aynehband, Masoumeh Farzaneh, Jaafar Habibi Asl **379**