دانش
کشاورزی و تولید پایدار

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۳۳۳-۱

فهرست مطالب

تأثیر کاربرد کودهای زیستی، شیمیایی و عصاره جلبک دریایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی شاخص های فیزیولوژیکی نخود زراعی دیم (رقم سعید) ۱
هدایت عبدلی، یوسف نصیری، محسن جان محمدی، مجتبی نورآئین

ارزیابی کاربرد کودهای زیستی، اسید هیومیک و شیمیایی بر برخی صفات رشدی، فیزیولوژیکی و کیفی سبزی برگی مذاب (*Eruca sativa* L.) ۲۵
سروه طهماسبی، علی اکبر مظفری، ناصر قادری، بهروز سرابی

اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد برنج در مقادیر کاهش‌یافته کودهای شیمیایی ۴۱
طیبه ژولیده، فائزه زعفریان، اسماعیل بخشنده، مریم صادق

بررسی تأثیرکودهای زیستی و آلی بر برخی صفات کمی و کیفی گاوزبان اروپایی(*Borago officinalis* L.)..... ۵۷
کیامرث آزادی نژاد، امین صالحی، علیرضا یدوی، هوشنگ فرجی، پروین رستم پور

تاثیر کاربرد نیترات آمونیوم، قارچ میکوریزا و نیتروکسین بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و اسانس زیره بز(*Cuminum cyminum* L) در منطقه کاشان ۶۵
منصوره فروغیان، مجتبی جعفر زاده کنارسری، حمید دهقان‌زاده، حسین زینلی

اثر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر رشد، عملکرد و کیفیت سورگوم علوفه ای (*Sorghum bicolor* L. Moench)..... ۸۳
محمد رضا بحیرایی، جواد حمزه ئی، محمدعلی ابوطالبیان

بررسی تاثیر گیاهان پوششی تابستانه در توالی زراعی با گیاه اصلی گندم بر عملکرد آن و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ۹۷
یوسف یوسفی بجوانی، رضا امیرنیا، محمدرضا مهرور، علیرضا فلاح نصرت آباد

تاثیر تغذیه فسفر، آهن و روی بر شاخص‌های رشدی و عملکردی چای ترش در یک خاک آهکی ۱۱۳
محمدحسن کارگر شورکی، مصطفی شیرمردی، حیدر مفتاحی‌زاده، جلال غلام‌نژاد

خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، مؤلفه‌های عملکردی و شاخص رقابت ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان (*Triticum estivum*) تحت رقابت علف‌هرز پنیرک (*Malva neglecta* L.) در شرایط خوزستان ۱۲۹
راضی سرخه، جعفر اصغری، عادل مدحج، احمد علی شوشی دزفولی

اثر روش‌های مختلف مدیریت علف‌های هرز بر صفات رشدی و عملکرد بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) ۱۴۹
جلیل شفق کلوانق، صفر نصرالله‌زاده، رویا مختاریان، مینا امانی

مدیریت زراعی علف‌های هرز و بررسی شاخص های ارزیابی کشت مخلوط گلرنگ(*Carthamus tinctorius* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) ۱۶۷
جلیل شفق کلوانق، فریبرز شکاری، عبدالله جوانمرد، مینا امانی، زهره سائلی‌اشان، مهناز شریفی

اثرات محلول‌پاشی برگی با غلظت‌های مختلف کائولین بر ویژگی‌های گل و تشکیل میوه شش رقم تجاری زیتون در شرایط گرم ۱۸۳
رحمت اله غلامی، ابوذر هاشم پور، عیسی ارجی، ابوالمحسن حاجی امیری

کارایی مقادیر کاهش یافته علف‌کش‌در تلفیق با مالچ کلش و وجین‌دستی در مدیریت علف‌های‌هرز گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) ۱۹۵
صدیقه سارنچه، روح اله امینی، ، علیرضا یوسفی

اثر کاربرد جلبک دریایی روی اجزای عملکرد، عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه در خاک‌های شور دشت تبریز ۲۱۳
بهمن پاسبان اسلام

تأثیر محلول غذایی هوگلند و تریاکانتانول بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) ۲۲۵
سعیده علیزاده سالطه، فاطمه هاشمی، صاحبعلی بلندنظر، علیرضا مطلبی‌آذر، مینا امانی

ارزیابی پایداری بوم نظام مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی بر اساس تحلیل امرژی در شهرستان نهبندان ۲۳۷
فاطمه نخعی، احمد قنبری، محمدرضا اصغری پور، اسماعیل سیدآبادی

بررسی روند مصرف و محاسبه شاخص‌های کارایی انرژی در تولید غلات آبی کشور (گندم، جو، برنج و ذرت) طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ ..... ۲۵۵
رز هاشمی، رضا مقدسی، مهدی کاظم نژاد، امیر محمدی نژاد

اثر تنش سرما بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل گندم دیم در شرایط کشاورزی حفاظتی ۲۶۷
هادی خرسندی، سعید زهتاب سلماسی، رامین لطفی، کاظم قاسمی گلعذانی، صابر گلکاری

تدوین برنامه زراعی پایدار جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های محیط‌زیست در حوضه آبریز سیستان..... ۲۸۳
حسین بدیع برزین، سید مهدی حسینی، محمود هاشمی تبار، مصطفی مردانی نجف آبادی

عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی تولید سیب‌زمینی در شهرستان اردبیل..... ۳۰۳
قادر دشتی، الهه قاسمی، محمد قهرمان‌زاده

تأثیر مصرف توأم بیوچار و فسفر بر ماده خشک، مقدار روغن دانه و جذب برخی عناصر توسط کلزا (*Brassica napus* L.) در یک خاک لوم قلیایی در شرایط گلخانه ای ۳۱۷
سهیل سلیمی ترازوج، عادل ریحانی تبار، نصرت اله نجفی

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: ۳۳۹۲۰۳۷-۰۴۱۱ ، فاکس ۳۳۵۶۰۰۲ – ۰۴۱۱

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 35, Issue 1, 2025, Pages 1-23

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

Effect of Biological and Chemical Fertilizers and Seaweed Extract Application on Yield, Yield Components and some Physiological Traits of Rainfed Chickpea (Saeed cv.)

Hedayat Abdoli[1], Yousef Nasiri[2*], Mohsen Janmohammadi[3], Mojtaba Nooraeen[2]

Received: 15 May 2023	Accepted: 24 January 2024

1-Ph.D Student of Agrotechnology- Crop Ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
2-Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
3-Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
*Corresponding Author: E-mail: ysf_nasiri@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: This research was carried out to investigate grain yield, yield components, protein percentage, and some physiological traits of chickpea (Saeed cv) under the influence of biological and chemical fertilizers and seaweed extract.

Materials and Methods: The experiment was conducted in two years (2019 and 2020) under rainfed conditions in Oshnavieh City of West Azarbaijan Province as factorial based on a randomized complete blocks design (RCBD) with three replications. The first factor was included of the application of biological and chemical fertilizers: control (no fertilizer), Phosphate Barvar 2 as a biological fertilizer, ammonium phosphate as a chemical fertilizer, 50% chemical fertilizer + 50% biological fertilizer and 100% chemical fertilizer + 100% biological fertilizer, and the secondary factor was included as foliar spraying of seaweed extract in three levels of control, application before flowering and application after flowering. The studied traits were included as plant height, number of sub-stems, number of pods per plant, number of grains per plant, one hundred grain weight, grain yield, chlorophyll *a+b* content, carotenoid content, soluble sugar content, and grain protein percentage.

Results: The results showed that the application of biological and chemical fertilizers had a positive effect on improving the growth characteristics of chickpeas, so that the combined application of biological and chemical fertilizers had the greatest increase on the number of pods and the number of grains per plant. Application of seaweed extract before flowering or after flowering caused a significant increase in the number of pods per plant and the one handred grain weights. The highest grain yield in the first year (133.7 $g.m^{-2}$) was obtained under the combined treatment of biological and chemical fertilizers (50:50) + the application of seaweed extract before flowering stage and in the second year (149.0 $g.m^{-2}$) under combined treatment of biological and chemical fertilizers (100:100) + the application of seaweed extract after flowering stage. The highest content of soluble sugar was obtained with the combined application of biofertilizer and chemical fertilizers under foliar spraying of seaweed extract before or after flowering stages. The percentage of chickpea grain protein showed a significant increase in the first year with separate or combined application of biological and chemical fertilizers compared to the control, and in the second year it showed the highest increase with the application of chemical or combined fertilizers. The content of chlorophyll *a+b* showed a significant increase with the application of seaweed extract after flowering stage, and the carotenoid content showed the maximum increases in the both years with the combined application of biological and chemical fertilizers or the application of 100% chemical fertilizer + the application of seaweed extract after flowering.

Conclusion: Based on the overall results of this study, the application of chemical and biological fertilizers, especially their combined application along with foliar application of seaweed extract, can be effective in increasing the quantitative and qualitative yield of chickpea under rainfed conditions. On the other hand, removing or reducing the application of chemical inputs and replacing them with biofertilizers and growth stimulants such as seaweed eextract can be considered as an important step towards achieving sustainable agriculture goals especially in the rainfed conditions.

Keywords: *Cicer arietinum*, one Hundred Grain Weight, Number of Pods per Plant, Protein Percentage, Solubl Sugar Content, *Spirulina* Seaweed Extract.

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Yousef Nasiri E-mail: ysf_nasiri@yahoo.com
https://doi.org/10.22034/saps.2024.56629.3046

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۲۳-۱

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی و عصاره جلبک دریایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی شاخص های فیزیولوژیکی نخود زراعی دیم (رقم سعید)

هدایت عبدلی[۱]، یوسف نصیری[۲*]، محسن جان محمدی[۳]، مجتبی نورآئین [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۵	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۴

۱-دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
۲-دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
۳-استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
*نویسنده مسئول: E-mail: ysf_nasiri@yahoo.com
۲

چکیده

مقدمه و اهداف: این پژوهش به‌منظور بررسی عملکرد دانه، اجزای عملکرد، درصد پروتئین و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی نخود زراعی (رقم سعید) تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی و عصاره جلبک دریایی انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و طی دو سال زارعی (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹) به‌صورت مزرعه‌ای در شهرستان اشنویه استان آذربایجان غربی انجام شد. عامل اول کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی شامل: شاهد (عدم کاربرد کود)، مصرف خاکی کود زیستی فسفات بارور۲، کود شیمیایی آمونیوم فسفات، ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد کود زیستی و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی + ۱۰۰ درصد کود زیستی و عامل دوم محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در سه سطح شاهد، کاربرد قبل از مرحله گلدهی و کاربرد بعد از مرحله گلدهی بود. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد ساقه‌های فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه، محتوای کلروفیل $a+b$، محتوای کارتنوئید، محتوای قند محلول و درصد پروتئین دانه بود.

یافته ها: نتایج نشان داد کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی تأثیر مثبتی بر بهبود صفات رشدی نخود داشت به‌طوری که کاربرد ترکیبی کودهای زیستی و شیمیایی بیشترین افزایش را بر تعداد غلاف و تعداد دانه در هر بوته داشتند. کاربرد عصاره جلبک دریایی قبل از شروع گلدهی و یا بعد از گلدهی در مقایسه با شاهد باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه و غلاف در بوته و وزن صد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه در سال اول (۱۳۳/۷ گرم در مترمربع) تحت تیمار ترکیبی کودهای زیستی و شیمیایی (۵۰:۵۰) همراه با کاربرد عصاره جلبک دریایی قبل از مرحله گلدهی و در طی سال دوم (۱۴۹/۰ گرم در مترمربع) تحت تیمار ترکیبی (۱۰۰:۱۰۰) توأم با کاربرد عصاره جلبک دریایی قبل از مرحله گلدهی به‌دست آمد. بیشترین محتوای قند محلول با کاربرد ترکیبی کود زیستی و کود شیمیایی در شرایط محلول‌پاشی عصاره جلبک در مرحله قبل یا بعد از گلدهی به‌دست آمد. درصد پروتئین دانه نخود در سال اول با کاربرد جداگانه و یا ترکیبی کودهای زیستی و شیمیایی نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد و در سال دوم با کاربرد کودهای شیمیایی و یا ترکیبی بیشترین افزایش را نشان داد. غلظت کلروفیل $a+b$ با کاربرد عصاره جلبک دریایی بعد از مرحله گلدهی افزایش معنی‌دار نشان داد و غلظت

کارتنوئید در هردو سال با کاربرد ترکیبی کودهای زیستی و شیمیایی و یا کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی همراه با محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی بعد از گلدهی بیشترین افزایش‌ها را نشان داد.

نتیجه گیری: کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی به‌ویژه کاربرد ترکیبی آنها توأم با محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی می‌تواند در افزایش عملکرد کمی و کیفی نخود در شرایط دیم مؤثر باشد. از سوی دیگر حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و جایگزینی آنها با کودهای زیستی و محرک‌های رشد مانند عصاره جلبک دریایی را می‌توان گامی مهم در جهت دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار به‌ویژه در شرایط دیم در نظر گرفت.

واژه های کلیدی: وزن صددانه، درصد پروتئین، محتوای قند محلول، عصاره جلبک *اسپیرولینا*، تعداد غلاف در بوته، *Cicer arietinum*

مقدمه

نخود زراعی(*Cicer arietinum* L.) از جمله بقولاتی است که به‌دلیل دارا بودن ۳۳-۱۳ درصد پروتئین، ۵۵-۴۰ درصد کربوهیدارت، ویتامین‌های گروه B (تیامین، ریبوفلاوین و نیاسین) (کاور و همکاران ۲۰۱۶)، فولات، β-کاروتن و عناصر معدنی همچون Zn، Se، Fe، Ca، Mg، K، Cu و P (دراگیسویک و همکاران ۲۰۱۸) سهم عمده‌ای در جیرهٔ غذایی انسان دارد.

محدودیت در منابع آب منجر به کاهش توان تولیدی در اکوسیستم‌های کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک گردیده و در بسیاری از زمین‌های کشاورزی استعداد تولید محصولات گیاهی در آنها کاهش یافته و یا به‌طورکلی از بین رفته است. در این راستا نقش مدیریت انسان در برنامه‌های تولید محصولات کشاورزی در جهت استفاده صحیح از منابع اعم از آب و خاک چشمگیر است. مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی، انرژی و هزینه‌های تولید و مصرف آن‌ها و اثرات سویی که بر چرخه‌های زیستی و خود پایداری بوم نظام‌های زراعی دارند، از علل رویکرد به کاربرد کودهای زیستی می‌باشند (زهیر و همکاران ۲۰۰۴). کاربرد کودهای زیستی و آلی علاوه بر تأمین عناصر غذایی به‌شکل متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان و افزایش رشد و عملکردآن‌ها، موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کمک به حفظ محیط زیست و بهبود حاصل‌خیزی زمین‌های کشاورزی می‌شود (نصیری ۲۰۲۲). علاوه بر این کاربرد چنین کودهایی باعث افزایش مقاومت گیاهان به شرایط کم‌آبی، بیماری-ها و آفات می‌شود (محمدی و سهرابی ۲۰۱۲).

امروزه استفاده از انواع محرکهای زیستی بهبوددهند رشد گیاهان در کشاورزی متداول شده است. به‌نظر می-رسد در شرایط خاک‌های آهکی، محرک‌های رشد گیاهی بتوانند به‌عنوان یک استراتژی برای بهبود جذب عناصر غذایی استفاده شوند. کنترل و سرعت بخشیدن به فرآیندهای حیاتی گیاه، بهبود جوانه‌زنی بذر و فعالیت بیولوژیکی، افزایش مقاومت در برابر تنش‌ها و توسعه و رشد گیاهی از جمله نقش‌های این محرک‌های زیستی دوستدار محیط زیست هستند (رفیعی و همکاران ۲۰۲۰). عصاره جلبک دریایی نیز به‌عنوان یک کود یا محرک زیستی شناخته شده (استریک ۲۰۰۴)، به‌دلیل داشتن هورمون‌های رشد مانند سیتوکنین، ایندول استیک اسید و عناصری مانند آهن، مس، روی، کبالت، مولیبدن، منگنز و نیکل، ویتامین‌ها و آمینواسیدها تأثیر مفیدی روی رشد گیاهان دارد. نتایج بررسی‌ها نشان داده که کاربرد عصاره جلبک باعث افزایش رشد گیاه، تحریک رشد ریشه، تأخیر در پیری و بهبود تحمل به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری و دمای هوا می‌شود (کینگمن و مور ۱۹۸۲؛ لودویک مولر ۲۰۰۰). عصاره جلبک دریایی گونه *اسپیرولینا پلاتنسیس* به لحاظ دارا بودن پروتئین، اسید چرب‌های ضروری مثل گامالینولنیک، ویتامین‌ها مخصوصاً ویتامین B_{12} و پیش‌ساز ویتامین A، مواد معدنی از جمله آهن و کلسیم، سولفولیپیدها، ترکیبات آنتی اکسیدانی مانند فایکوسیانین، سلنیوم، کارتنوئیدها و

غیره، از جمله غنی‌ترین عصاره‌های جلبک دریایی مورد استفاده می‌باشد (غفاری‌زاده و همکاران ۲۰۱۵). در سال-های اخیر استفاده از تولیدات طبیعی مانند عصاره جلبک دریایی و کودهای زیستی به‌عنوان جانشین کودهای سنتزی و شیمیایی مرسوم نقش مهمی را بر عهده گرفته-اند (دیلیپ کومار و همکاران ۲۰۰۱). کاربرد عصاره جلبک‌های دریایی دارای اثرات مثبتی بر روی گیاه ازجمله افزایش عملکرد، افزایش جذب و استفاده از مواد مغذی، افزایش فعالیت فتوسنتزی و مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی است (ون اوستن و همکاران ۲۰۱۷). افزایش سرعت فتنوسنتز و محتوای کلروفیل و بهبود عملکرد لوبیا در شرایط تنش خشکی نیز با کاربرد عصاره جلبک دریایی توسط بیگ‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است.

با توجه اینکه اکثر زمین‌های زیر کشت نخود در شرایط دیم مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند و مسائل مربوط به کمبود بارندگی و بروز خشکی، در کشور حاکم است، به‌نظر می‌رسد که استفاده از کودهای شیمیایی در شرایط کم‌آبی و دیم تأثیر معنی‌داری در بهبود عملکرد محصول نخواهد داشت و علاوه بر این می-تواند اثرات نامطلوب بر سلامت انسان و محیط زیست داشته باشد. بنابراین پژوهش در خصوص جایگزین نمودن نهاده‌های شیمیایی با نهاده‌های غیرشیمیایی و دوستدار محیط زیست از جمله کودها و محرک‌های زیستی می‌تواند گامی مهم در جهت دستیابی به پایداری در کشاورزی باشد. لذا هدف از اجرای این پژوهش بررسی کاربرد نهاده‌های زیستی، شیمیایی و عصاره جلبک دریایی بر عملکرد کمی و کیفی و برخی صفات بیوشیمیایی نخود زراعی رقم سعید در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی در دو سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ تحت شرایط دیم در مزرعه‌ای در شهرستان اشنویه با ۱۵۷۰ متر ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ۴۵درجه شرقی و ۳۷ درجه شمالی اجرا شد. عامل اول کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی شامل: شاهد (عدم کاربرد کود)، کود زیستی فسفات بارور ۲، کود شیمیایی (بر اساس توصیه کودی)، کود زیستی + کود شیمیایی (۱۰۰:۱۰۰) و کود زیستی + کود شیمیایی (۵۰:۵۰) و عامل دوم محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی (*اسپیرولینا*) در سه سطح شامل عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی قبل از گلدهی و محلول‌پاشی بعد از گلدهی بودند. آزمایش در سه تکرار انجام شد و بذر نخود زراعی مورد استفاده رقم سعید بود. از آنجایی که رقم سعید نخود از لحاظ عملکرد دانه مطلوب، از نظر ارتفاع بوته مناسب جهت برداشت مکانیزه، دارای وزن صد دانه بالا، پروتئین مناسب دانه و تحمل به بیماری برق زدگی است و همچنین سازگار با کشت در شرایط دیم و اقلیمی منطقه (معتدل و سرد) می‌باشد جهت کشت انتخاب گردید. کود زیستی فسفاته بارور ۲ از شرکت زیست فناور سبز تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. این کود زیستی دارای باکتری‌های مفید حل‌کننده فسفات از جمله *Pseudomonas putida* strain P13 و Pantoea agglomerans strain P5 است و در هر بسته ۱۰۰ گرمی از آن 10^9 باکتری زنده و فعال از هرکدام از سویه-های ذکرشده موجود می‌باشد. باکتری‌های موجود در کود زیستی فسفاته بارور ۲ با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز قادر هستند یون فسفر را از ترکیبات فسفردار و نامحلول خاک رها کرده و آنها را به فرم محلول قابل جذب گیاه تبدیل کند (صالح راستین ۲۰۰۱؛ حسن پور و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج آزمایش‌های متعددی حاکی از آن است که کاربرد کودهای زیستی فسفاته از جمله فسفات بارور ۲ علاوه بر بهبود صفات فیزیولوژیکی در گیاه و افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول باعث القای مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نیز می‌شود (آزرمی آتاجان ۲۰۲۰؛ کمائی و همکاران، ۲۰۱۹؛ توحیدی نیا و همکاران ۲۰۱۴). پودر ریزجلبک *اسپیرولینا* از شرکت دانش‌بنیان ریزجلبکی پارسیان تهیه شد و گونه ریزجلبک مورد استفاده *Spirulina platensis* بود. این کود حاوی انواع مختلفی از اسیدهای آمینه غیرضروری و ضروری همچون آرژنین، آلانین، گلایسین، پرولین، سرین، لوسین، ایزولوسین، لیسین، تریپتوفان، وانیلن و آنزیم‌هایی

همچون سوپراکسیددیسوتاز و گلوتاتیون پراکسیداز می‌باشد. مقادیر برخی دیگر از ترکیبات موجود در عصاره جلبک دریایی مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. بعداز عملیات شخم و دیسک‌زنی زمین، کرت-هایی با ابعاد۴×۱/۸ مترمربع تهیه گردید و در هر کرت ۵ ردیف کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر لحاظ شد و فاصله کاشت بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر (تراکم کاشت ۳۳/۳ بوته در مترمربع) درنظر گرفته شد. کاشت در اواسط فروردین ماه هردو سال صورت گرفت. قبل از اجرای آزمایش از خاک مزرعه مورد نظر یک نمونه مرکب خاک جهت بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک برداشته و در آزمایشگاه تجزیه خاک، آنالیز شد (جدول۲). در جدول ۳ متوسط دما، بارندگی و رطوبت نسبی هوای محل اجرای آزمایش آورده شده است. مصرف کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک و توصیه کودی برای نخود دیم صورت گرفت. کود شیمیایی دی‌آمونیوم فسفات (۴۵٪ P_2O_2؛ ۱۸ درصد نیتروژن) به‌مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت خاک مصرف و کود زیستی فسفات بارور ۲ به‌مقدار ۱۰۰ گرم در هکتار به‌صورت بذرمال مصرف شد. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۵ در هزار (بر مبنای توصیه شرکت سازنده) انجام شد. محلول‌پاشی در اواخر روز و قبل از غروب آفتاب زمانی که هوا رو به خنک شدن بود به‌منظور به حداقل رساندن تبخیر محلول، بر روی گیاهان صورت گرفت. به‌منظور ارزیابی صفات موردنظر با لحاظ اثر حاشیه‌ای، از سه ردیف میانی هر کرت (مساحتی معادل دو مترمربع) نمونه‌برداری صورت گرفت. برای ارزیابی صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه‌های فرعی، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته از هر کرت ۷ بوته درنظر گرفته شد و اندازه گیری‌های مورد نظر روی آنها انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و تغییر رنگ بیش از ۹۰ درصد غلاف‌ها (مجنون‌حسینی و حمزه‌ای ۲۰۱۱)، بوته‌های سطحی معادل یک مترمربع از هر کرت برداشت گردید و بعد از خشک شدن بوته‌ها، اقدام به جداسازی دانه و توزین آنها شد. از هر توده بذری هم وزن صد دانه محاسبه گردید.

جدول ۱- مقادیر برخی ترکیبات و عناصر غذایی عصاره ریزجلبک *اسپیرولینا*

پروتئین	چربی	کربوهیدرات	فیبر کل	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	منیزیم	کلسیم	آهن	روی
		(٪)					($g.kg^{-1}$)			
۷۰-۵۵	۹-۶	۲۴	۲-۱۰	۹/۴	۱۷/۷	۶۶/۲	۲/۶	۱/۷	۰/۷۵	۰/۰۵

جدول۲- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه طی دوسال آزمایش (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

	EC	pH	T.N.V (%)	O.C (%)	N (%)	K (mg/kg)	P (mg/kg)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
سال اول	۱/۴۲	۷/۸۶	۱۲	۱/۳۱	۰/۱۲	۱۶۴	۱۱/۵	۳۸	۳۸	۲۴
سال دوم	۱/۳۸	۷/۶۹	۱۳	۱/۲۸	۰/۱۳	۱۴۵	۱۳/۵۷	۳۸	۳۸	۲۴

جدول ۳- متوسط دما، بارندگی و رطوبت نسبی هوای شهرستان طی ماه‌های اجرای آزمایش در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

	سال	فروردین‌ماه	اردیبهشت‌ماه	خردادماه	تیرماه	مردادماه
متوسط دما (سیلسیوس)	۱۳۹۸	۱۲/۶	۱۵/۱	۱۹/۲	۲۲/۸	۲۵/۶
	۱۳۹۹	۱۳/۱	۱۵/۸	۱۹/۹	۲۳/۱	۲۶/۲
متوسط بارش (سانتی‌متر)	۱۳۹۸	۵۹/۰	۳۸/۰	۷/۲	۲/۳	۰/۴
	۱۳۹۹	۴۹/۸	۳۶/۶	۶/۹	۲/۴	۰/۶
متوسط رطوبت نسبی (درصد)	۱۳۹۸	۵۸/۳	۵۷/۳	۴۹/۲	۴۷/۰	۴۴/۷
	۱۳۹۹	۵۹/۱	۵۸/۵	۴۸/۲	۴۶/۴	۴۶/۲

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های برگ در مرحله بعد از گلدهی از برگهای جوان کاملاً توسعه یافته و سبز بالایی استفاده شد، بدین ترتیب که برگ‌ها با قیچی جدا شده و نمونه‌ها به سرعت در نیتروژن مایع منجمد شده و به آزمایشگاه منتقل شد و تا زمان اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. اندازه‌گیری رنگیزه‌های کلروفیلی براساس روش آرنون (۱۹۶۷) انجام شد. ابتدا عصاره استونی از نمونه‌ها تهیه شد و قرائت در طول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ و ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/VIS Lambda25) به‌ترتیب برای کلروفیل‌های a و b و کارتنوئید صورت گرفت و با استفاده از معادله‌های زیر محتوای کلروفیل و کارتنوئید محاسبه گردید.

$$\mathrm{Chl}a = 12.25A663 - 2.79A646.8$$
$$\mathrm{Chl}b = 21.50A646.8 - 5.10A6663.2$$
$$Chlorophyll\ (\mathrm{a}+\mathrm{b}) = Chla + Chlb$$
$$Carotenoid = (1000 \times A470 - 1.82Ca - 85.02Cb)/198$$

جهت اندازه‌گیری محتوای قندهای محلول، ۰/۵ گرم نمونه تازه برگی (نمونه نگهداری شده در دمای ۸۰- درجه سلسیوس) را در ۱۰ سانتی‌مترمکعب اتانول ۸۰ درصد در هاون چینی همراه با یخ آسیاب کرده و محلول را داخل فالکون ریخته و خوب تکان داده شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از آن محلول برداشته و در میکروتیوب ریخته و در سانترویفیوژ گذاشته و به مدت ۱۵ دقیقه و در دور ۱۵۰۰۰ قرار داده شد. بعد از سانتریفیوژ ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول بالایی داخل میکروتیوب را برداشته و با ۲/۵ میلی‌لیتر آنترون مخلوط کرده و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام بن ماری قرار داده شد و پس از خنک شدن محلول آن را در طول موج ۶۲۵ نانومتر در اسپکتوفتومتر قرار داده شد و عدد مورد نظر یادداشت گردید. جهت رسم منحنی استاندارد از گلوگز خالص استفاده شد (مالیک و همکاران ۲۰۱۱). جهت سنجش پروتئین دانه از روش کجلدال (ماگومیا و همکاران ۲۰۱۴) استفاده شد.

پیش از تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع داده‌ها و یکنواختی واریانس خطاها و افزایشی بودن اثر بلوک در تیمار بررسی گردید. جهت بررسی یکنواختی واریانس داده‌های هردو سال از آزمون بارتلت استفاده شد. برای انجام تجزیه مرکب داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نقشه حرارتی (هیت-مپ) مربوط به گروه‌بندی صفات و تیمارها با بهره‌گیری از نرم‌افزار CIM-Miner به روش وارد و براساس فاصله اقلیدیسی رسم شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر ارتفاع بوته نخود تأثیر معنی‌داری داشت (جدول۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین ارتفاع بوته (۲۸/۴ سانتی‌متر) تحت تیمار ترکیبی کود زیستی و کود شیمیایی (۱۰۰:۱۰۰) به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۱۰/۷ درصد افزایش نشان داد (شکل۱). نتایج بررسی‌های سایر پژوهشگران نیز حاکی از آن است که باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجود در کود زیستی فسفات بارور۲ از طریق تولید هورمون-های تحریک‌کننده رشد همچون اکسین، سیتوکنین و جیبرلین با تأثیر بر رشد و نمو گیاهان، باعث افزایش شاخص‌های رشدی گیاه از جمله ارتفاع بوته می‌شوند (قبادی و همکاران ۲۰۱۲؛ سریواستا و همکاران ۲۰۰۱). پاینده و دروگر (۲۰۲۰) نیز افزایش ارتفاع بوته با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات در ذرت را گزارش نمودند.

تعداد ساقه های فرعی

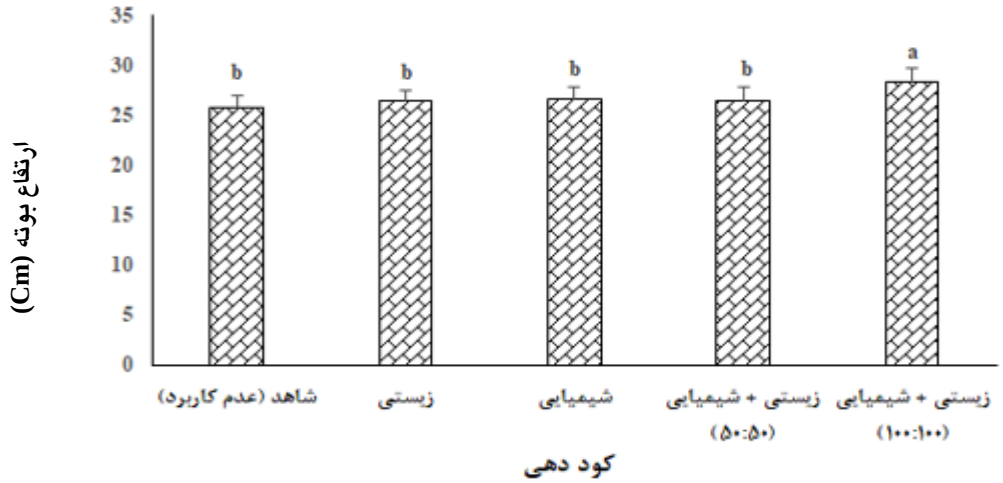
This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Yousef Nasiri E-mail: ysf_nasiri@yahoo.com
https://doi.org/10.22034/saps.2024.56629.3046

برهمکنش سال در عصاره جلبک بر تعداد ساقه‌های فرعی در نخود معنی‌دار شد (جدول۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تعداد ساقه‌های فرعی (۱۱/۶ ساقه در بوته) با کاربرد عصاره جلبک دریایی در قبل از گلدهی و در سال اول ثبت شد (شکل۲). نتایج همچنین نشان داد که در سال دوم نیز کاربرد عصاره جلبک دریایی (قبل و یا بعد از گلدهی) نسبت به عدم کاربرد آن باعث افزایش معنی‌دار صفت مورد اشاره شد. در پژوهشی مشابه اثر کاربرد جلبک‌های قهوه‌ای، قرمز و سبز اسپیرولینا بر روی دو رقم نخود با غلظت-های مختلف موجب افزایش تعداد شاخه‌های اصلی و طول ساقه شد (کمال‌الدحسن و همکاران ۲۰۱۳).در سال دوم میانگین تعداد ساقه‌های فرعی نسبت به سال اول کاهش معنی‌داری نشان داد. به نظر می‌رسد در سال دوم به‌دلیل افزایش نسبی دمای هوا در طول دوره رشد رویشی (جدول۳) و افزایش تبخیر و تعرق، رشد رویشی گیاه کاهش یافته و به تبع آن تعداد ساقه‌های فرعی نیز نسبت به سال اول کاهش یافته است.

جدول۴- نتایج تجزیه واریانس اثرجلبک اسپیرولینا و کودهای زیستی و شیمیایی بر صفات مورفولوژیکی، اجزای عملکرد، و عملکرد دانه در دو سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

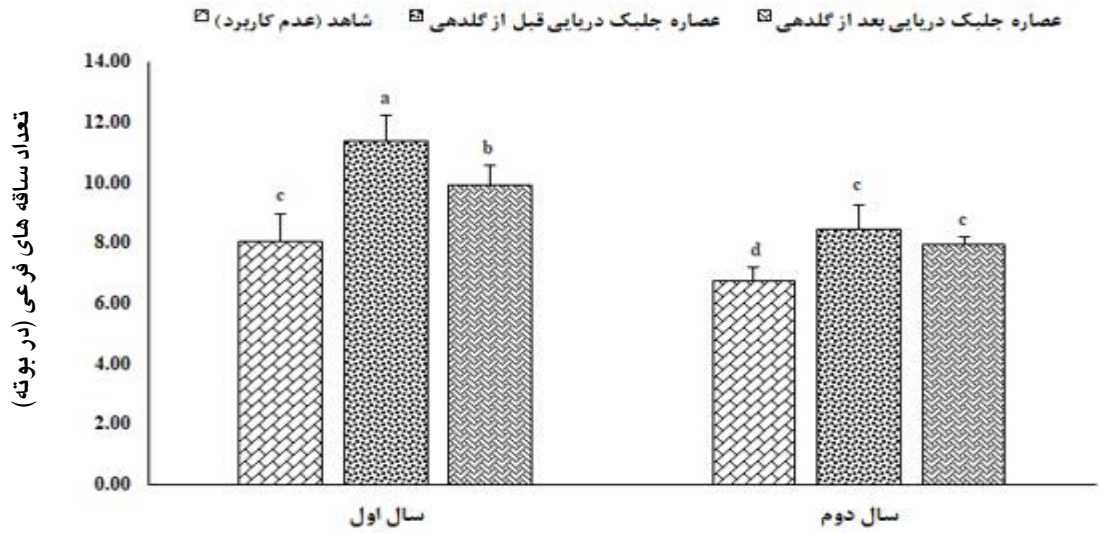
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	تعداد ساقه‌های فرعی	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن صد دانه	عملکرد دانه
سال (Y)	۱	۶۲/۹۲ ns	۹۶/۱۴ **	۲۱/۳۶ *	۱۰/۱۸ ns	۲/۰۳ ns	۱۵۳۱/۴ ns
بلوک (سال)	۴	۳۱/۶*	۰/۲۴ ns	۱/۳۸ns	۱/۸۶ns	۳/۲۷ns	۱۴۴۲/۹ **
کود (F)	۴	۱۸/۶۷ *	۱/۴۰ ns	۸۵/۲۱ *	۱۰۰/۳۳*	۳۶/۲۴ *	۳۱۲۶/۹**
جلبک (A)	۲	۳۱/۰۹ ns	۳۴/۲۰ ns	۲۵۵/۵۹ *	۲۷۵/۸۸*	۶۵/۶۹ *	۴۴۱۹/۶ *
Y×F	۴	۱/۲۴ns	۰/۳۷ ns	۱۲/۶۶ ns	۱۴/۳۰*	۴/۱۲ ns	۱۳۵/۹ ns
Y×A	۲	۳/۹۲ ns	۱۰/۵۲ **	۱۰/۱۰ ns	۶/۲۵ns	۲/۷۳ ns	۲۱۹/۴ns
F×A	۸	۱/۹۵ ns	۱/۹۵ ns	۱۰/۱۸ns	۸/۳۲ ns	۱/۱۶ ns	۲۴۷/۳ns
Y×F×A	۸	۵/۹۲ ns	۱/۱۶ ns	۱۰/۰۶ ns	۶/۳۰ ns	۰/۷۹ ns	۳۲۸/۴ *
خطای آزمایشی	۵۶	۸/۸۷	۱/۸۴	۷/۲۳	۵/۴۸	۱/۹۹	۱۲۵/۸
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۱۴	۱۵/۵۲	۱۰/۳۱	۹/۹۱	۴/۴۹	۱۰/۰

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.



شکل۱- مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته نخود تحت کودهای شیمیایی و زیستی (فسفات بارور۲)

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد



شکل۲. مقایسه میانگین‌های تعداد ساقه های فرعی در بوته نخود تحت کاربرد عصاره جلبک دریایی

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

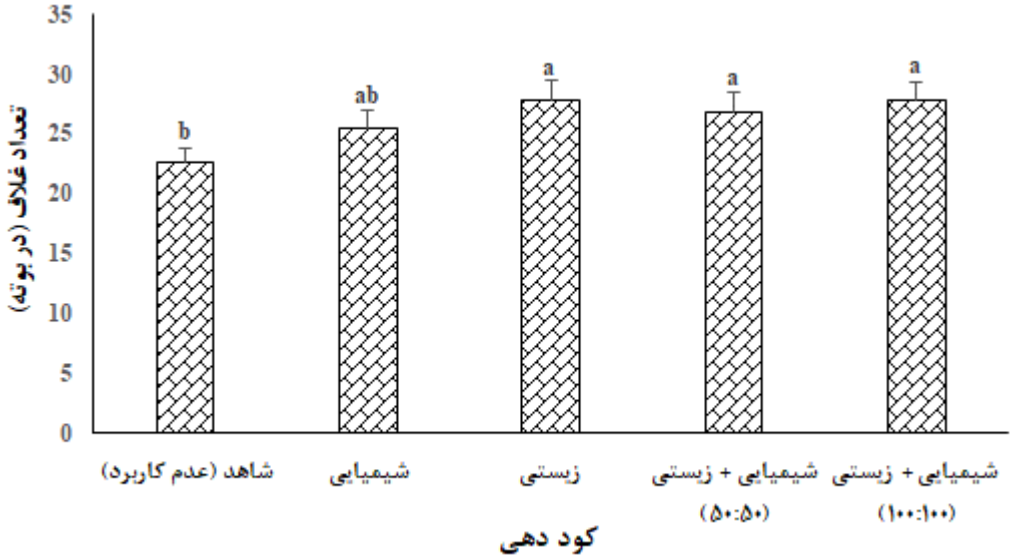
اجزای عملکرد

تعداد غلاف در بوته

اثر ساده تیمارهای مورد بررسی (کودهای شیمیایی و زیستی و عصاره جلبک دریایی) بر تعداد غلاف در بوته نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی + ۱۰۰ درصد کود زیستی، ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد کود زیستی و کاربرد جداگانه کود زیستی، تعداد غلاف در بوته نخود نسبت به عدم کاربرد کود افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل۳). نتایج همچنین نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی (قبل از گلدهی و یا بعد از گلدهی) نسبت به عدم کاربرد آن باعث افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته گردید (شکل۴). اعلمی میلانی و همکاران (۲۰۱۴) نیز افزایش تعداد غلاف در بوته با کاربرد کودهای شیمیایی و ترکیبی از کودهای شیمیایی و زیستی دارای نیتروژن و فسفر را در لوبیا گزارش نمودند. حق‌پرست و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی دیگر گزارش دادند که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با کاهش اثرات منفی تنش خشکی، باعث افزایش تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف و وزن صد دانه نخود شد.

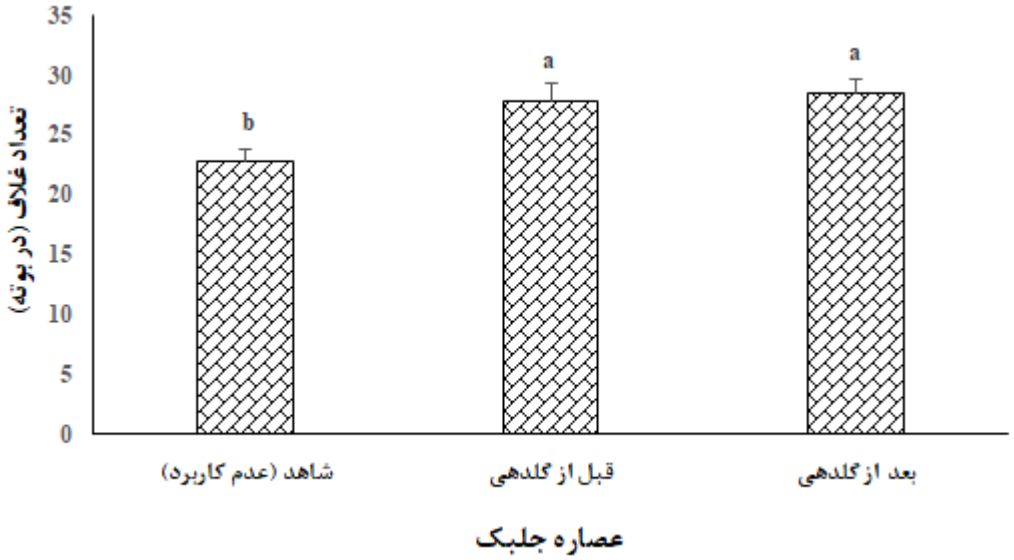
تعداد دانه در بوته

اثرات ساده کود و عصاره جلبک دریایی و همچنین برهمکنش سال در کود بر تعداد دانه در غلاف نخود معنی‌دار شد (جدول۴). مقایسه میانگین‌های اثرات دوگانه سال زراعی و کود بر تعداد دانه در غلاف نشان داد که کاربرد کودهای زیستی، شیمیایی و ترکیبی از کودهای شیمیایی و زیستی در هر دو سال باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف گیاه نخود گردید، به‌طوری که بیشترین تعداد دانه در هردو سال با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و یا کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و زیستی (۱۰۰:۱۰۰) به‌دست آمد که نسبت به کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و زیستی (۵۰:۵۰) در سال اول، تفاوت معنی-داری نشان ندادند (شکل۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها همچنین نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی در قبل و بعد از گلدهی نسبت به عدم کاربرد آن افزایش معنی‌داری را در تعداد دانه در بوته نخود نسبت به عدم



شکل۳- مقایسه میانگین‌های تعداد غلاف در بوته نخود تحت تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی (فسفات بارور ۲)

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

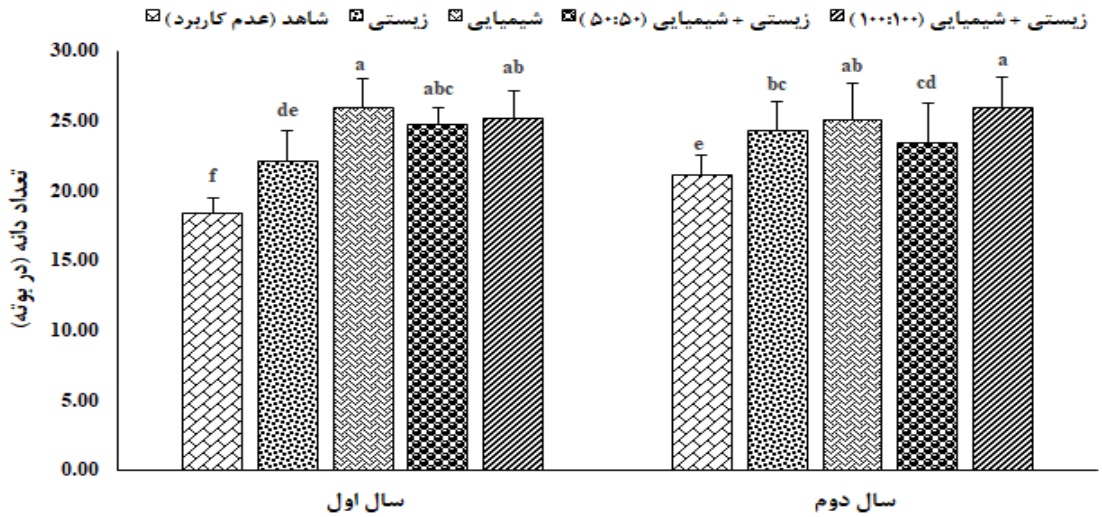


شکل۴- مقایسه میانگین‌های تعداد غلاف در بوته نخود تحت تأثیر عصاره جلبک دریایی

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

کاربرد آن باعث شد که این افزایش‌ها به‌طور میانگین ۲۵/۶ درصد بود (شکل۶). به‌نظر می‌رسد که کودهای زیستی فسفردار به‌دلیل دارا بودن ریزجانداران حل‌کننده فسفات با تولیدآنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی سبب آزاد شدن فسفر از ترکیبات آلی و معدنی فسفردار شده است و جذب بیشتر فسفر توسط گیاه منجر به افزایش فتوسنتز و تعداد دانه در بوته شده است (گیانش و همکاران۲۰۰۲). در پژوهشی دیگر آموجویگب و همکاران (۲۰۰۷) و چانگ و جانزن (۲۰۰۰) گزارش نمودند که کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی با کود زیستی باعث حصول بیشترین تعداد دانه در بوته نسبت به مصرف مجزای هر کدام از کودهای شیمیایی و زیستی می‌شود.

از طرف دیگر به‌نظر می‌رسد که دلیل دیگر برای افزایش تعداد دانه در بوته، افزایش تعداد غلاف در بوته باشد که با کاربرد کودهای زیستی، شیمیایی و همچنین عصاره جلبک دریایی افزایش یافته است. در رابطه با تأثیر مثبت کاربرد عصاره جلبک دریایی در بعد از گلدهی نیز لازم به ذکر است که به‌دلیل اینکه گیاه نخود در آغاز دوره گلدهی نیز همچنان دارای رشد رویشی سریعی است درصورت فراهم بودن شرایط مطلوب برای رشد گیاه، طول دوره زایشی و میزان فتوسنتز جاری افزایش می‌یابد و منجر به تشکیل گل و تعداد غلاف بارور بیشتر در گیاه شده و درنتیجه تعداد دانه در بوته نیز افزایش می‌یابد (گلدانی و رضوانی مقدم ۲۰۰۷). در این خصوص گزارش شده است که عصاره جلبک دریایی برای بهبود رشد و عملکرد گیاهان مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد و به اثبات رسیده که عصاره جلبک دریایی با داشتن مواد مغذی محتلف اعم عناصر کم‌مصرف و پر مصرف، آنزیم های مختلف انواع اسیدهای آمینه (جدول۱)، موجب تقویت رشد ریشه‌ها، افزایش سطح شاخ و برگ و محتوای کلروفیل می‌شود (خان و همکاران ۲۰۰۹) که این شرایط می‌تواند باعث بهبود رشد گیاه حتی بعد از شروع گلدهی گردد. بنابراین این استدلال می‌تواند توجیه کننده عدم تفاوت کاربرد عصاره جلبک دریایی در قبل و بعداز گلدهی بر روی برخی صفات مورد بررسی نخود از جمله تعداد دانه در بوته باشد.

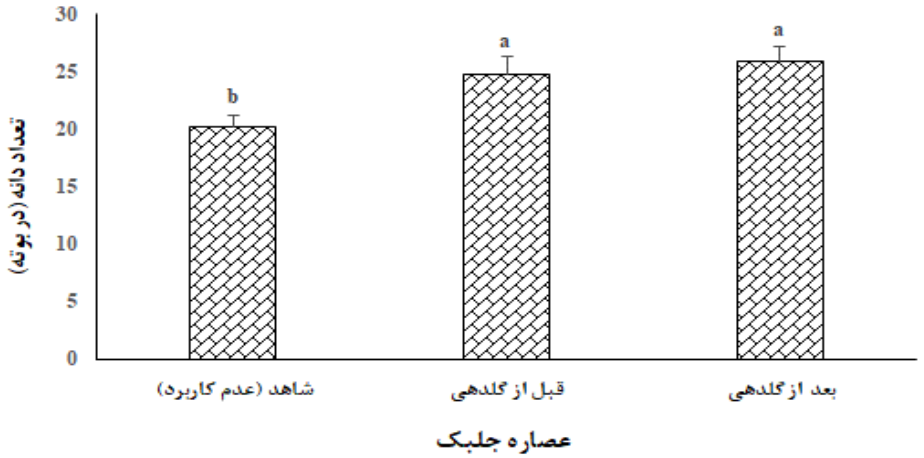


شکل۵- مقایسه میانگین های تعداد دانه در بوته نخود تحت تأثیر سال و کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

وزن صد دانه

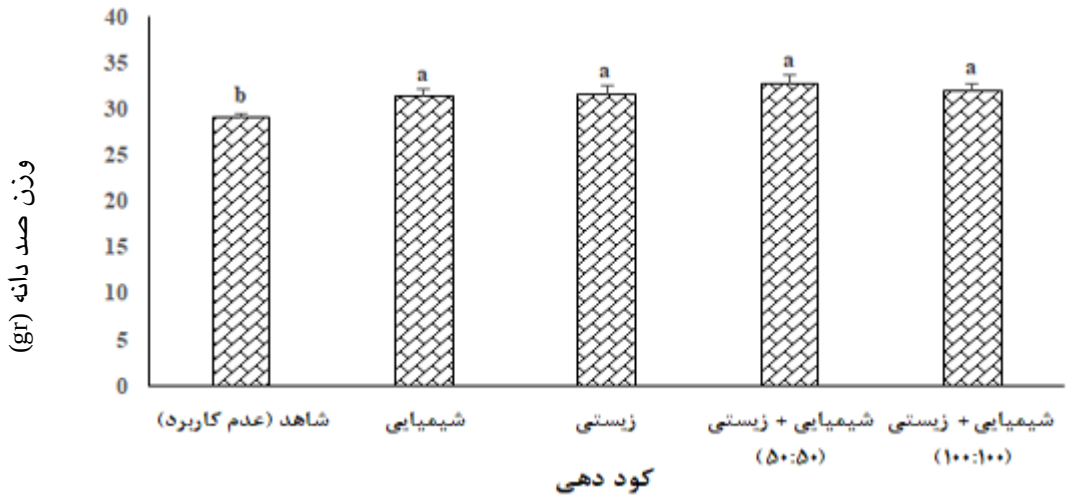
بر اساس نتایج تجزیه واریانس، وزن صد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی و عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تمامی تیمارهای کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی و یا ترکیبی، وزن صد دانه نسبت به عدم کاربرد کود افزایش معنی‌داری نشان داد که بیشترین وزن صددانه (۱۲/۸۴ گرم) متعلق به کاربرد ترکیبی کود زیستی + کود شیمیایی (۵۰:۵۰) بود که نسبت به شاهد ۱۲/۹۶ درصد افزایش نشان داد (شکل۷). مقایسه میانگین‌های مربوط به کاربرد عصاره دریایی نیز نشان داد که هردو سطح کاربرد قبل و بعد از گلدهی وزن صد دانه را نسبت به عدم کاربرد آن به‌طور معنی‌داری افزایش دادند که این افزایش‌ها به‌طور میانگین برابر ۸/۶ درصد نسبت به شاهد بود (شکل۸). نتایج بررسی‌های پژوهشگران مختلف نشان می‌دهد که کاربرد کودهای



شکل۶- مقایسه میانگین های تعداد دانه در بوته نخود تحت تأثیر کاربرد عصاره جلبک دریایی

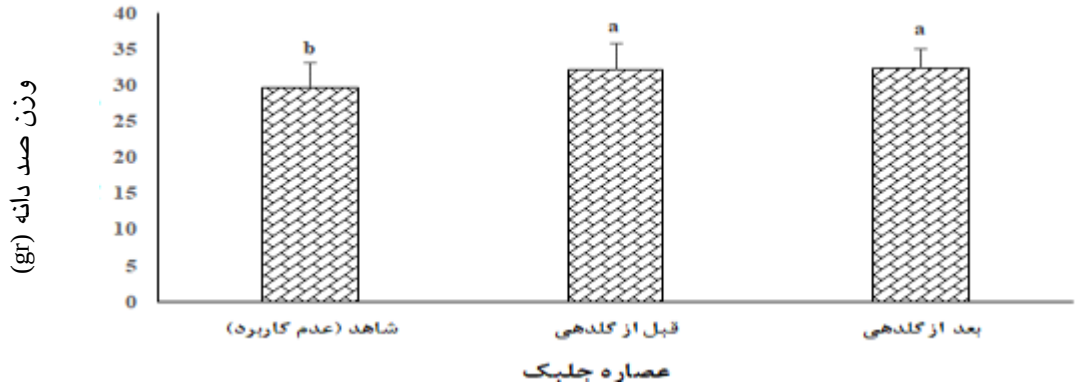
حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

زیستی فسفاته از طریق بهبود شرایط حلالیت فسفر در خاک، کارآیی گیاهان در استفاده از فسفر را بالا برده و تعداد کلروپلاست‌ها در سلول را افزایش داده و درنتیجه باعث بهبود کارآیی و ظرفیت فتوسنتزی گیاهان تیمار شده با این نوع کودها نسبت به گیاهان تیمار نشده می-شود (سانچزدیاز و همکاران ۱۹۹۰؛ روئیز لوزانو و آزکون ۱۹۹۵). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که وزن دانه در گیاهان تیمارشده با ریزجانداران حل-کننده فسفر به واسطه تغذیه بیشتر فسفر و بهبود سیستم فتوسنتزی و انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به محل دانه‌ها، افزایش می‌یابد (کویده ۱۹۹۳؛ آیوگ ۱۹۹۴). رشد دانه‌ها و وزن آنها تحت تأثیر فاکتورهایی متعددی در مراحل رشد از جمله تقسیم سلول و تمایز سلول‌ها و ذخیره سازی مواد فتوسنتزی قرار دارد. احتمالاً هورمون‌های موجود در عصاره جلبک دریایی با تأثیر مثبت بر تقسیم سلولی، سلول‌های آندوسپرم و مواد فتوسنتزی منجر به افزایش وزن دانه در گیاه شده‌اند (ویجایاناد و همکاران ۲۰۱۴). غفاری‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش دادند کاربرد عصاره جلبک دریایی باعث افزایش معنی‌دار وزن دانه در گندم شد.



شکل۷. مقایسه میانگین های وزن صد دانه نخود تحت کودهای شیمیایی و زیستی (فسفات بارور ۲)

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد



شکل۸. مقایسه میانگین های وزن صددانه نخود تحت تأثیر جلبک دریایی

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

عملکرد دانه

اثرات اصلی کاربرد کود ($P<0.01$) و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی ($P<0.05$) و اثر سه‌جانبه کاربرد کود، عصاره جلبک دریایی و سال ($P<0.05$) بر عملکرد دانه نخود معنی‌دار شد (جدول۴). نتایج مقایسه میانگین-های مربوط به اثرات سه‌جانبه حاکی از آن است که در هر دوسال استفاده توأم کودهای زیستی و شیمیایی به‌علاوه کاربرد عصاره جلبک دریایی بهترین نتایج را در عملکرد دانه در نخود به همراه داشت به‌طوری که بیشترین عملکرد دانه در سال اول (۱۳۳/۷ گرم در مترمربع) تحت تیمار ترکیبی کودهای زیستی و شیمیایی (۵۰ :۵۰) همراه با کاربرد عصاره جلبک دریایی در قبل از گلدهی و در سال دوم (۱۴۹/۰ گرم در مترمربع) تحت تیمار ترکیبی (۱۰۰:۱۰۰) توأم با کاربرد عصاره جلبک دریایی در مرحله قبل از گلدهی به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد ترکیبی کودها و عصاره جلبک دریایی بعد از گلدهی نداشتند (جدول۵).

کودهای بیولوژیک حاوی فسفات بارور ۲ با افزایش دوام سطح سبز برگ باعث استفاده بهینه از انرژی خورشیدی و فتوسنتز بیشتر شده و در نتیجه منجر به عملکرد بالاتر گیاه می‌شود و به‌دلیل توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب در مواجه با شرایط تنش کم-آبی (شرایط دیم) نیز نقش موثرتری دارند. به‌عبارت دیگر باکتری‌های موجود در کود فسفات بارور۲، باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌باشند که با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و اسید فسفاتاز باعث تجزیه ترکیبات فسفره‌ی نامحلول و در نتیجه قابل جذب نمودن آنها برای گیاه می‌گردد. این باکتری‌ها قادر هستند دامنه وسیعی از pH بین ۵ تا ۱۱ و شوری تا ۳/۵ درصد را به خوبی تحمل نمایند. وجود چنین مشخصه‌هایی باعث شده است که بتوان این کود زیستی را در طیف گسترده‌ای از خاک‌های ایران و برای محصولات گوناگون به کاربرد (علی‌جانی و همکاران ۲۰۱۱). گزارش شده است که بهبود عملکرد دانه در درجه اول ناشی از تعداد دانه در بوته می‌باشد. تعداد دانه در محدوده‌ی وسیع‌تری از لحاظ زمانی تحت اثر عوامل محیطی قرار می‌گیرد به‌طوری که هر عامل محدود کننده‌ای از شروع جوانه‌زنی تا مرحله گرده‌افشانی و تشکیل دانه می‌تواند موجب کاهش تعداد دانه شود. علاوه بر اثر تعداد دانه، وزن صد دانه نیز در تعیین عملکرد دانه تأثیرگذار می‌باشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که افزایش هردوپارمتر تعداد دانه در بوته و وزن صددانه که با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی و عصاره جلبک دریایی افزایش پیدا کرده‌اند دلیل اصلی افزایش عملکرد دانه نخود در این آزمایش باشد. رابطه نزدیک عملکرد دانه با وزن صددانه و تعداد دانه در شکل ۱۴ نیز مشاهده می‌شود. مطابق با این نتایج، در پژوهشی دیگر با کاربرد کود مایع جلبکی با غلظت ۱/۵ درصد افزایش چشمگیری در شاخص‌هایی نظیر تعدا دانه درغلاف، زیست توده و شاخص برداشت مشاهده شد (سیواسانگاری و همکاران ۲۰۱۰). موکوش و همکاران (۲۰۱۳) عنوان کردند که

کاربرد غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی در قبل و بعد از گلدهی در گندم موجب افزایش تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و کیفیت مواد غذایی گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین گزارش شده است محلول‌پاشی عصاره جلبک‌ها در قبل از گلدهی موجب افزایش تحرک سیتوکنین‌ها از ریشه به اندام‌های زایشی و افزایش سنتز سیتوکنین‌ها می‌شود که افزایش میزان سیتوکنین در دسترس گیاه، سبب بهبود گلدهی و افزایش عملکرد گیاه می‌گردد (ویجایاندی و همکاران ۲۰۱۴).

جدول ۵- مقایسه میانگین های مربوط به اثرسه جانبه کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی، عصاره جلبک دریایی بر عملکرد دانه و محتوای قند محلول

	کود	عصاره جلبک دریایی	عملکرد دانه ($g.m^{-2}$)	محتوای قند محلول ($mg.g^{-1}$)
سال اول	شاهد	شاهد(عدم کاربرد)	۷۷/۱ ±۲/۷ n	۱/۵۶ ±۰/۰۷k
		قبل از گلدهی	۱۰۱/۵ ±۱۱/۲g-m	۱/۶۵ ±۰/۰۶jk
		بعد از گلدهی	۹۲/۹ ±۱۰/۲j-n	۱/۷۳ ±۰/۰۴h-k
	زیستی	شاهد(عدم کاربرد)	۸۲/۳ ±۱۱/۶mn	۱/۹۶ ±۰/۰۵g
		قبل از گلدهی	۹۳/۰۷ ±۱۶/۳ j-n	۲/۱۸ ±۰/۰۷f
		بعد از گلدهی	۱۱۹/۲ ±۱۴/۶b-h	۲/۲۴ ±۰/۰۸ef
	شیمیایی	شاهد(عدم کاربرد)	۹۱/۸ ±۸/۱k-n	۲/۱۸ ±۰/۰۴f
		قبل از گلدهی	۱۲۸ ±۱/۹b-e	۲/۵۲ ±۰/۰۶abc
		بعد از گلدهی	۱۱۹/۷ ±۳/۶b-h	۲/۵۲ ±۰/۰۸a-d
	زیستی + شیمیایی (۵۰:۵۰)	شاهد(عدم کاربرد)	۱۰۰/۷ ±۸/۳h-m	۱/۶۶ ±۰/۰۶jk
		قبل از گلدهی	۱۳۳/۷ ±۸/۰a-d	۱/۹۳ ±۰/۰۵gh
		بعد از گلدهی	۱۲۲/۶ ±۲/۹b-h	۲/۵۱ ±۰/۰۷a-d
	زیستی + شیمیایی (۱۰۰:۱۰۰)	شاهد(عدم کاربرد)	۱۰۹/۶ ±۷/۸e-k	۱/۹۷ ±۰/۰۸g
		قبل از گلدهی	۱۲۵/۰ ±۵/۸b-f	۲/۶۴ ± ۰/۰۶a
		بعد از گلدهی	۱۲۳/۳ ±۴/۴a-f	۲/۶۳ ±۰/۰۶a
سال دوم	شاهد	شاهد(عدم کاربرد)	۸۳/۲ ±۶/۰lmn	۱/۵۴ ±۰/۰۴k
		قبل از گلدهی	۱۱۵/۳ ±۵/۸c-i	۱/۷۱ ±۰/۰۲ijk
		بعد از گلدهی	۱۰۴/۵ ±۷/۶f-l	۱/۷۹ ±۰/۰۱g-j
	زیستی	شاهد(عدم کاربرد)	۱۱۴/۷ ±۱۴/۲c-j	۱/۹۰۳ ±۰/۰۸ghi
		قبل از گلدهی	۱۰۸/۷ ±۸/۷e-k	۲/۳۴ ±۰/۰۶c-f
		بعد از گلدهی	۹۵/۹ ±۸/۱i-n	۲/۱۹ ±۰/۱۵fk
	شیمیایی	شاهد(عدم کاربرد)	۹۵/۶ ±۷/۹i-n	۱/۸۱ ±۰/۰۱g-j
		قبل از گلدهی	۱۲۹/۸ ±۲/۳a-e	۲/۵۱ ±۰/۰۶a-k
		بعد از گلدهی	۱۱۳/۵ ±۳/۲d-k	۲/۲۵ ±۰/۰۵ef
	زیستی + شیمیایی (۵۰:۵۰)	شاهد(عدم کاربرد)	۱۱۱ ±۱۲/۲e-k	۱/۹۹ ±۰/۰۵g
		قبل از گلدهی	۱۳۰/۵ ±۱۱/۰a-e	۲/۶۲۶ ±۰/۰۵ab
		بعد از گلدهی	۱۳۸/۴ ±۴/۱ab	۲/۴۱ ±۰/۰۶b-e
	زیستی + شیمیایی (۱۰۰:۱۰۰)	شاهد(عدم کاربرد)	۱۱۷/۹ ±۶/۶b-h	۱/۹۴ ±۰/۰۵g
		قبل از گلدهی	۱۴۹ ±۵/۹a	۲/۴۵ ±۰/۰۷a-d
		بعد از گلدهی	۱۳۵/۹ ±۶/۸abc	۲/۳۱ ±۰/۰۲def

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

محتوای قند محلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که محتوای قند محلول به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی، اثرات متقابل سال با کود و سال با عصاره جلبک دریایی و همچنین اثر سه‌جانبه سال، کود و عصاره جلبک قرار گرفت (جدول۶). براساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سه‌جانبه، بیشترین محتوای قند محلول در تیمارهای کاربرد قبل از گلدهی و یا بعد از گلدهی جلبک دریایی و ترکیب کود زیستی + شیمیایی (۱۰۰:۱۰۰) در سال اول بدون تفاوت معنی‌دار با کاربرد عصاره به‌دست آمد که نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی و عصاره جلبک دریایی در همان سال حدود ۷۰ درصد افزایش نشان داد (جدول۵). در سال دوم، کاربرد عصاره جلبک دریایی قبل از گلدهی با کاربرد جداگانه یا ترکیبی کودهای زیستی و شیمیایی نسبت به سایر تیمارها نتیجه بهتری در افزایش محتوای قند محلول نخود نشان داد. گزارش شده است که عصاره جلبک دریایی حاوی عناصر پرمصرف، سیتوکینین، اسیدهای آمینه و آلجینیک می‌باشد، لذا با بهبود جذب عناصر غذایی منجر به افزایش مواد فتوسنتزی و قندی شده (یزدی مطلق و همکاران ۲۰۱۲) و درنتیجه می‌تواند باعث افزایش قند محلول شود. کریمی و امیر نیا (۲۰۱۹) نیز افزایش کربوهیدرات‌های قابل‌حل در آب در گیاه سورگوم با کاربرد عصاره جلبک دریایی در مراحل مختلف رشد را گزارش نموده‌اند. در پژوهشی دیگر گزارش شده است که استفاده از عصاره جلبک دریایی، باعث افزایش کلروفیل در برگهای گیاه شده و سطح آنزیم آمیلاز در اندامهای گیاهی افزایش یافته و باعث شکسته شدن ترکیبات قندی به قندهای ساده تر می‌شود (دمیرباس و دمیرباس ۲۰۱۰). همچنین گزارش شده است که استفاده از عصاره جلبک دریایی به‌دلیل وجود آمینوبوتیرات و گلایسین بتائین موجب تحریک افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز و تولید بیشتر قند و نشاسته می‌شود (سونارپی و همکاران ۲۰۱۰؛ استریک و همکاران ۲۰۰۴). باکتری‌های محرک رشد و قارچ مایکوریزا با تغییر در سطح هورومون‌های گیاهی و میزان جذب عناصر غذایی در سنتز و تولید کربوهیدرات‌ها تأثیر دارند. تلقیح گیاهان با مایکوریزا باعث افزایش چندین آنزیم دخیل در سنتز ساکارز می‌شود و افزایش فعالیت این آنزیم‌ها با میزان ساکارز، گلوکز و فروکتوز (قندهای محلول) ارتباط مثبت و معنی‌دار دارد، بنابراین کاربرد کودهای حاوی میکوریزا باعث افزایش سطح قندهای محلول در گیاهان می‌شود (وو و همکاران ۲۰۱۷). شجاعیان کیش و همکاران (۲۰۲۱) نیز افزایش قندهای محلول از جمله پرولین و کربوهیدارت‌های در گیاه کتان روغنی با کاربرد کودهای زیستی محتوای میکوریزا را گزارش نمودند.

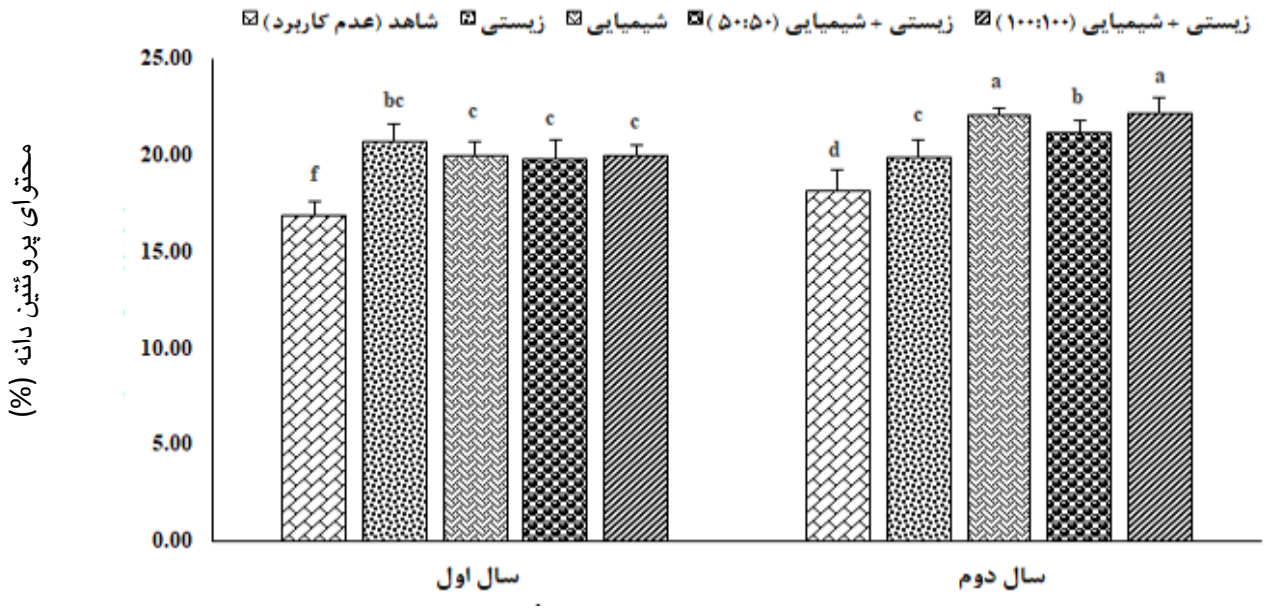
جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثرجلبک *اسپیرولینا* و کودهای زیستی و شیمیایی بر صفات و ویژگی های بیوشیمیایی نخود در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد پروتئین	محتوای قند محلول	کلروفیل $a+b$	کارتنوئید
سال (Y)	۱	۳۲/۱۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۸۳۵ ns	۰/۰۰۰۳۶ ns
بلوک (سال)	۴	۵/۸۸**	۰/۰۰۶ ns	۴/۱۴۶*	۰/۰۱۲۸۱۶*
کود (F)	۴	۳۸/۷۲ns	۱/۲۹۶ *	۱/۳۲۲ ns	۰/۱۴۱۷۰ ns
جلبک (A)	۲	۳۴/۰۲ **	۱/۶۴۲ ns	۳۰/۷۱۴ **	۰/۱۱۱۴۲*
Y×F	۴	۶/۶۴ **	۰/۱۹۶ **	۰/۷۳۹ ns	۰/۰۲۹۲۵ **
Y×A	۲	۰/۳۲ ns	۱/۱۴۹ **	۰/۲۱۹ ns	۰/۰۰۴۶ ns
F×A	۸	۱/۹۲ *	۰/۰۸۰ ns	۰/۵۷۶ns	۰/۰۱۹۰۹۹ *
Y×F×A	۸	۰/۳۴ ns	۰/۰۴۸ **	۰/۷۳۳ ns	۰/۰۰۵۱ ns
خطای آزمایشی	۵۶	۰/۷۸	۰/۰۱۲	۰/۷۰۸	۰/۰۰۴۵
ضریب تغییرات (%)		۴/۴۰	۵/۱۴	۸/۲۷	۴/۳۲

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

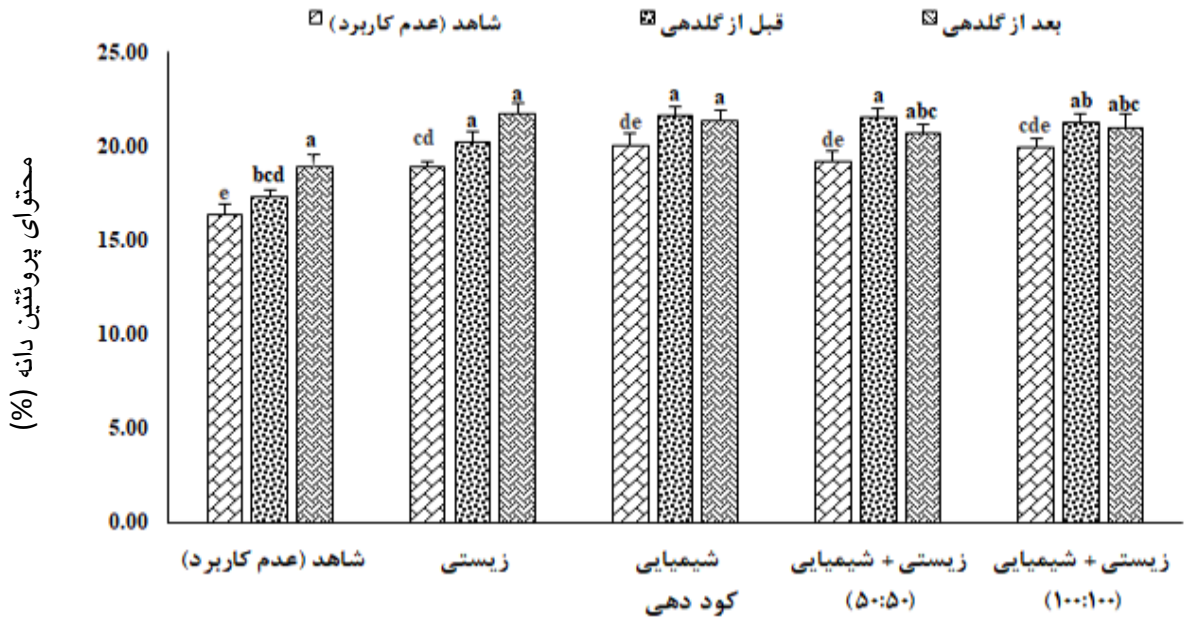
محتوای پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد محتوای پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده عصاره جلبک دریایی و اثرات متقابل سال در کود و کود در جلبک قرار گرفت (جدول۶). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین محتوای پروتئین با کاربرد کود شیمیایی (۲۲/۰۳ درصد) و ترکیبی ۱۰۰ درصد شیمیایی و ۱۰۰ درصد زیستی (۲۲/۱۵ درصد) در سال دوم به‌دست آمد (شکل۹). همچنین بیشترین محتوای پروتئین (۲۱/۷۳ درصد) با کاربرد عصاره جلبک دریایی بعد از گلدهی همراه با کاربرد کود زیستی به‌دست آمد که با کاربرد قبل و یا بعد از گلدهی عصاره جلبک در شرایط کاربرد کود شیمیایی و یا ترکیب کود زیستی و یا شیمیایی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (شکل۱۰). استفاده از عصاره جلبک دریایی در نخود به‌دلیل نقش موثر آن در افزایش فعالیت ریزجاندارانی که باعث تثبیت نیتروژن می‌شوند، سبب افزایش تثبیت نیتروژن و به‌دنبال آن افزایش محتوای اسیدهای آمینه و درصد پروتئین در دانه‌های نخود شده است (سریدهار و رنگاسامی ۲۰۱۱). عصاره جلبک *اسپیرولینا* دارای میزان کمتری از هورمون اکسین می‌باشد اما حاوی موادی مانند مانیتول، لامینارین، جیبرلین، سایتوکنین و گلوتامیک می‌باشد و زمانی که گیاه با عصاره این جلبک تغذیه می‌شود، منجر به افزایش نرخ فتوسنتز و میزان تولید قند و آنزیم‌های مانند استرازها می‌شود (ارتاب و همکاران ۲۰۱۹). در این زمینه جوتینایاگی و آنباژاگان (۲۰۰۹) بیان کردند که افزایش میزان پروتئین گیاه ممکن است به‌علت حضور فنیل استیک اسید و یا ترکیبات مشابه آن و همچنین به‌دلیل وجود برخی محرک‌های رشد در عصاره جلبک دریایی باشد. مطابق با نتایج این پژوهش، افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات و پروتئین دانه ماش با کاربرد عصاره جلبک دریایی نیز گزارش شده است (پاول و بوارج ۲۰۱۴). به‌نظر می‌رسد که حضور مولکول‌های آلی نظیر اسیدهای آلی و فنیل استیک اسید، متیونین و حتی پلی‌آمین‌ها و همچنین برخی محرک‌های رشد در عصاره جلبک دریایی موجب افزایش جذب مواد معدنی شده و درنتیجه افزایش محتوای پروتئین در گیاه ممکن شده است (زوداپ و همکاران ۲۰۱۱؛ غفاری زاده و همکاران ۲۰۱۶؛ جانین و همکاران ۲۰۱۳). از سوی دیگر، به‌نظر می‌رسد که کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی و یا ترکیبی از آنها با در دسترس قرار دان بیشتر عناصر غذایی ماکرو (فسفر، پتاسیم و نیتروژن) و میکرو (مس، روی و آهن) باعث افزایش درصد پروتئین در دانه نخود شده است (یزدانی و همکاران ۲۰۰۹). کودهای زیستی متشکل از باکتری‌ها و همچنین قارچ‌های مفیدی هستند که قادر به تثبیت نیتروژن، رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول می‌باشند و این موجودات معمولاً در اطراف ریشه مستقر شده و به گیاه در جذب عناصر غذایی کمک می‌کنند. باکتری‌های مفید خاک‌زی علاوه بر کمک به جذب عناصر غذایی، سبب کاهش بیماری‌ها و بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک رشد بیشتر گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند (کالوارو و همکاران ۲۰۱۴؛ کوچکی و همکاران ۲۰۰۸). کاشوک و همکاران (۲۰۱۰) نیز افزایش درصد پروتئین دانه در اثر کاربرد قارچ میکوریزا را گزارش کردند. در رابطه با افزایش نسبی محتوای پروتئین در سال دوم نسبت به سال اول چنین به‌نظر می‌رسد که افزایش نسبی دمای هوا در زمان تشکیل دانه و پرشدن آن (جدول۳) باعث بروز تنش خشکی برای گیاه شده است و درنتیجه به‌دلیل بروز تنش طول دوره رشد و نمو کاهش یافته و درنتیجه نسبت کربوهیدرات به پروتئین نیز کاهش یافته (ابهری و همکاران، ۲۰۱۷)، مقدار نسبی پروتئین افزایش یافته است در نتیجه آن درصد پروتئین نیز افزایش یافته است. علاوه براین در شرایط تنش خشکی جذب و تثبیت دی اکسیدکربن بر اثر بسته شدن نسبی روزنه‌ها و یا کاهش درجه گشودگی آن‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین میزان کل مواد پرورده برای پرشدن دانه کاهش می‌یابد، ولی در شرایط تنش خشکی انتقال مجدد ازت از برگ‌ها به دانه، افزایش اسیدهای آمینه از جمله پرولین نیز می‌تواند دلیلی دیگر بر افزایش درصد پروتئین دانه باشد (آذری نصر ابادی و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۹- مقایسه میانگین های محتوای پروتئین دانه در بوته نخود تحت تأثیر سال و کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد



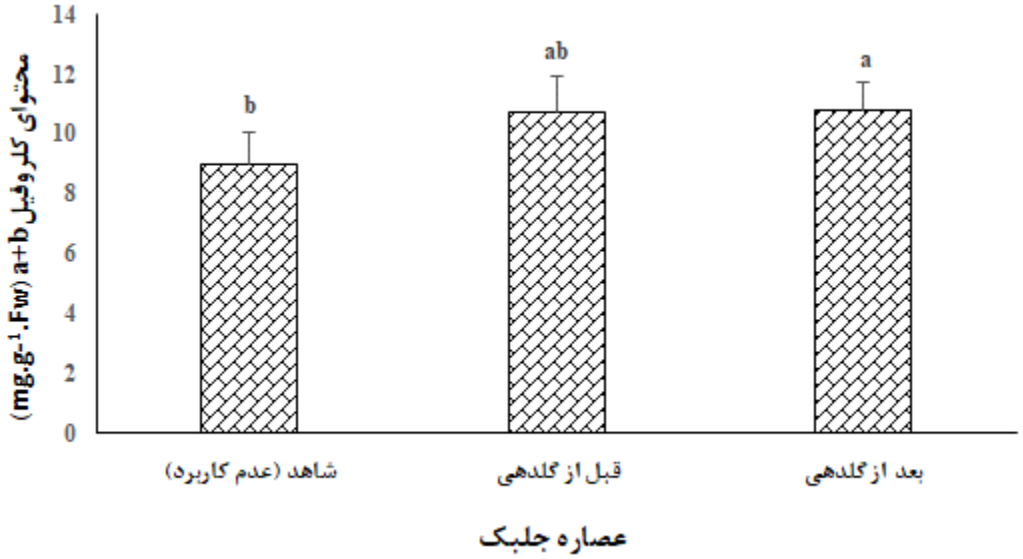
شکل ۱۰- مقایسه میانگین‌های محتوای پروتئین دانه در بوته نخود تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی و عصاره جلبک دریایی

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

محتوای کلروفیل *a + b*

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد محتوای کلروفیل $a+b$ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر کاربرد عصاره جلبک دریایی($P<0.01$) قرار گرفت (جدول۶). بر

اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کاربرد عصاره جلبک دریایی در مرحله بعد از گلدهی باعث افزایش معنی‌دار محتوای مجموع دو کلروفیل a و b شد به‌طوریکه مقدار این افزایش نسبت به شرایط عدم کاربرد عصاره، ۱۶/۷ درصد ثبت گردید (شکل۱۱). نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که استفاده از عصاره جلبک دریایی، باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگهای گیاه شده و سطح آنزیم آمیلاز را در اندام‌های گیاهی بالا می‌برد و از این طریق، باعث شکسته شدن قندهای غیرقابل استفاده در گیاه می‌گردد (سان راپی و همکاران، ۲۰۱۰) . همچنین در پژوهشی دیگر عنوان شده است که اسپری برگی عصاره جلبک دریایی روی نوعی کرفس، ارتفاع گیاه، رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای پتاسیم، فسفر و عملکرد را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد. عصاره‌های جلبک دریایی حاوی مقادیر زیادی سیتوکینین، اکسین و بتائین هستند که غلظت کلروفیل در برگ‌ها را افزایش می‌دهند (شهاتا و همکاران، ۲۰۱۱). افزایش غلظت کلروفیل در اثر استفاده از عصاره جلبک دریایی در گیاهان مختلف گزارش شده است و این افزایش بیشتر به کاهش تخریب کلروفیل و تأخیر در پیری آن نسبت داده شده است (جانین و همکاران ۲۰۱۳).



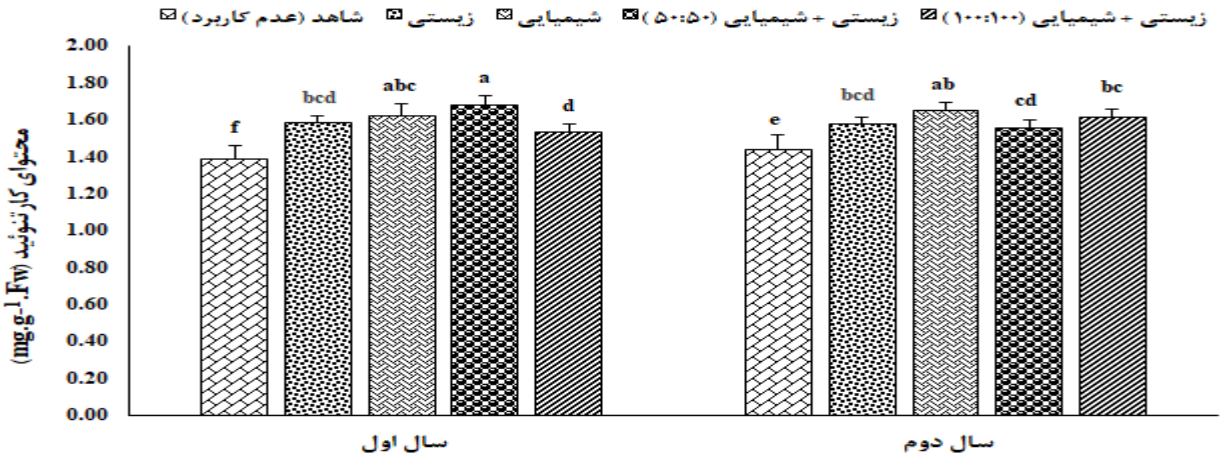
شکل ۱۱- مقایسه میانگین های محتوای کلروفیل برگ نخود تحت تأثیر عصاره جلبک دریایی

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

محتوای کارتنوئید

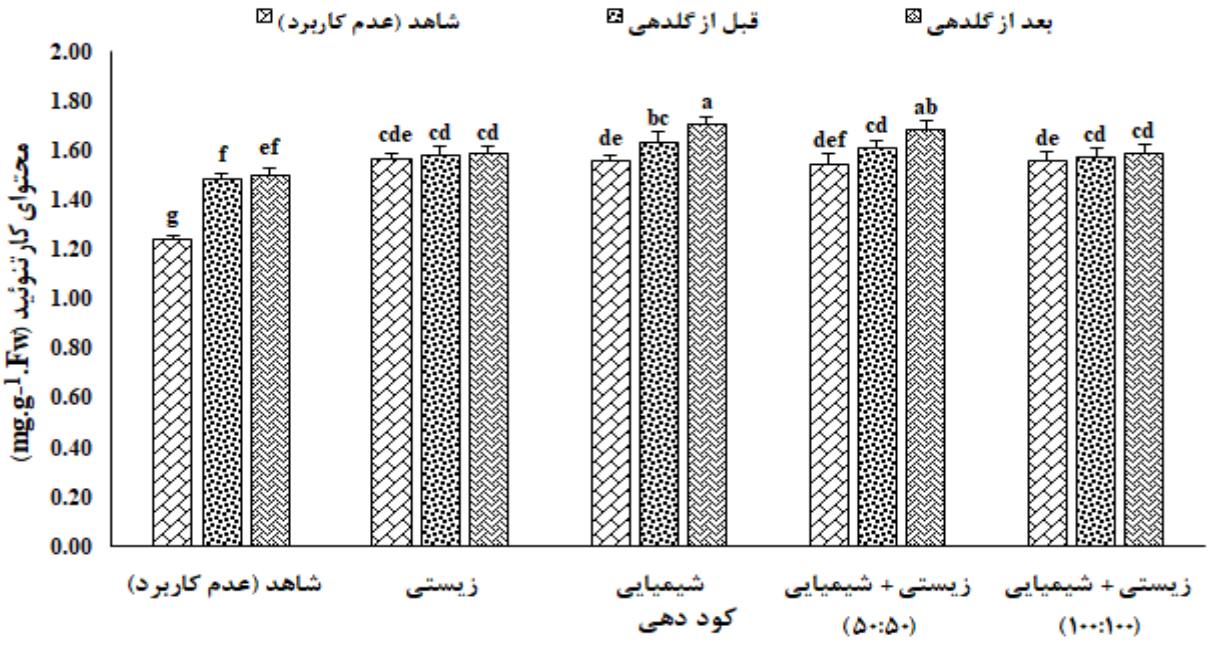
بر اساس نتایج تجزیه واریانس محتوای کارتنوئید به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد عصاره جلبک دریایی، اثر سال در کود و اثر متقابل کود در جلبک قرار گرفت (جدول۴). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین محتوای کارتنوئید با کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود شیمیایی (۵۰:۵۰) در سال اول به‌دست آمد که با کاربرد مجزای کود شیمیایی در سال اول و سال دوم تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل۱۲). نتایج همچنین نشان داد که محلول‌پاشی عصاره دریایی در مرحله بعد از گلدهی به‌ترتیب همراه با کود شیمیایی و کود زیستی + کود شیمیایی (نسبت ۵۰:۵۰) بیشترین افزایش در محتوای کارتنوئید را به همراه داشته است و کمترین آن در شرایط عدم محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و عدم کاربرد کود شیمیایی یا زیستی مشاهده شد (شکل۱۳). در پژوهشی دیگر گزارش شده است که تلقیح با مایه قارچ (کود زیستی) باعث افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در گیاه گوجه‌فرنگی شده است و در بیان علت افزایش کارتنوئید چنین استنباط شده است که قارچ با افزایش میزان کاروتنوئیدها از آسیب به دستگاه فتوسنتزی توسط رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده و به پایداری غشاء کمک می‌کند. همچنین گزارش

شده است که مکانیسم چگونگی تأثیرگذاری قارچ بر افزایش محتوای کاروتنوئیدها هنوز مشخص نیست و درک آن نیاز به مطالعات بیشتر دارد (تیموری و همکاران ۱۴۰۰). دلیل کاهش نسبی محتوای کارتنوئید در سال دوم نیز می‌تواند افزایش نسبی متوسط دما (جدول۳) و کاهش رطوبت دردسترس برای گیاه نسبت به سال قبل باشد. گزارش شده است بروز تنش‌های غیرزیستی از جمله تنش کمبود آب ممکن است به‌دلیل کاهش کارآیی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات باشد که این امر سبب کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها می‌شود (اولیورا نتو و همکاران ۲۰۰۹). در این رابطه در بررسی که روی کنجد انجام شده است نیز گزارش شده است که مقدار کارتنوئیدها با افزایش تنش خشکی کاهش یافت (مومنی و همکاران ۲۰۲۰).



شکل۱۲- مقایسه میانگین های محتوای کارتنوئید در بوته نخود تحت تأثیر سال و کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

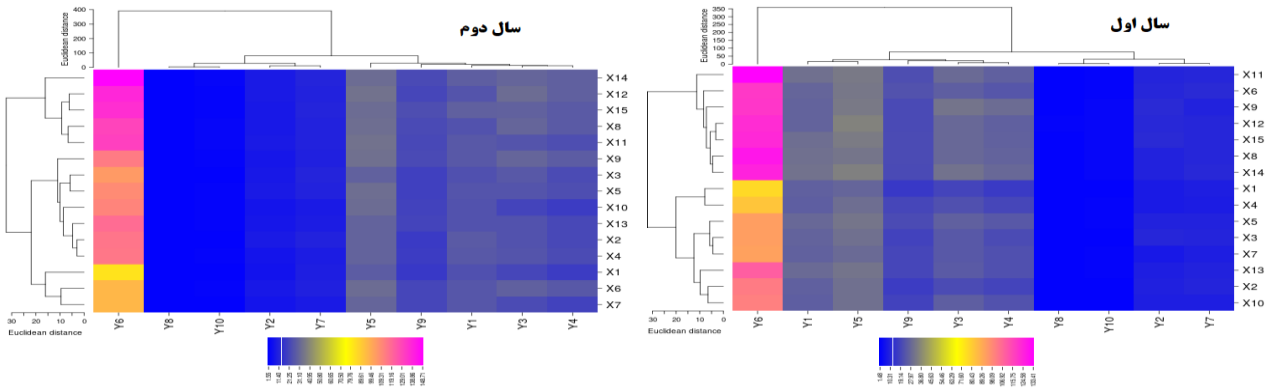


شکل۱۳- مقایسه میانگین های محتوای کارتنوئید نخود تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی و عصاره جلبک دریایی

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشد

هیت‌مپ و گروهبندی تیمارها و صفات و شاخص‌های مورد بررسی در نخود

با توجه به هیت‌مپ (شکل۱۴)، در دو سال آزمایشی، تیمارها و صفات مورد بررسی دارای شباهت‌ها و تفاوت‌های بارزی بودند. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در هردو سال عملکرد دانه به طور مجزا در یک گروه قرار گرفت و صفات ارتفاع بوته، وزن صد دانه، درصد پروتئین، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته در گروه دوم و صفات محتوای قند محلول، تعداد ساقه و محتوای کلروفیل $a+b$ و کارتنوئید در گروه سوم قرار گرفتند. از نظر گروهبندی تیمارها بین سال اول و دوم تفاوتهایی مشاهده شد به‌طوری که در سال اول تیمارهای X11، X6، X9، X12، X15، X8 و X14 در گروه اول، X1 و X4 در گروه دوم و X5، X3، X7، X13، X2 و X10 در گروه سوم قرار گرفتند و در سال دوم تیمارهای X14، X12، X15، X8 و X11 در گروه اول، X9، X3، X5، X10، X13، X2، X4 در گروه دوم و X1، X6 و X7 در گروه سوم جای داشتند. با مشاهده شکل همچنین می‌توان استباط کرد که صفات وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته با عملکرد دانه در شرایط کاربرد ترکیبی از کودهای زیستی و شیمیایی و عصاره جلبک دریایی بیشترین ارتباط و در شرایط عدم کاربرد هرگونه کود و عصاره جلبکی کمترین ارتباط را نسبت به سایر صفات نشان داده‌اند. همچنین ارتباط بین درصد پروتئین با عملکرد دانه نسبت به ارتباط بین محتوای قند محلول و رنگیزه‌ها با عملکرد دانه بیشتر مشاهده می‌شود. این امر می‌تواند بیانگر این باشد که محتوای پروتئین در افزایش عملکرد دانه (به ویژه در تیمارهایی که از کودهای زیستی و شیمیایی و عصاره جلبک دریایی استفاده شده است) تأثیر بیشتری دارد.



شکل ۱۴- هیت مپ صفات مورد ارزیابی نخود زراعی تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی و عصاره جلب دریایی.

تیمارها در سمت راست نمودار شامل شاهد (بدون کود و بدون عصاره جلبک دریایی (X1))، عصاره جلبک دریایی در مرحله قبل از گلدهی (X2)، عصاره جلبک دریایی در مرحله بعد از گلدهی (X3)، کود زیستی (X4)، کود زیستی + عصاره جلبک در مرحله قبل از گلدهی (X5)، کود زیستی + عصاره جلبک در مرحله بعد از گلدهی (X6)، کود شیمیایی (X7)، کود شیمیایی + عصاره جلبک در مرحله قبل از گلدهی (X8)، کود شیمیایی + عصاره جلبک در مرحله بعد از گلدهی (X9)، کود زیستی + شیمیایی (۵۰:۵۰) (X10)، کود زیستی + شیمیایی (۵۰:۵۰) + عصاره جلبک در مرحله قبل از گلدهی (X11)، کود زیستی + شیمیایی (۵۰:۵۰) + عصاره جلبک در مرحله بعد از گلدهی (X12)، کود زیستی + شیمیایی (۱۰۰:۱۰۰) (X113)، کود زیستی + شیمیایی (۱۰۰:۱۰۰) + عصاره جلبک در مرحله قبل از گلدهی (X11)، کود زیستی + شیمیایی (۱۰۰:۱۰۰) + عصاره جلبک در مرحله بعد از گلدهی (X15).

نتیجه‌گیری کلی

تغذیه نخود با منابع مختلف عناصر غذایی شامل کودهای شیمیایی، کود زیستی و عصاره جلبک دریایی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات کیفی نخود دارد. کاربرد ترکیبی از کودهای شیمیایی و زیستی به همراه محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی بعد از مرحله گلدهی با اثر بر افزایش وزن دانه و ماندگاری بیشتر تعداد دانه در بوته و همچنین بهبود

درصد پروتئین دانه بهترین ترکیب تیماری در شرایط این آزمایش است و به‌نظر می‌رسد که در شرایط دیم کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد کود زیستی فسفاته بارور ۲ همراه با محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی *اسپیرولینا* در بهبود عملکرد کمی و کیفی نخود و کاهش اثرات زیست‌محیطی مصرف نهاده‌های شیمیایی، تیمار مناسب خواهد بود.

سپاسگزاری

تمامی نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه مراغه برای حمایت‌ها و مساعدتهای لازم جهت فراهم آوردن شرایط و امکانات موردنیاز جهت انجام این پژوهش را ابراز می‌دارند.

منابع مورد استفاده

Abhari Y, Azizi E, Haresabadi B. 2017. The effect of super absorbent on yield and yield components of chickpea under season terminal drought stress conditions. Journal of Crop Production, 10(1): 191-202. (In Persian with English Abstract). htpps:\\doi. 10.22069/ejcp.2017.10427.1819.

Alami Milani M, Amini R, Bandehagh A. 2014. Effect of bio-fertilizers and combination with chemical fertilizers on grain yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 24 (4.1):15-29. (In Persian).

Alijani M, Amini Dehaghi M, Malboobi MA, Zahedi M, Modares Sanav SAM. 2011. The effect of different levels of phosphorus fertilizer together with phosphate bio-fertilizer (Barvar 2) on yield, essential oil amount and chamazulene percentage of *Matricaria recutita* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27: 3. 450-459. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6386

Amujoyegbe BJ, Opbode JT, Olayinka A. 2007. Effect of organic and inorganic fertilizer on yield and chlorophyll content of Zea mays and Sorghum bicolour. Plant Science, 46: 1869-1873. https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2278.

Arnon AN. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.

Artab HA, MY Merhij and Jasim AH. 2019. Effect of foliar fertilizers on growth and yield of three wheat varieties. Plant Archives, 19(1): 1441-1444.

Auge RM, Duan X, Ebel RC, Stodola AJW. 1994. Non-hydraulic signalling of soil drying in mycorrhizal maize. Planta, 193: 74-82.

Azami-Atajan F, Hammami H, Yaghoobzadeh M. 2020. The application of plant growth promoting microorganisms and phosphate fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of wheat at levels of irrigation water. Journal of Crop Production, 12(4):1-24. https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.17166.2268.

Azari Nasrabad A, Moosavi-Nik SM, Galavi M, Beheshti SA و Sirousmehr A. 2017. Drought stress effect during different growth stages on yield, osmolites and photosynthetic pigments accumulation of grain sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 15(3): 676-690. (In Persian). https://doi.org/ 10.22067/gsc.v15i3.52683

Beigzadeh S, Maleki A, Mirzaee Heydari M, Rangin A, Khorgami A. 2020. Effects of salicylic acid and seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extracts application on some physiological traits of white bean (*Phaseolus lanatus* L.) under drought stress conditions. Journal of Crop Ecophysiology, 14:21-44. (In Persian). https://doi.org/10.30495/jcep.2020.671639.

Chung C, Janzen HH. 2000. Long term fate of nitrogen from annual feedlot manure application. Journal Environmental, 25: 785-790.

Demirbas A, Demirbas MF. 2010. Algae Energy. Springer. Turkey. 195p

Dileep Kumar S B, Berggen I, Martensson A M. 2001. Potential for improving pea production by coinoculation with Pseudomonas fluorescens and Rhizobium. Plant and Soil, 229: 25-34.

Dragicevic V, Kratovalieva S, Dimov Z, Babic V, Kresovic B, Kravic N. 2018. Potential bioavailability of calcium, magnesium, iron, manganese and zinc from seeds of different chickpea and peanut landraces. Journal of Elementology, 23(1), 273-285. https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.4.1377.

Ghafari zadeh A, Seyyed Nejad SM, Gilani A. 2015. Investigation the effect of different levels of urea fertilizer and brown seaweed extract on the physiological traits and grain yield of wheat. Crop Physiology Journal, 7(27): 69-83. (In Persian). DOR: 20.1001.1.2008403.1394.7.27.5.4.

Ghobady M, Hahanbin S, Owliaie HR, Motalebifard R, Parvizi K. 2012. The effect of phosphorus bio-fertilizers on yield and phosphorus uptake in potato. Water and Soil Science, 23(2): 125-138. (In Persian with English Abstract).

Goldani M, Rezvani Moghadam P. 2007. Effects of different drought levels and planting date on yield and yield components of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Mashhad. Field Crop Research, 2(4): 229-239. (In Persian with English Abstract).

Gyanesh war P, Naresh kamar G, Parekh L J, Poole P S. 2002. Role of soil microorganism proving P nutrition of plants. Plant and Soil, 245: 83 – 93.

HaghParast M, Maleki FS, Sinaki JM, Zarei GH. 2012. Mitigation of drought stress in chickpea through application of humic acid and seaweed extract. Crop Production in Environtmental Stress, 4 (1): 59-71. (In Percian).

Hasanour O, Azizi K, Feizian M, Ismaeili A. 2020. Study the effect of Phosphate Barvar-2 biofertilizer, iron nano-chelate and superabsorbent on qualitative and quantitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry farming conditions. Iranian Journal Pulses Research, 11: 62-75. https://doi.org/ 10.22067/ijpr.v11i2.70978.

Jannin L, Arkoun M, Etienne P, Laıne P, Goux D, Garnica M. 2013. Brassica napus growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. Journal Plant Growth Regulation, 32: 31-52. https://doi.org/10.1007/s00344-012-9273-9.

Jothinayagi N, Anbazhagan C. 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer of Sargassum wightii on the growth and biochemical characteristics of *Abelmoschus esculentus* (L.) Medikus. Recent Research in Science and Technology, 1(4): 155-158.

Kamaei H, Eisvand HR, Daneshvar M, Nazarian F. 2019. The study effects of planting date, phosphate Bio-fertilizer and foliar application of zinc and boron on leaf area index, leaf area duration, leaf relative water content, cell membrane stability, quantum efficiency of PSII, leaf proline content and grain yield of bread wheat. Journal of Plant Process and Function, 8(29): 59-74. (In Percian).

Kamaladhasan N, Selvakumars S, Umamaheswari S. 2013.Effect of three different seaeaweed liquid fertilizers and a chemical liquid fertilizer on legom crop red gram. Journal of Basic and Applied biology, 3(1,2): 21-24.

Karimi R, Amirnia R. 2019. Effects of chemical and organic fertilizer on some qualitative and quantitative characteristics of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. var. speed feed) in various phenological stages. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(3): 27-38. (In Persian with English Abstract).

Kaschuk G, Leffelaar PA, Gille, KE, Alberton O, Hungria M, Kuyper TW. 2010. Responses of legumes to rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi: A metaanalysis of potential photosynthate limitation of symbioses. Soil Biology and Biochemistry, 42: 125-127. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.017.

Kaur S, Kaur S, Gupta A Kو Kaur J. 2016. Physiochemical and nutritional attributes of raw and soaked seeds of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Legume Research-An International Journal, 39(3): 359-369. https://doi.org/ 10.18805/lr.v0iOF.9434.

Khan W, Rayirath U, Subramanian S, Jithesh M, Rayorath P, Hodges DM, Critchley A, Craigie J, Norrie J, Prithiviraj B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development, Journal of Plant Growth Regulation, 28 :386-399. https://doi.org/ 10.1007/s00344-009-9103-x.

Kingman AR, Moore J. 1982. Isolation, purification and quantification of several growth regulating substance in *Ascophyllum nodosum* (*Phaeophyceae*). Botanica Marin, 25, 149-153.

Koide R. 1993. Physiology of the mycorrhizal plant. Advance Plant Pathology, 9: 33- 54

Koochaki A, Tabrizi L, Ghorbani R. 2008. Effect of biofertilizers on agronomic and quality criteria of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 1(6): 588 - 91. (In Percian). https://doi.org/ 10.22067/gsc.v6i1.1184.

Ludwig-Muller J. 2000. Indole-3-butyric acid in plant growth and development. Plant Growth Regulation, 2-3: 219-230.

Magomya, AM, Kubmarawa D, Ndahi JA و Yebpella GG. 2014. Determination of plant proteins via the kjeldahl method and amino Acid analysis: A comparative study. International Journal of Scientific and Technology Research, 3(4): 68-72.

Majnoun Hosseini N, Hamzeii R. 2010. Effect of winter and spring planting time on yield and yield components of chickpea at dry land conditions. Iranian Journal Pulses Research, 1(2): 59-68. https://doi.org/ 10.22067/ijpr.v1i2.9222.

Malik K, Arora G, Singh I, and Arora S. 2011. *Lallemantia reylenne* seeds as superdisintegrant: Formulation and evaluation of nimesulide orodispersible tablets. International Journal of Pharmaceutical Investigation, 1: 192-198. https://doi.org/10.4103/2230-973X.85973.

Mohammadi Kh, Sohrabi Y, 2012. Bacteral biofertilizer for sustainable crop production: A Review. Journals in Agricultural and Biological Sciences, 5 (7): 307-316.

Momeni S, Fahmideh L, Emamjomeh A, Solouki M, Zahiri J. 2020. Effect of drought stress on morphological and physiological traits of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Plant Environmental Physiology, 15: 61-78.

Mukesh TS, Sudhakar TZ, Doongar RC, Karuppanan E, Jitendra C. 2013. Seaweed sap as alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. Journal Plant Nutrition, 36 (1): 192-200. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.737886.

Nasiri Y. 2022. Evaluation of organic and biofertilizer inputs application on yield, yield components and essential oil content of marigold (*Calendula officinalis* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 32 (2): 97-113. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2021.45515.2669.

Oliveira Neto CFD, Lobato AKDS, Gonçalves-Vidigal MC, Costa RCLD, Santos Filho BGD, Alves GAR, Maia WJMS, Cruz FJR, Neves HKB, Lopes MS. 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7: 588-593.

Payandeh Kh, Derogar. 2020. Investigation quantitative and qualitative yield of maize (*Zea mayz* L.) under different irrigation intervals and mycorrhizal fungi and bacteria fertile phosphate. Scientific Journal of Crop Physiology, 11 (44): 129-142. (In Persian with English Abstract). DOR:20.1001.1.2008403.1398.11.44.8.9.

Rafie MR, Sohi M, Javadzadeh M. 2020. Study the effect of plant growth biostimulants application on quantitative and qualitative characteristics of wheat in a calcareous soil (Case study in Khuzestan). Journal of Soil Management and Sustainable Production, 10(2):69-88. https://doi.org/:10.22069/ejsms.2020.16943.1905.

Ruiz-Lozano J M, Azcon R. 1995. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. Plant Physiology, 95: 472-478.

Saleh Rastin N. 2001. Biofertilizer and their role in order to achieve sustainable agriculture. Journal of Soil and Water, Special Issue on Biofertilizer, 12: 258 -270. (In Persian with English Abstract).

Sánchez-Díaz M, Pardo M, Antolin M, Pena J, Aguirreolea J. 1990. Effect of water stress on photosynthetic activity in the Medicago – Rhizobium – Glomus symbiosis. Plant Science, 71: 215 – 221.

Shehata SM, Abdel-Azem HS, El-Yazied AA, El-Gizawy AM. 2011**.** Effect of foliar spraying with amino acids and seaweed extract on growth chemical constitutes, yield and its quality of celeriac plant. European Journal of Scientific Research, 58 (2): 257-265.

Shojaeian Kish F, Yadavi A, Movahhedi Dehnavi M, Salehi A, Hamidian M. 2021. Improvement of physiological characteristics and nutrient uptake of Linseed (*Linum usitatissimum*) with biofertilizers application under irrigation withholding at different growth stages. Journal of Plant Process and Function, 10(44): 265-82. (In Persian with English Abstract). DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5.

Sivasangari Ramya S, Nagaraj S, Vijayanand N. 2010**.** Biofertilizing efficiency of brown and green algae on growth, biochemical and yield parameters of *Cyamopsis tetragonolaba* (L.) Taub. Recent Research in Science and Technology, 2 (5): 45-52.

Sridhar S, Rengasamy R. 2011. Potential of seaweed liquid fertilizers (SLFS) on some agricultural crop with special reference to protein profile of seedlings. International Journal of Development Research, 7:55–57.

Srivastava, AK, Singh T, Jana TK, Arora DK. 2001. Induced resistance and control of charcoal rot in *Cicer arietinum* (Chickpea) by *Pseudomonas fluorescence*. Canadian Journal of Botany, 79 (7): 787-795.

Stirk WA, Arthu, GD, Arthur GD, Lourens AF, Novar O, Strand M, Vanstaden J. 2004. Changes in Cytok in and Auxin concentration in seaweed concentrates when stored at elevated temperature. Journal of Applied Physiology, 16: 31-39.

Sunarpi, Jupri, A, Kurnianingsih, R, Julisaniah NI, Nikmatullah A. 2010. Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. Nusantara Bioscience, 2 (2): 73-77.

Teimory H, Ghabooli M, Movahedi Z. 2021. Effects of different inoculation methods of *Serendipita indica* on some morphophysiological, biochemical, and yield traits of tomato under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology, 13(2):1-22. https://doi.org/ 10.22108/ijpb.2021.128853.1253.

Tohidinia MA, Mazaheri D, Bagher-Hosseini SM, Madani H. 2014. 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). DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.1.5.

Van Oosten MJ, Pepe O, De Pascale S, Silletti S, Maggio A. 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 4(1): 1-12. https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5.

Vijayanand N, Ramya SS, Rathinavel S. 2014. Potential of liquid extracts of *Sargassum wightii* on growth, biochemical and yield parameters of cluster bean plant. Asian Pacific Journal of Reproduction, 3 (2): 150-155. https://doi.org/10.1016/S2305-0500(14)60019-1.

Wu HH, Zou YN, Rahman MM, Ni QD, Wu QS. 2017. Mycorrhizas alter sucrose and proline metabolism in *trifoliate orange* exposed to drought stress. Scientific Reports, 7: 42389. https://doi.org/10.1038/srep42389.

Yazdani M, Bahmanyar MA, Pirdashti H, Esmaili MA. 2009. Effect of phosphate solubilizing microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering, 3(1): 87-96.

Yazdi-Motlagh A, Khavari-Khorasani S, Bakhtiari S and Musa-Abadi J. 2012. Effect of planting pattern on morphophysiologic characteristics, yield and yield components of forage maize varieties (*Zea mays* L.) in saline conditions. Agroecology, 4(4): 324-327. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v4i4.17816.

Zahir ZA, Akram M, Arshad M, Khalid A. 2004. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. Pakistan Journal of Soil Science, 15: 7-11.

Zodape ST, Gupta A, Bhandari SC, Rawat US, Chaudhary DR, Eswaran K, and Chikara J. 2011. Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Journal of Scientific and Industrial Research, 70 (1): 215-219.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 25-40

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

Evaluation of the Application of Biological, Humic acid, and Chemical Fertilizers on Some Growth, Physiological and Qualitative Traits of Rocket Leafy Vegetable (*Eruca sativa* L.)

Serveh Tahmasebi[1], Aliakbar Mozafari[2,3*], Nasser Ghaderi[2], Behrooz Sarabi[2,3*]

Received: 08 August 2023	Accepted: 08 February 2024

1-Former MSc. Student, Dept. of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran.
2-Prof., Assoc. Prof., and Assist. Prof., Dept. of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran.
3-Research Center of Medicinal Plants Breeding and Development, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran.
*Corresponding Author E-mail: a.mozafari@uok.ac.ir and b.sarabi@uok.ac.ir

Abstract

Background and Objective: In sustainable agricultural systems, a diverse range of biofertilizers and organic fertilizers, including plant growth-promoting bacteria and humic acid, have emerged as effective alternatives to mitigate the consumption of chemical inputs. In addition to diminishing significant environmental challenges, these fertilizers can minimize adverse effects on human health. This research was designed to investigate the effect of biofertilizers, humic acid (HA) and chemical fertilizers on some growth characteristics, physiological and qualitative traits of rocket leafy vegetables.

Materials and Methods: At the University of Kurdistan, a completely randomized design was designed. Treatments included control (no use of fertilizer)**,** AzotoBarvar-1, PotaBarvar-2, PhosphoBarvar-2, AzotoBarvar-1 + PotaBarvar-2, AzotoBarvar-1+ PhosphoBarvar-2, PotaBarvar-2 + PhosphoBarvar-2, AzotoBarvar-1+ PotaBarvar-2 + PhosphoBarvar-2, HA and chemical fertilizer. The traits that were evaluated included yield, biomass, leaf area, photosynthetic pigments, phenol, flavonoid, vitamin C, carbohydrate, nitrate, phosphorus, and potassium content.

Results: The results of ANOVA showed that the effect of all fertilizer sources on the characteristics investigated was significant. Using HA resulted in the highest yield, biomass, carotenoid, phenol, vitamin C, nitrate, and potassium content. The maximum chlorophyll a and total chlorophyll were observed using the biofertilizer AzotoBarvar-1. Maximum content of carbohydrate, chlorophyll b, flavonoid, phosphorus, and leaf area was recorded in PhosphoBarvar-2, AzotoBarvar-1 + PotaBarvar-2, AzotoBarvar-1 + PhosphoBarvar-2, PotaBarvar-2 + PhosphoBarvar-2, and chemical treatments, respectively.

Conclusion: The positive effect of biofertilizers and HA on the improvement of rocket plants growth, physiological, and qualitative traits was observed in this research. As a result, this type of fertilizers can be used as one of the most desirable methods to substitute or reduce the use of chemical inputs with the aim of improving soil fertility, producing a healthy crop and also maintaining environmental sustainability for the production of this beneficial leafy vegetable.

Keywords: Biological Fertilizer, Healthy Crop, Organic Fertilizer, Plant Growth-Promoting Bacteria, Yield

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Aliakbar Mozafari E-mail: a.mozafari@uok.ac.ir and E-mail:b.sarabi@uok.ac.ir Behrooz Sarabi
http://doi.org/ 10.22034/saps.2024.57922.3094

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۴۰-۲۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی کاربرد کودهای زیستی، اسید هیومیک و شیمیایی بر برخی صفات رشدی، فیزیولوژیکی و کیفی سبزی برگی منداب (*Eruca sativa* L.)

سروه طهماسبی[۱]، علی اکبر مظفری[۲و۳*]، ناصر قادری[۲]، بهروز سرابی[۲و۳*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران
۲- استاد، دانشیار، استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران
۳- مرکز پژوهشی اصلاح و توسعه گیاهان دارویی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران
* مسئول مکاتبه: a.mozafari@uok.ac.ir و E-mail: b.sarabi@uok.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: در سیستم‌های کشاورزی پایدار، انواع مختلفی از کودهای زیستی و آلی از جمله باکتری‌های محرک رشد گیاه و اسید هیومیک وجود دارند که به عنوان جایگزینی مؤثر برای کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی مطرح شده‌اند. این کودها علاوه بر کاهش مشکلات زیست‌محیطی جدی، می‌توانند آثار منفی بر سلامت انسان را نیز به حداقل برسانند. این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی، اسید هیومیک و کود شیمیایی بر برخی ویژگی‌های رشدی، صفات فیزیولوژیکی و کیفی سبزی برگی منداب طراحی گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار در دانشگاه کردستان اجرا گردید. تیمارها شامل شاهد (بدون مصرف کود)، ازتوبارور-۱، پتابارور-۲، فسفاته‌بارور-۲، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲، پتابارور- ۲ + فسفاته‌بارور-۲، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲، اسید هیومیک و کود شیمیایی بودند. صفات مورد بررسی شامل عملکرد، بیوماس، سطح برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای فنل، فلاونوئید، ویتامین ث، کربوهیدرات، نیترات، فسفر و پتاسیم بود.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر همه منابع کودی بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار شده است. بیشترین عملکرد، بیوماس، محتوای کاروتنوئید، فنل، ویتامین ث، نیترات و پتاسیم همراه با کاربرد اسید هیومیک بدست آمد. بیشترین محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل با استفاده از کود زیستی ازتوبارور-۱ مشاهده شد. حداکثر کربوهیدرات، کلروفیل b، فلاونوئید، فسفر و سطح برگ به ترتیب در تیمارهای فسفاته‌بارور-۲، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، ازتوبارور-۱ + فسفاته-بارور-۲، پتابارور- ۲ + فسفاته‌بارور-۲ و کود شیمیایی ثبت گردید.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش تاثیر مثبت کاربرد کودهای زیستی و اسید هیومیک بر بهبود صفات رشدی، فیزیولوژیکی و کیفی گیاهان منداب مشاهده شد. بنابراین می‌توان با کاربرد این نوع کودها به عنوان یکی از مطلوب‌ترین روش‌ها برای جایگزینی و یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی با هدف بهبود حاصلخیزی خاک، تولید محصول سالم و همچنین حفظ پایداری محیط زیست جهت تولید این سبزی برگی فراسودمند اقدام نمود.

واژه های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد گیاهی، عملکرد، کود آلی، کود زیستی، محصول سالم

مقدمه

منداب (*Eruca sativa* L.) سبزی برگی یک ساله و متعلق به تیره براسیکاسه است. این گیاه به صورت طبیعی در جنوب اروپا، شمال آفریقا و برخی نواحی آسیا شامل ایران، پاکستان، افغانستان و سوریه وجود دارد (گلکار و بختیاری ۲۰۲۰). این گیاه از زمان‌های دور بویژه در استان‌های شرقی کشور تا مازندران کشت شده است. همچنین در سالهای اخیر کشت منداب به عنوان کود سبز برای افزایش ماده آلی خاک از سوی سازمان جهاد کشاورزی به کشاورزان توصیه گردیده است (سیفی‌پور و همکاران ۲۰۲۱). ترکیبات فیتوشیمیایی اصلی این گیاه شامل فلاونوئیدها و فنل‌ها هستند که موجب خواص آنتی اکسیدانی آن می‌شوند. منداب همچنین به عنوان منبع مهمی از ویتامین‌های ث و آ، عناصر غذایی مثل کلسیم و آهن و همچنین ترکیبات اسید فولیک، گلوکوزینولات‌ها، ایزوتیوسیانات‌ها و کاروتنوئیدها است (گارگ و شارما ۲۰۱۴). ترکیبات طبیعی موجود در منداب دارای اثرات مفیدی روی سلامتی انسان از جمله کمک به بهبود درمان بیماری‌های قلبی-عروقی، کمک به هضم غذا، تقویت قوای جسمی، فعالیت‌های ضد میکروبی و همچنین درمان تکرر ادرار هستند (شارما و همکاران ۲۰۱۷).

کودهای شیمیایی از اجزای مهم در تولید محصولات کشاورزی هستند که تأثیر بسزایی بر تولید غذا در جهان دارند. اگرچه استفاده از کودهای شیمیایی برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده مواد غذایی در جهان اجتناب ناپذیر است، اما وابستگی بیش از حد به کودهای شیمیایی برای تولید بیشتر محصولات زراعی، مشکلات جدی زیست محیطی و اثرات منفی بر سلامت انسان را به دنبال دارد (ماهانتی و همکاران ۲۰۱۷). به‌کارگیری اصول کشاورزی پایدار در اکوسیستم‌های زراعی از جمله راهکارهای کاهش مشکلات ناشی از کاربرد بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی می‌باشد و در حال حاضر رویکرد جهانی برای تولید گیاهان، استفاده از روش‌های مدیریتی پایدار و ارگانیک می‌باشد. در این راستا انواع مختلفی از کودهای آلی و زیستی وجود دارند که در سیستم‌های کشاورزی پایدار به عنوان جایگزینی برای کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی معرفی شده‌اند (نصیری و قادری ۲۰۲۳).

کاربرد کودهای ارگانیک از جمله کودهای زیستی که شامل باکتری‌های محرک رشد گیاهی[1] (PGPR) هستند و همچنین کود آلی اسید هیومیک می‌تواند به عنوان یک راهبرد در جهت رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار در نظر گرفته شود. باکتری‌های موجود در کودهای زیستی از جمله باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و باکتری‌های حل کننده پتاسیم و فسفات سبب افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیزم‌های خاک، افزایش دسترسی به عناصر غذایی مانند نیتروژن، پتاسیم و فسفر و در نتیجه افزایش رشد و بهبود عملکرد گیاهان می‌گردند (لی و همکاران ۲۰۲۳). اسید هیومیک یکی از مهمترین مواد آلی تشکیل دهنده خاک می‌باشد که در چرخه عناصر غذایی و کارکردهای اکولوژیکی خاک نقش مهمی دارد. همچنین اسید هیومیک بر روند تنفس سلولی، اسیدهای آمینه، محتوای کربوهیدرات و متابولیسم نیترات در گیاه تأثیر داشته و به دلیل دارا بودن فعالیت‌های شبه‌هورمونی، بر روند رشد و نمو در سلول‌های گیاهی دارای اثرات تحریک کننده می‌باشد. اسید هیومیک بر بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک از جمله بهبود ساختمان خاک و افزایش حلالیت ریز مغذی‌ها در خاک نیز موثر می‌باشد. اثرات مستقیم اسید هیومیک از طریق تأثیر روی فیزیولوژی گیاه از جمله تغییر در خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه، بزرگ‌شدن سلول‌ها، رشد اندام‌ها، تحریک پمپ H^+-ATPases ریشه به منظور ایجاد شیب الکتروشیمیایی برای جهت عناصر صورت می‌گیرد (کانلاس و همکاران ۲۰۱۵).

تاثیر کودهای زیستی بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاهان مختلف بررسی شده است. به عنوان مثال، نصیری و قادری (۲۰۲۳) بهبود عملکرد و درصد اسانس گیاه دارویی بادرشبی را با کاربرد کود زیستی

1. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

سوپرنیتروپلاس و اسید هیومیک گزارش کردند. امین-بیگی و همکاران (۲۰۲۳) نیز با کاربرد کودهای زیستی (فسفونیتروکارا + پتابارور-۲) افزایش قابل ملاحظه عملکرد خشک علوفه و همچنین میزان اسیدهای چرب دانه کاملینا را مشاهده کردند. به علاوه کارایی مصرف نیتروژن با استفاده از باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن همراه با کود دامی در کشت مخلوط شوید – شنبلیله افزایش نشان داده است (باباخانی و همکاران ۲۰۲۳). آختیاموا و همکاران (۲۰۲۳) هم با تلقیح ناحیه ریشه گیاهان گندم با باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس، افرایش بیوماس، سطح برگ و محتوای کلروفیل را مشاهده کردند. پرز-گارسیا و همکاران (۲۰۲۳) نیز با تیمار بذرهای خیار با باکتری‌های محرک رشد گیاه از جمله باسیلوس و سودوموناس افزایش درصد جوانه-زنی، بنیه دانهال، طول ریشه‌چه و همچنین ترکیبات فیتوشیمیایی از جمله فنل‌ها و ظرفیت ضد اکسایشی را گزارش کردند.

اثرات مثبت کاربرد اسید هیومیک بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاهان مختلفی بررسی شده است. به عنوان مثال، الگوهری و همکاران (۲۰۲۳) بهبود صفات رشدی، ترکیب اسانس، عملکرد و تعداد شاخه را در دو واریته ریحان با کاربرد برگساره‌ای اسید هیومیک گزارش کردند. این نویسندگان نتیجه گرفتند که استفاده از این ماده آلی به عنوان یک کود سازگار با محیط زیست در تولید ریحان امیدبخش است. سیار و همکاران (۲۰۲۳) هم بهبود وزن تر و خشک بوته و همچنین ترکیبات اسانس را با کاربرد اسید هیومیک در ریحان مشاهده کردند. کاظمی و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش کردند که استفاده از اسید هیومیک موجب افزایش تولید ترکیبات آلکالوئیدی در گیاه دارویی عروسک پشت پرده شده است. وفاعهد و همکاران (۲۰۲۴) هم افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیک، عملکرد روغن و ارتفاع بوته را با استفاده از اسید هیومیک در گیاه دارویی سیاهدانه مشاهده کردند. این نویسندگان استفاده از این کود آلی را به عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی توصیه نمودند. افزایش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، کلسیم، آهن، محتوای کلروفیل کل، طول برگ، وزن تر و خشک ریشه در گل نرگس همراه با کاربرد اسید هیومیک نیز گزارش شده است (اکبرپور و همکاران ۲۰۲۲).

با توجه به اینکه این محصول به عنوان یک سبزی برگی پرطرفدار در کشورهای اروپایی شناخته شده است و همچنین در اقلیم کردستان عراق هم مورد مصرف قرار می‌گیرد، لذا می‌توان با ترویج و معرفی کشت این گیاه در میان کشاورزان کشور در جهت افزایش سطح زیر کشت، مصرف داخلی و همچنین صادرات و ارزآوری این سبزی فراسودمند اقدام نمود. همچنین با در نظر گرفتن اثرات منفی مصرف نهاده‌های شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی و آسیب‌های زیست محیطی آن، کاربرد نهاده‌های زیستی و آلی از جمله باکتری‌های محرک رشد و اسید هیومیک مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش، بررسی اثر کاربرد منابع مختلف کودی شامل کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، باکتری‌های حل کننده پتاسیم و فسفات و همچنین اسید هیومیک و کود شیمیایی بر رشد و برخی صفات فیزیوژیک و کیفی گیاه منداب در راستای تحقق اهداف کشاورزی پایدار بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان اجرا شد. در این آزمایش بذرهای گیاه منداب از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. بذرهای منداب در جعبه‌های کشت با ابعاد ۱۵×۳۰×۲۰ سانتیمتر حاوی خاک کشت گردیدند. بستر مورد استفاده از عمق ۲۰-۰ سانتیمتری خاک باغچه تهیه گردید. بافت خاک به صورت لومی‌شنی، pH ۷/۱، هدایت الکتریکی ۱/۹ دسی زیمنس بر متر و حاوی ۰/۰۸ درصد نیتروژن، ۱۵ پی‌پی‌ام فسفر و ۱۶۴ پی‌پی‌ام پتاسیم بود. گیاهان در گلخانه تحت نور طبیعی و دمای روز و شب ۳۰-۱۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی روز و شب بین ۵۵ و ۷۵ درصد و طول روز طبیعی رشد کردند.

به منظور بررسی اثر انواع مختلف کودهای زیستی، اسید هیومیک و کود شیمیایی بر گیاه منداب آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار و در سه تکرار (هر

تکرار شامل چهار جعبه کشت) طراحی گردید. هر جعبه کشت هم دارای ۱۵ بوته بود (۶۰ بوته به ازای هر تیمار) . تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (بدون مصرف کودهای زیستی، آلی و کود شیمیایی)، ازتوبارور-۱، پتابارور-۲، فسفاته‌بارور-۲، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲، پتابارور- ۲ + فسفاته‌بارور-۲، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته-بارور-۲، اسید هیومیک و کود شیمیایی بودند. در این پژوهش کودهای زیستی (شرکت زیست فناور سبز) شامل ازتوبارور-۱، پتابارور-۲ و فسفاته بارور-۲ به دو صورت تلقیح بذر (بذر مال) قبل از کشت و همچنین به‌صورت کود آبیاری به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار (بر اساس غلظت‌های توصیه شده توسط شرکت سازنده) اعمال گردیدند. بر این اساس کودهای زیستی در ۴ مرحله در اختیار گیاهان قرار گرفتند. مرحله‌ی اول به صورت بذر مال، مرحله‌ی دوم همراه با ظهور ۲ برگ حقیقی، مرحله‌ی سوم همراه با ظهور ۴ برگ حقیقی و مرحله‌ی چهارم همراه با ظهور ۶ برگ حقیقی اعمال گردید (پرچیانلو و همکاران ۲۰۱۹، باباخانی و همکاران ۲۰۲۳). اسید هیومیک (شرکت Eurosolids، هلند) نیز به‌صورت کود آبیاری به غلظت ۳۰۰ پی‌پی‌ام در سه نوبت و بعد از ظهور دو برگ حقیقی در اختیار گیاهان قرار گرفت. ترکیب اسید هیومیک مورد استفاده به صورت ٪۶۰< اسید هیومیک، ۳-۱ درصد اسید فولویک، ۷/۵ درصد اکسید پتاسیم، ۲/۲-۱/۲ درصد نیتروژن آلی و ٪۴۰< خاکستر بود. استفاده از کودهای شیمیایی بر اساس نتایج آنالیز خاک و توصیه کودی از منابع اوره، سوپرفسفات تریپل و نیترات پتاسیم صورت گرفت. کودهای فسفره (۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و پتاسیم (۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در مرحله آماده سازی بستر به خاک اضافه شدند. کود اوره (۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) هم در دو نوبت (زمان آماده سازی و دو هفته بعد از کشت بذرها) مصرف شد.

ارزیابی صفات رشدی، فیزیولوژیکی و کیفی گیاهان قبل از ورود به مرحله گلدهی (۳۵ روز بعد از کشت بذر) انجام گردید. در این زمینه، اندام هوایی همراه با ریشه به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون خشک و بعد از توزین به عنوان وزن بیوماس در نظر گرفته شد. سطح برگ بوته‌ها نیز با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل Lam 2000) تعیین گردید. عملکرد هم با توزین وزن تازه اندام هوایی شامل برگ و دمبرگ بدست آمد.

جهت اندازه گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی از روش لیچتنتالر و بوشمن (۲۰۰۱) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. بدین منظور میزان جذب عصاره استونی برگ‌ها در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ قرائت و محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید بر اساس فرمول‌های مربوطه محاسبه گردید. محتوای کربوهیدارت‌های محلول کل برگ به روش ایریگوین و همکاران (۱۹۹۲) در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت و با استفاده از منحنی استاندارد بدست آمده از غلظت‌های مشخص گلوکز بر حسب میلی‌گرم در گرم بافت تازه برگ بیان گردید. جهت سنجش محتوای فنل کل از روش فولین – سیکالتیو استفاده گردید و به وسیله منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مشخص اسید گالیک، غلظت فنل کل در طول موج ۷۵۰ نانومتر قرائت گردید (اسلینکارد و سینگلتون ۱۹۷۷). میزان فلاونوئید نیز بر اساس رنگ-سنجی کلرید آلومینیوم و در طول موج ۵۱۰ نانومتر بر اساس غلظت‌های مختلف کوئرستین و روش پارک و همکاران (۲۰۰۸) محاسبه شد. اندازه‌گیری نیترات بر اساس روش کاتالدو و همکاران (۱۹۷۵) و با استفاده از اسید سولفوسالیسیلیک – سود انجام گردید. مقدار جذب عصاره بدست آمده در طول موج ۴۱۰ نانومتر قرائت شد. برای تعیین غلظت فسفر نمونه‌ها از معرف نیتروواناداومولیبدات استفاده گردید و میزان فسفر در طول موج ۴۳۰ نانومتر و با استفاده از غلظت‌های مختلف پتاسیم‌دی‌هیدروژن فسفات قرائت شد (امامی ۱۹۹۶). برای تعیین غلظت پتاسیم نیز بعد از هضم خاکستر نمونه‌ها با استفاده از اسید کلریدریک دو نرمال، از دستگاه شعله‌سنجی استفاده شد (علائی و تفضلی ۲۰۱۲). تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد

و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات رشد

تاثیر کاربرد کودهای مختلف بر بیوماس، سطح برگ و عملکرد گیاهان منداب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده بود و افزایش معنی‌دار در این صفات همراه با استفاده از کودهای زیستی، اسید هیومیک و شیمیایی در مقایسه با شرایط شاهد مشاهده گردید (جدول ۱). حداکثر افزایش معنی‌دار بیوماس گیاهان به ترتیب تحت تیمارهای اسید هیومیک (۵۸/۴ درصد)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ و همچنین ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲ (۴۵/۹-۴۴/۷ درصد) در مقایسه با شرایط شاهد ثبت شد. حداکثر افزایش سطح برگ به ترتیب با استفاده از کود شیمیایی (۵۰/۹ درصد) و اسید هیومیک (۴۷/۵ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد گزارش گردید. بیشترین افزایش معنی‌دار عملکرد هم به ترتیب با استفاده از اسید هیومیک (۹/۱ درصد) و ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۵/۹ درصد) نسبت به شرایط شاهد مشاهده شد.

مواد هیومیکی به عنوان بخش آلی مهم خاک اثرات مثبتی بر رشد ریشه و اندام هوایی، بیوماس و عملکرد گیاهان دارند. این ترکیبات از نظر شیمیایی فعال بوده و به دلیل ظرفیت بالای تبادل کاتیونی نقش مهمی در تامین عناصر غذایی برای گیاهان دارند. در این راستا یک مطالعه مروری، افزایش جذب عناصر معدنی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در تعداد زیادی از گیاهان را همراه با کاربرد اسید هیومیک نشان داد (ورلیندن و همکاران ۲۰۰۹). د کاسترو و همکاران (۲۰۲۱) هم گزارش کردند که گروه‌های آروماتیک و آلیفاتیک موجود در اسید هیومیک موجب افزایش جذب نیتروژن، قندهای محلول و افزایش عملکرد برنج شده است.

استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاهی به عنوان یک راهکار مناسب برای بهبود رشد و عملکرد گیاهان در نظر گرفته می‌شود، چرا که این میکروارگانیسم‌ها تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی را کنترل می‌کنند، موجب حل شدن عناصر رسوب یافته می‌شوند. در گیاهان تیمار شده با کودهای زیستی بهبود فتوسنتز، افزایش هدایت روزنه‌ای و تحریک سنتز روبیسکو دیده شده است که در نهایت موجب افزایش کارایی استفاده از دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای و کربوکسیلاسیون می‌گردد. این میکروارگانیسم‌ها به احتمال زیاد موجب توسعه بیشتر ریشه، جذب بیشتر آب، بهبود روابط آبی گیاه و همچنین جذب عناصر ضروری می‌شوند (ویتال و همکاران ۲۰۲۳). ساغر و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که افزایش رشد و عملکرد ناشی از کود زیستی ازتوباکتر می‌تواند ناشی از بیوسنتز مواد فعال بیولوژیکی، تحریک میکروارگانیسم‌های ناحیه ریشه، تولید مهارکننده‌های پاتوژن گیاهی و بهبود دسترسی عناصر معدنی از طریق معدنی شدن مواد آلی خاک باشد. پن و همکاران (۲۰۲۳) نیز با کاربرد دو سویه از باکتری‌های باسیلوس، افزایش قابل توجه رشد، بیوماس و عملکرد را در برنج گزارش کردند. این نویسندگان همچنین افزایش دسترسی فسفر و منیزیم ناحیه ریزوسفر و فراوانی ریزوباکتری‌های مفید را مشاهده و نتایج بدست آمده را ناشی از توانایی این باکتری‌ها در ترشح هورمون‌های گیاهی و آنزیم‌های خاک بیان کردند. لیو و همکاران (۲۰۲۲) هم با استخراج یک محرک رشد گیاهی به اسم گوورمکتین[1] از باکتری‌های محرک رشد گیاهی، افزایش رشد ریشه و عملکرد برنج را ثبت نمودند.

1. Guvermectin

جدول ۱ - مقایسه میانگین مربوط به اثر منابع مختلف کودی بر سطح برگ، بیوماس، عملکرد، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید گیاهان منداب

تیمار	سطح برگ (cm^2/plant)	بیوماس (g/plant)	عملکرد (g/m^2)	کلروفیل a (mg/g FW)	کلروفیل b (mg/gFW)	کلروفیل کل (mg/g FW)	کاروتنوئید (mg/g FW)
T1	۲۰/۷۵ g	۲/۰۳ d	۳۶۶/۱ e	۰/۴۱۴ e	۰/۱۲۶ e	۰/۵۴ g	۰/۳۳ d
T2	۳۴/۹۶ bc	۳/۴۸ bc	۳۸۲/۵ bc	۰/۸۳۲ a	۰/۲۶۴ ab	۱/۰۹۵ a	۰/۶۶ ab
T3	۲۴/۴۷ ef	۲/۹۶ c	۳۷۱/۹ de	۰/۴۳۷ de	۰/۱۴۱ e	۰/۵۷۳ g	۰/۳۹ cd
T4	۲۶/۹۹ ef	۳/۲۴ bc	۳۸۲/۳ bc	۰/۶۶۱ c	۰/۲۰۹ bc	۰/۸۷۱ cd	۰/۵۲ bc
T5	۳۳/۲ cd	۳/۷۴ b	۳۸۹/۳ b	۰/۶۸۴ bc	۰/۲۸۱ a	۰/۹۶۵ bc	۰/۶۶ ab
T6	۲۶/۳۸ ef	۳/۶۷ b	۳۸۲/۸ bc	۰/۶۱۳ c	۰/۱۵۴ de	۰/۷۶۷ ef	۰/۵۳ a-c
T7	۲۳/۶۵ f	۲/۲ d	۳۷۰/۱ de	۰/۶۸۲ bc	۰/۲۰۴ cd	۰/۸۸۶ cd	۰/۵۹ ab
T8	۲۸/۷۷ de	۲/۴ d	۳۷۳/۵ de	۰/۶۰۵ c	۰/۲۱۹ bc	۰/۸۲۴ de	۰/۴۹ b-d
T9	۳۹/۵۴ ab	۴/۸۷ a	۴۰۲/۷ a	۰/۷۶۳ ab	۰/۲۲۵ bc	۰/۹۸۷ b	۰/۷۱ a
T10	۴۲/۲۳ a	۳/۰۴ c	۳۷۷/۴ cd	۰/۵۰۸ d	۰/۱۹۸ cd	۰/۷۰۵ f	۰/۴۰ cd
سطح معنی‌داری	**	**	**	**	**	**	**
ضریب تغییرات (٪)	۹/۹۶	۹/۹۳	۷/۳	۸/۵۶	۱۶	۶/۷۶	۱۹/۵۶

T1: شاهد، T2: ازتوبارور-۱، T3: پتابارور-۲، T4: فسفاته‌بارور-۲، T5: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، T6: ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲، T7: پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲، T8: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته¬بارور-۲، T9: اسید هیومیک، T10: کود شیمیایی. میانگین صفات که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها، تاثیر معنی‌دار کاربرد منابع مختلف کودی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی را در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۱). منابع مختلف کودی موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی نسبت به شرایط شاهد شده بودند. بر این اساس بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل a به ترتیب همراه با کاربرد ازتوبارور-۱ (۵۰/۲ درصد) و اسید هیومیک (۴۵/۷ درصد) ثبت گردید. بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل b هم به ترتیب با استفاده از کودهای ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۵۵/۲ درصد) و ازتوبارور-۱ (۵۲/۳ درصد) بدست آمد. همچنین حداکثر افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل کل هم به ترتیب در تیمارهای ازتوبارور-۱ (۵۰/۷ درصد) و اسید هیومیک (۴۵/۳ درصد) مشاهده شد. با کاربرد اسید هیومیک (۵۲/۹ درصد)، ازتوبارور-۱ (۴۹/۶ درصد)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۴۹/۶ درصد) و پتابارور-۲ + فسفاته-بارور-۲ (۴۳/۸ درصد) هم بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای کاروتنوئید ثبت گردید.

مواد هیومیکی با افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در مسیر آسیمیلاسیون نیتروژن می‌توانند موجب بهبود جذب نیتروژن به عنوان یکی از عناصر دخیل در بیوسنتز کلروفیل شوند (هرناندز و همکاران، ۲۰۱۵). در یک بررسی مشابه، اسید هیومیک با افزایش جذب عنصر نیتروژن موجب افزایش کلروفیل برگ خیار گردیده است (دا بینگ و همکاران ۲۰۱۲). همچنین فن و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش محتوای کلروفیل و بهبود ساختار تیلاکوئیدها در گیاه گل داوودی شده است که در نهایت افزایش نسبت جذب فوتون، انتقال و تبدیل آن در کلروپلاست و همچنین افزایش میزان فتوسنتز را به دنبال داشته است. این نویسندگان بیان نمودند که مکانیسم‌های مرتبط با بهبود محتوای کلروفیل و همچنین ساختار کلروپلاست ناشی از کاربرد اسید هیومیک هنوز به خوبی شناخته نشده است و نیازمند مطالعات بیشتر برای درک بهتر است. بر اساس مطالعات مختلف، باکتری‌های موجود در کودهای زیستی موجب تولید مقادیر قابل توجهی اکسین و سیتوکینین

می‌شوند که موجب گسترش ریشه، افزایش سطح ریشه-های موئین و جذب بیش‌تر عناصر غذایی از جمله عناصر مورد نیاز در بیوسنتز کلروفیل (آهن، منیزیم و نیتروژن) از خاک می‌شوند (ساغر و همکاران ۲۰۲۲). مشابه با نتایج تحقیق فعلی، اثرات مثبت کاربرد کودهای زیستی در افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در محصولات گوناگون گزارش شده است. به عنوان مثال، پرچیانلو و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تیمار تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین و بیوسولفور حداکثر محتوای کلروفیل a را در برگ‌های عروسک پشت‌پرده مشاهده نمودند. ساغر و همکاران (۲۰۲۲) هم بیان نمودند که کود زیستی حاوی ازتوباکتر توانایی حل نمودن پتاسیم خاک و جذب آن توسط گیاه را نیز دارد. نجفی زیلایی و همکاران (۲۰۲۳) نیز افزایش محتوای کلروفیل کل را در سه گونه گیاه بیابانی (*H. aphyllum*، *N. schoberi* و *S. rosmarinus*) همراه با کاربرد دو سویه از باکتری-های محرک رشد گیاهی (*B. pumilus* و *Z. halotolerans*) گزارش کردند. این محققین بیان نمودند که افزایش محتوای کلروفیل ممکن است به دلیل توانایی این باکتری‌ها برای تولید سیدروفورها، اکسین و همچینن توانایی آنها برای افزایش جذب عناصر مورد نیاز در ساختار کلروفیل مثل منگنز و منیزیم باشد. گزارش شده است که سیدروفورها تمایل زیادی برای جذب آهن سه ظرفیتی که یک عنصر ضروری برای ساختار کلروفیل است، دارند (سانتویو و همکاران ۲۰۱۹).

ویژگی‌های کیفی

تاثیر تیمارهای مورد استفاده بر محتوای کربوهیدرات، فنل، فلاونوئید و ویتامین ث برگ‌های منداب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده بود (جدول ۲ و شکل ۱). همراه با کاربرد انواع کودها، افزایش محتوای این ترکیبات نسبت به شرایط شاهد مشاهده گردید. بر این اساس، حداکثر افزایش معنی‌دار محتوای فنل به ترتیب با استفاده از اسید هیومیک (۴۶/۹ درصد)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۴۴/۳ درصد)، کود شیمیایی (۴۳/۹ درصد) و ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۴۰ درصد) اتفاق افتاده بود. بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای کربوهیدرات به ترتیب در تیمارهای فسفاته‌بارور-۲ (۴۱/۸ درصد)، پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۳۹ درصد) و ازتوبارور-۱ + فسفاته-بارور-۲ (۲۴/۳ درصد) در مقایسه با شرایط شاهد مشاهده شد. همچنین به غیر از تیمار پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲، در همه تیمارهای کودی افزایش معنی-دار محتوای فلاونوئید نسبت به شرایط شاهد بدست آمد. به نحوی که ترکیب ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲ (۶۳ درصد)، اسید هیومیک (۵۹/۶ درصد) و ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۴۹/۳ درصد) بیشترین افزایش محتوای فلاونوئید را در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند. بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای ویتامین ث هم به ترتیب همراه با کاربرد اسید هیومیک (۴۶/۶ درصد)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۴۴/۵ درصد)، کود شیمیایی (۳۶/۲ درصد)، ازتوبارور-۱ (۳۵/۸ درصد) و ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۳۴/۹ درصد) نسبت به تیمار شاهد ثبت گردید. گزارش شده است که ترکیبات هیومیکی به عنوان پیش‌ساز یا فعال-کننده تولید ترکیبات ثانویه در گیاهان عمل می‌کنند و در نتیجه می‌توانند موجب افزایش تولید ترکیبات پلی‌فنلی گردند (نارگی و همکاران ۲۰۲۲). ترکیبات فنلی از مسیر فنیل پروپانوئید تشکیل می‌شوند که آغازگر این مسیر آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز[1] (PAL) است. یکی از کارکردهای ترکیبات هیومیکی افزایش بیان ژن آنزیم PAL می‌باشد (شیاوون و همکاران ۲۰۱۰). مشابه با نتایج مطالعه حاضر، افزایش محتوای فنل، فلاونوئید و ویتامین ث در منداب همراه با کاربرد اسید هیومیک گزارش شده است (سرابی و همکاران ۲۰۲۲).

همان طور که بیان شد همراه با کاربرد کود شیمیایی افزایش قابل ملاحظه در محتوای کربوهیدرات، فنل، فلاونوئید و ویتامین ث در گیاهان منداب اتفاق افتاده بود. در این راستا، ملکوتی (۲۰۰۰) بیان نمود که کودهای شیمیایی قادر هستند عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را بهتر و آسانتر از سایر کودها در اختیار گیاهان قرار دهند. در این زمینه، فسفر نقش مهمی در تنظیم فتوسنتز، فرآیند تولید و انتقال انرژی دارد و پتاسیم نیز تقریباً در بیشتر فرآیندهای متابولیسمی گیاه دارای نقش‌های متعددی از جمله فعال کردن آنزیم‌ها (به عنوان کوآنزیم)، حرکات روزنه‌ای، فتوسنتز و تعادل یونی است. همچنین به دلیل اینکه عمده ترکیبات رنگیزه‌های فتوسنتزی دارای ساختار نیتروژنی هستند، به این دلیل استفاده از

1. Phenylalanine Ammonia-Lyase

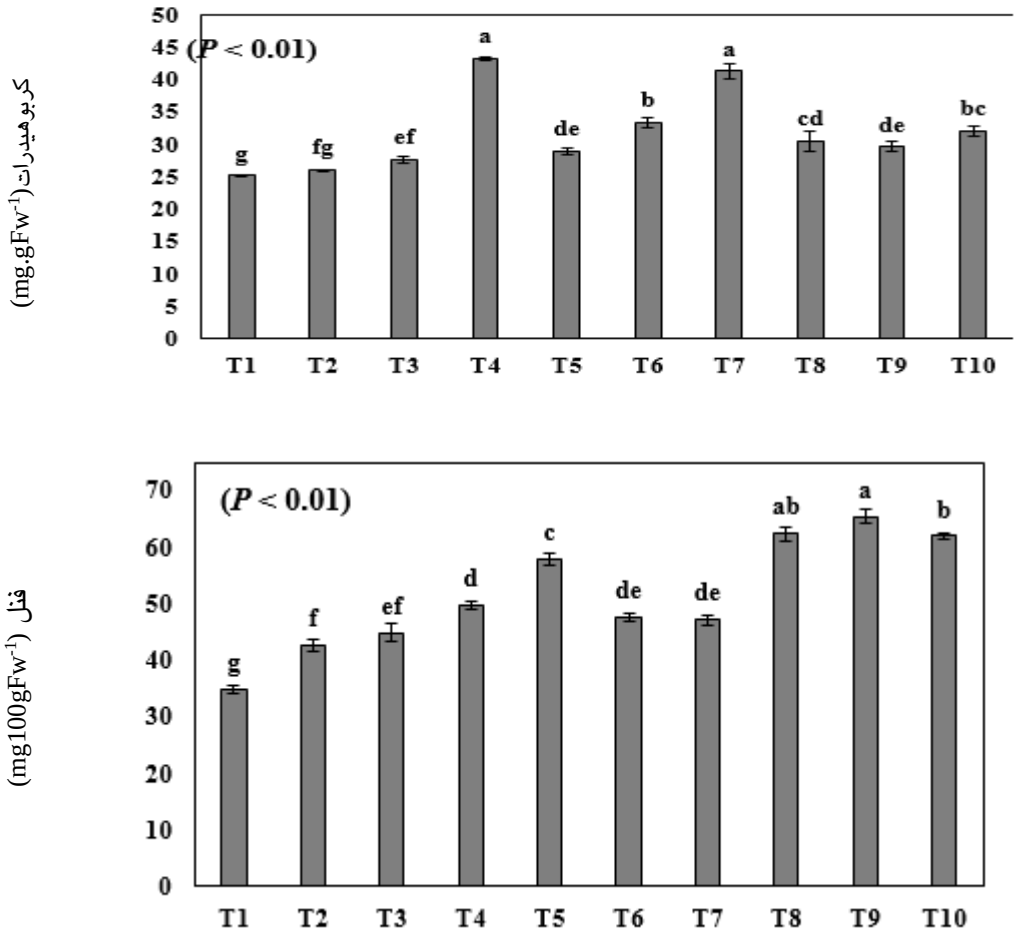
کودهای نیتروژن می‌تواند تا حد زیادی منجر به افزایش محتوای آنها و در نهایت افزایش فتوسنتز در گیاه گردد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با کاربرد کودهای شیمیایی افزایش محتوای کربوهیدرات‌ها به عنوان محصول اولیه فتوسنتز افزایش پیدا کند.

در این آزمایش محتوای فنل، فلاونوئید و ویتامین ث برگ‌های منداب همراه با استفاده از کودهای زیستی به صورت مجزا و یا ترکیبی نیز افزایش قابل توجهی یافته بود. در بررسی مشابهی افزایش محتوای فنل و آنتوسیانین در گیاه دارویی عروسک پشت پرده همراه با کاربرد کود زیستی نیتروکسین (حاوی باکتری ازتوباکتر) گزارش شده است (پرچیانلو و همکاران ۲۰۱۹). همچنین کرمی و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از کودهای زیستی ازتوبارور + پتابارور افزایش محتوای قندهای احیاکننده را در برگ‌های توتون نرعقیم گزارش کردند. بلندنظر و همکاران (۲۰۱۹) هم تاثیر مثبت کودهای زیستی بر خصوصیات کیفی تره ایرانی از جمله محتوای پلی‌فنل‌ها و ویتامین ث را گزارش کردند. در توجیه این نتایج می‌توان بیان نمود که این باکتری‌ها در محیط ریشه توانایی ساخت و ترشح مواد زیستی فعال از جمله ویتامین‌ها و محرک‌های رشد گیاهی را دارند که این ترکیبات در توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و بهبود جذب آب، عناصر غذایی، فتوسنتز و در نهایت افزایش محتوای ماده آلی از جمله کربوهیدرات‌ها در گیاه نقش دارند. از آنجایی که کربوهیدرات‌ها از واحدهای ساختمانی مورد نیاز برای سنتز ترکیبات فنلی هستند، افزایش مقدار آنها می‌تواند به معنای افزایش محتوای ترکیبات فنلی باشد (نرگسی و همکاران ۲۰۲۲). در این راستا، یک رابطه رگرسیونی مثبت میان افزایش محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل با ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و ویتامین ث تحت کاربرد منابع مختلف کودی مشاهده گردید (شکل ۲). بنابراین افزایش این ترکیبات در تیمارهای کودی مورد استفاده در این بررسی می‌تواند در نتیجه افزایش کربوهیدرات‌های محلول کل باشد.

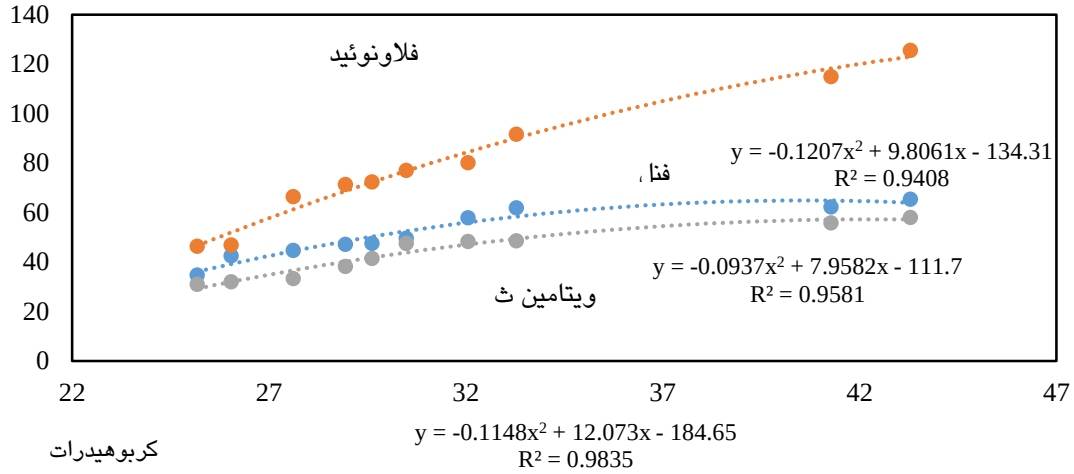
جدول ۲ – مقایسه میانگین مربوط به اثر منابع مختلف کودی بر محتوای فلاونوئید، ویتامین ث، نیترات، فسفر و پتاسیم گیاهان منداب

تیمار	فلاونوئید ($mg.100gFW^{-1}$)	ویتامین ث (mg/kg)	نیترات (mg/kg)	فسفر (g/kg)	پتاسیم (g/kg)
T1	۴۶/۴۸ g	۳۱ d	۹۵۰/۸ g	۲/۰۵ f	۱۷/۳۲ g
T2	۷۱/۴۵ ef	۴۸/۳ ab	۲۷۲۶/۸ c	۲/۲ ef	۱۷/۵۹ g
T3	۷۷/۱ de	۴۱/۵ b-d	۱۱۸۴/۴ f	۲/۳۷ ef	۲۶/۰۳ c
T4	۶۶/۴۳ f	۳۲ d	۱۱۹۳/۲ f	۲/۹۶ d	۲۱/۱۹ f
T5	۷۲/۴۲ ef	۴۷/۶ a-c	۲۵۱۰/۸ d	۲/۲۲ ef	۳۱/۴۳ b
T6	۱۲۵/۶ a	۳۸/۳ b-d	۱۳۱۲ e	۲/۴۹ e	۱۷/۵ g
T7	۴۶/۹۳ g	۳۳/۳ cd	۱۳۵۱/۶ e	۳/۷۱ a	۲۶/۱۴ c
T8	۹۱/۷۱ c	۵۵/۹ a	۲۹۱۲ b	۳/۲۵ c	۲۲/۱ e
T9	۱۱۴/۹۲ b	۵۸ a	۳۶۶۵/۶ a	۳/۵۶ b	۳۷/۲۲ a
T10	۸۰/۲ d	۴۸/۶ ab	۱۳۷۴ e	۲/۳۸ ef	۲۲/۴۹ d
سطح معنی‌داری	**	**	**	**	**
ضریب تغییرات (٪)	۵/۵۷	۱۹/۴۸	۳/۰۶	۸/۴۸	۸/۳

T1: شاهد، T2: ازتوبارور-۱، T3: پتابارور-۲، T4: فسفاته‌بارور-۲، T5: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، T6: ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲، T7: پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲، T8: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته¬بارور-۲، T9: اسید هیومیک، T10: کود شیمیایی. میانگین صفات که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.



شکل ۱- مقایسه میانگین مربوط به اثر منابع مختلف کودی بر روی محتوای کربوهیدرات‌های محلول و فنل گیاهان مناداب. T1: شاهد، T2: ازتوبارور-۱، T3: پتابارور-۲، T4: فسفاته‌بارور-۲، T5: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، T6: ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲، T7: پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲، T8: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته¬بارور-۲، T9: اسید هیومیک، T10: کود شیمیایی. ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۲ – رابطه رگرسیونی محتوای کربوهیدرات با محتوای فنل، فلاونوئید و ویتامین ث گیاهان مناداب تحت تیمارهای مختلف کودی

محتوای نیترات، فسفر و پتاسیم

تحت تیمارهای استفاده شده، محتوای نیترات، فسفر و پتاسیم در مقایسه با شرایط شاهد افزایش یافته بود (جدول ۲). بیشترین افزایش محتوای نیترات به ترتیب در تیمارهای اسید هیومیک (۳/۹ برابر)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۳/۱ برابر)، ازتوبارور-۱ (۲/۹ برابر) و ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۲/۶ برابر) نسبت به شرایط شاهد مشاهده شد (معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد). بیشترین افزایش محتوای فسفر به ترتیب در تیمارهای پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۱/۸۱ برابر)، اسید هیومیک (۱/۷۴ برابر)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۱/۵۹ برابر)، فسفاته-بارور-۲ (۱/۴۴ برابر) و ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲ (۱/۲۱ برابر) ثبت گردید (معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد). بیشترین افزایش محتوای پتاسیم هم به ترتیب در تیمارهای اسید هیومیک (۲/۱۵ برابر)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۱/۸۱ برابر)، پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۱/۵۱ برابر) و پتابارور-۲ (۱/۵ برابر) بدست آمد (معنی-دار در سطح احتمال ۹۹ درصد).

در این آزمایش کاربرد اسید هیومیک به صورت قابل توجهی موجب افزایش محتوای نیترات، فسفر و پتاسیم برگ‌های منداب گردیده بود. مواد هیومیکی در بهبود حاصلخیزی، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک نقش دارند. از مهم‌ترین اثرات این محرک زیستی می‌توان به بهبود تغذیه ریشه از طریق مکانیسم‌های مختلف اشاره نمود. یکی از این مکانیسم‌ها افزایش جذب عناصر ماکرو و میکرو به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (ناشی از ویژگی پلی‌آنیونی اسید هیومیک) و همچنین افزایش دسترسی فسفر ناشی از تداخل این ماده آلی در جلوگیری از تشکیل رسوب فسفات کلسیم است. نقش دیگر مواد هیومیکی در تغذیه ریشه، به دلیل تحریک پمپ H^+-ATPase غشای پلاسمایی است که انرژی ناشی از هیدرولیز ATP را به پتانسیل الکتروشیمیایی برای ورود عناصر غذایی تبدیل می‌کند (کانلاس و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعات مشابهی، کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش محتوای نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گوجه‌فرنگی (اسری و همکاران ۲۰۱۵) و محتوای پتاسیم در توت‌فرنگی (سیدیمرادی و همکاران ۲۰۱۹) شده است که با نتایج بدست آمده در این پژوهش مطابقت می‌کند.

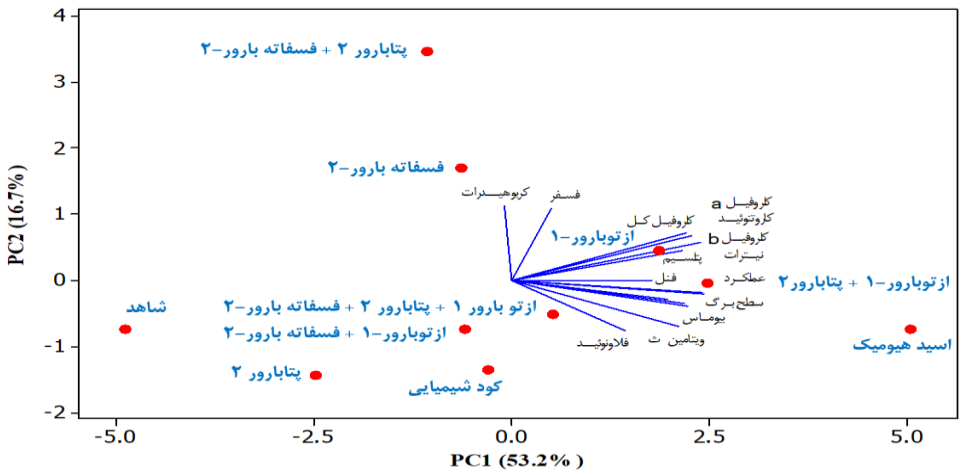
گزارش شده است که میکروارگانیسم‌های زنده موجود در کودهای زیستی از طریق تثبیت نیتروژن و وآزادسازی عناصر مورد نیاز گیاه از جمله فسفر و پتاسیم از ترکیبات نامحلول آن‌ها در خاک، مواد غذایی را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (راشل و سیریشا ۲۰۱۶). همچنین این باکتری‌ها از طریق آزادسازی هورمونهای گیاهی شامل اسید جیبرلیک، سیتوکینین و همچنین اکسین، ترشح مواد بیولوژیکی فعال از جمله ویتامین‌های گروه B، بیوتین و اسیدپنتوتنیک زمینه گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه را فراهم کرده که در نهایت افزایش جذب عناصر غذایی، فتوسنتز و رشد را باعث می‌شوند (برومند و همکاران ۲۰۲۰). در بررسی-های مشابهی، سهیل و همکاران (۲۰۲۳) با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*Bacillus subtilis* and *Bacillus velezensis*) در گیاه خردل تحت تنش خشکی، افزایش نیتروژن، پتاسیم و فسفر را مشاهده نمودند. همچنین آدیکاری و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از ریزوباکتریوم *Pseudomonas* افزایش کارایی مصرف فسفر را در سویا گزارش کردند. داسگان و همکاران (۲۰۲۲) هم افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و برخی عناصر غذایی دیگر را با استفاده از کودهای زیستی (حاوی باکتری‌های *Bacillus* و *Pseudomonas*، میکروجلبک و مایکوریزا) در ریحان و تحت کشت هیدروپونیک (به صورت کشت شناور) ثبت کردند.

با توجه به اینکه منداب از سبزی‌های برگی است که تجمع نیترات بالایی در آن اتفاق می‌افتد و اینکه مصرف محصولات با محتوای بالای نیترات می‌تواند برای سلامتی انسان مشکلات جدی را ایجاد کند، ولی در آزمایش فعلی محتوای نیترات برگ‌های منداب تحت کاربرد منابع مختلف کودی، در رنج ۳۶۶۵/۶-۹۵۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر بود. در این راستا، حداکثر مجار محتوای نیترات برگ‌های منداب بر اساس استاندارد

اتحادیه اروپا (شماره ۱۲۵۸/۲۰۱۱) در رنج ۶۰۰۰ میلی-گرم در کیلوگرم وزن تر (برای کشت‌های بهاره) و ۷۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر (برای کشت‌های زمستان) تعیین شده است (کلا و همکاران ۲۰۱۸). پس می‌توان نتیجه گرفت که با کاربرد همه منابع کودی مورد مطالعه در این آزمایش و در شرایط کشت مشابه، این سبزی ارزشمند را می‌توان به عنوان یک محصول سالم در اختیار مصرف‌کننده قرار داد و همچنین در جهت صادرات آن بر اساس استانداردهای موجود اقدام نمود.

نمودار بای‌پلات صفات مورد بررسی بر اساس آنالیز چند متغیره تجزیه به عامل‌ها رسم گردید. در این تجزیه چهار عامل اصلی و مستقل که مقادیر ویژه آنها بیشتر از یک بودند، توانستند مجموعا ۸۷/۹ درصد کل واریانس را توجیه کنند که سهم عامل اول و دوم به ترتیب ۵۳/۲ و ۱۶/۷ بود (شکل ۳). در این نمودار جهت‌گیری صفات نسبت به منابع کودی مختلف مشخص می‌باشد. بر این اساس می‌توان بیان نمود که تیمارهای اسید هیومیک، ازتوبارور-۱، ازتوبارور-۱ + پتابارور ۲ و ازتوبارور-۱ + پتابارور ۲ + فسفاته بارور-۲ به عنوان منابع کودی برتر در بهبود بیشتر صفات رشدی، فیزیولوژیک و کیفی در گیاهان مناداب می‌باشند.

تجزیه به عامل‌ها



شکل ۳ - نمودار بای پلات صفات مورد بررسی و منابع کودی مختلف در گیاهان مناداب

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمارهای کودی مورد مطالعه بر صفات بررسی شده گیاهان مناداب تاثیر مثبتی داشته‌اند، اما تاثیر مثبت اسید هیومیک و کودهای زیستی چشمگیرتر بود. بر این اساس می‌توان پیشنهاد داد که با استفاده از این کودهای ارگانیک برای تولید مناداب به عنوان یک سبزی برگی فراسودمند و در جهت رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار اقدام نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه کردستان که هزینه‌های انجام این پژوهش را تامین نموده است، سپاسگزاری می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Adhikari A, Khan MA, Lee KE, Kang SM, Dhungana SK, Bhusal N and Lee IJ. 2020. The halotolerant rhizobacterium—*Pseudomonas koreensis* MU2 enhances inorganic silicon and phosphorus use efficiency and augments salt stress tolerance in soybean (*Glycine max* L.). *Microorganisms*, 8(9): 1256. https://doi.org/10.3390/microorganisms8091256

Akbarpour M, Karimi M and Jalili B. 2022. Morphological and physiological response of daffodil (*Narcissus jonquilla* cv. German) to water hyacinth compost and humic acid. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32(4):129–142. 10.22034/SAPS.2022.47818.2731

Akhtyamova Z, Martynenko E, Arkhipova T, Seldimirova O, Galin I, Belimov A, Vysotskaya L and Kudoyarova G. 2023. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on the formation of apoplastic barriers and uptake of water and potassium by wheat plants. Microorganisms, 11: 1227. https://doi.org/10.3390/microorganisms11051227

Alaei S and Tafazoli E. 2012. Effects of salinity and plant growth regulators on ions accumulation (Na, K) in olive (*Olea europaea* cv.Roughani). Journal of Horticultural Science, 26(2): 123–131. (In Persian) 10.22067/jhorts4.v0i0.14661

Aminbaigi A, Jalilian J, Chaghazardi H, Kahrizi D and Khlilzadeh R. 2023. Evaluation of different fertilizer sources effect on yield, forage quality and oil of camelina (*Camelina sativa* L.) under water deficit stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 33(2): 1–14. (In Persian) 10.22034/SAPS.2022.50509.2831

Asri FO, Demirtas EI 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.

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. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32(4): 1–18. (In Persian) 10.22034/SAPS.2022.48673.2759

Bolandnazar S, Karimi K and Sarikhani MR. 2019. Effect of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on physiological traits of Tareh Irani (*Allium ampeloprasum* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(1): 121–136. (In Persian)

Bromand Sivieri M, Heidary M. Gholami A and Ghorbani H. 2020. Effects of biofertilizers and foliar application of nano iron oxide on quantitative and qualitative yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 35 (6): 1017–1027. (In Persian) https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.125999.2542

Canellas LP, Olivares FL, Aguiar NO, Jones DL, Nebbioso A, Mazzei P and Piccolo A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae, 196: 15-27. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013

Colla G, Kim HJ, Kyriacou MC and Rouphael Y. 2018. Nitrate in fruits and vegetables. Scientia Horticulturae, 237: 221–238. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.016

Da-Bing X, Qiu-Jun WANG, Yun-Cheng WU, Guang-Hui YU, Qi-Rong SHEN and Huang QW. 2012. Humic-like substances from different compost extracts could significantly promote cucumber growth. Pedosphere, 22(6): 815–824. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60067-8

Dasgan HY, Aldiyab A, Elgudayem F, Ikiz B and Gruda NS. 2022. Effect of biofertilizers on leaf yield, nitrate amount, mineral content and antioxidants of basil (*Ocimum basilicum* L.) in a floating culture. Scientific Reports, 12: 20917. https://doi.org/10.1038/s41598-022-24799-x

de Castro TAVT, Berbara RLL, Tavares OCH, da Graca Mello DF, Pereira EG, de Souza CDCB, Espinosa LM and Garcia AC. 2021. Humic acids induce a eustress state via photosynthesis and nitrogen metabolism leading to a root growth improvement in rice plants. Plant Physiology and Biochemistry, 162: 171–184. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.043

El Gohary AE, Hendawy SF, Hussein MS, Elsayed SI, Omer EA and El-Gendy AE. 2023. Application of humic acid and algal extract: an eco-friendly strategy for improving growth and essential oil composition of two basil varieties under salty soil stress conditions. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 26(1): 32–44. https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.2173023

Emami A. 1996. Methods of plant analysis. Soil and Water Research Institute. 1(982): 128. (In Persian)

Fan HM, Wang XW, Sun X, Li YY, Sun XZ and Zheng CS. 2014. Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. Scientia Horticulturae, 177: 118–123. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.010

Garg G and Sharma V. 2014. *Eruca sativa* (L.): botanical description, crop improvement, and medicinal properties. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 20(2): 171–182. https://doi.org/10.1080/10496475.2013.848254

Golkar P and Bakhtiari MA. 2020. Evaluation of genetic diversity in the world collection of *Eruca sativa* L. using oil content, fatty acids and molecular markers. Industrial Crops and Products, 148: 112280. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112280

Hernandez OL, Calderín A, Huelva R, Martínez-Balmori D, Guridi F, Aguiar NO, Olivares FL and Canellas LP. 2015. Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production. Agronomy for Sustainable Development, 35(1): 225–232. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0221-x

Irigoyen JJ, Einerich DW and Sánchez-Díaz M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84(1): 55–60. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x

Karami R, Majidian M and Moshtaghi M. 2020. Integrated application of biofertilizers and chemical N and P on quantitative and qualitative characteristics of male-streile tobacco (*Nicotiana tabacum* L. cv. PVH19). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(3): 113–131. (In Persian) 20.1001.1.24764310.1399.30.3.7.2

Kazemi S, Pirmoradi MR, Karimi HR, Raghami M, Rahimi A, Kheiry A and Malekzadeh MR. 2023. Effect of foliar application of humic acid and zinc sulfate on vegetative, physiological, and biochemical characteristics of *Physalis alkekengi* L. under soilless culture. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1–12. https://doi.org/10.1007/s42729-023-01305-4

Li N, Wen J, Wu R, Hu D, Zhang L, Zhang W and Zhang M. 2023. Dual effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on the Moso bamboo-soil system: Plant growth promotion and microbial community stability. Industrial Crops and Products, 203: 117151. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117151

Lichtenthaler HK and Buschmann C. 2001. Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. Food Analytical Chemistry. 1(1): F4–2. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0402s01

Liu C, Bai L, Cao P, Li S, Huang SX, Wang J, Li L, Zhang J, Song J, Sun P, Zhang Y, Zhang H, Guo X, Yang X, Tan X, Liu W, Wang X and Xiang W. 2022. Novel plant growth regulator guvermectin from plant growth-promoting rhizobacteria boosts biomass and grain yield in rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 70(51): 16229–16240. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c07072

Mahanty T, Bhattacharjee S, Goswami M, Bhattacharyya P, Das B, Ghosh A and Tribedi P. 2017. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. Environmental Science and Pollution Research, 24: 3315–3335. https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0

Malakouti MJ. 2000. Sustainable agriculture and yield increase trough balanced fertilization. Publication of agricultural education, Karaj-Iran, Pp. 494. (In Persian)

Najafi Zilaie M, Mosleh Arani A and Etesami H. 2023. The importance of plan growth-promoting rhizobacteria to increase air pollution tolerance index (APTI) in the plants of green belt to control dust hazards. Frontiers in Plant Science, 14: 1098368. 10.3389/fpls.2023.1098368

Nargesi MM, Sedaghathoor S and Hashemabadi D. 2022. Effect of foliar application of amino acid, humic acid and fulvic acid on the oil content and quality of olive. Saudi Journal of Biological Sciences, 29(5): 3473–3481. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.034

Nasiri Y and Ghaderi T. 2023. Evaluation of the effect of biological, organic and chemical nutrition on some morphological traits, dry matter yield and essential oil of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 33(2): 15–33. (In Persian) 10.22034/SAPS.2022.49964.2812

Pan JY, Wang CB, Nong JL, Xie QL and Shen TM. 2023. Plant growth-promoting rhizobacteria are important contributors to rice yield in karst soils. 3 Biotech 13: 158. 10.1007/s13205-023-03593-0

Parchianlou S, Kheiri A and Arghavani M. 2019. Biofertilizers effects on quality and quantity characteristics of winter cherry (*Physalis alkekengi* L.) medicinal plant. Plant Process and Function, 8 (29): 273–286. (In Persian) 20.1001.1.23222727.1398.8.29.10.2

Park YS, Jung ST, Kang SG, Heo BG, Arancibia-Avila P, Toledo F, Drzewiecki J, Namiesnik J and Gorinstein S. 2008. Antioxidants and proteins in ethylene-treated kiwifruits. Food Chemistry, 107(2): 640–648. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.070

Pérez-García LA, Sáenz-Mata J, Fortis-Hernández M, Navarro-Muñoz CE, Palacio-Rodríguez R and Preciado-Rangel P. 2023. Plant-growth-promoting rhizobacteria improve germination and bioactive compounds in cucumber seedlings. Agronomy, 13: 315. https://doi.org/10.3390/agronomy13020315

Rachel KV and Sirisha GV. 2016. Effect of bio-fertilizers application on qualitative, quantitative yield of phytochemicals in three divergent groups of plants and their antioxidant activities. Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences, 2(3): 56–77. 10.26479/2016.0203.06

Sagar A, Sayyed RZ, Ramteke PW, Ramakrishna W, Poczai P, Al Obaid S and Ansari MJ. 2022. Synergistic effect of azotobacter nigricans and nitrogen phosphorus potassium fertilizer on agronomic and yield traits of maize (*Zea mays* L.). Frontiers in Plant Science, 13: 952212. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.952212

Saidimoradi D, Ghaderi N and Javadi T. 2019. Salinity stress mitigation by humic acid application strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Scientia Horticulturae, 256: 108594. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108594

Santoyo G, Sanchez-Yañez JM and de los Santos-Villalobos S. 2019. Methods for detecting biocontrol and plant growth-promoting traits in rhizobacteria. Methods in rhizosphere biology research. Springer Singapore, Pp. 133–149. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5767-1_8

Sarabi B, Ghaderi N and Ghashghaie J. 2022. Light-emitting diode combined with humic acid improve the nutritional quality and enzyme activities of nitrate assimilation in rocket (*Eruca sativa* (Mill.) Thell.). Plant Physiology and Biochemistry, 187: 11–24. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.07.035

Sayarer M, Aytaç Z and Kürkçüo˘glu M. 2023. The Effect of irrigation and humic acid on the plant yield and quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) with mulching application under semi-arid ecological conditions. Plants, 12: 1522. https://doi.org/10.3390/plants12071522

Schiavon M, Pizzeghello D, Muscolo A, Vaccaro S, Francioso O and Nardi S. 2010. High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). Journal of chemical ecology, 36(6): 662–669. 10.1007/s10886-010-9790-6

Seyfipour E, Gholami H, Azizian A, Yarami N. 2021. *Eruca sativa* L. response to planting method and irrigation frequency under saline water application. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. Volume 15(5): 1141–1152. (In Persian) 20.1001.1.20087942.1400.15.5.13.1

Sharma N, Pant BD, and Srivastava J. 2017. *Eruca Sativa*- a pharmacological review. The Journal of Indian Botanical Society. 96 (3&4): 260–265.

Slinkard K and Singleton VL. 1977. Total phenol analyses: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture, 28: 49–55. 10.5344/ajev.1977.28.1.49

Suhail F, Afzal A, Naseer L, Pervaiz A, Ikram M, Shaheen S, Islam, Y and Khan N. 2023. Influence of phosphate solubilizing bacteria on the growth of mustard grown under drought stress conditions. Agricultural Research, 1–12. https://doi.org/10.1007/s40003-023-00656-9

Vafaahd F, Khalesro S, Zareei S and Heidari G. 2024. Response of black cumin (*Nigella sativa* L.) to digested fertilizer and humic acid in the sustainable agricultural system. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, In press. (In Persian) 10.22034/SAPS.2022.51374.2867

Verlinden G, Pycke B, Mertens J, Debersaques F, Verheyen K, Baert G, Bries J and Haesaert G. 2009. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. Journal of Plant Nutrition, 32: 1407–1426. https://doi.org/10.1080/01904160903092630

Vitale L, Vitale E, Francesca S, Lorenz C and Arena C. 2023. Plant-growth promoting microbes change the photosynthetic response to light quality in spinach. Plants, 12: 1149. https://doi.org/10.3390/plants12051149

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 41-55

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

Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Yield of Rice under Reduced Chemical Fertilizers

Tayebeh Jolideh[1], Faezeh Zaefarian[2*], Esmaeil Bakhshandeh[3], Maryam Sadegh[4]

Received: 01 November 2023	Accepted: 08 February 2024

1- MS.c. Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2- Prof., of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3- Assoc. Prof., of Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
4- Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
*Corresponding Author Email: fa_zaefarian@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: According to the importance of rice in ensuring food security at the national and international levels, it is essential to find ways to increase the production of this strategic crop. For this purpose, the use of growth-promoting microorganisms (alone or in combination with reduced amounts of chemical fertilizers) in rice cultivation systems is considered as a potential way to improve fertilizer efficiency and reduce environmental problems. Therefore, this study was conducted to evaluate the effect of growth-promoting bacteria on the yield and yield components of rice cv. Amir under reduced amounts of chemical fertilizers.

Materials and Methods: This experiment was conducted in a split-plot, based on randomized complete block design with three replications. The experimental treatments included two fertilizer levels (100 and 75 percent of fertilizer application based on soil test results as the optimal and reduced fertilizer levels, respectively) and four bacterial inoculation treatments (separate inoculation of each of the bacteria Rahnella aquatilis, Burkholderia cepacia, combination (R. aquatilis + B. cepacia) and control (no bacterial inoculation)) as the main and subplots, respectively. SAS version 9.4 statistical software was used to analyze the data. Comparison of means was also performed using the least significant difference (LSD) method at a probability level of 5%.

Results: According to the results, there was no significant difference between the optimal and reduced fertilizer levels in terms of the studied traits. While, the use of plant growth promoting bacteria improved the studied traits of rice compared to the control treatment (no inoculation). In other words, combined inoculation of *R. aquatilis* and *B. cepacia*, increases the height of the plant (11.3 percent), panicle length (11.6 percent), the number of total tillers per plant (29.1 percent), the total number of filled seeds in panicle (27 percent), thousand seed weight (7.9 percent), grain yield (25.2 percent), biological yield (20.6 percent), the amount of potassium in grain and above-ground biomass (46.6 and 45.6 percent, respectively) and the amount of zinc in grain and above-ground biomass (106.25 and 70.58 percent, respectively) compared to the control treatment (no inoculation).

Conclusion: In general, by using less chemical fertilizers and replacing them with biofertilizers, without any significant difference in rice yield and yield components, can achieve sustainable agriculture goals. The use of growth-promoting bacteria in combination (as the best treatment) led to a further increase in the studied traits. So that these traits had a statistically significant difference compared to the treatment of without the use of growth-promoting bacteria, which indicates the achievement of desired yield along with improved environmental health.

Keywords: Absorption of Elements, Potassium and Zinc Solubilizing Bacteria, Yield and Yield Components.

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Faezeh Zaefarian Email: fa_zaefarian@yahoo.com

https://doi.org/10.22034/saps.2024.59057.3135

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۵۵-۴۱

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد برنج در مقادیر کاهش‌یافته کودهای شیمیایی

طیبه ژولیده[۱]، فائزه زعفریان[۲*]، اسماعیل بخشنده[۳]، مریم صادق[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استاد گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*مسئول مکاتبه: Emial: fa_zaefarian@yahoo.com

چکیده

مقدمه و اهداف: با توجه به اهمیت گیاه برنج در تأمین امنیت غذایی در سطح ملی و جهانی، یافتن مسیرهای افزایش تولید این گیاه استراتژیک امری ضروری است. برای این منظور، استفاده از ریزجانداران افزاینده رشد (به‌طور جداگانه یا در ترکیب با مقادیر کاهش‌یافته کودهای شیمیایی) در سیستم‌های کشت برنج، به‌عنوان یک راه بالقوه برای بهبود کارایی کود و کاهش مشکلات زیست محیطی مورد توجه می‌باشد. لذا این پژوهش با هدف ارزیابی تاثیر باکتری‌های افزاینده رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم امیر در مقادیر کاهش‌یافته کودهای شیمیایی اجرا شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح کودی (۱۰۰ و ۷۵ درصد مصرف کود بر اساس نتایج آزمون خاک به‌ترتیب به‌عنوان سطح کودی مطلوب و کاهش‌یافته) و چهار تیمار تلقیح با باکتری (تلقیح جداگانه‌ی هر یک از باکتری‌ها *Rahnella aquatilis*، *Burkholderia cepacia*، ترکیبی (*R. aquatilis+B. cepacia*) و شاهد (عدم تلقیح باکتری)) به‌ترتیب به‌عنوان کرت‌های اصلی و فرعی بودند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز به‌روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که از نظر صفات مورد مطالعه، بین سطوح کودی کاهش‌یافته و مطلوب اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. درصورتیکه استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد سبب بهبود صفات مورد مطالعه برنج نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد. به عبارت دیگر تلقیح ترکیبی باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* موجب افزایش ارتفاع بوته (۱۱/۳ درصد)، طول خوشه (۱۱/۶ درصد)، تعداد پنجه در بوته (۲۹/۱ درصد)، تعداد دانه پر در خوشه (۲۷ درصد)، وزن هزار دانه (۷/۹ درصد)، عملکرد دانه (۲۵/۲ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۲۰/۶ درصد)، مقدار پتاسیم در دانه و اندام هوایی (به‌ترتیب ۴۶/۷ و ۴۵/۶ درصد) و مقدار روی در دانه و اندام هوایی (به‌ترتیب ۱۰۶/۲۵ و ۷۰/۵۸ درصد) نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع می‌توان با مصرف کمتر کودهای شیمیایی و جایگزینی آن با کودهای زیستی، بدون تفاوت معنی‌دار در عملکرد و اجزای عملکرد برنج در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار گام برداشت. کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد به صورت ترکیبی (به‌عنوان بهترین تیمار) موجب افزایش بیشتر صفات مورد مطالعه شد. به‌طوری که این صفات اختلاف آماری معنی‌داری در مقایسه با تیمار عدم کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد داشتند که نشان‌دهنده دستیابی به عملکرد مطلوب به همراه بهبود سلامت محیط زیست می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: باکتری حل‌کننده پتاسیم و روی، جذب عناصر، عملکرد و اجزای عملکرد

مقدمه

برنج با نام علمی *Oryza sativa* L. یکی از محصولات عمده غلات در سطح جهان است که تقریباً نیمی از جمعیت جهان از آن استفاده می‌کنند (شاهین و همکاران ۲۰۲۲). بیش از سه و نیم میلیارد نفر روزانه حدود ۲۰ درصد کالری مورد نیاز خود را از این گیاه استراتژیک تأمین می‌کنند (حسن‌نازمان و همکاران ۲۰۱۹). از مهم‌ترین مناطق کشت برنج در ایران، استان‌های مازندران و گیلان هستند که به‌ترتیب ۸۲ و ۸۰ درصد از تولید برنج کشور را به خود اختصاص دادند (جلالی و همکاران ۲۰۲۱). با توجه به اهمیت گیاه برنج در تأمین امنیت غذایی در سطح ملی و جهانی، یافتن مسیرهای افزایش تولید این گیاه استراتژیک امری ضروری است.

عناصر کم‌مصرف با وجود اینکه در مقادیر کم مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی تاثیرات معنی‌داری بر رشد گیاه دارند. در این میان عنصر روی در بسیاری از فرآیندهای متابولیک گیاه، مانند فعالیت آنزیم‌ها، فتوسنتز، سنتز کلروفیل و سایر عملکردهای بیوشیمیایی نقش مهمی ایفاء می‌کند (گرونگریف و همکاران ۲۰۲۰). کربنیک آنیدراز، آنزیمی که تبدیل دی‌اکسیدکربن به گونه‌های بی‌کربنات فعال را برای تثبیت به کربوهیدرات‌ها در گیاهان تنظیم می‌کند، توسط روی اصلاح و یا تنظیم می‌شود (کندیل و همکاران ۲۰۲۲). کمبود روی یکی از مشکلات جهانی در تولید غلات و پس از کمبود نیتروژن و فسفر، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد در گیاه برنج تلقی می‌گردد (یعقوبی خاقانی و همکاران ۲۰۱۸). علاوه‌بر این، عنصر روی روابط آبی گیاه و همچنین هدایت روزنه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نقش مهمی در محافظت از سلول در برابر اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن ایفاء می‌کند (قاضی و همکاران ۲۰۲۲). در نتیجه کاربرد این عنصر می‌تواند تاثیر به‌سزایی در کمیت و کیفیت تولید محصولات داشته باشد.

پتاسیم نیز یکی از مهم‌ترین عناصر پرمصرف برای تولید محصولات زراعی است که در برخی از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه، تحریک رشد گیاه، تقویت دفاع، تنظیم روزنه‌ها و انتقال سیگنال نقش دارد؛ بنابراین، برای تولید برنج با عملکرد و کیفیت بالا بسیار حیاتی است (زورب و همکاران ۲۰۱۴). علاوه‌بر نقش این عنصر در متابولیسم گیاه، پتاسیم از طریق تأثیرگذاری بر فرآیند پر شدن دانه، وزن دانه، افزایش مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌های محیطی باعث بهبود کیفیت محصول می‌گردد (پارمار و سیندهو ۲۰۱۳). پتاسیم با فعال کردن تعداد زیادی آنزیم و ایجاد اثر مثبت بر پایداری آب در گیاه، نقش مهمی در واکنش‌های متابولیکی در گیاهان بازی می‌کند و کمبود آن باعث کاهش تجمع قند و کاهش اسیدهای آلی می‌شود (ماتویس ۲۰۰۹).

امروزه منابع اولیه و ترکیبات شیمیایی مختلف در مزارع کشاورزی جهت دستیابی به عملکردهای بالا، بیش از حد معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند و موجب افت کیفیت محصولات کشاورزی، کاهش تنوع زیستی، ایجاد مشکلات متعدد زیست محیطی مانند: کاهش میزان باروری خاک، آلوده شدن منابع آب و محیط زیست و انتقال آن‌ها به منابع غذایی انسان می‌گردند (امیدی و همکاران ۲۰۰۹). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به بیش از نه میلیارد نفر خواهد رسید. بنابراین، برای دستیابی به عملکردهای بالا و حفظ محیط زیست و منابع اولیه برای نسل‌های آینده می‌توان از روش‌های کشاورزی پایدار استفاده نمود (تیلمن و همکاران ۲۰۰۲). توسعه کشاورزی پایدار به‌عنوان یک موضوع مهم و جدید به‌شدت مورد علاقه بسیاری از

محققین قرار گرفته است. برای این منظور، استفاده از ریزجانداران افزاینده رشد (به‌طور جداگانه یا در ترکیب با مقادیر کاهش‌یافته کودهای شیمیایی) در سیستم‌های کشت برنج، به‌عنوان یک راه بالقوه برای بهبود کارایی کود و کاهش مشکلات زیست محیطی مورد توجه می‌باشد (مینا و همکاران ۲۰۱۷).

کودهای زیستی به مجموعه ریزجاندارانی (باکتریایی و یا قارچی) اطلاق می‌گردد که علاوه‌بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن ترکیبات نامحلول مانند فسفر و پتاسیم خاک، با تولید مقادیر قابل ملاحظه‌ای هورمون‌های افزاینده رشد (مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین)، ترشح آنزیم‌های مختلف، از قبیل آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی و همچنین ویژگی‌های خاک تأثیر مثبت می‌گذارند (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴ و شارما و همکاران ۲۰۱۴). این ریزجانداران علاوه‌بر تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه، با تأثیر بر مکانیسم عمل ریشه و اثر روی صفات فیزیولوژیکی گیاهان باعث تسریع در رشد و افزایش عملکرد می‌شوند و همچنین با القاء مقاومت سیستمیک و کنترل پاتوژن‌های گیاهی به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند (باهوگونا و همکاران ۲۰۲۰).

ریزجانداران افزاینده رشد نقش مهمی در تغییر و تبدیل مواد از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس برای گیاهان ایفاء می‌کنند، به‌طوری‌که به واسطه فعالیت آن‌ها مقدار مواد در دسترس و مغذی در خاک افزایش یافته و در نهایت سبب افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات می‌شود (کشاورز و همکاران ۲۰۱۳). در این میان می‌توان از باکتری‌های *Rahnella aquatilis* (باکتری حل‌کننده عنصر پتاسیم) و *Burkholderia cepacia* (باکتری حل‌کننده عنصر روی) جهت تبدیل فرم غیر قابل استفاده عناصر پتاسیم و روی به فرم قابل دسترس استفاده نمود. در این زمینه بخشنده و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد باکتری *B. cepacia* در گیاه گشنیز موجب افزایش درصد و سرعت سبز شدن، کلروفیل کل، مقدار فنل و فلانوئید نسبت به تیمار عدم تلقیح گردید. کاربرد همزمان ریزجانداران افزاینده رشد با قابلیت‌های متفاوت ممکن است با ایجاد هم‌افزایی موجب بهبود و رشد بهتر گیاه میزبان گردد. زادبهتونی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌همراه مصرف توأم *Mycorrhizal* با *Azotobacter* و *Azospirillum* می‌تواند نقش مؤثری داشته باشد. در پژوهشی دیگر محققین اظهار داشتند که تلفیق *Azotobacter nigricains* و NPK به‌دلیل اثر هم‌افزایی می‌تواند به‌عنوان یک کود دو منظوره برای افزایش عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) عمل کند (ساغر ۲۰۲۲).

افزایش تولید با کمترین آلایندگی زیست محیطی و تولید محصول سالم در جامعه کنونی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های محققین به‌شمار می‌آید. با توجه به استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد به‌عنوان راه‌حل مناسب و تقویت‌کننده برای رسیدن به عملکردهای بالا همراه با حفظ محیط زیست، هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی تاثیر باکتری‌های افزاینده رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم امیر برنج در مقادیر کاهش‌یافته کودهای شیمیایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در یکی از مزارع شهرستان ساری با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه شرقی و ارتفاع ۲۵ متر از سطح آب‌های آزاد به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح کودی (۱۰۰ و ۷۵ درصد مصرف کود بر اساس نتایج آزمون خاک به‌ترتیب به‌عنوان سطح کودی مطلوب و کاهش‌یافته) و چهار تیمار تلقیح با باکتری (تلقیح جداگانه‌ی هر یک از باکتری‌ها *Rahnella aquatilis*، *Burkholderia cepacia*، ترکیبی (*R. aquatilis+B. cepacia*) و شاهد (عدم تلقیح باکتری)) به‌ترتیب به‌عنوان کرت‌های اصلی و فرعی بودند. قبل از آماده‌سازی زمین، به‌منظور بررسی خواص فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه‌هایی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه و به آزمایشگاه خاکشناسی جهت تعیین خصوصیات خاک ارسال شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری).

بافت خاک	سیلت	رس	شن	کربن آلی	نیتروژن کل	پتاسیم	فسفر	روی	pH	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)
	(٪)					($mg.kg^{-1}$)				
لومی‌رسی	۳۳	۳۲	۳۵	۱/۲۵	۰/۱	۱۶۷	۱۷/۷	۰/۲۴	۷/۶۵	۱/۵۰

باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* مورد استفاده در محیط کشت نوترینت‌براث روی شیکر با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز کشت داده شدند (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴). این باکتری‌ها از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه شدند. باکتری‌های مورد مطالعه از اراضی کشاورزی استان مازندران جداسازی شد که هر کدام به‌ترتیب دارای قابلیت حل‌کنندگی ۷۰ و ۷۶ میکروگرم در میلی‌لیتر پتاسیم و روی می‌باشند. در نهایت از سوسپانسیون باکتری با جمعیت حدود 10^7 سلول زنده در میلی‌لیتر جهت تلقیح ریشه گیاهچه برنج در هنگام نشاکاری استفاده شد.

رقم مورد استفاده در پژوهش حاضر امیر بود. مهم‌ترین ویژگی‌های این رقم، متحمل به آفات و بیماری‌های کلیدی برنج از جمله آفت ساقه‌خوار و بیماری بلاست، رقم پاکوتاه، مقاوم به ورس (خوابیدگی) با کودپذیری بالا، دانه بلند و با کیفیت مطلوب هم‌ردیف با برنج‌های کیفی مثل طارم هاشمی، عطر و طعم متوسط و همچنین تحمل نسبی به تنش‌های محیطی (تنش‌های خشکی و سرما) می‌باشد.

در اوایل فروردین ماه ۱۴۰۱ عملیات آماده‌سازی زمین توسط تراکتور انجام شد و بعد از ماله‌کشی و تسطیح زمین، سه روز قبل از انتقال نشاها به زمین اصلی کرت‌بندی (هر کرت به طول پنج متر و عرض دو متر) بر اساس نقشه طرح اجرا شد. بعد از اتمام کرت‌بندی، براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، تیمارهای کودی اعمال شد. برای رقم امیر کود پایه سوپرفسفات‌تریپل (۶۸ کیلوگرم در هکتار)، کود سولفات پتاسیم (۱۳۵ کیلوگرم در هکتار)، کود سولفات روی (۱۴ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت و کود اوره در سه مرحله (۲۰۳ کیلوگرم در هکتار؛ ۲۵، ۴۵ و ۲۵ درصد به‌ترتیب قبل از کاشت، ۲۵ روز پس از نشاءکاری و ۷ روز قبل از گلدهی) به صورت دست‌پاش به زمین اضافه شدند. برای تلقیح ریشه در زمان نشاءکاری نیز بعد از کندن نشاءها، ریشه گیاهچه‌های برنج (حاوی ۵-۴ برگ) به مدت ۱۲ ساعت در سوسپانسیون‌های مربوط به هر تیمار باکتری با جمعیت 10^7 سلول زنده در میلی‌لیتر غوطه‌ور شدند (گیلانی و همکاران ۲۰۱۸). برای جلوگیری از ایجاد خطا در شرایط شاهد، ریشه گیاهچه‌های برنج تنها با محیط کشت بدون باکتری تیمار گردید. پس از اعمال تیمارها، در اواخر اردیبهشت ماه نشاءها به صورت دستی شامل چهار گیاهچه در هر کپه با فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. آزمایش در زمین اصلی در شرایط مطلوب مدیریتی اجرا گردید. بنابراین، تمامی عملیات زراعی از قبیل آبیاری (غرقابی)، کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها برای همه کرت‌ها در زمان ضروری و به‌صورت یکنواخت و بر اساس دستورالعمل فنی موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد.

در مرحله رسیدگی (اواخر مرداد ماه) برداشت از هر کرت هفت کپه نماینده انتخاب شد و صفات شامل ارتفاع بوته (با استفاده از خط‌کش)، تعداد کل پنجه، طول خوشه (با استفاده از خط‌کش)، تعداد کل دانه در خوشه، دانه پر در خوشه، دانه پوک در خوشه، وزن هزار دانه (محاسبه شده از سه تکرار ۱۰۰تایی) اندازه‌گیری شد. همچنین، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار، بر حسب رطوبت ۱۴ درصد) برای هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای از مساحت یک مترمربع به روش تخریبی کف‌بر اندازه‌گیری شد. میزان عنصر پتاسیم و روی در گیاه برنج به روش پیشنهاد شده توسط استفان و همکاران (۲۰۱۳) و به‌ترتیب به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل Jenway Pfp7 flam photometer) و جذب اتمی (مدل SP-AA 5000) اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و

تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز به‌روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تلقیح با باکتری افزاینده رشد اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت؛ در حالی که استفاده از تیمار سطوح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش نتواست تاثیر معنی‌داری بر صفت مذکور داشته باشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۳) نشان داد بیشترین میزان افزایش ارتفاع بوته متعلق به تیمار تلقیح ترکیبی باکتری (*R. aquatilis+B. cepacia*) با میانگین ۱۱۴/۶۶ سانتی‌متر بود و سبب افزایش ۱۱/۳ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شرایط شاهد شد (جدول ۳). لازم به ذکر است که بین تیمارهای تلقیح ترکیبی و جداگانه باکتری (*R. aquatilis+B. cepacia*) اختلاف آماری مشاهده نشد و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در برنج تحت تأثیر سطوح مختلف کودی و تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع بوته	طول خوشه	تعداد پنجه در بوته	تعداد دانه پر در خوشه	تعداد دانه پوک در خوشه	تعداد دانه کل در خوشه	وزن هزار دانه
بلوک	۲	۲/۰۴ ns	۰/۷۲ ns	۳/۴۸ ns	۱۳۳/۰۱ ns	۱۱۳/۹۰ ns	۴۹/۱۴ ns	۱/۶۸ ns
سطوح کود شیمیایی	۱	۱۸/۳۷ns	۱/۰۴ns	۴/۰۰۱ns	۹۵۸/۰۰۲ns	۳۵۱/۱۳ns	۱۸۶۵/۶۱ns	۳/۰۸ns
تلقیح باکتری	۳	۱۷۵/۵۹ **	۹/۴۲**	۲۲/۲۵**	۱۷۹۴/۹۸**	۲۲۸/۹۴*	۷۵۸/۰۲**	۴/۸۲*
تلقیح باکتری×سطوح کودی	۳	۱۵/۷۰ ns	۳/۸۲ns	۵/۶۹ns	۴۵/۵۴ns	۵۹/۶۰ ns	۶۱/۹۳ns	۰/۳۳ns
خطا	۱۲	۱۸/۹۰	۰/۱۲	۲/۵۷	۸۷/۱۳	۶۱/۰۲	۸۸/۷۱	۰/۸۱
ضریب تغییرات (٪)	–	۳/۹۱	۴/۴۶	۸/۸۱	۵/۳۶	۱۸/۶۰	۴/۶۷	۳/۲۶

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح باکتری بر صفات مورد مطالعه در برنج

تیمارهای آزمایش	ارتفاع بوته (cm)	طول خوشه (cm)	تعداد پنجه در بوته	تعداد دانه پر در خوشه	تعداد دانه پوک در خوشه	تعداد دانه کل در خوشه	وزن هزار دانه (g)
تلقیح باکتری							
شاهد	۱۰۳b	۲۴/۴۳b	۱۶c	۱۵۲/۰۶c	۳۴/۴a	۱۸۶/۴۶c	۲۶/۵۱b
R. aquatilis	۱۱۲/۱۶a	۲۶/۷۳a	۱۷/۷۶bc	۱۷۰/۸۶b	۲۹/۹ab	۲۰۰/۷۶b	۲۷/۴۸ab
B. cepacia	۱۱۴a	۲۶/۶۳a	۱۸/۳۳b	۱۸۰/۲۶b	۲۴/۷۶ab	۲۰۵/۰۳ab	۲۸/۱a
R + B	۱۱۴/۶۶a	۲۷/۲۶a	۲۰/۶۶a	۱۹۳/۱۶a	۲۰/۱۶b	۲۱۳/۳۳a	۲۸/۶a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

علت افزایش ارتفاع را می‌توان به تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد بر افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه دانست که نتیجه آن افزایش ارتفاع ساقه می‌باشد (ممتاز و همکاران ۲۰۱۷). در تحقیقی دیگر علت افزایش ارتفاع بوته در زمان حضور باکتری افزاینده رشد (*R. aquatilis* و *Enterobacter sp.*) نیز به تولید هورمون ایندول استیک اسید توسط این باکتری‌ها نسبت داده شد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۴). محققین دیگر نیز افزایش ارتفاع گیاه برنج (رقم طارم‌هاشمی) را با تلقیح

باکتری‌های *P. ananatis*، *Enterobacter sp.* و *R. aquatilis* در آزمایش گلدانی به‌ترتیب ۱۰/۸، ۷/۷۱ و ۴/۰۹ درصد و در آزمایش مزرعه‌ای به‌ترتیب ۱۴/۱، ۱۵/۱ و ۱۰/۸ درصد بیشتر از تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) گزارش نمودند (بخشنده و همکاران ۲۰۱۷). حسین و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که ارتفاع بوته گندم در زمان تلقیح همزمان باکتری‌های *Paenibacillus polymyxa ZM27* و *B. aryabhattai S10*، ۱۹ درصد بیشتر از تیمار شاهد (بدون باکتری) بود.

طول خوشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تیمار سطوح کودی و همچنین اثر متقابل تیمارهای آزمایش تاثیر معنی‌داری بر صفت طول خوشه نداشت؛ اما صفت مذکور تحت تاثیر تیمارهای مختلف تلقیح باکتری افزاینده رشد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده گویای این مطلب بود که میزان طول خوشه در زمان حضور باکتری (*R. aquatilis*، *B. cepacia* و تلقیح ترکیبی) نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری بیشتر بود. به عبارت دیگر، حداقل مقدار طول خوشه در تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) (۲۴/۴۳ سانتی‌متر) و حداکثر مقدار این صفت در تیمار تلقیح ترکیبی (۲۷/۲۶ سانتی‌متر) و پس از آن کاربرد باکتری *R. aquatilis* (۲۶/۷۳ سانتی‌متر) و *B. cepacia* (۲۶/۶۳ سانتی‌متر) مشاهده شد که به‌ترتیب نشان‌دهنده ۱۱/۶، ۹/۴ و ۹/۰ درصد افزایش طول خوشه نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) نیز می‌باشد (جدول ۳).

علت افزایش این صفت را می‌توان به نقش مثبت باکتری‌های افزاینده رشد در جذب آب و مواد غذایی به واسطه توسعه بیشتر ریشه‌ها (شاران و ال-اسمی ۱۹۹۹) سنتز هورمون ایندول استیک اسید و انحلال عناصر نامحلول توسط این باکتری‌ها (لاواکوش و همکاران ۲۰۱۴) و همچنین تولید هورمون جیبرلین، اکسین و فیتوهورمون‌ها به‌واسطه باکتری‌های افزاینده رشد و به دنبال آن افزایش انشعابات و طول خوشه نسبت داد (اصغری و همکاران ۲۰۱۴). مصلحی و همکاران (۲۰۱۶) اظهار داشتند بیشترین میزان طول خوشه برنج رقم طارم هاشمی (۲۷/۰ سانتی‌متر)، در زمان کاربرد باکتری *Azospirillum* و کمترین میزان این صفت در تیمار شاهد (عدم تلقیح) (۲۳/۰ سانتی‌متر) مشاهده گردید.

تعداد پنجه در بوته

تعداد پنجه در **بوته** متاثر از تیمار تلقیح با باکتری افزاینده رشد قرار گرفت؛ اما تیمار سطوح کودی و اثر متقابل تیمارها روی صفت نامبرده اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین تعداد پنجه در **بوته** معادل ۲۰/۶۶ پنجه ثبت شد که متعلق به تیمار تلفیق باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* بود و موجب افزایش تعداد پنجه کل در **بوته** معادل ۲۹/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد (جدول ۳). عدم تلقیح باکتری (تیمار شاهد) با ۲۲/۶ درصد کاهش تعداد پنجه در **بوته** نسبت به تلقیح ترکیبی باکتری‌های *R. aquatilisa* و *B. cepacia* کمترین میزان تعداد پنجه در **بوته** را در بین تیمارهای تلقیح باکتری داشت (جدول ۳).

علت افزایش تعداد پنجه در زمان کاربرد ریزجانداران افزاینده رشد را می‌توان به افزایش حجم ریشه (قاسمی لمراسکی و همکاران ۲۰۱۴) و بهبود جذب آب و عناصرغذایی از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه میزبان نسبت داد (وسی ۲۰۰۳). در همین راستا آزمایشی توسط اصغری و همکاران (۲۰۱۴) روی برنج رقم طارم هاشمی انجام شد. یافته‌های آن‌ها حاکی از این بود که تعداد پنجه‌های بارور تحت تأثیر تلقیح با باکتری *Psuedomonas* sp. قرار گرفت؛ به‌طوری‌که تعداد پنجه بارور در **بوته** به تعداد ۳/۲۱ عدد بیشتر از تیمار شاهد بود. در مطالعه دیگر، افزایش ۴۸ درصدی تعداد پنجه کل در **بوته** در تلقیح ریشه گیاهچه برنج (جایا) با باکتری *P. fluorescens* گزارش شد (شارما و همکاران ۲۰۱۴). بخشنده و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند بکارگیری باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب افزایش ۱۵ تا ۳۴ درصدی تعداد پنجه در **بوته** برنج نسبت به شاهد شد.

تعداد دانه پر، دانه پوک و دانه کل در خوشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس سطح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش نتوانستند روی صفت تعداد دانه پر، دانه پوک و دانه کل در خوشه اثر معنی‌داری داشته باشند؛ اما صفات مذکور تحت تاثیر تیمار تلقیح با باکتری افزاینده رشد قرار گرفتند (جدول ۲). با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارها، بیشترین تعداد دانه پر در خوشه (۱۹۳/۱۶ دانه) در تیمار تلقیح ترکیبی باکتری افزاینده رشد (*R. aquatilis+B. cepacia*) ثبت شد. به طوری که، میزان افزایش دانه پر در خوشه در زمان کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد *R. aquatilis* و *B. cepacia* معادل ۲۷/۰ درصد نسبت به تیمار شاهد بدست آمد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین تعداد دانه پوک در خوشه (۳۴/۴ دانه) در تیمار شاهد (عدم تلقیح با باکتری) مشاهده گردید و کاربرد ترکیبی باکتری افزاینده رشد *R. aquatilis* و *B. cepacia* سبب کاهش ۴۱/۴ درصدی تعداد دانه پوک در خوشه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳).

بیشینه (۲۱۳/۳۳ دانه) و کمینه (۱۸۶/۴۶ دانه) تعداد دانه کل در خوشه، به‌ترتیب در تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد (*R. aquatilis+B. cepacia*) و تیمار شاهد رویت گردید. کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد (*R. aquatilis+B. cepacia*) بدون داشتن تفاوت آماری معنی‌دار با کاربرد جداگانه *B. cepacia* و با میانگین ۱۴/۴ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد، تعداد دانه کل برتر از سایر تیمارها بود (جدول ۳). در پژوهشی دیگر، محمدی و همکاران (۲۰۱۱) دلیل افزایش تعداد دانه در غلاف نخود (*Cicer arietinum* L.) را فراهمی عناصر غذایی و سرکوب کردن بیمارگرهای گیاهی توسط ریزجانداران افزاینده رشد (*Trichoderma* و *Enterobacter*) گزارش کردند. در آزمایش ویاد و همکاران (۲۰۱۴) حداکثر تعداد دانه در هر خوشه به‌طور میانگین در ارقام برنج PD16 و NDR359 در زمان تلقیح با باکتری *Burkholderia* sp. مشاهده شد که ۱۲/۸ درصد بیشتر از تیمار شاهد (بدون باکتری و کود روی) و ۷/۴ درصد بیشتر از تیمار کاربرد روی بدون تلقیح باکتری بود. عبد ال-مجید و همکاران (۲۰۱۷) تعداد دانه پر و پوک در هر خوشه برنج رقم طارم هاشمی را در تیمار باکتری *Rhizobia* به‌همراه سه‌چهارم مصرف کود نیتروژنه در آزمایش سال اول، به‌ترتیب ۱۵۰/۲ و ۷/۸۶ دانه و در سال دوم، به‌ترتیب ۱۴۱/۴ و ۱۰/۱ دانه گزارش کردند که به‌طور معنی‌داری از تیمار شاهد (در سال اول به‌ترتیب ۱۰۳/۹ و ۶/۶ دانه و در سال دوم به‌ترتیب ۹۵/۲ و ۵/۹۰ دانه در خوشه) بیشتر بود.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که وزن هزار دانه در سطح آماری پنج درصد تحت تاثیر تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد قرار گرفت. ولی این صفت متاثر از تیمار سطوح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش قرار نگرفت (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسات میانگین، بالاترین وزن هزار دانه (۲۸/۶ گرم)، در تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد *B. cepacia* + *R. aquatilis* حاصل شد. کاربرد جداگانه باکتری *B. cepacian* و *R. aquatilis* نیز به‌ترتیب با ۲۸/۱ و ۲۷/۴۸ گرم وزن هزار دانه در رتبه بعدی پس از تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد قرار گرفته و تفاوت آماری چندانی با تیمار نامبرده نداشتند (جدول ۳). عدم کاربرد باکتری (تیمار شاهد) موجب کاهش ۷/۳ درصدی وزن هزار دانه نسبت به کاربرد ترکیبی باکتری (*R. aquatilis+B. cepacia*) گردید و با کاربرد جداگانه باکتری *R. aquatilis* در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۳).

افزایش مقدار وزن هزار دانه در زمان کاربرد ریزجانداران افزاینده رشد را می‌توان به دلیل نقش مثبت آن‌ها در جذب آب و عناصر غذایی غیرقابل جذب یا دور از دسترس گیاه و انتقال آن‌ها به گیاه میزبان دانست که منجر به افزایش تولید آسیمیلات‌ها و انتقال کافی شیره پرورده به دانه و در نهایت افزایش وزن هزار دانه می‌شوند (نیایش‌پور و همکاران ۲۰۱۷). حسین و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد (*B. subtilis* ZM63, *P. polymyxa* ZM27 و *B. aryabhattai* S10) به‌صورت ترکیبی و جداگانه وزن هزار دانه گندم را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. طی پژوهشی دیگر گزارش شد که وزن هزار دانه برنج

(رقم سخا ۱۰۷) در تیمار تلقیح همزمان گیاهچه با باکترهای *B. megaterium* و *B. subtilis*، ۲۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (کوبا و همکاران ۲۰۲۱). عبد ال-مجید و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند وزن هزار دانه برنج (رقم سخا ۱۰۷) در تیمار تلقیح همزمان گیاهچه با باکترهای *B. megaterium* و *B. subtilis*، ۲۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد هر چند که سطوح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش روی عملکرد دانه برنج اثر معنی‌داری نداشتند؛ اما این صفت تحت تاثیر تلقیح باکتری‌های افزاینده رشد قرار گرفت (جدول ۴). نتایج مقایسات میانگین حاکی از آن بود که بیشینه عملکرد دانه برنج (۷۶۲۱/۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد *R. aquatilis+B. cepacia* رویت شد و تفاوت آماری چندانی با کاربرد جداگانه باکتری *B. cepacian* و *R. aquatilis* نداشت (شکل ۱). عدم کاربرد باکتری (تیمار شاهد) سبب کاهش ۲۰/۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد گردید و کمترین میزان این صفت (۶۰۸۸/۲ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (شکل ۱).

علت افزایش عملکرد را می‌توان به افزایش جذب عناصر غذایی تحت تأثیر ریزجانداران افزاینده رشد در ناحیه ریشه نسبت داد. کاظمی و میرهاشمی (۲۰۱۷) گزارش کردند که باکتری‌های افزاینده رشد می‌توانند از طریق افزایش فراهمی مواد غذایی، تسهیل جذب آب و عناصر غذایی، جلوگیری از عوامل بیماری‌زا و القاء مقاومت سیستماتیک موجب افزایش عملکرد گیاه میزبان شوند. همچنین توانایی ساخت اکسین و هورمون‌های محرک، انواع ویتامین‌ها شامل ویتامین‌های گروه B، انواع اسیدهای‌آمینه و سنتز مواد برای مقابله با بیماری‌های قارچی از امتیازات این باکتری‌ها به حساب می‌آیند (میگهد و همکاران ۲۰۱۱). محققین دیگر، علت افزایش عملکرد برنج تلقیح شده با باکتری‌های افزاینده رشد را تولید هورمون اکسین و انحلال مواد معدنی نامحلول توسط این باکتری‌ها عنوان کردند (احمد و کیبرت ۲۰۱۴). ابراهیمی چمنی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که تلقیح گیاهچه برنج شیرودی با باکتری *Pseudomonas* sp. عملکرد شلتوک را ۱۱/۷ درصد افزایش داد. راجاپاکشا و همکاران (۲۰۱۱) نیز اظهار داشتند که تلقیح همزمان باکتری‌های *Bacillus* sp. و *Enterobactor gegovie* به‌ترتیب موجب افزایش ۲۵ تا ۳۲ درصدی عملکرد دانه برنج رقم‌های BG300 و BG353 در شرایط آزمایش گلدانی و افزایش ۲۲ تا ۲۷ درصدی این ارقام در شرایط آزمایش مزرعه‌ای شد.

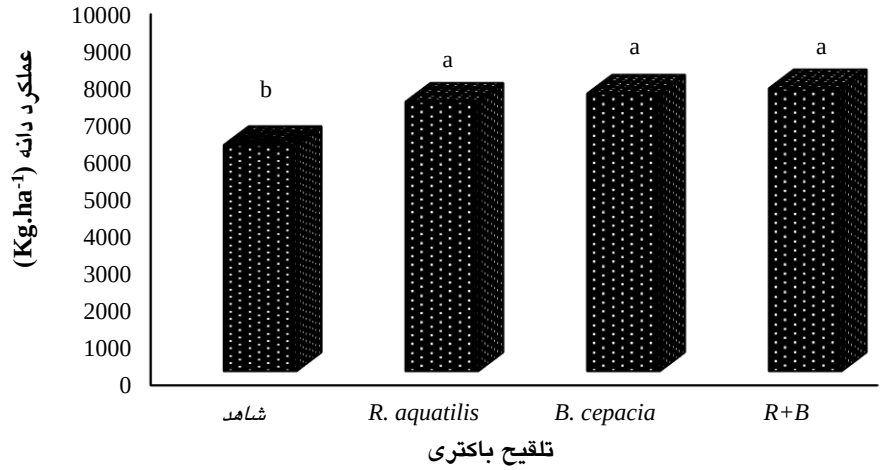
جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و میزان پتاسیم و روی در دانه و اندام هوایی برنج تحت تأثیر سطوح مختلف کودی و تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	پتاسیم		روی	
				دانه	اندام هوایی	دانه	اندام هوایی
بلوک	۲	۴۷۷۲۴۹۴/۰۴^{ns}	۱۰۷۵۱۱۵۱/۳۲^{ns}	۲۵/۴۵^{ns}	۲۶۹/۳۱^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}
سطوح کود شیمیایی	۱	۲۷۳۳۷۵۰^{ns}	۲۰۶۶۰۶۲۱/۵۴^{ns}	۲۴/۸۹^{ns}	۳۲۵۴/۷۳^{ns}	۰/۰۶۳^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}
تلقیح باکتری	۳	۲۹۲۵۶۰۳/۸۳ *	۷۸۶۵۸۳۴/۲*	۳۰/۸۴*	۱۳۳۲/۷۷*	۰/۰۳۷*	۰/۰۱۶*
تلقیح باکتری ×سطوح کودی	۳	۶۰۷۸۸/۱^{ns}	۱۰۲۱۶۳/۹^{ns}	۴/۷۵^{ns}	۵۰۶/۵۷^{ns}	۰/۰۲۸^{ns}	۰/۰۱۲^{ns}
خطا	۱۲	۶۸۴۴۳۹/۱۴	۳۸۱۰۰۲۲/۴	۸/۶۸	۵۳۹/۵۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۱/۶۳	۱۳/۰۳	۲۱/۳۶	۲۳/۶۰	۲۷/۰۴	۲۶/۸۷

^{ns} و *: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج می‌باشد.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که عملکرد بیولوژیک برنج متاثر از تلقیح باکتری‌های افزاینده رشد قرار گرفت ولی سطوح کودی و اثر متقابل تیمارهای آزمایش نتوانستند اثر معنی‌داری روی عملکرد بیولوژیک برنج داشته باشند (جدول ۴). اثر تلقیح باکتری‌های افزاینده رشد بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که بیشترین مقدار این صفت با ۱۶۱۹۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد *R. aquatilis+B. cepacia* مشاهده شد و افزایش ۲۰/۶ درصدی عملکرد بیولوژیک را نسبت به تیمار شاهد موجب شد (شکل ۲). شایان ذکر است که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین کاربرد ترکیبی و جداگانه باکتری‌های *B. cepacian* و *R. aquatilis* وجود نداشت (شکل ۲). کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک نیز با ۱۳۴۲۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد (عدم تلقیح با باکتری) مشاهده شد؛ که با تیمارهای کاربرد جداگانه باکتری‌های *B. cepacian* و *R. aquatilis* در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۲). اسمیت و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که همزیستی میکوریزی سبب افزایش جذب عناصر کم‌تحرک شده و آن‌ها را به صورت قابل جذب برای گیاه در می‌آورد که بر رشد و عملکرد گیاه میزبان تأثیرگذار می‌باشد.



شکل ۱- تأثیر تلقیح با ریز جانداران افزاینده رشد بر عملکرد دانه برنج

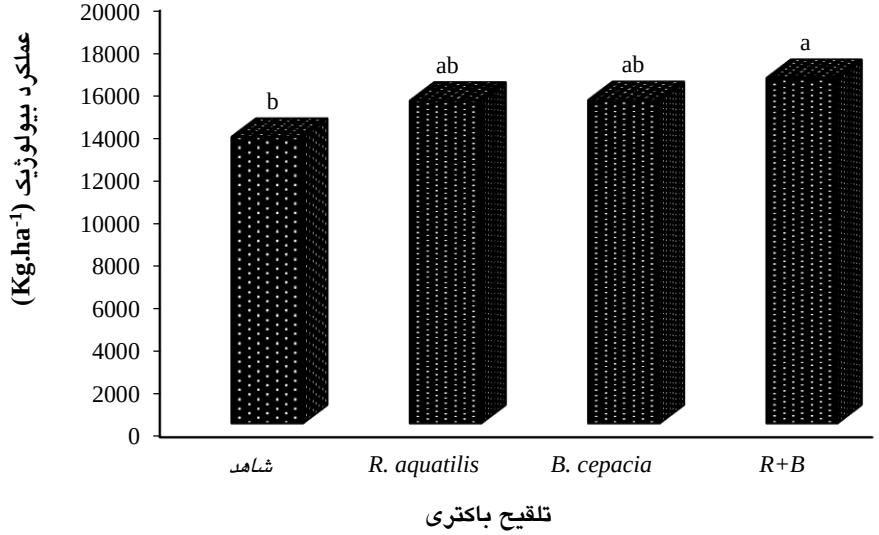
حروف مشترک در هر تیمار تلقیح باکتری نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

میزان پتاسیم در دانه و اندام‌های هوایی

تلقیح باکتری‌های افزاینده رشد تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم دانه و اندام هوایی برنج داشت، درحالی‌که بین سطوح کودی کاهش‌یافته و مطلوب و همچنین اثر متقابل تیمارهای آزمایش از نظر این صفات اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). طبق نتایج، پایین‌ترین مقدار پتاسیم در دانه (۱۰/۴۸ کیلوگرم در هکتار) و اندام هوایی (۷۹/۱۹ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم تلقیح باکتری مشاهده شد (جدول ۵). حضور باکتری به‌صورت تلقیح جداگانه *R. aquatilis*، *B. cepacia* و ترکیبی (*R. aquatilis+B. cepacia*) به‌ترتیب موجب افزایش پتاسیم دانه به‌میزان ۳۴/۷، ۴۴/۶ و ۴۶/۷ درصد و پتاسیم اندام هوایی به‌میزان ۲۳/۲، ۲۸/۲ و ۴۵/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) شد (جدول ۵). لازم به ذکر است از نظر میزان پتاسیم در دانه و اندام هوایی برنج، بین تیمارهای کاربرد جداگانه و نیز ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد تفاوت آماری چندانی مشاهده نگردید و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵).

در مطالعه دیگر گیلانی و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که تلقیح همزمان باکتری (*P. ananatis*) و قارچ (*P. indica*) در گیاه برنج رقم طارم محلی (به‌عنوان

بهترین تیمار) موجب افزایش معنی‌دار ۲۲/۱ درصدی جذب پتاسیم دانه نسبت به تیمار شاهد شد و علت این افزایش را توسعه بیشتر ریشه‌ها در زمان حضور ریزجانداران و در نهایت جذب بیشتر عناصر غذایی گزارش کردند. رامش و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که باکتری *E. cloacae* از طریق کاهش pH و تولید ایندول استیک اسید در ریزوسفر منجر به افزایش جذب بیشتر عناصر روی و پتاسیم در اندام‌های هوایی گندم و سویا (*Glycine max* L.) (به‌ترتیب ۵۰/۰ و ۲۴/۱ درصد برای روی و ۷/۶۹ و ۸/۷۹ درصد برای پتاسیم) و دانه (به‌ترتیب ۳۶/۵ و ۳۲/۷ درصد برای روی و ۱۳/۳ و ۴/۲۱ درصد برای پتاسیم) نسبت به تیمار شاهد گردید. طی پژوهشی محققین بیان کردند که کاربرد همزمان باکتری‌های *P. agglomerans* و *R. aquatilis*، ۲/۵ برابر جذب پتاسیم توسط دانه را در گیاه برنج (رقم پژوهش) نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتری افزایش دادند (یعقوبی خانقاهی و همکاران ۲۰۱۸).



شکل ۲- تأثیر تلقیح با ریز جانداران افزاینده رشد بر عملکرد بیولوژیک برنج

حروف مشترک در هر تیمار تلقیح باکتری نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح باکتری بر میزان پتاسیم و روی در دانه و اندام هوایی برنج

تیمارهای آزمایش	پتاسیم		روی	
	دانه (Kg.ha^{-1})	اندام هوایی (Kg.ha^{-1})	دانه (Kg.ha^{-1})	اندام هوایی (Kg.ha^{-1})
تلقیح باکتری				
شاهد	۱۰/۴۸^{b}	۷۹/۱۹^{b}	۰/۱۶^{b}	۰/۱۷^{b}
R. aquatilis	۱۴/۱۲^{ab}	۹۷/۵۶^{ab}	۰/۲۴^{ab}	۰/۱۸^{b}
B. cepacia	۱۵/۱۶^{a}	۱۰۱/۵۵^{ab}	۰/۳۲^{a}	۰/۲۰^{ab}
R + B	۱۵/۳۷^{a}	۱۱۵/۳۳^{a}	۰/۳۳^{a}	۰/۲۹^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی

از نظر میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی بین تیمارهای کودی کاهش‌یافته و مطلوب و همچنین اثر متقابل تیمارهای آزمایش تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در حالی‌که تلقیح باکتری‌های افزاینده رشد بر صفات مذکور تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۴). نتایج

مقایسه میانگین نشان داد که میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تلقیح جداگانه و ترکیبی باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* قرار گرفت. به عبارت دیگر، کمترین مقدار روی در دانه و اندام‌های هوایی در تیمار شاهد (به‌ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۱۷ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین میزان این صفات در زمان کاربرد ترکیبی باکتری‌های افزاینده رشد مشاهده شد که از نظر آماری با تیمار کاربرد جداگانه باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* در صفت میزان روی در دانه و همچنین با تیمار کاربرد جداگانه باکتری *B. cepacia* برای صفت میزان روی در اندام هوایی در یک گروه قرار گرفتند؛ اما افزایش چشمگیری نسبت به شاهد نشان داد؛ به‌گونه‌ای که مقدار این افزایش برای دانه ۱۰۶/۲۵ درصد و اندام‌های هوایی ۷۰/۵۸ درصد بود (جدول ۵). علت افزایش میزان روی با کاربرد ترکیبی باکتری‌ها را می‌توان به نقش باکتری‌های افزاینده رشد در تبدیل عناصر غذایی از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس برای گیاه میزبان نسبت داد (کشاورز و همکاران، ۲۰۱۳). در آزمایش ناهر و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد کودهای شیمیایی (NPK) به‌همراه کود زیستی (باکتری‌های *Bacillus* sp. و *Burkholderia* sp.) در برنج رقم MR219 موجب افزایش مقدار پتاسیم و روی در دانه به‌ترتیب ۰/۳۲ و ۱/۵۵ درصد نسبت به تیمار بدون کود زیستی و شیمیایی شد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که از نظر صفات مورد مطالعه، بین سطوح کودی کاهش‌یافته و مطلوب اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. درحالی‌که، استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد سبب بهبود صفات مورد مطالعه برنج نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد. به‌عبارت دیگر، تلقیح ترکیبی باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* موجب افزایش ارتفاع بوته (۱۱/۳ درصد)، طول خوشه (۱۱/۶ درصد)، تعداد پنجه در بوته (۲۹/۱ درصد)، تعداد دانه پر (۲۷ درصد)، وزن هزار دانه (۷/۹ درصد)، عملکرد دانه (۲۵/۲ درصد) و عملکرد بیولوژیک (۲۰/۶ درصد) نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد. بیشترین مقدار پتاسیم در دانه و اندام هوایی (به‌ترتیب ۱۵/۳۷ و ۱۱۵/۳۳ کیلوگرم در هکتار) و مقدار روی در دانه و اندام هوایی (به‌ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۲۹ کیلوگرم در هکتار) در تلقیح ترکیبی باکتری‌های مورد مطالعه رویت شد که نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) به طور معنی‌داری افزایش یافت. بنابراین در بین تیمارهای مورد مطالعه می‌توان، تلقیح ترکیبی باکتری‌های *R. aquatilis* و *B. cepacia* را به‌عنوان تیمار برتر برای این منطقه پیشنهاد نمود. در مجموع می‌توان با مصرف کمتر کود شیمیایی و جایگزینی آن با کودهای زیستی، بدون تفاوت معنی‌دار در عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم امیر در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار گام برداشت.

سپاسگزاری

به‌این وسیله از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌خاطر حمایت‌های مالی پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Abdel-Megeed TM, El-Habet HB and Elsadany AY. 2017. Response of some rice cultivars to rhizobacteria (PGPR), different rates of nitrogen fertilizer and its combinations under flooding condition. Journal of Plant Production, 8(3): 381-389. https://doi.org/10.21608/jpp.2017.39974

Ahemad M and Kibret M. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. Journal of King Saud University Science, 26(1): 1-20. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001

Asghari J, Ehteshami SMR, Rajabi Darvishan Z and Khavazi K. 2014. Study of root inoculation with plant growth promoting bacteria (PGPB) and spraying with their metabolites on chlorophyll content, nutrients

uptake and yield in rice (Hashemi cultivar). Journal of Soil Biology, 2(1): 21-31. (In Persian) https://doi.org/10.22092/sbj.2014.100088

Bahuguna A, Sharma S, Yadav J and Yadav N. 2020. Effect of biochar, carpet waste, FYM and PGPR on growth and yield of rice under organic farming system. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(3): 1450-1456. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.169

Bakhshandeh E, Davatgar F and Moradi H. 2022. Improvement of quantitative and qualitative characteristics of coriander using native zinc solubilizing bacteria and zinc sulfate under greenhouse condition. Journal of Horticultural Plants Nutrition, 5(1): 1-16. (In Persian) https://doi.org/10.22070/HPN.2021.13506.1116

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(5): 1371-82. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1007/s11274-014-1669-1

Ebrahimi-Chamani H, Yasari E and Pirdashti HA. 2014. Effect of phosphate solubilizing bacteria and phosphorous level on rice (*Oryza sativa* L.). Agricultural Advances, 3: 56-66. https://doi.org/10.14196/aa.v3i2.1096

Estefan G, Sommer R and Ryan J. 2013. Methods of soil, plant, and water analysis. A manual for the west asia and north africa region, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), 244.

Ghasemi Lemraski M, Normohamadi Gh, Madani H, Heidari Sharifabad H and Mobasser HR. 2014. Effect of silicon and potassium foliar application and nitrogen rates on yield and yield components of Iranian rice cultivars, Tarom Hashemi and Tarom Mahalli. New Finding in Agriculture, 9(1): 47-67. (In Persian)

Ghazi S, Diab AM, Khalafalla MM and Mohamed RA. 2022. Synergistic effects of selenium and zinc oxide nanoparticles on growth performance, hemato- biochemical profile, immune and oxidative stress responses, and intestinal morphometry of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Biological Trace Element Research, 200: 364-374. https://doi.org/10.1007/s12011-021-02631-3

Gilani Z, Pirdashti H and Bakhshandeh B. 2018. Effect of potassium fertilizer with *Piriformospora indica* and *Pantoea ananatis* on yield, yield components and potassium uptake of rice (cv. 'Tarom Mahalli'). Agricultural Science and Sustainable Production, 28(3): 43-54. (In Persian)

Grüngreiff K, Gottstein T and Reinhold D. 2020. Zinc deficiency- An independent risk factor in the pathogenesis of haemorrhagic stroke? Nutrients, 12(11): 3548. https://doi.org/10.3390/nu12113548

Hasanuzzaman M, Fujita M, Nahar K and Biswas JK. 2019. Advances in rice research for abiotic stress tolerance. United Kingdom: Woodhead Publishing.

Hussain A, Ahmad M, Nafees M, Iqbal Z, Luqman M, Jamil M, Maqsood A, Mora-Poblete F, Ahmar S, Chen JT and Alyemeni MN. 2020. Plant-growth-promoting *Bacillus* and *Paenibacillus* species improve the nutritional status of *Triticum aestivum* L.. PLoS One, 15(12): e0241130. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241130

Javadi M and Aminpanah H. 2016. Effect of *Azospirillum lipoferum* inoculation, previous crop, and usage nitrogen on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield. Journal of Ecophysiology, 10(2): 311-326. (In Persian)

Kandil EE, El-Banna AA, Tabl DM, Mackled MI, Ghareeb RY, Al-Huqail AA, Ali HM, Jebril J and Abdelsalam NR. 2022. Zinc nutrition responses to agronomic and yield traits, kernel quality, and pollen viability in rice (*Oryza sativa* L.). Frontiers in Plant Science, 13: 791066. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.791066

Kazemi M and Mirhashmi M. 2017. Agroecology. Agricultural Education Research Publications, Mashhad, Iran. (In Persian)

Keshavarz J, Aliasgharzad N, Oustan S, Emadi M and Ahmadi A. 2013. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian soil. Archives of Agronomy and Soil Science, 59(12): 1713-1723. https://doi.org/10.1080/03650340.2012.756977

Kobua CK, Jou YT and Wang YM. 2021. Advantages of amending chemical fertilizer with plant-growth-promoting rhizobacteria under alternate wetting drying rice cultivation. Agriculture, 11(7): 605. https://doi.org/10.3390/agriculture11070605

Lavakush Yadava J, Verma JP, Jaiswal DK and Kumar A. 2014. Evaluation of PGPR and different concentration of phophorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa* L.). Ecological Engineering, 62: 123-128. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.013

Maathuis FJ. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. Current Opinion in Plant Biology, 12(3): 250-258. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003

Meena VS, Meena SK, Verma JP, Kumar A, Aeron A, Mishra PK, Bisht JK, Pattanayak A, Naveed M and Dotaniya ML. 2016. Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. Ecological Engineering, 107: 8-32. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058

Migahed HA, Ahmed AE and Abd El-Ghany BF. 2004. Effect of different bacterial strains as biofertilizer agents on growth, production and oil of *Apium graveolens* under calcareous soil. Arab Universities Journal of Agricultural Science, 12(2): 511-525.

Mohammadi K, Ghalavand A, Aghaalikhani M, Heidari G and Sohrabi Y. 2011. Introducing a sustainable soil fertility system for chickpea (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Biotechnology, 10: 6011-6020.

Moslehi N, Niknejad Y, Fallah Amoli H and Kheyri N. 2016. Effect of integrated application of chemical, organic and biological fertilizers on some of the morphophysiological traits of rice (*Oryza sativa* L.) Tarom Hashemi cultivar. Crop Physiology Journal, 8(3): 87-103. (In Persian)

Mumtaz MZ, Ahmad M, Moazzam J and Tanveer H. 2017. Zinc solubilizing *Bacillus spp*. potential candidatesfor biofortification in maize. Microbiological Research, 202: 51-60. https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.06.001

Naher UA, Panhwar QA, Othman R, Ismail MR and Berahim Z. 2016. Biofertilizer as a supplement of chemical fertilizer for yield maximization of rice. Journal of Agriculture Food and Development, 2(0): 16-22.

Neiayeshpoor L, Marashi SK and Gilani A. 2017. Effect of *Pseudomonas* and chemical fertilizer of potassium sulfate on quantitative and qualitative characteristics of corn (*Zea mays* L.). Journal of Plant Production Science, 7(2): 103-113. (In Persian)

Omidi H, Naghdi Badi H, Golzad A and Torabi HM.. 2009. The effect of chemical and biofertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of Saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Medicinal Plants, 8(30): 98-109 (In Persian)

Parmar P and Sindhu SS. 2013. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. Journal of Microbiology Research, 3(1): 25-31. doi:10.5923/j.microbiology.20130301.04

Pirdashti HA and Shahsavarpour Lendeh Kh. 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. Ecological Engineering, 103: 164-169. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.008

Rajapaksha RMCP, Herath D, Senanayake AP and Senevirathne, M. GTL. 2011. Mobilization of rock phosphate phosphorus through bacterial inoculants to enhance growth and yield of wetland rice. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42(3): 301-314. https://doi.org/10.1080/00103624.2011.539084

Ramesh A, Sushil KS, Mahaveer PS, Namrata Y and Joshi Om P. 2014. Plant growth-promoting traits in *Enterobacter cloacae* subsp. dissolvens MDSR9 isolated from soybean rhizosphere and its impact on

growth and nutrition of soybean and wheat upon inoculation. Agricultural Research, 1: 53-66. https://doi.org/10.1007/s40003-014-0100-3

Sagar A. 2022. Synergistic effect of *Azotobacter nigricans* and nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on agronomic and yield traits of maize (*Zea mays* L.). Frontiers in Plant Science, 13: 952212. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.952212

Shaheen SM, Antoniadis V, Shahid M, Yang Y, Abdelrahman H, Zhang T, Hassan EE., Bibi I, Niazi NK, Younis SA, Almazroui M, Tsang YF, Sarmah AK, Kim KH and Rinklebe J. 2022. Sustainable applications of rice feedstock in agro-environmental and construction sectors: a global perspective. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 153: 111791. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111791

Sharaan AN and El-Smie FSA. 1999. Response of wheat varieties to some environmental influences. (1999). Effect of seeding rates and N fertilization levels on growth and yield of two wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). Agriculture Science, 44: 589-601. 10.22124/cjes.2022.5764

Sharaan AN and El-Smie FSA. 1999. Response of wheat varieties to some environmental influences. (1999). Effect of seeding rates and N fertilization levels on growth and yield of two wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). Agriculture Science, 44: 589-601.

Sharma A, Shankhdhar D and Shankhdhar SC. 2014. Growth promotion of the rice genotypes by PGPRs isolated from rice rhizosphere. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14(2): 505-517. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000040.

Smith SE and Read DJ. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, third ed. Academic Press, London, UK. 47.

Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R and Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature, 418: 671-677. https://doi.org/10.1038/nature01014

Vaid SK, Kumar B, Sharma A, Shukla AK and Srivastava PC. 2014. Effect of Zn solubilizing bacteria on growth promotion and Zn nutrition of rice. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14(4): 889-910.

Vessey JK. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil, 255(2): 571-586.

Yaghoubi Khanghahi M, Ricciuti P, Allegretta I, Terzano R and Crecchio C. 2018. Solubilization of insoluble zinc compounds by zinc solubilizing bacteria (ZSB) and optimization of their growth conditions. Environmental Science and Pollution Research, 25: 25862-25868. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2638-2

Zad Behtouei M, Seyed Sharifi R and Khalilzadeh R. 2019. Effect of nitrogen and biofertilizers on yield, nitrogen use efficiency and some morpho physiological traits of rice (*Oryza sativa* L.). Cereal Research,8(4): 409-421. (In Persian) 10.22124/c.2019.10772.1407

Zorb C, Senbayram M and Peiter E. 2014. Potassium in agriculture-status and perspectives. Journal of Plant Physiology, 171: 656-669. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 57-64

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

Investigating the effect of Biological and Organic Fertilizers on some Quantitative and Qualitative Characteristics of European borage (*Borago officinalis* L.)

Kiamars Azadinejad[1], Amin Salehi[2*], Alireza Yadvi[3], Hooshang Farajee[2], Parvin Rostampour[4]

Received: 24 April 2023	Accepted: 28 December 2023

1- M.Sc Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
2- Assoc. Prof, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
3-Prof, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
4- Ph.D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
*Corresponding Author Email: aminsalehi@yu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Fertilizer management is a key factor in the successful cultivation of medicinal plants. The use of organic and bio-fertilizers in the production of these plants is of great importance, aiming to eliminate or significantly reduce the use of chemical inputs, enhance soil fertility, and improve plant growth and quality. Therefore, the study was conducted in order to investigate the effect of ecological inputs on some quantitative and qualitative characteristics of *Borago officinalis*.

Materials and Methods: The experiment was used in a completely randomized block design with three replications in 2018-2019 in Fahlian, Noorabad, and Fars province. The first factor includes compost at three levels (0, 5 and 10 ton.ha^{-1}) and the second factor includes biological fertilizers at four levels (Control, Mycorrhizal, Bacillus and Mycorrhiza + Bacillus). The seeds of Borago officinalis were obtained from Pakan Bazr Company in Isfahan, while arbuscular mycorrhizal fungi and bacterial suspensions were sourced from the Soil and Water Research Institute in Karaj. Arbuscular mycorrhizal fungi were applied at a rate of 80 kg per hectare (each gram of the fungal sample contained approximately 120 viable spores) and at a rate of 20 grams per plant during sowing, placed in furrows specifically prepared for seed planting in a banding method. Additionally, the roots of the seedlings were inoculated with the corresponding bacterial suspension and then transplanted into the main plots. The composts used in the experiment were prepared from animal manure and rice straw and stubble.

Results: The results showed a significant increase in the chlorophyll index and mucilage of borage leaf with increasing compost levels from 0 to 10 tons per hectare, and among the biofertilizer levels, the highest amount of these characteristics was obtained from the combined treatment of mycorrhizae and bacteria biofertilizers. The highest amount of studied morphological and functional characteristics, especially the number of flowers per branch, the number of flowers per plant and flower yield was obtained when applying 10 ton.ha^{-1} of compost and integrated application of the studied micro organisms, and the lowest amount was obtained from control, which had no compost and biological fertilizers were not used.

Conclusion: The application of compost and biological fertilizers studied (mycorrhizae and Bacillus) had a positive effect on quantitative and qualitative characteristics of borage. Although each of these nutritional sources in the production of borage led to the improvement of studied characteristics, nevertheless, the combined use of compost and biological fertilizers had a greater effect and efficiency in increasing these traits.

Keywords: Compost, European Borage, Growth-Promoting Bacteria, Mycorrhiza, Phytochemical Activity

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Email: aminsalehi@yu.ac.ir Amin Salehi
http://doi.org/ 10.22034/SAPS.2023.56315.3030

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۶۴-۵۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

بررسی تأثیر کودهای زیستی و آلی بر برخی صفات کمی و کیفی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.)

کیامرث آزادی نژاد [۱]، امین صالحی [۲*]، علیرضا یدوی [۳]، هوشنگ فرجی [۲]، پروین رستم پور [۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۷

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۳- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۴- دانشجوی دکترا، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: aminsalehi@yu.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: مدیریت کود یک عامل مهم در موفقیت کشت گیاهان دارویی می‌باشد. کاربرد کودهای آلی و زیستی در تولید این گیاهان با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی و همچنین افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود رشد و کیفیت گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است، لذا پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر نهاده‌های اکولوژیک بر برخی صفات کمی و کیفی گیاه دارویی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis*) انجام گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در روستای فهلیان، شهرستان نورآباد، از توابع استان فارس اجرا گردید. عامل اول شامل کمپوست در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و عامل دوم شامل کودهای زیستی در چهار سطح (شاهد، قارچ میکوریزا *Funneliformis moseae*، باکتری *Bacillus subtilis* و قارچ میکوریزا + باکتری) بود. بذرهای گاوزبان اروپایی از شرکت پاکان بذر اصفهان، قارچ میکوریزا و سوسپانسیون باکتریایی از مؤسسه‌ی آب و خاک کرج تهیه شد. قارچ میکوریزا آربوسکولار به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار (هر گرم نمونه قارچ میکوریزا حاوی حدود ۱۲۰ اسپور زنده بود) و به میزان ۲۰ گرم به ازای هر بوته در هنگام کاشت و داخل کپه‌های حفر شده برای کشت بذر به‌صورت نواری استفاده گردید و همچنین ریشه‌های نشاء آغشته به سوسپانسیون باکتری مربوطه شده و به کرت‌های اصلی انتقال داده شد. کمپوست های استفاده شده در آزمایش از کود دامی و کاه و کلش برنج تهیه گردید.

یافته‌ها: نتایج بیانگر افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل و درصد موسیلاژ برگ گاوزبان اروپایی با افزایش سطوح کمپوست از صفر به ۱۰ تن در هکتار بود و در بین سطوح کود زیستی بیشترین میزان این صفات از تیمار تلفیقی کودهای زیستی میکوریز و باکتری حاصل شد. بیشترین میزان صفات مورفولوژیکی و عملکردی مورد مطالعه، مخصوصاً تعداد گل در شاخه، تعداد گل در بوته و عملکرد گل در زمان کاربرد ۱۰ تن کمپوست در هکتار و کاربرد تلفیقی ریزموجودات مورد بررسی به دست آمد و کمترین عملکرد گل نیز از کرتی حاصل شد که هیچ گونه کود کمپوست و زیستی استفاده نشده بود.

نتیجه‌گیری: کاربرد کود آلی کمپوست و کودهای زیستی مورد مطالعه (میکوریزا و باکتری) تأثیر مثبتی بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی گاوزبان اروپایی داشتند. اگرچه هریک از این منابع تغذیه‌ای در تولید گاوزبان اروپایی منجر به بهبود

صفات مورد بررسی گردید، اما با این وجود، کاربرد تلفیقی کمپوست و کودهای زیستی، تأثیر و کارآیی بیشتری در افزایش این صفات داشت.

واژه‌های کلیدی: باکتری محرک رشد، کمپوست، گاوزبان اروپایی، میکوریزا، فعالیت فیتوشیمیایی

مقدمه

افزایش تولید در واحد سطح از طریق کاهش هزینه‌های تولید و افزایش کارآیی مصرف نهاده‌ها، بدون آنکه به منابع آب و خاک و محیط زیست و کیفیت محصول آسیب وارد شود از اهداف اصلی یک نظام زراعی پایدار می باشند (منگیستو و همکاران ۲۰۱۷). بر همین اساس، جهت نیل به این اهداف، امروزه استفاده از انواع مختلف کودهای آلی و زیستی در نظام‌های تولید پایدار رواج پیدا کرده است. کاربرد انواع کودهای آلی از جمله کودهای دامی و کمپوست به‌دلیل خواص شیمیایی و فیزیکی مطلوب آن‌ها می‌تواند جایگزینی مناسب برای کاربرد کودهای شیمیایی باشد. کاربرد مواد آلی ابزاری مؤثر برای مدیریت باروری و اصلاح خاک می‌باشد. این مواد نه تنها مواد غذایی ضروری برای گیاه را به مزرعه عرضه می‌کنند، بلکه می‌توانند ظرفیت نگهداری مواد غذایی خاک، دسترسی به عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف، فعالیت ریزجانداران خاک، ساختار خاک و رشد گیاه در خاک را بهبود بخشند (ملیس ۲۰۱۶).

اصطلاح کودهای زیستی منحصراً به مواد آلی حاصل از کودهای دامی، بقایای گیاهی، کود سبز و غیره اطلاق نمی‌شود، بلکه ریزجاندارانی مثل باکتری‌ها و قارچ‌های مفید و مواد حاصل از فعالیت آن‌ها را نیز در بر می‌گیرد. کودهای زیستی به‌عنوان یکی از طبیعی‌ترین و مطلوب‌ترین راه‌ها به‌منظور زنده و فعال نگه داشتن سامانه حیاتی خاک مطرح هستند (رحیم زاده و همکاران ۲۰۱۱). یافته‌های بسیاری از پژوهش‌گران نشان‌دهنده این است که حضور ترکیبات زیستی در نظام‌های مختلف کشاورزی پایدار از طریق اثرات هم‌افزایی و تشدید کننده‌ای که میان آن‌ها بوجود می‌آید می‌تواند با ایجاد یک بستر مناسب و به دنبال آن دسترسی مطلوب گیاه به عناصر غذایی، موجب رشد و افزایش زیست توده گیاه گردد (شارما ۲۰۰۲). قارچ‌های میکوریزا با برقراری رابطه همزیستی با بسیاری از گیاهان زراعی، در افزایش جذب عناصر غذایی و نیز افزایش توان ریشه در جذب آب و در نتیجه بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه نقش مفیدی دارند. اهمیت میکوریزا در کشاورزی بر پایه‌ی نقش ویژه‌ی آن به عنوان حلقه‌ی ارتباطی بین خاک و گیاه استوار است (رضوانی و همکاران ۲۰۱۱). آزمایش قیصری زردک و همکاران (۲۰۱۶) روی گیاه رازیانه نشان داد که تلقیح گیاه با گونه‌های میکوریزا باعث افزایش ارتفاع، زیست توده، عملکرد دانه و روغن، سطوح بالای فسفر و قندهای محلول در برگ‌ها شد. حمزه‌ای و نجاری (۲۰۱۳) گزارش کردند که تلقیح بذور مارتیغال با قارچ گلوموس موسه‌آ (*Glomus mosseae*)، در مقایسه با تیمار ۶۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار و عدم تلقیح، عملکرد دانه را ۵۸ درصد افزایش داد. بنا بر گزارش نقیبی و همکاران (۲۰۱۵)، تلقیح گیاه دارویی کاسنی پاکوتاه (*Cichorium pumilum* Jacq)با قارچ میکوریزا باعث افزایش عملکرد خشک زیست توده و شاخص سطح برگ در مقایسه با شاهد شد. در مطالعه دیگری مشاهده گردید که تلقیح گیاه استویا (*Stevia rebaudiana*) با قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار طول ساقه و وزن‌خشک اندام هوایی می‌گردد (آسترایی و همکاران ۲۰۱۵). باکتری‌های محرک رشد از طریق مستقر شدن در اطراف ریشه گیاه نقش مهمی در تأمین نیاز گیاهان به عناصر غذایی دارند. بایروا و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه بر روی گیاه شنبلیله نشان دادند که تلقیح باکتری‌های ریزوبیوم و حل‌کننده فسفر منجر به افزایش نیتروژن و فسفر قابل دسترس شده و سنتز پروتئین، کربوهیدرات‌ها و نشاسته افزایش پیدا کرد و در نتیجه عملکرد گیاه شنبلیه افزایش یافت. کندل و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم با نصف مقدار مطلوب کود نیتروژن در گیاه ریحان ارتفاع، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن‌خشک برگ و ریشه‌ها را افزایش داد. ظهور و همکاران (۲۰۰۴) نیز اظهار کردند که تیمارهای زیستی درصد موسیلاژ اسفرزه را به طور معنی‌داری افزایش داد.

استفاده از بقایای آلی در کشاورزی یکی از مهم‌ترین راه‌های تأمین ماده آلی خاک و باز چرخ طبیعی این

ترکیبات می‌باشد. بازیافت این ضایعات با کمپوست کردن، یک راه‌حل مناسب برای رفع مشکلاتی مانند کاهش خاصیت قلیایی خاک، کمک به حفظ رطوبت خاک در افزایش توسعه ریشه و در نتیجه افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط گیاه دخالت موثری داشته است (بارتل و همکاران ۲۰۰۴). تهیه کمپوست به فرآیند تجزیه کنترل شده مواد آلی توسط ریزموجودات در حضور اکسیژن گفته می‌شود. این مواد آلی می‌تواند کود دامی، بقایای محصولات زراعی یا هر ماده آلی دیگری باشد (کوچکی و همکاران ۲۰۰۷). در پژوهشی اثر کودهای آلی بر چند گیاه دارویی انجام گردید و مشخص شد که اضافه کردن کمپوست باعث افزایش ارتفاع گیاه در سرخارگل و افزایش وزن‌تر و خشک گیاه در بادرنجبویه گردید (دیلیت ۲۰۰۲). در تحقیقی بهزاد امیری و همکاران (۲۰۱۶) بر گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) مشخص نمودند با کاربرد کمپوست عملکرد گل خشک نسبت به شاهد به میزان ۱۴ درصد افزایش یافت. در یک بررسی بر روی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* (.Moench L نتایج نشان داد که کود ورمی کمپوست اثر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه، ریشه، گل، عملکرد زیستی، تعداد گل در بوته و سبزینگی برگ داشت (رضوی نیا و همکاران ۲۰۱۵). در گیاه گلسرخ گزارش شد که اجزای عملکرد، عملکرد و اسانس این گیاه تحت شرایط کمبود آب در شرایط مصرف کودهای ورمی کمپوست و کود دامی به‌طور چشمگیری افزایش یافت (حمیدی و همکاران ۲۰۲۲). در پژوهش دیگری روی گیاه نعنا فلفلی، کاربرد کودهای آلی از طریق تأمین مواد غذایی مورد نیاز در طول دوره رشد گیاهان دارویی با بهبود فتوسنتز و محتوای کلروفیل گیاه، افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو و رشد و توسعه شاخص سطح برگ و بهبود ساختمان فیزیکی خاک و تعادل در بخش فیزیکی و شیمیایی خاک سبب بهبود عملکرد اسانس این گیاه شد (ال عامری، ۲۰۲۱). چودهاری و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای روی گیاه دارویی آلوئه‌ورا نشان داده‌اند که مصرف کود مرغی با تأثیر مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک سبب بهبود وزن‌خشک اندام-های هوایی و میزان اسانس شد.

مدیریت کودی می‌تواند تا حد زیادی تولید محصولات را تحت تأثیر قرار دهد (نورزاد و همکاران ۲۰۱۴). نتایج تحقیق محمودزاده و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که کاربرد تلفیقی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش صفات رویشی (شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، مجموع طول شاخه‌های جانبی، عملکرد وزن‌تر و خشک گیاه و وزن خشک ریشه) و غلظت عناصر غذایی در گیاه دارویی نعناع فلفلی شد. علی پور (۲۰۲۲) در بررسی اثر کود زیستی و ورمی‌کمپوست بر عملکرد کمّی و کیفی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.)، گزارش داد که بیشترین تعداد دانه در کاپیتول، درصد روغن، درصد سیلیمارین، درصد سیلیبین، عملکرد روغن و تعداد گل-آذین در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست و کود زیستی فسفات بارور ۲ به‌دست آمد. رضایی چیانه و همکاران (۲۰۱۵) طی تحقیقی مشخص نمودند صفات مورفولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه زنیان با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی قارچ میکوریزا، ازتوباکتر و فسفر بارور ۲ نسبت به زمانی که به تنهایی استفاده شدند نتیجه بهتری داشت. همچنین کودهای حاوی باکتری *Acidithio bacillus* spp. و میکوریزا به ترتیب افزایش ۲۱ و ۱۶ درصدی عملکرد دانه گل گاوزبان را در مقایسه با شاهد را به همراه داشتند (بهزاد امیری و همکاران ۲۰۱۷). زمانی و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی گیاه رازیانه، بیشترین عملکرد بیولوژیک (۵۲۰/۳۸ گرم در متر مربع) و عملکرد دانه (۱۴۶/۶۸ گرم در متر مربع) در تیمار تلفیقی کود زیستی کامل (ازتو بارور۱، فسفر بارور۲ و پتابارور۲) + قارچ میکوریزا حاصل شد.

یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی برای حصول عملکرد کمّی و کیفی مطلوب برای گیاهان دارویی، ارزیابی انواع کودهای آلی و زیستی است. در این شرایط ضمن ممانعت از آلودگی محیط زیست، می-توان کیفیت منابع آبی و کارآیی نهاده‌های کشاورزی را افزایش و میزان فرسایش خاک را به حداقل رساند. بدین ترتیب این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کودهای آلی و زیستی بر روی خصوصیات کمّی و کیفی گیاه دارویی گاوزبان اروپایی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در اراضی مرکز جهاد کشاورزی روستای فهلیان، شهرستان نورآباد ممسنی از توابع استان فارس به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با

۳ تکرار اجرا شد. عامل اول شامل کمپوست تهیه شده از کود دامی و کاه و کلش برنج در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و عامل دوم شامل کودهای زیستی در چهار سطح (شاهد، قارچ میکوریزا گونه *Funneliformis moseae*، باکتری *Bacillus subtilis* و تلفیق قارچ میکوریزا + باکتری) بود. در ابتدا برای اجرای طرح، نمونه برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام و در آزمایشگاه آب و خاک و گیاه دشت ناز گلشن یاسوج برای تعیین میزان عناصر غذایی پرمصرف و کم-مصرف، مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. مساحت تقریبی زمین مورد نظر جهت انتقال نشاءها ۵۰۰ متر مربع (کرت‌ها و حاشیه‌ها) در نظر گرفته شد. مراحل آماده‌سازی زمین شامل عملیات خاکورزی از جمله شخم با عمق مناسب، دیسک، تسطیح و ایجاد جوی و پشته بود. سپس کرت‌هایی (۳۶ کرت) با ابعاد ۳×۳ متر با فاصله ۱ متر از همدیگر ایجاد گردید. هر کرت شامل ۵ ردیف به فاصله ۵۰ سانتی‌متر بوده و فاصله‌ی هر بوته روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. بذرهای گاوزبان اروپایی از شرکت پاکان بذر اصفهان، قارچ میکوریزا از کلینیک گیاهپزشکی اسدآباد همدان و سوسپانسیون باکتریایی از آزمایشگاه خاک و آب مؤسسه‌ی تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شد. قبل از تلقیح، تراکم جمعیت باکتری‌ها به روش شمارش کلونی تعیین گردید به‌طوری که در هر میلی‌لیتر مایه تلقیح 10^8 سلول باکتری وجود داشت. برای تهیه نشاء از گاوزبان، ابتدا بستر کشتی از پیت‌ماس، کوکوپیت و ماسه به نسبت ۱:۲:۱ در زمین زراعی تهیه و خزانه‌گیری انجام و سپس بذرهای گاوزبان با هیپوکلریت سدیم پنج درصد به‌مدت یک دقیقه ضدعفونی و در عمق یک سانتی‌متری کشت شد. در مرحله انتقال نشاء (۴-۶ برگی)، قارچ میکوریزا به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار (هر گرم نمونه قارچ میکوریزا حاوی حدود ۱۲۰ اسپور زنده بود) و به میزان ۲۰ گرم به ازای هر بوته در هنگام کاشت و داخل کپه‌های حفر شده برای کشت بذر به‌صورت نواری استفاده گردید، و همچنین ریشه‌های نشاء آغشته به سوسپانسیون باکتری مربوطه شده و به کرت‌های اصلی انتقال داده شد.

به‌منظور تهیه کمپوست‌های مناسب برای اجرای آزمایش، ابتدا کود دامی تازه (کودی که از جمع‌آوری آن دردامداری پرواربندی بیش از ۲۰ روز نگذشته بود) تهیه و سپس، ردیف‌هایی به طول ۲ متر، عرض ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر از کود دامی به صورت لایه لایه توزین شد. برای جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید بر هر ردیف کود دامی، سطح ردیف‌ها بوسیله‌ی کاه و کلش به‌طور کامل پوشانده شد. طول دورهٔ تبدیل کود دامی تازه به کمپوست‌های قابل استفاده ۸۵ روز بوده که در این مدت تأمین رطوبت مورد نیاز و شرایط هوازی، برای فعالیت ریزجاندارها در ردیف‌های کود دامی لحاظ گردید. در چند نوبت علاوه بر برهم زدن ردیف‌های کودی، دمای توده کود در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری به‌وسیلهٔ دماسنج جیوه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت تا از رسیدن دمای ردیف‌های کودی به مقدار مناسب (حدود ۵۵ تا ۶۰ درجه) برای از بین رفتن بذور علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها اطمینان حاصل شود (اقبال و همکاران ۲۰۰۰). پس از طی شدن فرآیند عمل‌آوری تودهٔ کودی، قبل از استفاده از کمپوست‌ها در واحدهای آزمایشی مربوطه، نمونه‌ای از ردیف‌های کمپوستی تهیه و به منظور تعیین میزان نیتروژن باقی مانده به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. برای اعمال کودهای آلی، میزان عناصر غذایی کمپوست مورد استفاده تعیین و سپس بر حسب نیاز غذایی گاوزبان اروپایی، در سطح کرت‌های مورد نظر به‌طور یکنواخت پخش و بلافاصله با بیل دستی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری وارد خاک و با آن مخلوط شد. آبیاری و سایر عملیات زراعی در دوره داشت منطبق بر نیازهای گیاه و عرف منطقه و به‌طور یکسان در تمام تیمارها انجام گرفت. صفات اندازه‌گیری شده در زمان گلدهی گاوزبان شامل شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل (با دستگاه کلروفیل‌متر دستی SPAD)، تعداد گل در شاخه، تعداد گل در بوته و عملکرد گل بود. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گاوزبان با انتخاب تصادفی ۱۰ بوته در هر کرت صفات ارتفاع، قطر ساقه (از زیر اولین گره) و تعداد شاخه جانبی اندازه‌گیری شد.

تعیین تراکم جمعیت اسپوری:

جهت تعیین جمعیت اسپور قارچی سه تکرار هر یک به وزن ۳۵ گرم از خاک همراه با قارچ تهیه شده از آزمایشگاه آب و خاک کرج اقدام به جداسازی اسپورهای قارچی با استفاده از روش شستشو توسط الک و

سانتریفوژ در محلول سوکروز ۵۵٪ گردید (جنکینز ۱۹۶۴).

روش کلنی شماری:

در روش کلنی شماری مقدار مشخصی از سوسپانسیون باکتری در یک محیط جامد کشت شد. غالبا هر باکتری بعد از رشد، یک کلنی تشکیل می‌دهد؛ بنابراین با شمارش کلنی‌ها، در واقع تعداد باکتری در سوسپانسیون بدست آمد.

روش اندازه‌گیری شاخص کلروفیل:

کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD (Konica minolta) در مرحله گلدهی گیاه اندازه‌گیری شد، به این صورت که در هر کرت ۱۰ برگ جوان و در انتهای ساقه از گیاه انتخاب و میانگین آن‌ها به عنوان درصد کلروفیل یادداشت شد.

روش اندازه‌گیری موسیلاژ:

به‌منظور تعیین درصد موسیلاژ، ۵ گرم از ماده خشک گیاهی آسیاب شده را در بشر ریخته و ۱۰۰ میلی-لیتر آب مقطر به آن افزوده و ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. ۵۰ میلی‌لیتر از این مایع صاف شده را برداشته و ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ ٪ به آن اضافه کرده و دوباره ۲۴ ساعت نگهداری شد تا موسیلاژ موجود به-صورت رسوب درآمد. پس از این مدت بر روی کاغذ صافی که قبلاً وزن شده بود صاف گردید و پس از خشک شدن در حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، کاغذ صافی را وزن کرده و از روی اختلاف وزن کاغذ صافی تر و خشک وزن موسیلاژ مشخص گردید. به‌منظور تعیین درصد موسیلاژ، کاغذ صافی حاوی موسیلاژ را داخل بشری قرار داده و توسط ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر آن را شسته تا موسیلاژ موجود در آن از کاغذ صافی جدا شود و موسیلاژ به‌صورت رسوب باقی بماند. پس از خشک کردن کاغذ صافی آن را به دقت وزن کرده و از روی اختلاف وزن کاغذ صافی با وزن اولیه درصد موسیلاژ محاسبه شد (صمصام شریعت ۲۰۰۷).

آنالیز و محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SASو Excel و مقایسه‌ی میانگین اثرات اصلی به روش LSDدر سطح ۵ درصد و در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه L.S.Means انجام می‌گردد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

بافت خاک	کربن آلی (٪)	واکنش خاک (اسیدیته)	هدایت الکتریکی (dS/m)	آهک (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
						(mg/kg)					
لومی	۰/۸۵	۷/۷	۲/۰	۶۰	۰/۰۸	۹	۲۲۲	۲/۵	۲۹	۱/۱	۰/۸

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی کود آلی مصرفی

کربن آلی (٪)	مواد آلی (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر (٪)	پتاسیم (٪)	آهن	منگنز	روی	مس
					(mg/kg)			
۲۸/۸	۴۵	۱/۲۵	۰/۶۲	۲/۸۷	۳۶۰۰	۲۸۹	۶۵/۳	۱۹

نتایج

اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد استفاده بر شاخص کلروفیل برگ گاوزبان اروپایی

اطلاعات حاصل از جدول تجزیه واریانس صفات کیفی گاوزبان اروپایی تحت تأثیر سطوح مختلف کود زیستی و آلی (جدول ۳)، بیانگر معنی‌دار بودن اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد مطالعه و عدم معنی-داری برهمکنش این دو عامل بر کلروفیل برگ گاوزبان اروپایی بود. بر اساس اطلاعات حاصل از جدول مقایسه میانگین اثر کمپوست و کودهای زیستی بر شاخص کلروفیل برگ گاوزبان اروپایی (جدول ۴)، با افزایش سطوح کمپوست، شاخص کلروفیل برگ افزایش یافت به-طوری که بیشترین شاخص کلروفیل برگ (۳۸/۷۸ درصد) در زمان کاربرد ۱۰ تن کمپوست در هکتار در خاک حاصل شد که اختلاف معنی‌داری را با تیمارهای ۵ تن کمپوست در هکتار و شاهد نشان داد و تیمار عدم

کاربرد کمپوست (شاهد)، کمترین مقدار کلروفیل (۲۵/۹۸ درصد) را به خود اختصاص داد. در بین سطوح تغذیه‌ای بیشترین شاخص کلروفیل برگ (۳۷/۳۸ درصد) از تیمار تلفیقی کودهای زیستی حاصل شد که سبب افزایش ۳۵/۸۲، ۱۹/۲۳ و ۷/۵۳ درصدی به ترتیب نسبت به شاهد، قارچ میکوریزا و کود زیستی باکتری شد. در بین سطوح کود زیستی، هیچ کدام از تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند.

یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی در گیاهان، غلظت کلروفیل می‌باشد. به واسطه شرکت نیتروژن در ساختار کلروفیل، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین نیتروژن برگ و مقدار کلروفیل وجود دارد و احتمالاً کودهای به‌کار رفته در این تحقیق به شکل‌های مختلف با افزایش نیتروژن در دسترس گیاه، باعث افزایش کلروفیل شده‌اند. همچنین کودهای آلی (نظیر کمپوست) غنی از عناصر مغذی میکرو نظیر آهن و روی می‌باشد، این عناصر پیش ماده سنتز S- amino levulinic acid می‌باشند و این ماده نیز پیش ماده سنتز کلروفیل است. بنابراین، به نظر می‌رسد که با مصرف کمپوست، سنتز شاخص کلروفیل در گیاه افزایش می‌یابد (صالحی و همکاران ۲۰۱۶). در همین راستا آریان‌فر و سیروس‌مهر (۲۰۱۷) مشاهده نمودند با کاربرد کود آلی کمپوست شاخص کلروفیل برگ در سیاهدانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

بستامی و مجدیان (۲۰۱۶) در پژوهشی روی گیاه گشنیز گزارش کردند که مقدار کلروفیل برگ در تیمارهای تلقیح با قارچ میکوریزا نسبت به تیمار عدم تلقیح، ۱۰۰ درصد بیش‌تر بود. این محققان علت این افزایش را، جذب بیش‌تر منیزیم در گیاهان تلقیح شده دانستند، که افزایش سنتز کلروفیل را به دنبال دارد. در پژوهشی دیگر، یادگاری و همکاران (۲۰۱۷) روی گیاه دارویی ماریتیغال گزارش کردند که بیش‌ترین شاخص کلروفیل a، b و کلروفیل کل در تیمار کودی قارچ میکوریزا و کم‌ترین میزان این صفت در تیمار شاهد بدست آمد. در پژوهشی بر پیاز خوراکی بیشترین مقدار کلروفیل a، b و کل مربوط به تیمار تلفیقی باکتری‌های سودوموناس و آزوسپیریلوم با قارچ میکوریز وکمترین مقدار کلروفیل a، b و کل مربوط به تیمار شاهد بود (عزتی کنده و همکاران ۲۰۱۸). تلقیح قارچ میکوریزا و باکتری می‌تواند سبب جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن، آهن و منیزیم گردد. بنابراین با توجه به نقش کلیدی عناصری مانند نیتروژن، آهن و منیزیم در ساختمان کلروفیل، احتمالا تأمین این عناصر دلیل اصلی افزایش کلروفیل برگ در این پژوهش باشد. محققان اظهار داشتند که با افزایش فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو و غلظت نیتروژن برگ، کلروفیل برگ افزایش می‌یابد (حسین زاده و امینی دهقی ۲۰۱۵).

اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد استفاده بر درصد موسیلاژ گاوزبان اروپایی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر عامل‌های مورد بررسی بر درصد موسیلاژ برگ معنی‌دار ولی بر همکنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد مطالعه بر موسیلاژ برگ گاوزبان اروپایی بیانگر این بود که با افزایش سطوح کمپوست، درصد موسیلاژ افزایش یافت (جدول ۴). در بین سطوح کودهای زیستی، بیشترین درصد موسیلاژ نیز از تیمار کاربرد تلفیقی کودهای زیستی حاصل شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد و پس از آن کاربرد کود میکوریزا، بیشترین درصد موسیلاژ را به خود اختصاص داد که با تیمار کاربرد کود زیستی باکتریایی در یک سطح آماری قرار نگرفت و کمترین درصد این صفت نیز در زمان عدم کاربرد کود زیستی (شاهد) به‌دست آمد، که این می‌تواند بدلیل تأثیر کودهای آلی بر روی جذب عناصر غذایی و همچنین نقش این عناصر در افزایش فتوسنتز، سنتز و تجمع بیشتر هیدرات کربن کل و در نتیجه افزایش درصد موسیلاژ باشد. اثرات مفید کود آلی دامی در افزایش عرضه عناصر غذایی و در نتیجه بهبود فتوسنتز و تسهیم بهتر مواد در مخازن سبب افزایش عملکرد گیاه و در نهایت عملکرد موسیلاژ گردیده است (یاداو و همکاران ۲۰۰۲). در همین رابطه در مطالعه دیگری گزارش گردید که تیمارهای کود آلی و تلفیق کودهای آلی و شیمیایی در مقایسه با تیمار کود شیمیایی درصد موسیلاژ را در گیاه اسفرزه به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (پور یوسف و همکاران ۲۰۱۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات کیفی گاوزبان اروپایی تحت تأثیر سطوح مختلف کود زیستی و آلی

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص کلروفیل	درصد موسیلاژ
تکرار	۲	۹۴/۶۹۴**	۰/۲۵۸۰**
کمپوست	۲	۴۹۵/۶۷۰**	۹/۶۷۲۶**
کود زیستی	۳	۱۶۵/۲۶۴**	۱/۸۷۰۳**
کمپوست×کود زیستی	۶	۱/۷۹۳ ^{ns}	۰/۰۰۳۵^{ns}
خطا	۲۲	۱/۰۸۸	۰/۰۰۳۷
ضریب تغییرات(٪)	–	۳/۱۹	۲/۲۸

ns، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول۴- مقایسه میانگین اثر کمپوست و کودهای زیستی بر شاخص کلروفیل و درصد موسیلاژ برگ گاوزبان اروپایی

تیمارها	شاخص کلروفیل	موسیلاژ ٪
کمپوست		
۰	۲۵/۹۸^{c}	۱/۶۴^{c}
۵	۳۳/۴۲^{b}	۲/۷۸^{b}
۱۰	۳۸/۷۸^{a}	۳/۴۲^{a}
کود زیستی		
شاهد	۲۷/۵۲^{d}	۲/۱۰^{d}
میکوریزا	۳۱/۲۵^{b}	۲/۸۸^{b}
باکتری	۳۴/۷۶^{c}	۲/۵۱^{c}
میکوریزا*باکتری	۳۷/۳۸^{a}	۳/۰۴^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد.

اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد استفاده بر صفات کمی گاوزبان اروپایی

ارتفاع و تعداد شاخه جانبی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش حاکی از معنی‌دار بودن اثر کود آلی کمپوست و کودهای زیستی مورد مطالعه و بر همکنش این عامل‌ها، بر صفات ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی در هر بوته بود (جدول ۵). بر اساس اطلاعات حاصل از جدول مقایسه میانگین برهمکنش اثر کاربرد کمپوست و کودهای زیستی باکتریایی و قارچی بر صفات کمی گاوزبان اروپایی (جدول ۶)، بیشترین میزان ارتفاع بوته (۵۷/۶۴ سانتی-متر) و تعداد شاخه جانبی در هر بوته (۱۲/۳۳) از تیمار کاربرد ۱۰ تن کمپوست در هکتار و کاربرد تلفیقی کودهای زیستی قارچی و باکتریایی و کمترین میزان این صفت به ترتیب به میزان ۲۷/۹۵ سانتی‌متر و ۲/۳۰ نیز از تیمار عدم کاربرد کمپوست و کودهای زیستی حاصل شد. در دو سطح ۵ و ۱۰ تن کمپوست در هکتار هیچ کدام از تیمارها در یک گروه آماری قرار نگرفته و اختلاف معنی‌داری را با هم نشان دادند. در این دو سطح کمپوستی بیشترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی در هر بوته بعد از تیمار تلفیقی ریزموجودات مورد استفاده، مربوط به تیمار کاربرد جداگانه کود میکوریزا بود که اختلاف معنی‌داری را با تیمار کود زیستی باکتریایی نشان داد و در سطح عدم کاربرد کمپوست، تیمار کاربرد قارچ میکوریزا و تلفیق قارچ و باکتری در یک گروه آماری و تیمار میکوریزا و باکتری نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند ولی اختلافشان با عدم کاربرد کود زیستی معنی-دار شد. کمپوست دارای ظرفیت بالای نگهداری آب و مواد غذایی مناسب می‌باشد و از نیتروژن کافی برخوردار است این وضوع می‌تواند باعث افزایش سطح برگ‌ها و میزان کلروفیل گیاه شود. افزایش میزان سطح برگ باعث افزایش میزان جذب نور و افزایش میزان تولید

خواهد شد که باعث افزایش شاخ و برگ و همچنین اندام‌های هوایی گیاه می‌شود که در نتیجه آن ارتفاع بوته افزایش می‌یابد (میرعرب و همکاران ۲۰۱۶). در همین راستا، متقیان و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی بر روی گیاه دارویی ریحان نشان دادند که مصرف ۴۵ تن کمپوست زباله شهری در هکتار، موجب افزایش بارز ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار کود شیمیایی و شاهد گردید. یافته‌های سعیدنژاد و رضوانی‌مقدم (۲۰۱۰) بر روی زیره سبز نیز حاکی از آن است که مصرف ۱۵ تن کمپوست سبب بهبود ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید. تهامی زرندی (۲۰۱۰) در بررسی که با استفاده از کاربرد کودهای آلی و شیمیای بر روی گیاه دارویی ریحان انجام دادند، مشاهده نمودند که کود آلی سبب تولید بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته شد و بیان کردند که در شرایط یکسان محیطی، فراهم آوردن عناصر غذایی برای گیاه توسط کودهای مختلف می‌تواند باعث افزایش رشد گیاه و در نتیجه افزایش تعداد شاخه فرعی گیاه شود. با توجه به ثابت بودن دیگر شرایط احتمالاً به دلیل کمبود مواد غذایی تعداد شاخه در تیمار شاهد کاهش یافته است که خود نشان‌دهنده این حقیقت است که استفاده از کودهای آلی با تأمین عناصرغذایی مورد نیاز، باعث افزایش تعداد شاخه در بوته گیاه گاوزبان شده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس برخی صفات کمی گیاه دارویی گاوزبان اروپایی تحت تاثیر سطوح مختلف کود زیستی و آلی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	تعداد شاخه در بوته	تعداد گل در شاخه	تعداد گل در بوته	قطر ساقه	شاخص سطح برگ	وزن هزار دانه	عملکرد گل	عملکرد زیستی
تکرار	۲	۱۰۰/۵۸**	۳/۸۶۱**	۲۰/۲۵۰**	۵۴۷۲/۴۴**	۰/۲۰۱۷**	۰/۵۰۴۴**	۴۵/۷۶۹۵**	۴۳/۰۲۸**	۶۰/۷۸۲*
کمپوست	۲	۱۳۶۷/۳۹**	۱۳۵/۱۱**	۳۸۶/۳۳۳**	۱۷۴۸۹۰/۷۸**	۱۰/۴۶۳**	۶/۹۳۶۹**	۲۷۰/۵۶۴۶**	۱۸۷۳/۴۲۰*	۱۴۳۳۹/۳۲۰**
کود زیستی	۳	۱۷۳/۲۰**	۲۰/۰۷۴**	۶۰/۳۹۶**	۳۴۵۵۲/۷۱**	۲/۶۳۹۷**	۲/۷۵۲۶**	۱۷۰/۳۶۳۵**	۷۴۳/۴۶۹**	۱۵۱۸/۱۸**
کمپوست×کود زیستی	۶	۴/۹۶*	۰/۵۱۸۶^{ns}	۳/۷۰۴**	۲۹۱۳/۱۵**	۰/۰۸۱۱**	۰/۱۳۸۷*	۵/۰۰۱۶**	۱۸/۱۷۱**	۵۷۷/۸۰**
خطا	۲۲	۱/۷۹۰	۰/۳۱۵۷	۱/۱۸۹۴	۷۱/۸۳۴	۰/۰۰۰۷	۰/۰۵۱۰	۰/۷۱۸۰	۰/۸۷۶۳	۶۹/۸۳۱
ضریب تغییرات(٪)	-	۳/۰۷	۷/۷۸	۶/۲۰	۲/۱۰	۳/۱۸	۱۰/۰۴	۴/۱۲	۲/۱۸	۵/۵۰

ns، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

به نظر می‌رسد که مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست و کود زیستی (مخلوط میکوریزا و باکتری)، از طریق عرضه به موقع و بهبود جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و به دنبال آن افزایش کلروفیل برگ (جدول ۴) و شاخص سطح برگ (جدول ۶) باعث بهبود رشد رویشی و ارتفاع گیاه افزایش یافته است. نتایج تحقیق محمودزاده و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه سبب افزایش صفات رویشی (شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی و مجموع طول شاخه‌های جانبی) در گیاه دارویی نعناع فلفلی شد.

قطر ساقه

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس عامل‌های مورد بررسی بر برخی صفات کمی گیاه دارویی گاوزبان اروپایی (جدول ۵)، اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد مطالعه و بر همکنش این دو عامل بر قطر ساقه معنی‌دار گردید. با توجه به جدول مقایسه میانگین برهمکنش اثرات عامل‌های مورد بررسی بر صفات کمی گاوزبان اروپایی (جدول ۶)، بیشترین قطر ساقه گاوزبان اروپایی (۴/۱۲ سانتی‌متر)، از تیمار کاربرد ۱۰ تن کمپوست در هکتار و کاربرد تلفیقی کودهای زیستی به دست آمد و کمترین میزان این صفات نیز (۱/۱۰ سانتی‌متر) در کرت‌هایی که هیچ گونه کمپوست و کود زیستی استفاده نشده بود (شاهد) حاصل شد. قطر ساقه گاوزبان اروپایی در هر سه سطح کمپوستی اختلاف معنی‌داری را بین سطوح کود زیستی نشان داد که بعد از تیمار تلفیقی کودهای زیستی بیشترین قطر ساقه مربوط به تیمار میکوریزا و سپس تیمار باکتریایی بود

به‌نظر می‌رسد وجود ریزموجودات ناشی از کاربرد کودهای زیستی در محیط ریشه (رایزوسفر) تأثیر مثبتی

بر رشد گیاه داشته و منجر به افزایش قطر ساقه گردیده است. این امر ممکن است تولید و ترشح ترکیب‌های تحریک‌کننده و یا برخی هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد که توسط ریزموجودات در خاک تولید شده و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مرتبط باشد. این موجودات با سنتز موادی از جمله اکسین می‌توانند رشد و تکثیر سلولی را افزایش داده و به تبع آن، قطر ساقه را نیز افزایش دهند (رحیمی و همکاران ۲۰۱۳). در آزمایش اسماعیل‌پور و همکاران (۲۰۱۳) روی گیاه مرزه اثر قارچ مایکوریزا بر صفت قطر ساقه معنی‌دار بود. در این تحقیق مشاهده شد، بیش‌ترین قطر ساقه در تلقیح گیاه مرزه با قارچ ورسی فورمیس به دست آمد و کم‌ترین مقدار برای این صفات در تیمار شاهد (بدون قارچ میکوریزا) حاصل شد. نتایج تحقیقات شکرانی و همکاران (۲۰۱۲) در مورد تأثیر کود زیستی بر رشد و عملکرد گیاه همیشه بهار، نشان دادند که کود زیستی روی قطر ساقه تاثیر معنی‌داری داشت. در تحقیقی دیگر نیز استفاده از کود زیستی نیتروکسین در گیاه دارویی مریم گلی باعث افزایش قطر ساقه گردید (مهمانی و همکاران ۲۰۱۵). اطرشی و همکاران (۲۰۱۵) کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری سودوموناس فلورسنس را روی استویا (*Stevia rebaudiana* Bert.) مورد ارزیابی قرار داده و بیان نمودند که میزان شاخص‌های رشد از جمله قطر ساقه با مصرف کودهای زیستی به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. گوش و همکاران (۲۰۰۴) بیان نمودند با مصرف کودهای آلی و دامی به‌صورت کمپوست، میزان فشردگی خاک کاهش و میزان تخلخل آن افزایش می‌یابد که موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش تهویه و ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود. بدین ترتیب میزان آب قابل استفاده گیاه در خاک نیز افزایش می‌یابد. مجموعه عوامل مذکور باعث می‌شود تا رشد و گسترش ریشه و جذب عناصر غذایی افزایش یافته و رشد عمومی گیاه بهبود یابد و در نهایت قطر ساقه افزایش یابد. همسو با نتایج این پژوهش، عبدو و همکاران (۲۰۲۰) بیان نمودند با کاربرد کمپوست قطر ساقه در گیاه گلایول نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. در پژوهش شریفیان و همکاران (۲۰۱۴) در گیاه همیشه بهار مشخص گردید کمپوست موجب بهبود ساختمان خاک، حفظ و نگهداری مطلوب آب می‌شود. از این طریق می‌تواند موجب افزایش پارامترهای رویشی از جمله افزایش میزان قطر ساقه گردد.

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر عامل‌های مورد بررسی و برهمکنش آن‌ها بر شاخص سطح برگ معنی‌دار شد. با توجه به جدول مقایسه میانگین برهمکنش اثرات عامل‌های مورد بررسی (جدول ۶)، بیشترین شاخص سطح برگ گاوزبان اروپایی به میزان ۳/۶۷، از تیمار کاربرد ۱۰ تن کمپوست در هکتار و کاربرد تلفیقی کودهای زیستی به‌دست آمد و کمترین میزان این صفات (۰/۹۵) نیز در کرت‌هایی که هیچ گونه کمپوست و کود زیستی استفاده نشده بود (شاهد) حاصل شد. در سطح صفر و ۱۰ تن کمپوست در هکتار، تیمارهای کاربرد جداگانه میکوریزا و باکتری، تفاوت معنی‌داری را در افزایش شاخص سطح برگ گاوزبان اروپایی نشان ندادند. ولی در در سطح کاربرد ۵ تن در هکتار، اختلاف این دو تیمار معنی‌دار شد و تیمار تلفیقی کودهای زیستی تنها در سطح کاربرد ۵ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری را با تیمار میکوریزایی نشان نداد ولی در دو سطح دیگر اختلاف این تیمار با سایر سطوح تغذیه‌ای معنی‌دار شد. از آنجا که شاخص سطح برگ بیانگر میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی توسط پوشش گیاهی بوده و سطح زیر منحنی LAI بیانگر دوام، ماندگاری سطح برگ و نهایتاً نشان‌دهنده مدت زمان فتوسنتز برای گیاه می‌باشد (سرمدینا و کوچکی ۱۹۹۰)، احتمالاً چنین به نظر می‌رسد که افزایش سطح برگ گاوزبان در تیمارهای تلفیقی کود آلی و زیستی در مقایسه با شاهد به‌دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی باشد که در طول دوره رشد در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. افزایش سطح برگ با مصرف کودهای آلی علاوه بر افزایش تولید برگ می‌تواند به‌دلیل افزایش دوام سطح برگ و تأخیر در پیری و زرد شدن برگ‌ها نیز باشد. در یک بررسی که توسط آرانکون و همکاران (۲۰۰۴) بر روی گیاه توت فرنگی (*Fragaria ananasa*) و با استفاده

از مقادیر ۰ و ۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار در دو مکان مختلف و تحت شرایط مزرعه‌ای صورت گرفت، مشخص گردید که کاربرد مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست، به طور معنی‌داری سطح برگ را درمقایسه با گیاهان شاهد افزایش دادند. آن‌ها این برتری را، به افزایش جمعیت میکروبی خاک و تولید مواد محرک رشد، نظیر هورمون های گیاهی توسط آن‌ها که ناشی از فعالیت کرم‌های خاکی در ورمی‌کمپوست بود، نسبت دادند.

جدول ۶- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری کمپوست و کود زیستی برای صفات کمی گاوزبان اروپایی

تیمارها		ارتفاع cm	تعداد شاخه در بوته	تعداد گل در شاخه	تعداد گل در بوته	قطرساقه cm	شاخص سطح برگ	وزن هزار دانه gr	عملکرد گل g/m^2	عملکرد زیستی g/m^2
کمپوست زیستی	کود									
۰	شاهد	۲۷/۹۵^{c}	۲/۳۰^{c}	۷/۶۷^{c}	۲۴۶/۰۰c	۱/۱۰^{d}	۰/۹۵^{c}	۱۱/۹۸^{c}	۲۱/۷۷^{d}	۷۹/۶۷^{d}
	میکوریزا	۳۲/۵۷^{ab}	۴/۳۳^{a}	۱۱/۳۳^{b}	۳۰۳/۳۳^{b}	۱/۷۱^{b}	۱/۴۵^{b}	۱۵/۶۹^{b}	۳۳/۲۹^{b}	۱۰۵/۳۵^{c}
	باکتری	۳۱/۹۳^{b}	۳/۳۳^{b}	۱۲/۳۳^{b}	۳۰۳/۲۲b	۱/۴۲^{c}	۱/۳۱^{bc}	۱۴/۷۰^{b}	۲۷/۷۳^{c}	۱۲۲/۷۱^{b}
	میکوریزا* باکتری	۳۵/۴۷^{a}	۴/۶۷^{a}	۱۴/۳۳^{a}	۳۳۱/۳۳a	۲/۱۵^{a}	۱/۹۷^{a}	۲۰/۱۰^{a}	۳۶/۷۰^{a}	۱۴۳/۴۹^{a}
۵	شاهد	۳۹/۵۳^{d}	۵/۶۷^{d}	۱۶/۶۷^{c}	۳۴۶/۶۷^{d}	۲/۰۴^{d}	۱/۶۲^{c}	۱۵/۳۷^{d}	۳۲/۷۷^{d}	۱۶۴/۹۰۰^{b}
	میکوریزا	۴۸/۲۲^{b}	۸/۳۳^{b}	۱۹/۰۰^{b}	۴۴۶/۶۷^{b}	۲/۶۸^{b}	۲/۸۰^{a}	۲۳/۱۷^{b}	۴۹/۶۳^{b}	۱۶۶/۹۸^{b}
	باکتری	۴۴/۵۴^{c}	۷/۰۰^{c}	۱۷/۶۷^{bc}	۳۹۰/۰۰^{c}	۲/۳۶^{c}	۲/۲۵^{b}	۱۹/۹۸^{c}	۳۹/۴۰^{c}	۱۵۷/۶۴^{c}
	میکوریزا* باکتری	۵۱/۸۱^{a}	۹/۶۷^{a}	۲۱/۶۷^{a}	۵۲۳/۳۳^{a}	۳/۲۴^{a}	۳/۰۰^{a}	۲۵/۷۳^{a}	۵۵/۴۰^{a}	۱۷۱/۸۰^{a}
۱۰	شاهد	۴۶/۴۰^{d}	۸/۳۳^{d}	۱۹/۳۳^{c}	۴۲۳/۳۳^{d}	۲/۵۵^{d}	۲/۰۵^{c}	۱۸/۱۰^{d}	۴۰/۸۰^{d}	۱۶۵/۰۳^{b}
	میکوریزا	۵۵/۴۳^{b}	۱۱/۰۰^{b}	۲۴/۰۰^{b}	۵۸۰/۰۰^{b}	۳/۸۴^{b}	۲/۸۷^{b}	۲۷/۸۰^{b}	۵۹/۸۷^{b}	۱۸۴/۷۲^{a}
	باکتری	۵۲/۲۳^{c}	۹/۶۷^{c}	۲۰/۶۷^{c}	۵۴۳/۳۳^{c}	۳/۳۴^{c}	۳/۰۷^{b}	۲۳/۹۵^{c}	۵۲/۷۷^{c}	۱۷۲/۶۵^{b}
	میکوریزا*باکتری	۵۷/۶۴^{a}	۱۲/۳۳^{a}	۲۶/۳۳^{a}	۶۰۲/۰۰^{a}	۴/۱۲^{a}	۳/۶۷^{a}	۳۰/۴۷^{a}	۶۵/۶۰^{a}	۱۸۹/۶۱^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون Lsd در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد.

تعداد گل در هر شاخه و تعداد گل در هر بوته

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس عامل‌های مورد بررسی بر برخی صفات کمی گیاه دارویی گاوزبان اروپایی (جدول ۵)، اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد مطالعه و برهمکنش این دو عامل بر تعداد گل در هر شاخه و تعداد گل در هر بوته گاوزبان معنی‌دار گردید. بر اساس اطلاعات حاصل از جدول ۶، بیشترین تعداد گل در هر شاخه و بیشترین تعداد گل در بوته از تیمار کاربرد ۱۰ تن کمپوست در هکتار و تلفیق کودهای زیستی به دست آمد و کمترین میزان نیز از تیمار عدم کاربرد کمپوست و کود زیستی حاصل شد. در این سطح کود کمپوستی (۱۰ تن در هکتار) بعد از تیمار تلفیقی کودهای زیستی، تیمار میکوریزا بیشترین تأثیر را در افزایش تعداد گل در هر شاخه نشان داد و تیمارهای کاربرد کود زیستی باکتریایی و شاهد اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند و از نظر تعداد گل در بوته هیچ کدام از تیمارهای کود زیستی در این سطح کمپوستی در یک گروه آماری قرار نگرفته و اختلاف معنی‌داری را با هم نشان دادند. در سطح ۵ تن کمپوست در هکتار دو تیمار کاربرد جداگانه کود زیستی باکتریایی و میکوریزا در بالا بردن تعداد گل در هر شاخه اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند ولی اختلافشان با تیمار تلفیقی این دو کود زیستی معنی‌دار بود و تیمار باکتری و شاهد نیز اختلاف معنی-داری را نشان ندادند. در مورد تعداد گل در بوته در این سطح کودی نیز مثل سطح ۱۰ تن کمپوست در هکتار نیز هیچ کدام از تیمارهای کودزیستی در یک گروه آماری قرار نگرفتند. در سطح عدم کاربرد کمپوست، دو تیمار کاربرد جداگانه کودهای زیستی اختلاف معنی‌داری را در افزایش تعداد گل در هر شاخه و تعداد گل در بوته با هم نشان ندادند ولی اختلافشان با سایر سطوح کود زیستی معنی‌دار شد.

وجود ریزجانداران ناشی از کودهای زیستی از جمله میکوریزا در محیط ریشه سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی مثل نیتروژن و فسفر شده که در نتیجه باعث تأثیر بر اندام زایشی می‌گردد (رضایی‌چیانه و همکاران ۲۰۱۵). محققین گزارش کرده‌اند که قارچ میکوریزا و باکتری حل کننده فسفر به‌دلیل تولید هورمون‌های تحریک کننده رشد از قبیل اکسین و سیتوکینین و بهبود توسعه سامانه ریشه‌ای، دسترسی به منابع موجود به ویژه فسفر افزایش داده که در نتیجه به‌دلیل بهبود رشد، افزایش اجزای عملکرد گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) را به‌دنبال داشته است (زمانی و همکاران ۲۰۱۹). افزایش مصرف کودهای آلی، باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی، عرضه مداوم و پایدار عناصر غذایی ماکرو و میکرو و ذخیره رطوبت خاک می‌شود لذا مواد ذخیره‌ای بیشتری به گیاه منتقل می‌شود و در نهایت تعداد گل در هر شاخه نیز افزایش می‌یابد (بهزاد امیری و همکاران ۲۰۱۷). برای تشکیل گل نیاز به رشد رویشی مناسب و تولید اندام‌های تشکیل‌دهنده آن مانند شاخه‌های جانبی در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی می‌باشد. تأثیر کود آلی کمپوست بر هر یک از اجزای تشکیل دهنده گل می‌تواند منجر به تغییر در تعداد گل تولیدی شود. کودهای آلی از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و فراهمی جذب بیشتر عناصرغذایی سبب افزایش میزان فتوسنتز و ماده‌ی خشک گیاهی می‌شوند که این مسئله در نهایت به افزایش گلدهی گیاه می‌انجامد (موتا و مگیور ۲۰۱۳).

وزن هزار دانه

با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد مطالعه بر برخی صفات کمی گاوزبان اروپایی (جدول ۵)، اثر عامل‌های مورد بررسی و برهمکنش این عامل‌ها بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید. کاربرد کمپوست و کودهای زیستی باکتریایی و میکوریزایی نسبت به عدم کاربردشان بر وزن هزار دانه گاوزبان مؤثر گزارش شد (جدول ۶)، به طوری‌که بیشترین میزان وزن هزار دانه (۳۰/۴۷ گرم)، از تیمار کاربرد ۱۰ تن کود زیستی در هکتار و کاربرد تلفیقی کودهای زیستی باکتریایی و میکوریزایی و کمترین میزان نیز از تیمار عدم کاربرد کمپوست و کودهای زیستی حاصل شد. با مصرف کود آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست؛ خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بهبود یافته و موجب رشد بهتر گیاه شده و مواد فتوسنتزی بیشتری تولیدشده و به سمت دانه‌ها منتقل می‌شود. همچنین با توجه به فراهمی بیشتر رطوبت خاک، طول دوره پر شدن دانه افزایش یافته و در نتیجه وزن هزار دانه افزایش می‌یابد (جوانمرد و همکاران ۲۰۱۹). قارچ میکوریزا و باکتری محرک رشد می‌تواند با تشدید فعالیت فتوسنتزی و افزایش عناصر غذایی درون گیاه، تأثیر مثبتی بر وزن هزار دانه داشته باشد. در پژوهش شهبازی و همکاران (۲۰۱۹) کاربرد میکوریزا سبب افزایش ۲/۰۶ درصدی وزن هزاردانه در گیاه گاوزبان شد. طبق گزارش سجادی‌نیک و همکاران (۲۰۱۱)، تلقیح بذر با باکتری محرک رشد (ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم) افزایش معنی‌دار ۷ درصدی در وزن هزاردانه‌ی کنجد ایجاد کرده است. کود آلی می‌تواند از طریق افزایش سطح برگ، بهبود میزان فتوسنتز و تولید زیست‌توده گیاهی، وزن هزاردانه را افزایش دهد. همچنین به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی موجب گردیده که در مرحله پرشدن دانه‌ها، شیره پرورده کافی به دانه‌ها منتقل شده و سبب بهبود وزن هزاردانه گردد. کمپوست می‌تواند از طریق افزایش سطح برگ (جدول ۶) بهبود میزان فتوسنتز و تولید زیست توده گیاهی، وزن هزار دانه را ا فزایش دهد. همسو با یافته‌های این پژوهش، کاپور و همکاران (۲۰۰۴) دربررسی تأثیرقارچ میکوریزا بر رشد و نمو گیاه دارویی رازیانه، نشان دادند که همزیستی ریشه رازیانه با قارچ *Glomus macrocarpum* ، به‌طور معنی‌داری تعداد چتر و وزن دانه را بهبود بخشید.

عملکرد گل

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش حاکی از معنی‌دار بودن اثر کود آلی کمپوست و کودهای زیستی مورد مطالعه و بر همکنش این عامل‌ها، بر عملکرد گل گاوزبان اروپایی بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین

کود زیستی در هر سطح کمپوست نشان داد که در هر سه سطح از مصرف کمپوست (۰، ۵ و ۱۰ تن کمپوست در هکتار) کاربرد تلفیقی باکتری+ میکوریزا، بالاترین میزان عملکرد گل را داشت. در تیمار عدم کاربرد کمپوست، کاربرد ۵ تن کمپوست در هکتار و کاربرد ۱۰ تن کمپوست در هکتار بیشترین عملکرد گل به‌ترتیب با میانگین ۳۶/۷۰، ۵۵/۴۰ و ۶۵/۶۰ گرم بر متر مربع در شرایط کاربرد تلفیقی باکتری+ میکوریزا بود که با عملکرد گل در سایر سطوح کود زیستی تفاوت معنی‌داری را نشان داد. این در حالی است که کمترین عملکرد گل به‌ترتیب با میانگین ۲۱/۷۶، ۳۲/۷۶ و ۴۰/۷۹ گرم بر متر مربع مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) بود (جدول ۶). تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های قارچ میکوریزا باعث شده که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول درآید و برای ریشه قابل جذب گردد، در نتیجه سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و در نهایت بهبود صفات رشدی نظیر عملکرد گل می‌گردد. هم‌چنین افزایش در عملکرد گل در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا و باکتری باسیلوس می‌تواند در نتیجه افزایش تعداد گل (جدول ۶) حاصل گردد. افزایش در میزان شاخص‌های رویشی و زایشی در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا توسط محققان دیگر گزارش شده است (سونگ ۲۰۰۵). استفاده از کود آلی کمپوست بهبود ساختمان خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری آن را به همراه دارد، ضمن اینکه سبب افزایش نفوذپذیری خاک، افزایش میزان هوموس و ظرفیت بافری خاک و افزایش برخی آنزیم‌ها و درنتیجه سبب تشدید جمعیت و فعالیت میکروبی خاک می‌گردد (دعایی و همکاران، ۲۰۱۸)، در نتیجه احتمالاً مجموعه‌ای از عوامل مذکور در شرایط استفاده از این کودها منجر به افزایش عملکرد گل در گاوزبان می‌گردد. در تحقیقی بهزاد امیری و همکاران (۲۰۱۷) بر گاوزبان ایرانی مشخص نمودند با کاربرد کمپوست عملکرد گل خشک نسبت به شاهد به میزان ۱۴ درصد افزایش یافت.

عملکرد زیستی

با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد مطالعه بر برخی صفات گاوزبان اروپایی (جدول ۵)، اثر عامل‌های مورد بررسی و برهمکنش این عامل‌ها بر عملکرد زیستی گاوزبان اروپایی معنی‌دار گردید. طبق نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین برهمکنش عامل‌های مورد مطالعه (جدول ۶)، بیشترین میزان عملکرد زیستی در هر سه سطح کود آلی کمپوست از تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری حاصل گردید و کمترین میزان نیز از تیمار شاهد حاصل گردید. با توجه به اینکه شاخه، برگ و اندام‌های هوایی در گیاه تحت تأثیر فعالیت جذب ریشه، میزان انتقال آب و مواد غذایی از ریشه قرار دارد می‌توان چنین استدلال کرد که تیمار میزان مناسب از کود آلی در طول دوره رویشی به علت گستردگی بیشتر ریشه، جذب و انتقال مواد محلول و عناصر زیاد شده و باعث افزایش زیست توده اندام‌های هوایی گردیده است (امینی دهقی ۲۰۱۱). به‌نظر می‌رسد که استفاده از کودهای آلی با بهبود شرایط فیزیکی و ساختمانی خاک، حفظ و نگهداری رطوبت و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، بهبود فعالیت میکروبی خاک و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و نیز آزادسازی تدریجی عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه گاوزبان ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه باعث افزایش سطح برگ، افزایش ارتفاع، تعداد شاخه‌های جانبی، عملکرد گل و در نهایت افزایش عملکرد زیستی گردید. قارچ میکوریزا نیز مواد مغذی ماکرو از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم و مواد مغذی میکرو مانند آهن، مس، روی و منگنز را برای گیاه تأمین می‌کند و موجب افزایش زیست توده گیاه می‌شود (اسری و همکاران ۲۰۰۸). شهبازی و همکاران (۲۰۱۹) مشاهده نمودند بیشترین عملکرد زیستی گاوزبان از تیمار کاربرد تلفیقی ۶ تن کود آلی کمپوست در هکتار و قارچ میکوریزا حاصل گردید.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد کودهای آلی و زیستی مورد تحقیق، به عنوان یک

منبع تغذیه‌ای مناسب برای گیاه دارویی گاوزبان در افزایش عملکرد این گیاه مؤثر بود؛ به‌طوری‌که در اکثر صفات مورد مطالعه، به خصوص تعداد گل در شاخه، تعداد گل در بوته و عملکرد گل، کودهای آلی به صورت جداگانه یا تلفیقی با میکوریزا و باکتری نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برتری داشت. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت که استفاده از کودهای آلی و میکوریزا به جای کودهای شیمیایی می‌تواند با بهبود عملکرد کمی وکیفی گیاه دارویی گاوزبان، گامی سودمند درجهت دستیابی به تولید سالم و پایدار این گیاه دارویی ارزشمند باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از دانشگاه یاسوج به خاطر حمایت مالی و از سرکار خانم مهندس یاسمین کرمی مسئول آزمایشگاه ژنتیک دانشکده کشاورزی به خاطر آماده‌سازی تجهیزات جهت اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه، صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

Abdou MAH, Attia F, Aly MK and Sayed IH. 2004. Response of gladiolus plants to some bio and chemical fertilization treatments.Vegetative growth and flowering; Proc. The Fifth Arabian Horticulture Conference, Ismailia, Egypt, 24- 28 March, 1:50-62.

Al-Amri SM. 2021. Response of growth, essential oil composition, endogenous hormones and microbial activity of Mentha piperita to some organic and biofertilizers agents. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(9): 1-7. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.094.

Alipour A. 2023. Effects of biofertilizer and vermicompost on quantitative and qualitative yield of *Silybum marianum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 39(1): 82-94. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.358595.3165.

Amini Dehghi M. 2011. Effects of biological fertilizers and phosphorus on yield and yield components of fennel medicinal plant. Research project report. Shahed University Medicinal Plants Research Center. (In Persian with English Abstract).

Arancon N, Edwards CA. Bierman P, Welch C and Metzger JD. 2004. Influence of vermicompost on field strawberries: Part 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology, 93:145-153. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.014.

Aryafar S and Sirousmehr A. 2017. Effect of municipal solid waste compost on yield and quantity and quality characteristics of black cumin under water stress conditions. Journal of Crops Improvement, 19(1): 31-42. https://doi.org/10.22059/jci.2015.55141. (In Persian with English Abstract).

Asadi Gh, Momek A, Noorzade Nameghi M and Khoramdel S. 2012. The effect of different fertilizer treatment on qualitative characteristics of Psyllium Herb (*Plantago ovata* Forsk.). In: National congress of soil, Sustainable agriculture, 17 March, Malayer University, Iran, pp. 120-125. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.48440.

Asery GK, Jain N, Panwar J, Rao AV and Meghwal PR. 2008. Biofertilizeas improve plant growth, fruit yield, nutrition, and metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian. Tha desert, Scientica Horticulturae, 117(2): 130-135. DOI: 10.1016/j.scienta.2008.03.014.

Ashraf Soltani A, Ziyatbar SR, Ismailpour B, Abbaszadeh Dehaji P and Khavazi K. 2015. The effect of biofertilizer and organic fertilizer application on some nutrients concentration and growth characteristics of tomato. Journal of Applied Soil Research, 2(2):105-118. DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.6.4.155 .(In Persian with English Abstract).

Atrashi m, Vafadar Esfahan f and Amooaghaie R. 2015. The effect of mycorrhiza fangus and promoting growth ryzobacteria on growth rate, flowering time and the accumulation pattern of stevioside in Stevia plant (*Stevia rebaudiana* Bert.). Journal of Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research, 31(2): 220-234. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.101462. (In Persian with English Abstract).

Azatykandeh H, Bolandnazar S, Sarikhani MR. 2018. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhiza on growth, yield and quality of Onion (*Allium cepa* L.) Horand Landrace. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 28(4):41-58. DOI: 10.22034/IUVS.2021.531030.1162

Bar-Tal A, Yermiyahu U, Beraud J, Keinan M, Rosenberg R, Zohar D, Rosen V and Fine P. 2004. Nitroen, phosphorus, and potassium uptake by wheat and their distribution in soil following successive, annual compost applications. Journal of Environmental Quality, 33:1855-1865. https://doi.org/10.2134/jeq2004.1855.

Bastami, A and Majidian, M. 2016. Effects of Mycorrhiza, Phosphatic Biofertilizer on Photosynthetic Pigments and Yield in Coriander (*Coriandrum Sativum* L.), Plant Production, 38(4):49-60. https://doi.org/10.22055/ppd.2016.11841. (In Persian with English Abstract).

Behzad Amir M, Rezvani Moghaddam P, Jahan M. 2016. Comparison of organic and chemical inputs on different densities of *Achium amoenum* Fisch and Mey. in Mashhad Conditions. Journal of Horticultural Science, 30(3): 555-573.https://doi.org/10.22067/jhorts4.v30i3.49638. (In Persian with English Abstract).

Behzad Amiri M, Rezvani Moghaddam P, Jahan M. 2017. Effects of organic acids, mycorrhiza and rhizobacteria on yield and some phytochemical characteristics in low-input cropping system, Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(2):45-61. (In Persian with English Abstract).

Csizinszky AA. 2002. Reduced input production of herbs under sub-tropical conditions in Florida. Chowdhury T, Chowdhury MAH, Qingyue W, Enyoh CE, Wang W and Khan MSI. 2021. Nutrient uptake and pharmaceutical compounds of Aloe vera as influenced by integration of inorganic fertilizer and poultry manure in soil. Heliyon, 7(7): 07464. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07464.

Delate K. 2000. Heenahmahyah student from herb trial (Annual Reports). Leopold center for sustainable agriculture, Iowa State University, Ames, IA.

Doaei F, Rezvani Moghddam P, Ghorbani R and Balandari A. 2018. The effect of organic and biological fertilizers application on biomass yield and poly-phenols contents of Dwarf Chicory leaves (*Cichorium pumilum* Jacq.). Journal of Agroecology, 9(4): 910-921. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.25107. (In Persian with English Abstract).

Eghball B and Lesoing GW. 2000. Viability of weed seeds following manure windrow composition. Compost Science Utilization, 8: 46- 53. DOI:10.1080/1065657X.2000.10701749. (In Persian with English Abstract).

El Gendy SA, Hosni AM, Omer EA and Reham MS. 2001. Variation in herbage yield, essential oil yield and oil composition on Sweet Basil (*Ocimum basilicum*) grown organically in a newly reclaimed land in Egypt. Arab Universities Journal of Agricultural Science, 9: 915-933. DOI:10.21273/HORTSCI.43.3.737

Emami A. 1996. Plant decomposition Methods. Technical Journal of Water and Soil Research Institute, 1: 28-58. (In Persian with English Abstract).

Gheisari Zardak S, Movahhedi Dehnavi M, Slehi A and Gholamhosini M. 2016. Responses of field grown fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to different mycorrhiza species under varying intensities of drought stress. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 5:16-25. DOI:10.1016/j.rhisph.2018.02.001. (In Persian with English Abstract).

Ghosh PK, Ramesh P, Bandyopadhay KK, Tripathi AK, Hati KM and Misra AK. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer NPK on three cropping systems in vertisoils of semi-arid tropics. I. Crop yields and systems in performance. Bioresource Technology, 95: 77-83. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.011. .

Hamedi B, Ghasemi Pirbalouti A and Rajabzadeh F. 2022. Manures, vermicompost, and chemical fertilizer impacts on the yield and volatile compounds of the damask rose (Rosa damascena Mill.) flower petals. Industrial Crops and Products, 187(1): 115470. DOI:10.22034/SAPS.2023.57532.3077. (In Persian with English Abstract).

Hamzei j and Najari S. 2013. Evaluation of the possibility of reducing nitrogen fertilizer application using nitroxin biofertilizer in the production of *Pimpinella anisum* L. Medicinal Plant, Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 23(4): 57-70. DOI: 10.22055/agen.2024.48100.1746. (In Persian with English Abstract).

Hosseinzadeh Namin P and Amini Dehaghi M. 2015. Effect of integrated usage of biological and chemical phosphate fertilizers on growth, yield, yield components and essential oil of Fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.). Journal of Plant Research (Journal of Biology), 27(4): 592-606. DOI:10.22067/JAG.V9I1.35321 (In Persian with English Abstract).

Javanmard A, Sadeghian M A, Amani Machiani M, Abbasi A, Fotoohi K. The Effect of separate and integrated application of vermicompost, biologic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). Journal of Crop Production and Processing 2019, 9(1):1-14. DOI: 10.29252/jcpp.9.1.1. (In Persian with English Abstract).

Jenkins WR. 1964. A rapid centrifug L-technique for separating nematodes from soil. Journal of Plant Disease Reporter, 48: 692. DOI: 10.4236/ojss.2013.37037.

Kandeel AM, Naglaa SAT and Sadek A. 2002. Effect of biofertilizers on the growth, volatile oil yield and chemical composition of *Ocimum basilicum* L. Annals of Agricultural Sciences, 47: 351- 371.

Kapoor R, Giri A. and Mukerji, KG. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality of *Foeniculum vulgare* mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology, 93: 307-311. DOI:10.1016/j.biortech.2003.10.028.

Khoram-Del S, Koochaki A, Nassiri Mahalati M and Ghorbani R. 2007. Application effects of biofertilizers on the growth indices of Black Cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crop Research, 2(6): 285-294. https://doi.org/10.22067/GSC.V6I2.2435. (In Persian with English Abstract).

Khorramdel S, Khoshnoodyazdi A, Khoramdel S and Gholizadgan Ehsanabad A. 2013. Evaluations the effects of mycorrhizal symbiosis on the quantitative and qualitative yield of medicinal plant Cumin (*Cuminum cyminum* L.). In: the first regional congress on medicinal plants north of Iran. 8 May, Research Center for Agriculture and Natural Resources of Golestan, Gorgan, Iran. (In Persian with English Abstract).

Koochaki A, Gholami A, Mahdavi Damghani AA and Tabriz L. (translated Jy.valas). 2007. Biological agriculture principle (organic). Mashhad Ferdowsi University publications, 2 nd edition, 386 p. (In Persian with English Abstract).

Mahmoudzadeh M, Rassouli Sedghiani MH and Asgari Lagayer M. 2015. The Effect of rhizobacteria growth stimulator and arbuscular mycorrhizal fungi on morphological characteristics and high contaminated elements of peppermint *Mentha piperita* L. in Greenhouse Conditions. Science and Technology of Ggreenhouse Crops, 24(6): 155-167. DOR: 20.1001.1.20089082.1394.6.4.13.8. (In Persian with English Abstract).

Mehmani H, Ismailpour B, Khavazi K and Ghanbari A. 2015. Effect of biofertilizers on growth criteria, quantitative and qualitative and qualitative yield of Summer Savory (*Satureja Hortensis* L.). Scientific Journal of Agroecology, 6(5): 879-87. DOI:10.22067/JAG.V9I2.37186. (In Persian with English Abstract).

Melese W. 2016. Effect of farmyard yield manure application rate on yield and yield components of lettuce (*Lactuca sativa*) at Jimma Southwestern Ethiopia. International Journal of Research - Granthaalayah, 4(8): 75-83. DOI: 10.5281/zenodo.61158.

Mengistu T, Gebrekidan H, Kibret KW, Oldetsadik K, Shimelis B and Yadav H. 2017. The integrated use of excretabased vermicompost and inorganic NP fertilizer on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit yield, quality and soil fertility. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 6: 63–77. DOI:10.1007/s40093-017-0153-y.

Mir Arab T, Piri E, Tavassoli A and Babaeiyan M. 2016. The Effect Organic Fertilizer on Quantitative and Qualitative Characters of Basil (*Ocimum basilicum*) in Sistan Region. Journal of Crop Ecophysiology, 10(2): 327-338. (In Persian with English Abstract).

Motta SR and Maggiore T. 2013. Evaluation of nitrogen management in maize cultivation grown on soil amended with sewage sludge and urea. European Journal of Agronomy, 45: 59-67. DOI: 10.1016/j.eja.2012.10.007.

Mottaghian A, Pirdashti H, Bahmanyar MA and Mottaghian B. 2013. Response of growth characteristics and nutrients uptake of basil (*Ocimum basiilicum* L.) to concomitant use of municipal waste compost and three species of Trichoderma, Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29: 358-372. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013. 2861. (In Persian with English Abstract).

Muscolo A, Bovalo F, Gionfriddo F and Nardi F. 1999. Earthworm humic matter produces auxin- like effects on daucus carota cell growth and nitrate metabolism. Soil Biology and Biochemistry, 31: 1303-1311. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00049-8.

Naghdi badi H, Zainali Mobarakeh Z, Omidi H and Rezazade Sh. 2010. Morphological, agronomic and phytochemical changes of Borage (*Borago officinalis* L.) affected biological and chemical fertilizers.

Journal of Medicinal Plants, 11(2): 145-156. DOR:20.1001.1.2717204.2012.11.42.34.2 . (In Persian with English Abstract).

Naghibi R, Rezvani Moghadam P, Balandari A and Ghorbani Z. 2015. The effects of Organic Fertilizers and Mycorrhizae Inoculation (*Glomus mosseae* and *G. intraradices*) on quantitative and qualitative yield of Dwarf Chicory (*Cichorium pumilum* Jacq.) in different cuttings. Journal of Horticultural Science. 29(2):302-313. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.36706. (In Persian with English Abstract).

Norzad S, Ahmadian A, Moghadam M and Daneshfar A. 2014. Effect of drought stress on yield, yield components and essential oil in coriander treated with organic and inorganic fertilizers. Journal of Crop Improvement,16(2):289-302. https://doi.org/10.22059/jci.2014.53044.(In Persian with English Abstract).

Pouryousef M, Mazaheri D, Yousefi AR, Rahimi A and Tavakoli A. 2014. Evaluation of grain qualitative traits of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk.) underlimited irrigation regimes and different fertilizing treatments. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 30(3):414-424. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.7675 (In Persian with English Abstract).

Rahimi A, Mehrafarin A, Naghdi Badi H and Khalighi-Sigaroodi F. 2013. Effects of bio-stimulators and biofertilizers on morphological traits of Basil (*Ocimum basilicum* L.). Annals of Biological Research, 4(5): 146-151. https://doi.org/10.22055/ppd.2018.22330.1479. (In Persian with English Abstract).

Rahimzadeh S, Sohrabi Y, Heydari G and Pirzad A. 2011. Effect of biofertilizer application on some morphological characteristics and yield of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L). Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Technology), 25(3): 335-343. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.11378. (In Persian with English Abstract).

Rahmatzadeh S and Kazemitabar SK. 2013. Biochemical and antioxidant changes in regenerated periwinkle plantlets due to mycorrhizal colonization during acclimatization. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 5(14):1535-1540. (In Persian with English Abstract).

Ratti N, Kumar S, Verma HN and Gautam SP. 2001. Imperovement in bioavailability of tricalcium phosphate to cymbopogon martini var. motia by rhizobacteria, AMF and Azospirillum inoculation. Microbiologycal Research, 156:145-149. https://doi.org/10.1078/0944-5013-00095.

Razavi Nia SM, Aghaalikhani M and Naghdi Badi HA. 2015. Effect of vermicompost and chemical fertilizers on quantitative and qualitative properties of *Echinaceae pursuerea* Moench. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 31(2): 357-373. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015. 101486 (In Persian with English Abstract).

Rezaei-chiyane E, Jalilian J, Ebrahimian E and Seyed M. 2015. Effect of biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of ajowan at different irrigation levels. Journal of Crop Improvement**,** 17(3): 775-788. https://doi.org/10.22059/jci.2015.54385. (In Persian with English Abstract).

Rezvani M, Afshang B, Qolizadeh, A and Zaafarian F. 2011. Evaluation of mycorrhizal fungi and phosphate rock effectiveness on growht and anduptake of phosphorus Soybean (*Glycine max* (L.) Merr). Journal of Soil Management and Sustainable Production, 1(2):97-118. DOI: 10.1007/s11099-014-0067-0. (In Persian with English Abstract).

Sahin F, Cakmakci R and Kantar F. 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N2-fixing and phosphate solubilizing bacteria. Plant and Soil, 265: 123–129. DOI:10.1007/s11104-005-0334-8.

Sajjadi Nik R, Yadavi H, Baluchi H and Faraji H. 2011. Comparison of the effect of chemical (urea), organic (vermicompost) and biological (nitroxin) fertilizers on quantitative and qualitative yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.). Agricultural Science and Sustainable Production, 21(2): 87-101. DOI:10.22034/SAPS.2021.41869.2550 (In Persian with English Abstract).

Salehi A, Tasdighi H and Gholamhoseini M. 2016. Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 6(10): 886–891. https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2016.08.009.

Samsam shariat H. 2007. Extraction and production of active substances of medicinal plants and their identification and evaluation methods.Mani Isfahan publication, 258 p. (In Persian with English Abstract).

Sarmadnia GhH and Koochaki A. 1990. Crop Physiology. Mashhad Jahad Daneshgahi publication (translate), 400 p. (In Persian with English Abstract).

Sengar SS, Wade LJ, Baghel SS, Singh RK and Singh G. 2000. Effect of nutrient management on rice in rain fed low land of southeast Madhya Pradesh. Indian Journal of Agronomy, 45(2): 315-322. Ray ID: 937aa0f04db71182

Shahbazi Z, Salehi A, Movahedi Dehnavi, M and Farajee H. 2019. The effect of organic fertilizer and mycorrhizal fungus on morphological characteristics, shoot biomass and mucilage of Borage (*Borago officinalis*). Iranian Journal of Horticultural Science, 50(3):561-570. 10.22059/IJHS.2018.228799.1211. (In Persian with English Abstract).

Sharifian Z, Maghsoudi Mood AA and Mohamadi N. 2014. Effect of different ratios of municipal solid waste compost on growth parameters and yield of Marigold (*Calendula officinalis* Moench.) and Daisy (*Bellis Perennis* L.). International Journal Advanced Biological and Biomedical Research, 2(1): 43-50. (In Persian with English Abstract).

Shokrani F, Pirzad A, Zardoshti MR and Darvishzadeh R. 2012. Effect of biological nitrogen on the yield of dried flower and essential oil of *Calendula officinalis* L. under end season water deficit condition. International Research Journal of Applied and Basic Science, 3(1): 24-34. (In Persian with English Abstract).

Smaielpour B, Jalilvand P and Hadian j. 2013. The effect of drought stress and mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of Savory (*Satureja hortensis* L**)**. Journal of Agroecology, 25(2): 169-177. DOI:10.22067/JAG.V5I2.24496.

Song H. 2005. Effects of VAM on host plant in condition of drought stress and its mechanisms. Electronic Journal of Biology, 1(3): 44-48. ID: 937a9b38c9ddd368.

Tahami Zarandi SMK, Rezvani Moghadam, p and Jahan M. 2010. Comparison organic and chemical fertilizers impact on the yield and percentage of essential oil of herb Basil (*Ocimum basilicum* L.). Agroecology, 2(1): 70- 82. DOI:10.22067/JAG.V5I4.32990. (In Persian with English Abstract).

Yadav RD, Keshwa GL and Yadva SS. 2002. Effect of integrated use of FYM, urea and sulphur on growth and yield of Isabgol (*Plantago ovata*). Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences, 25: 668-67.

Yadegari H, Khammari I, Salari M, Fakheri BA, Rahimi M and Bidarnamani F. 2017. Effects of different fertilizers and their combination on some quantitative and qualitative characteristics of Milk Thistle (*Silybum marianum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 32(6):1010-1025. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109319. (In Persian with English Abstract).

Zahoor A, Ghafor A and Muhammad A. 2004. *Plantago ovata* a crop of arid and dry climates with immense herbal and pharmaceutical importance. Agriculture and Livestock, 5: 1101-15. DOI: 10.3923/ajps.2007.1229.1234.

Zamani F, Amirnia R, Rezaei-chiyaneh E, Rahimi A. 2017. Evaluation of yield and yield components of Fennel (*Foeniculum vulgare* L.) with the combined application of nitrogen, phosphorus and potassium supplier bacteria with mycorrhizal fungi in low-input cropping system. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(4):231-217. (In Persian with English Abstract).

Zamani F, Amirnia R, Rezaei-Chiyaneh E, Rahimi A. 2019. The effect of bacterial bio-fertilizers and mycorrhizal fungi on seed yield and chemical composition of essential oil from three Fennel Landrace. Journal of Agricultural Crops Production, 20(4): 831848. https://doi.org/10.22059/jci.2018.259818.2045. (In Persian with English Abstract).

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 65-82

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

Effect of Ammonium Nitrate, Mycorrhiza and Nitroxin Biofertilizer on Grain and Essential Oil Yield of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under Kashan Province

Mansoore Foroughian[1], Mojtaba Jafarzadeh Kenarsary[2], Hamid Dehghanzadeh[3*], Hossain Zeiali[4]

Received: 21 August 2023	Accepted: 08 February 2024

1-MSc. Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Naragh branch, Islamic Azad University, Naragh, Iran.
2- Asisst., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Saveh branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran.
3- Assoc., Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension, Organization (AREEO), Isfahan, Iran.
4-Assoc., Research Institute of Forest and Rangeland, Tehran, Iran.
*Corresponding Author Email:h_Dehghanzadeh@areeo.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The use of alternative methods to chemical fertilizers is of great importance in the production of medicinal plants.The present study was performed to evaluate the effect of ammonium nitrate, mycorrhiza fungi and nitroxin biofertilizer on the yield, yield components and essential oil percentage of cumin.

Materials and Methods: This study was carried out as a split factorial experiment based on randomized complete block design with three replications. The experimental treatments included three chemical ammonium nitrate fertilizer levels (0, 40 and 80 kg. ha^{-1}) as a main plot, mycorrhiza fungi (application and non-application) and nitroxin biofertilizer (application 0.5 liter per 9 kg seed and non-application) were factorially placed in sub plots. Green cumin seeds (Kashan local variety) were obtained from the Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center.

Results: The results showed that manure treatments improved the vegetative traits and increased yield, yield components, essential percentage and essential yield. In most of the traits, the combined use of ammonium nitrate and biofertilizers led to a greater improvement of the traits compared to their separate use. The combined application of 80 kg. ha-^{1} of ammonium nitrate and mycorrhiza and nitroxin biofertilizer had the highest grain yield, percentage and essential oil yield of 4.2%, 411.8 and 19.28 kg. ha^{-1}, respectively.

Conclusion: Considering that in the use of biofertilizers combined with the use of 40 kg.ha^{-1} of ammonium nitrate with the use of 80 kg.$ha^{-1}$of ammonium nitrate, no significant difference was observed in the biological yield, grain yield , percentage and yield of essential oil, it is possible to use 40 kg.$ha^{-1}$of ammonium nitrate combined with the biofertilizers, while reducing the consumption of chemical fertilizer by 50%, the grain yield, percentage and yield of essential oil do not decrease significantly.

Keywords: Biological yield, Biofertilizer, Cumin, Harvest index, Sustainable Agriculture.

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Hamid Dehghanzadeh, Email: h_Dehghanzadeh@areeo.ac.ir
http://doi.org/ 10.22034/saps.2024.58071.3098

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۸۲-۶۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تاثیر کاربرد نیترات آمونیوم، قارچ میکوریزا و نیتروکسین بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و اسانس زیره سبز(*Cuminum cyminum* L) در منطقه کاشان

منصوره فروغیان [۱]، مجتبی جعفر زاده کنارسری [۲]، حمید دهقان‌زاده جزی [۳*]، حسین زینلی [۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۳۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

۱ – دانش آموخته گروه زراعت واصلاح نباتات، واحد نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، نراق، ایران
۲- استادیار، گروه زراعت واصلاح نباتات، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران
۳ – دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.
۴- دانشیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.
*مسئول مکاتبه: Email: h_Dehghanzadeh@areeo.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: استفاده از روش‌های جایگزین مصرف کودهای شیمیایی در تولید گیاهان دارویی از اهمیت بالایی برخوردار است. پژوهش حاضر به منظور مطالعه اثرکود نیترات آمونیوم، کود زیستی نیتروکسین و قارچ میکوریزا بر صفات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و اسانس زیره سبز در اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت اسپیلیت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شرایط آب و هوایی کاشان اجرا گردید. کود شیمیایی نیترات آمونیوم در سه سطح (صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های اصلی، قارچ میکوریزا در دو سطح (تلقیح با بذر و عدم تلقیح) و کود نیتروکسین در دو سطح تلقیح (۰/۵ لیتر به ازای ۹ کیلوگرم بذر و عدم تلقیح) در کرت‌های فرعی بصورت فاکتوریل قرار گرفتند. بذور زیره سبز از توده محلی کاشان بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان تهیه گردید.

یافته‌ها: تیمارهای کودی باعث بهبود صفات رویشی، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس گردید. در اکثر صفات، استفاده توام نیترات آمونیوم و کودهای زیستی منجر به بهبود بیشتر صفات مورد مطالعهدر مقایسه با کاربرد مجزای آن‌هاگردید. مصرف همزمان ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم، میکوریزا و نیتروکسینداری بیشترین عملکرد دانه (۴۱۱/۸ کیلوگرم در هکتار)، درصد اسانس (۴/۲ درصد) و عملکرد اسانس (۱۹/۲۸ کیلوگرم در هکتار) بودند.

نتیجه‌گیری: با توجه به این که در عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس، تفاوت معنی‌داری در استفاده از کودهای زیستی توام با کاربرد۴۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم با کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم مشاهده نگردید، میتوان با کاربرد توام کود زیستی نیتروکسین، قارچ میکوریزا و۴۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم، ضمن کاهش ۵۰ درصدی مصرف نیترات آمونیوم، عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس کاهش معنی‌داری نداشته باشد.

واژه‌های کلیدی: زیره سبز، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، کشاورزی پایدار، کودهای زیستی

مقدمه

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) دومین گیاه دارویی اقتصادی و صادراتی ایران است (حقیرسعادت و همکاران ۲۰۱۱). خواص دارویی متعددی از جمله مدر، معرق، محرک اشتها، تقویت معده، خلط‌آور، ضد نفخ، ضد اسهال، درمان ترشحات زنانگی و قطع حالت قاعدگی در زنان جوان، درمان دیابت و زیادکننده شیر برای زیره سبز عنوان شده است (سعیدنژاد و رضوانی‌مقدم ۲۰۱۰). اگرچه تولید ترکیبات متابولیکی ثانویه عمدتاً توسط خصوصیات ژنتیکی گیاهان کنترل می‌شود، با این حال عوامل محیطی و مدیریتی از جمله مدیریت تغذیه‌ای گیاه در کمیت و کیفیت این مواد تاثیر قابل توجهی دارد (آقاعلیخانی و همکاران ۲۰۱۳).فراهم نمودن مقدار کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بویژه عناصر ضروری یکی از جنبه‌های بسیار مهم مدیریت زراعی بوده و می‌تواند نقش مهمی در افزایش تولید و عملکرد بالا ایفا نماید. افزایش نگرانی در مورد اثرات منفی کودهای شیمیایی بر محیط زیست و هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم سبب شده تا حد امکان کودهای آلی برای افزایش بازده محصول جایگزین آن‌هاشوند (حقیرابراهیم‌آبادی و همکاران ۲۰۱۸).در حال حاضر استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید به عنوان نهاده‌های کشاورزی مؤثر در افزایش تولید به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی در راستای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است (وو و همکاران ۲۰۰۵).

استفاده از کودهای زیستی جهت تأمین نیتروژن، موجب افزایش کمیت وکیفیت فعالیت آنزیم‌ها و پروتئین‌ها شده و مقاومت گیاه درشرایط تنش ودر نتیجه آن ویژگی‌های عملکردی و فیزیولوژیک را بهبود می‌بخشد (کریم‌زاده‌اصل و باغبانی‌آرانی ۲۰۱۹). گزارش‌هایی از تاثیر نیتروکسین بر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان دارویی وجود دارد (پیشوا و همکاران ۲۰۲۱؛ طلایی و امیری‌دهقی ۲۰۱۵؛ حمزه‌ئی و نجاری ۲۰۱۳؛ نصیری ۲۰۲۲؛ کریم‌زاده اصل و باغبانی‌آرانی ۲۰۱۹). پیشوا و همکاران (۲۰۲۱) در آزمایشی با اعمال تیمارهای کودی نیتروژن و نیتروکسین به صورت بذر مال افزایش عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز را با کاربرد تلفیقی نیتروکسین و کود نیتروژن را گزارش کردند. همچنین درزی و همکاران (۲۰۰۷) افزایش عملکرد دانه و درصد اسانس گشنیز را با کاربرد نیتروکسین گزارش کردند. تاثیرات مثبت نیتروکسین بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس همیشه بهار گزارش گردید (نصیری ۲۰۲۲). طلایی و امینی‌دهقی (۲۰۱۵) افزایش تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و عملکرد اسانس زیره سبز را با کاربرد نیتروکسین و تلفیق آن با کودهای شیمیایی را گزارش کردند.

قارچ میکوریزا از طریق افزایش بهبود رشد ریشه، تولید و ترشح هورمون‌ها (سیدشریفی و نامور ۲۰۱۶) وتولید ترکیباتی که باعث حلالیت عناصر می‌شوند، باعث بهبود رشد گیاه می‌شوند (سینگ و توتجا ۲۰۱۰). حقیرابراهیم آبادی و همکاران (۲۰۱۸)، افزایش عملکرد، اجزای عملکرد دانه، صفات مورفولوژی و درصد اسانس زیره سبز با کاربرد انواع قارچ‌های میکوریزا را گزارش کردند. افزایش عملکرد دانه، درصد روغن و درصد پروتئین دانه کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L) با کاربرد میکوریزا گزارش گردیده است (شجاعیان‌کیشی و همکاران ۲۰۱۹). همچنین افزایش عملکرد گل خشک و آنتوسیانین کل در گیاه گاو زبان (*Echiumamoenum* L) با کاربرد میکوریزا توسط امیری و همکاران (۲۰۲۰) گزارش گردید. قلی‌نژاد (۲۰۱۷) گزارش داد کاربرد قارچ میکوریزا(*lomus mosseae*و *Glomusintraradices*) نسبت به عدم مصرف قارچ، موجب افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستیکنجدشد که علت این افزایش، در ارتباط با تأثیر قارچ میکوریزا بر تثبیت فسفر، نیتروژن، ماندگاری بیشتر برگ‌ها روی گیاه، حفظ و افزایش اندازه برگ و همچنین افزایش میزان فتوسنتز از طریق افزایش بیوسنتزکلروفیل بود. در مطالعه کاربرد تلفیقی کودها بر رازیانه، مشخص گردید که کاربرد کودهای زیستی با ۳۵ درصد کود شیمیایی، موجب افزایش صفات رویشی در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی به تنهایی شد و تیمار

تلفیقی، بالاترین میزان عملکرد اسانس را نیز به همراه داشت (دادخواه ۲۰۱۲).

با توجه به لزوم انجام تحقیقات در زمینه استفاده از روش‌های جایگزین مصرف کودهای شیمیایی و نیز با توجه به جایگاه و اهمیت زیره سبز به عنوان یکی از مهمترین گیاهان دارویی کشور از نظر اقتصادی، دارویی و صادراتی، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کودهای زیستی بر عملکرد کمی و اسانس زیره سبز انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر کاربرد نیترات آمونیوم، قارچ میکوریزا و نیتروکسین بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و اسانس زیره سبز در منطقه کاشان، آزمایشی به صورت اسپیلیت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی شرکت کشت و صنعت فتح المبین کاشان اجرا گردید. کود شیمیایی نیترات آمونیوم در سه سطح (عدم کاربرد کود، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های اصلی، کود میکوریزا در دو سطح (تلقیح با بذر و عدم تلقیح) و کود نیتروکسین در دو سطح تلقیح (۰/۵ لیتر به ازای ۹ کیلوگرم بذر (طلایی و امینی-دهقی، ۱۳۹۳) و عدم تلقیح) در کرت‌های فرعی بصورت فاکتوریل قرار گرفتند. منطقه آزمایش دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی می‌باشد. ارتفاع مزرعه از سطح دریا ۱۰۰۰ متر و بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک می-باشد.خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۱ و میزان بارندگی ماهانه در جدول ۲ آورده شده است. کود بیولوژیک نیتروکسین که از شرکت زیست فنآوری آسیا تهیه شده بود حاوی مجموعه‌ای از موثرترین سوش‌های باکتری‌ها تثبیت کننده ازت از جنس ازتوباکتر، آزوسپیریلیوم و حل کننده فسفات از جنس سودوموناس بود که در هر میلی‌لیتر آن 10^8 سلول زنده و فعال باکتری وجود داشت. برای تلقیح بذر زیره سبز با نیتروکسین، ابتدا بذر مورد نظر را روی پلاستیک تمیز پهن کرده، سپس مقدار مناسب نیتروکسین را به تدریج روی بذر پاشیده و با به هم زدن آن‌ها نسبت به اختلاط نیتروکسین و بذر اقدام شد. پس از اختلاط کامل، بذرهای تلقیح شده را به مدت ۱۵ دقیقه در سایه پهن کرده تا خشک شده و آماده کشت گردید (هارمان و همکاران ۲۰۰۸). کاشت در اول دی ماه انجام شد. هر کرت شامل ۶ خط کاشت به طول ۴ متر و فاصله خطوط کشت ۰/۵ متر بود. کاشت بذور به طریقه هیرم کاری و پس از گاورو شدن زمین به‌صورت ردیفی انجام گرفت. در هر ردیف به میزان ۲۵ گرم بذر قرار داده شد که پس از سبز شدن در موقع مناسب نسبت به تنک کردن آن‌هاجهت حصول به تراکم مورد نظر (یک میلیون بوته در هکتار) اقدام گردید. کاشت به صورت متراکم و در عمق حدود یک سانتی‌متری از شیارها صورت گرفت.به منظور سهولت در کاشت بذور زیره سبز، بذرها با نسبت ۱ به ۵ با ماسه بادی مخلوط شد. بذور گیاه زیره سبز (توده محلی کاشان) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان تهیه گردید. ابتدا بذرهای مورد نیاز برای کشت در هر کرت شمارش و داخل کیسه‌های جداگانه قرار گرفت. پس از شمارش، بذرهایی که به نیتروکسین آغشته نبود، طبق نقشه طرح آزمایشی داخل شیارهای از قبل آماده شده قرار گرفت و روی آن‌ها با خاک پوشیده شد. سپس بذرهایی که به نیتروکسین آغشته شده بود، کشت نموده و روی بذرها با خاک پوشانده شد. کود میکوریزا طبق نقشه طرح آزمایشی، در هنگام کاشت در زیر بذور و در تماس با بذر قرار گرفت. تیمارهای کود نیترات‌آمونیوم در سه مرحله قبل از کاشت، بعد از استقرار گیاه و در شروع گلدهی اعمال گردید. بلافاصله پس از کشت جهت کمک به برقراری رابطه همزیستی، آبیاری انجام و تا زمان استقرار گیاه (مرحله ۳ تا ۴ برگی) همین یک مرحله آبیاری بود. سپس با عنایت به بافت شنی خاک محل آزمایش و همچنین خشک و گرم بودن منطقه، آبیاری بصورت سه هفته یکبار و مجموعا ۵ مرحله آبیاری در کل دوره رشد انجام گردید.در طول دوره رشد، مراقبت‌های زراعی بطور یکنواخت برای همه کرت‌های آزمایشی انجام گردید. کنترل علف‌های هرز با دست صورت گرفت. در مرحله برداشت که تقریبا ۱۰ خردادماه بود، ارتفاع گیاه، طول ریشه، وزن‌خشک ریشه، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، تعداد دانه در بوته، وزن هزار

دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت روی نمونه‌های برداشت شده از مساحت یک متر مربع از خطوط وسط هرکرت با رعایت حاشیه تعیین شد. برای اندازه‌گیری درصد اسانس، از روش تقطیر با آب توسط دستگاه اسانس‌گیری کلونجر انجام شد، به این صورت که ۵۰ گرم دانه‌های زیره سبز را به همراه ۵۰۰ میلی‌لیتر آب، در بالن ۲۰۰۰ میلی‌لیتری قرار داده و به مدت ۴ ساعت با این دستگاه اسانس‌گیری شد. سپس اسانس توسط سولفات سدیم رطوبت‌زدایی گردید و مقدار اسانس بدست آمد (طلایی و امینی‌دهقی ۲۰۱۵). همچنین عملکرد اسانس با استفاده از حاصلضرب درصد اسانس در عملکرد دانه محاسبه گردید. میزان کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD-502 تخمین زده شد. بدین منظور در هرکرت ابتدا اندام هوایی پنج گیاه با قیچی از محل طوقه کف‌بر و برگ‌های آن‌ها جدا و نهایتا از هر کرت تعداد ۱۰۰ برگ بصورت تصادفی انتخاب گردید. سپس ابتدا دستگاه کالیبره گردید و سپس کار قرائت از پنج نقطه از برگ انجام و بعد میانگین پنج نقطه محاسبه گردید. با توجه به کوچک و باریک بودن برگ‌های زیره سبز، برای هر بار قرائت تعداد ۱۰ برگ بر روی یک صفحه شیشه‌ای بسیار شفاف قرار داده شد و و با یک نوار شیشه‌ای روشن و شفاف برگ‌ها در کنار هم و بر روی صفحه شیشه‌ای ثابت گردید.در نهایت برای تمامی مقادیر قرائت شده دستگاهSPADمقادیر کلروفیل با استفاده از رابطه (۱) که توسط فروغی‌آرانی (۲۰۱۲) برای زیره سبز گزارش گردید به دست آمد:

$$Y = 0.7640 + 0.036\,X - 0.0057\,x^2 + 0.0002\,x^3 \quad R^2 = 0.96 \quad (1)$$

در این رابطه X عدد SPAD و Y مقدار کلروفیل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab 13- انجام گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر عامل آزمایشی، از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد برای مقایسه میانگین‌داده‌ها استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک درمحل اجرای آزمایش درعمق ۳۰-۰ سانتی‌متر

هدایت الکتریکی	pH	فسفر	پتاسیم	ماده آلی	نیتروژن کل	شن	سیلت	رس	بافت خاک
($dS.m^{-1}$)		----mg/kg----		----------(%)----------					
۲/۲۷	۷/۵	۱۸	۳۶۰	۰/۸	۰/۰۷	۸۱	۱۰	۹	لومی‌شنی

جدول ۲- میزان بارندگی (میلی‌متر) ماهانه و ماکزیمم و مینیمم دمای ماهیانه (سانتی‌گراد) سال زراعی ۹۷-۹۶ در محل آزمایش

ماه های سال	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
میزان بارندگی(میلی‌متر)	۶/۲	۷	۱/۹	۲۶/۶	۱۲/۳	۱۵/۲
میانگین ماکزیمم دما (سانتی‌گراد)	۱۱/۹	۱۲/۶	۱۸/۵	۲۶/۵	۳۴/۲	۳۹/۳
میانگین مینیمم دما (سانتی‌گراد)	۱/۴	۱/۰۸	۷/۶	۱۳/۴	۱۹/۴	۲۳/۳

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

سطوح مختلف نیترات‌آمونیوم تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه داشت (جدول۳). تیمارهای عدم مصرف کود نیترات‌آمونیوم و کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات‌آمونیوم بترتیب دارای کمترین و بیشترین ارتفاع بوته بودند (جدول ۴). کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم منجر به افزایش ۹/۲ درصدی ارتفاع بوته در مقایسه با عدم کاربرد نیترات آمونیوم گردید (جدول ۴). احمدی و بحرانی (۲۰۰۹) در آزمایشی روی کنجد،

اعلمی‌میلانی و همکاران (۲۰۱۵) بر روی لوبیا چیتی و پیشوا و همکاران (۲۰۲۱) روی زیره سبز افزایش ارتفاع بوته با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق همسو می‌باشد. در واقع افزایش کود نیتروژن سبب تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شده و در نتیجه موجب تقسیم و بلند شدن سلول‌های گیاهی و در نهایت ارتفاع گیاه می‌شود (وجید و همکاران ۲۰۰۷).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در زیره سبز با کاربرد نیترات آمونیوم، قارچ میکوریزا و نیتروکسین

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	مقدار کلروفیل برگ	طول ریشه	وزن خشک ریشه	تعداد شاخه فرعی	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۰/۶۴	۰/۴۲	۰/۴۴	۰/۰۰۴۱	۱/۷۵	۱/۱۹	۰/۵۷	۱۸۳/۵۲	۱/۵۸
نیترات آمونیوم (A)	۲	۱۰/۳۲*	۴/۴۴**	۱/۹۶**	۰/۰۳۸**	۱/۷۵**	۱۷۷/۰۲**	۱/۴۲**	۲۵۲۴۰/۷۷**	۲/۵۸*
خطای اصلی	۴	۱۲/۷۲	۰/۲۶	۰/۰۵	۰/۰۰۷	۱/۷۵	۱/۴۴	۰/۳۱	۱۶۳/۳۶	۱/۷۹
میکوریزا (B)	۱	۵/۹۶ns	۴/۲**	۱/۷۷*	۰/۰۲۸*	۰/۲۵ns	۹۰/۲۵**	۴/۵**	۳۳۰۶۶/۳۶**	۶۱/۳۶**
نیتروکسین (C)	۱	۲/۶۹ns	۰/۱۴ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۰۲ns	۰/۲۵ns	۶۱/۳۶**	۰/۱۵ns	۴۱۱۷/۳۶**	۰/۲۵ns
اثر متقابل (A×B)	۲	۲/۱۳ns	۱/۳ ns	۱/۱۳ns	۰/۰۴۷**	۰/۰۸ns	۷۱/۵۸**	۰/۵۵ns	۲۴۵۰۹/۷**	۱/۰۸ ns
اثر متقابل (A×C)	۲	۲/۹۶ns	۰/۹۱ns	۰/۱۴ns	۰/۰۰۰۸ns	۰/۲۵ns	۶/۳۶*	۰/۴۵ns	۹۲۰/۱۱**	۲۴/۶۹**
اثر متقابل (B×C)	۱	۱۸/۸۵ns	۰/۶۱ns	۰/۷۵ns	۰/۰۰۵۶ns	۱/۳۶ns	۱۰/۰۲*	۰/۰۹ns	۰/۶۹ns	۰/۶۹ns
اثر متقابل (A×B×C)	۲	۱/۹ns	۲/۵**	۰/۳۶ns	۰/۰۷۲**	۰/۰۲ns	۹/۰۲*	۰/۳۷ns	۲۸۸/۱۱ns	۱/۸۶ ns
خطای فرعی	۱۸	۲/۵۷	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۰۰۴۶	۰/۳۴	۱/۸۴	۰/۱۶	۱۵۵/۰۴	۰/۹۸
ضریب تغییرات (٪)	–	۷/۸۲	۱۳/۳۵	۸/۸۸	۱۴/۶	۱۳/۲۵	۷/۳۴	۱۱/۹۹	۶/۵	۸/۸۳

ns، * و** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد است.

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در زیره سبز با کاربرد نیترات آمونیوم، قارچ میکوریزا و نیتروکسین

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار	۲	۱۹/۵۷*	۱۱۱۶/۹۵ns	۱۶۶۵/۳۷ns	۰/۰۰۴ ns	۱/۳۵ ns
نیترات آمونیوم (A)	۲	۷۹۷/۵۷**	۱۴۶۳۳/۹۴**	۱۹۹۲۳/۱۰**	۱/۲۲**	۳۶/۲۱**
خطای اصلی	۴	۱۹/۰۳	۴۳۸۰/۵۸	۳۷۸۰/۵۵	۰/۰۰۶	۲/۲۸
میکوریزا (B)	۱	۱۵۴۱/۷۸**	۵۲۰۶۷/۶۳**	۱۰۵۶۱۴/۱۶**	۲/۲**	۲۸/۲۸**
نیتروکسین (C)	۱	۱/۵۷ns	۵۴۹۸/۲ns	۷۷۵/۶۲ns	۳/۶۱**	۶/۶۶*
اثر متقابل (A×B)	۲	۳۰/۹۸ns	۱۵۷۲/۰۷ **	۱۸۰۸ns	۱/۱۱**	۳/۶۲*
اثر متقابل (A×C)	۲	۲۴۰/۱*	۱۵۱۴/۵۶ns	۴۴۹۳/۷۷ *	۰/۸**	۳/۰۳*
اثر متقابل (B×C)	۱	۱۴/۸۶ns	۶۱۸۹۳/۱۴ ns	۱۵۷۲۹/۳**	۱۱/۲۶**	۲۱/۰۷**
اثر متقابل (A×B×C)	۲	۴۱/۸۱ns	۱۵۱۷/۱ns	۴۴۲۰/۸۸ *	۱/۲۸**	۱۷/۲۲**
خطای فرعی	۱۸	۲۸/۸۷	۲۴۸۱/۷	۹۴۸/۷	۰/۰۱۲	۰/۷۹
ضریب تغییرات (٪)	–	۹/۸۴	۶/۶	۱۰/۷۲	۳/۹۴	۱۱/۳۱

ns، * و** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد است.

طول ریشه

طول ریشه بطور بسیار معنی‌داری تحت تاثیر تیمار کاربرد نیترات آمونیوم و میکوریزا قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار و شاهد بترتیب دارای بیشترین و کمترین طول ریشه و کاربرد میکوریزا و عدم کاربرد میکوریزا هم بترتیب دارای بیشترین و کمترین طول ریشه بودند (جدول ۴). کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم موجب افزایش ۱۲/۷ درصدی طول ریشه نسبت به شاهد شد. افزایش هفت درصدی در طول ریشه با کاربرد کود میکوریزا در مقایسه با شاهد مشاهده شد (جدول ۴). با این حال بین کاربرد ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم کود نیترات آمونیوم تفاوت معنی‌داری در طول ریشه مشاهده نگردید (جدول ۴). افزایش طول ریشه با کاربرد کودهای زیستی در سنبل‌الطیب (حیدری‌رهنی و همکاران ۲۰۲۲)، گل ختمی (خرمدل و همکاران ۲۰۱۸) گزارش گردید. قارچ میکوریزا با تاثیر مثبت بر تثبیت فسفر و نیتروژن، از یک طرف با تولید بیشتر کلروفیل منجر به افزایش فتوسنتز برگ‌ها شده، از طرف دیگر با افزایش اندازه و دوام برگ-ها شده، باعث توسعه سیستم ریشه‌ای می‌شود (قلی‌نژاد ۲۰۱۷).

وزن‌خشک ریشه

تاثیر کوهای نیترات آمونیوم، میکوریزا و اثرات متقابل نیترات آمونیوم × میکوریزا و نیترات آمونیوم× میکوریزا× نیتروکسین بر وزن‌خشک ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نیترات آمونیوم× میکوریزا× نیتروکسین نشان داد که مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات‌آمونیوم همراه با مصرف همزمان میکوریزا با ۰/۶۸ گرم دارای بیشترین و تیمار عدم مصرف نیترات‌آمونیوم، عدم مصرف میکوریزا و نیتروکسین با ۰/۳۱ گرم دارای کمترین وزن خشک ریشه بودند (جدول ۵).افزایش وزن خشک ریشه با کاربرد کودهای زیستی در سنبل‌الطیب (نقدی‌بدری و همکاران ۲۰۱۳؛ حیدری‌رهنی و همکاران ۲۰۲۲)، کاسنی (راشنو و همکاران ۲۰۲۰)، ماشک گل‌خوشه‌ای (سیدشریفی و همکاران ۲۰۲۰) نیز گزارش گردیده است. کاربرد کودهای زیستی با تولید مواد تنظیم کننده رشد و تأثیر آن بر رشد ریشه از طریق افزایش وزن و انشعابات ریشه، موجب افزایش حجم ریشه می‌شود (بانرجی و همکاران ۲۰۰۶). به نظر می‌رسد کودهای زیستی با افزایش هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین، جیبرلین و کاهش اسید آبسیزیک، موجب افزایش فعالیت تقسیم سلولی و بهبود رشد شده، در نتیجه وزن و حجم ریشه افزایش می‌یابد (حسین و همکاران ۲۰۰۶).

تعداد شاخه فرعی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد سطوح مختلف کود نیترات آمونیوم بر تعداد شاخه فرعی تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتراتآمونیوم و شاهد بترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد شاخه‌های فرعی بودند (جدول ۴). کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم موجب افزایش ۱۹ درصدی تعداد شاخه‌های فرعی در مقایسه با شاهد شد (جدول ۴). با این حال بین کاربرد ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم کود نیترات آمونیوم تفاوت معنی‌داری در تعداد شاخه‌های فرعی مشاهده نگردید (جدول ۳).افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در زیره سبز (حقیرابراهیم‌آبادی و همکاران ۲۰۱۸)، انیسون (*Pimpinella anisum* L.)(حمزه‌ئی و نجاری ۲۰۱۴)، پنبه (موسوی ۲۰۲۰)، شوید (مفاخری و ضرابی ۲۰۱۹) با کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن گزارش شده است. افزایش فراهمی نیتروژن برای گیاه سبب افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در بوته زیره سبز شد (درزی و همکاران۲۰۰۷). از طرفی افزایش سطح سبز فتوسنتز کننده در نتیجه مصرف نیتروژن موجب بیشتر شدن تولید و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون-های تحریک کننده رشد به مریستم‌های انتهایی و جانبی می‌شود و در نتیجه، مجموعه این عوامل باعث افزایش تحریک مریستم انتهایی، جانبی و افزایش تولید شاخه‌های فرعی در تیمار حاوی نیترات آمونیوم‌گردید (صیدی و همکاران ۲۰۱۷).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده نیترات آمونیوم، قارچ میکوریزا و نیتروکسین بر برخی صفات مورد مطالعه

تیمار های آزمایشی[۱]	ارتفاع بوته (cm)	طول ریشه (*cm*)	تعداد شاخه فرعی	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در بوته	عملکرد بیولوژیکی ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (%)
نیترات آمونیوم							
۰ (کیلوگرم در هکتار)	۱۹/۴۸ c	۶/۳۵ b	۴/۰ b	۳/۱۹ b	۱۵۷/۷ c	۴۶۳/۷ b	۵۰/۱۴ c
۴۰ (کیلوگرم در هکتار)	۲۰/۷۵ b	۶/۷۵ ab	۴/۵ ab	۳/۲۷ b	۲۱۸/۵ b	۴۷۹/۷ b	۵۷/۷۹ b
۸۰ (کیلوگرم در هکتار)	۲۱/۲۸ a	۷/۱۶ a	۴/۷۵ a	۳/۸۲ a	۲۴۰/۷ a	۵۳۳/۰۴ a	۶۶/۴۴ a
قارچ میکوریزا							
عدم مصرف	۲۰/۳۰ b	۶/۴۳ b	۴/۳۲ ab	۳/۰۷ b	۱۶۰/۶ c	۴۵۵/۳ b	۵۱/۵۸ b
مصرف	۲۰/۷۰ b	۷/۰۸ a	۴/۵۱ ab	۳/۷۸ a	۲۴۷/۰ a	۵۳۱/۴ a	۶۴/۶۷ a
نیتروکسین							
مصرف	۲۰/۲۵ b	۶/۶۵ ab	۴/۲۲ ab	۳/۳۲a	۱۸۰/۰ c	۴۸۱/۰ a	۶۰/۸۵ a
عدم مصرف	۲۰/۷۵ b	۶/۸۵ ab	۴/۶۲ ab	۳/۵۳ a	۲۳۵/۰ a	۴۸۵/۷ a	۵۶/۹۴ b

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که دارای حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

تعداد چتر در بوته

اثر کاربرد نیتراتآمونیوم، میکوریزا و نیتروکسین و اثرات متقابل دو گانه و سه گانه تیمارهای آزمایشی بر تعداد چتر در بوته معنی‌داری بود (جدول ۳). اثر متقابل نیتراتآمونیوم × نیتروکسین × میکوریزانشان داد که مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم و کود میکوریزا با ۲۷ عدد و تیمار شاهد با ۱۱/۳ عدد به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد چتر در بوته بودند (جدول ۵). افزایش تعداد چتر در بوته زیره در گزارش طلایی و امینی‌دهقی (۲۰۱۵)، پیشوا و همکاران (۲۰۲۱)، سعیدنژاد و رضوانی‌مقدم (۲۰۱۰) و در گشنیز (بستامی و همکاران ۲۰۱۵) با کاربرد کودهای زیستی گزارش گردید. نتایج آزمایشی نشان داد که تیمار تلقیح با کود زیستی نیتروکسین و کود شیمیایی نیتروژن با تولید ۲۹/۷۳ عدد چتر در بوته زیره سبز بیشترین مقدار را در مقایسه با سایر تیمارهای کودی داشت (پیشوا و همکاران ۲۰۲۱). نتایج بدست آمده از آزمایش‌های سایر محققان نیز نشان می‌دهد که افزایش فراهمی نیتروژن برای گیاه، بهبود مواد آلی و فعالیت زیستی خاک و عرضه عناصر غذایی و همچنین تولید هورمون‌های محرک رشد توسط باکتری‌های مورد استفاده منجر به تحریک رشد گیاه و افزایش تعداد چتر در بوته در زیره سبز می‌شود (داریز و همکاران ۲۰۰۶؛گوما ۲۰۱۳). همچنین قارچ میکوریزا می‌تواندموجب افزایش سطح هورمون‌های گیاهی مانند سیتوکینین و جیبرلین شود. افزایش در میزان این هورمون‌ها بخصوص سیتوکینین می‌تواند با انتقال در یون‌های موثر در باز شدن روزنه‌ها و تنظیم سطح کلروفیل، موجب افزایش سرعت فتوسنتز و در نتیجه افزایش تعداد چتر گردد (رسولی و همکاران ۲۰۲۲).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل نیترات آمونیوم، قارچ میکوریزا و نیتروکسین بر صفات مورد مطالعه

تیمار های آزمایشی[۱]	کلروفیل برگ ($mg.g^{-1}$)	وزن خشک ریشه (g)	تعداد چتر در بوته	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	درصد اسانس (%)	عملکرد اسانس ($kg.ha^{-1}$)
$a_1b_1c_1$	۱/۹ c	۰/۳۱ c	۱۱/۳ f	۱۸۵/۷ e	۲/۱ i	۲/۲۳ e
$a_1b_1c_2$	۲/۹ bc	۰/۳۴ bc	۱۴/۶ ef	۲۹۷/۹ c	۲/۱۱ gh	۶/۲۸ d
$a_1b_2c_1$	۳/۷b	۰/۴۸ ab	۱۵/۳ ef	۳۷۴/۴ b	۲/۷ Ef	۱۰/۱ b
$a_1b_2c_2$	۳/۸ b	۰/۴۴ b	۱۶/۶ de	۳۶۱/۶ bc	۲/۸ de	۱۰/۱۲ b
$a_2b_1c_1$	۴/۱ ab	۰/۵۱ ab	۱۸/۰ D	۲۱۲/۲ de	۳/۴ bc	۷/۲۱ cd
$a_2b_1c_2$	۴/۶ ab	۰/۴۰ b	۱۴/۶ ef	۲۱۲/۹ de	۲/۴ fg	۵/۱۱ e
$a_2b_2c_1$	۴/۶ ab	۰/۳۸ b	۲۳/۳ bc	۲۶۸/۰۱cd	۱/۹ h	۵/۰۹ e
$a_2b_2c_2$	۴/۷ ab	۰/۵۴ ab	۱۹/۰ cde	۴۰۹/۳a	۴/۱a	۱۶/۷۸a
$a_3b_1c_1$	۴/۳ab	۰/۴۱ b	۲۰/۳ bcd	۲۲۴/۲ de	۳/۶ b	۸/۰۷c
$a_3b_1c_2$	۴/۲ ab	۰/۵۱ ab	۱۷/۰ de	۲۶۵/۳ cd	۳/۱ cd	۸/۲۲ c
$a_3b_2c_1$	۴/۹ a	۰/۶۸ a	۲۷/۰ a	۳۱۹/۵ bc	۲/۲ gh	۷/۰۳ cd
$a_3b_2c_2$	۴/۴ ab	۰/۵۶ ab	۲۴/۳ b	۴۱۱/۸ a	۴/۲a	۱۷/۲۹a

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که دارای حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

۱: a_1 : عدم کاربرد نیترات آمونیوم، a_2: کاربرد ۴۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم ،a3: کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیومb_1: عدم کاربرد قارچ میکوریزا، b_2: کاربرد قارچ میکوریزا، c_1: عدم کاربرد نیتروکسین، c_2: کاربرد نیتروکسین

تعداد دانه در چتر

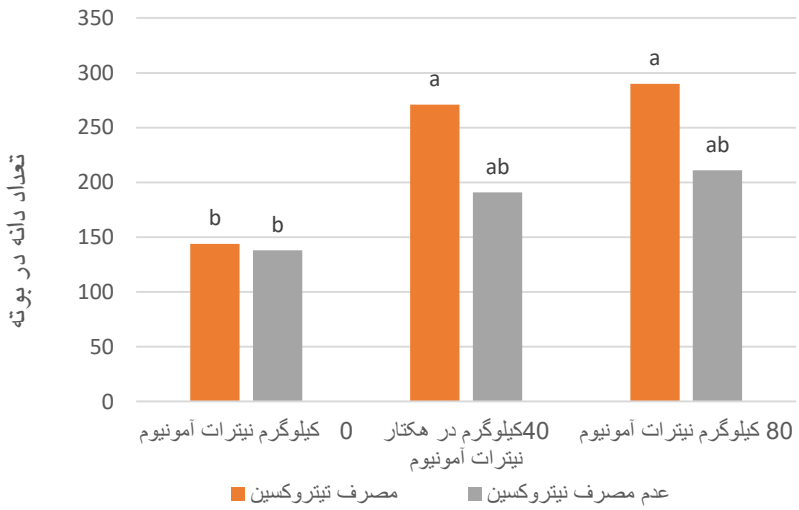
تعداد دانه در چتر به طور معنی‌داری تحت تاثیر نیترات‌آمونیوم، میکوریزا و اثر متقابل میکوریزا × نیترات آمونیوم قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا و نیترات‌آمونیوم نشان داد که مصرف همزمان ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم و میکوریزا با تعداد ۱۱/۳۳ دارای بیشترین و تیمار شاهد با تعداد ۸/۵ دارای کمترین تعداد دانه در چتر بودند (جدول ۶). با این حال بین کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم توام با میکوریزا با کاربرد توام ۴۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و میکوریزا تفاوت معنی‌داری در تعداد دانه در چتر مشاهده نگردید (جدول ۵). کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش افزایش تعداد دانه در چتر در زیره سبز (حقیرابراهیم آبادی و همکاران ۲۰۱۸ و سعیدنژاد و رضوانی‌مقدم ۲۰۱۰) و انیسون (حمزه‌ئی و نجاری ۲۰۱۴)گردید که با نتایج این بررسی مطابقت دارد. اعتقاد بر این است که نیتروژن به دلیل بالا بردن دوام سطح برگ، موجب افزایش راندمان فتوسنتزی در واحد سطح می‌شود و در نتیجه با حفظ جریان مواد غذایی به سوی گل و میوه، موجب افزایش تعداد دانه در بوته و عملکرد در گیاهان می‌شود (چی‌ما و همکاران ۲۰۰۱). همچنین گزارش شد که استفاده از کودهای زیستی در طول مرحله زایشی به خصوص مرحله گلدهی، موجب افزایش فعالیت آنزیم نیتروژناز در ریشه گیاهان شده و در نتیجه باعث افزایش جذب نیتروژن گیاه شده که این افزایش جذب منجر به افزایش تعداد گل و به دنبال آن افزایش تعداد دانه می‌شود (گشسبی و همکاران ۲۰۲۰).

جدول ۶ – مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نیترات آمونیوم و قارچ میکوریزا برای برخی صفات مورد مطالعه

تیمار های آزمایشی[۱]	تعداد دانه در چتر	تعداد دانه در بوته	عملکرد بیولوژیکی ($kg.ha^{-1}$)
a_1b_1	۸/۵ b	۱۵۲ d	۴۱۶/۷ c
a_1b_2	۱۰/۱۶ ab	۱۹۷ c	۴۹۷/۸ ab
a_2b_1	۹/۴۶ ab	۱۶۲ d	۴۶۷/۴ b
a_2b_2	۱۰/۹ ab	۲۵۰ b	۵۱۲ ab
a_3b_1	۱۰/۲ ab	۱۶۸ d	۴۸۱ ab
a_3b_2	۱۱/۳۳ a	۲۹۴ a	۵۷۴ a

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که دارای حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

۱: a_1 : عدم کاربرد نیترات آمونیوم، a_2: کاربرد ۴۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم ،a3: کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیومb_1: عدم کاربرد قارچ میکوریزا، b_2: کاربرد قارچ میکوریزا،



شکل ۱ . ترکیبات تیماری نیتروکسین و نیترات‌آمونیوم برای تعداد دانه در بوته

تعداد دانه در بوته

تعداد دانه در بوته به طور معنی‌داری تحت تاثیر کودهای نیترات‌آمونیوم، میکوریزا و نیتروکسین قرار گرفت (جدول ۳). اثرات متقابل میکوریزا × نیترات‌آمونیوم و نیترات‌آمونیوم × نیتروکسین بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نیترات‌آمونیوم و میکوریزا نشان داد که مصرف همزمان ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات‌آمونیوم و میکوریزا بیشترین و عدم مصرف نیترات‌آمونیوم و عدم مصرف میکوریز دارای کمترین تعداد دانه در بوته بودند (جدول ۶). همچنین اثر متقابل نیترات‌آمونیوم × نیتروکسین نشان داد که مصرف همزمان ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات‌آمونیوم و نیتروکسین بیشترین و عدم مصرف نیترات آمونیوم و عدم مصرف نیتروکسین دارای کمترین تعداد دانه در بوته بودند (شکل ۱). همچنین استفاده توام نیتروکسین و ۴۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم، اختلاف معنی-داری با کاربرد توام نیتروکسین و ۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در تعداد دانه در بوته نداشتند (جدول ۶). افزایش تعداد دانه در بوته با کاربرد کودهای زیستی و تلفیق آن-ها با کودهای شیمیایی توسط سایر محققان گزارش شده که با نتایج این بررسی مطابقت دارد (پیشوا و همکاران ۲۰۲۱؛ طلایی و امینی‌دهقی ۲۰۱۵). کاربرد باکتری‌های

تثبیت کننده نیتروژن و هم زیستی ایجاد شده با گیاه میزبان نشان می‌دهد که وجود این باکتری‌ها سببترشح هورمون‌های محرک رشد از قبیل اکسین و سیتوکنین می‌شوند که این هورمون‌ها علاوه بر افزایشرشد، افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، با تولید بیشتر جوانه‌های گل و همچنین به تأخیر انداختن پیری و جلوگیری از ریزش گل‌ها، منجر به افزایش تعداد دانه در بوته می‌شوند (ظهیر و همکاران ۲۰۰۴).

وزن هزار دانه

تاثیر نیترات آمونیوم و میکوریزا بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). کاربرد ۸۰، ۴۰ و صفر کیلوگرم در هکتار نیتراتآمونیوم بترتیب دارای بیشترین تا کمترین وزن هزار دانه بودند. کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیتراتآمونیوم منجر به افزایش ۱۶/۸ و ۱۹/۷ درصدی وزن هزار دانه در مقایسه با کاربرد ۴۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و شاهد شد (جدول ۴). کود نیتروژن بدلیل افزایش مقدار ماده خشک و دوام سطح برگ میتواند باعث افزایش وزن هزار دانه گردد (سرخی ۲۰۱۷). همچنین کاربرد میکوریزا منجر به افزایش ۲۳ درصدی وزن هزار دانه در مقایسه با عدم کاربرد میکوریزا گردید (جدول ۳). سعیدنژاد و مقدم (۲۰۱۰)، پیشوا و همکاران (۲۰۲۱)، حقیرابراهیم‌آبادی و همکاران (۲۰۱۸) افزایش وزن هزاردانه زیره سبز و شجاعیان‌کیشی و همکاران (۲۰۱۹) در کتان روغنی با کاربرد کودهای زیستی را گزارش کردند. به نظر می‌رسد افزایش عرضه عناصر غذایی و مواد فتوسنتزی بخصوص در مرحله پر شدن دانه باعث بهبود میزان مواد ذخیره شده در دانه و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه شده است (حقیرابراهیم‌آبادی و همکاران ۲۰۱۸).

کلروفیل برگ

تاثیر نیترات آمونیوم، میکوریزا و اثر متقابل نیترات آمونیوم × میکوریزا × نیتروکسین بر مقدارکلروفیل برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و تلقیح با میکوریزا و کاربرد نیتروکسین دارای بیشترین مقدار کلروفیل برگ و تیمار شاهد (صفر کیلوگرم نیترات آمونیوم، عدم تلقیح میکوریزا و عدم کاربرد نیتروکسین) دارای کمترین مقدار کلروفیل برگ بودند (جدول ۵). همچنین نتایج اثر متقابل نشان داد که کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم در تلفیق با نیتروکسین و میکوریزا، تفاوت معنی‌داری در مقدارمقدار کلروفیل برگ با کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم (چه به صورت تنها و چه با تلفیق با میکوریزا و نیتروکسین) ایجاد نکرد (جدول ۵). افزایش محتوای کلروفیل برگ با کاربرد کودهای بیولوژیک در لوبیا چیتی (اعلمی‌میلانی و همکاران ۲۰۱۵)، کنجد (خرمدل و همکاران ۲۰۱۳) و تره ایرانی (بلندنظر و همکاران ۲۰۱۹) گزارش گردید که با نتایج این تحقیق همسو می‌باشد.نیتروژن همراه با منیزیوم نقش اساسی در سنتز کلروفیل دارند ونیترات آمونیوم نقش مهمی در تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه داشته و به این طریق موجب افزایش بیوسنتز کلروفیل می‌شود (مفاخری و ضرابی ۲۰۱۹). اثر کودهای بیولوژیک بر افزایش محتوای کلروفیل برگ، اساساً از طریق بهبود جذب و توزیع ازت صورت می‌پذیرد، که از یک سو باعث فراهمی پیش‌سازهای مورد نیاز برای بیوسنتز کلروفیل شده و از سوی دیگر باعث افزایش پروتئین و اسید آمینه‌های مورد نیاز در بیوسنتز و فعالیت کلروپلاست می‌شود (شهاتا و همکاران ۲۰۱۸).

عملکرد دانه

عملکرد دانه بطور معنی‌داری تحت تاثیر نیترات-آمونیوم، میکوریزا و اثرات متقابل میکوریزا × نیتروکسین، نیتراتآمونیوم × نیتروکسین و نیترات-آمونیوم × میکوریزا × نیتروکسین قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد تیمار شاهد با مقادیر ۱۸۵/۷ کیلوگرم در هکتار کمترین و تیمار مصرف همزمان ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتراتآمونیوم، نیتروکسین و میکوریزا با مقادیر ۴۱۱/۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین صفت عملکرد دانه را داشتند (جدول ۵). بین کاربرد توام ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتراتآمونیوم، نیتروکسین و قارچ میکوریزا با کاربرد توام ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم، نیتروکسین و میکوریزا تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه مشاهده نگردید (جدول ۵). افزایش عملکرد دانه با کاربرد کودهای زیستی در گاو زبان ایرانی (امیری و همکاران ۲۰۲۰)، نعناع (گوپتا و همکاران ۲۰۰۲)، سیاهدانه (خرمدل و همکاران ۲۰۱۰)،

رازیانه (محفوظ و شرف‌الدین ۲۰۰۷)، کنجد (قلی‌نژاد ۲۰۱۷)، زیره سبز (طلایی و امینی‌دهقی ۲۰۱۵) گزارش گردیده است. در پـژوهشی مشاهده شد که افزایش مصرف نیتروژن اثر مثبت و معنـی‌داری روی عملکرد دانه گیاه دارویی زنیان داشت (موسوی و همکاران ۲۰۱۵). همچنین قلی‌نژاد (۲۰۱۷) گزارش کرد در کنجد کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، موجب افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی شد، که علت این افزایش را در ارتباط با تأثیر قارچ میکوریزا بر تثبیت فسفر، نیتروژن، ماندگاری بیشتر برگ‌ها روی گیاه، حفظ و افزایش اندازه برگ و همچنین افزایش میزان فتوسنتز از طریق کلروفیل بیشتر بیان شد.از طرفی نیتروکسین از جمله کودهای زیستی است که با افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات کشاورزی مؤثر بوده و حاوی ریزموجودات آزادزی هستند که توانایی تبدیل عناصر غذایی پرمصرف را از فرم غیر قابل دسترس به فرم قابل دسترس، طی فرآیندهای بیولوژیکی داشته و منجر به توسعه سیستم ریشه‌ای، جذب بیشتر عناصر و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود (راجندران و دیاراج، ۲۰۰۴). به طور کلی نیتروژن مهم‌ترین عنصر در سنتز پروتئین‌ها می‌باشد و افزایش آن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی، موجب افزایش میزان پروتئین می‌شود. با افزایش پروتئین‌ها گیاه به توسعه سطح برگ، تعداد گل‌ها، تعداد شاخه‌ها، ارتفاع و قطر تاج گیاه می‌پردازد که افزایش این صفات، افزایش مواد فتوسنتزی را به دنبال دارد. با افزایش مواد فتوسنتزی میزان گل و گلبرگ و در نهایت عملکرد دانه افزایش می‌یابد (عامری و همکاران ۲۰۰۷).

عملکرد بیولوژیکی

تاثیر نیترات‌آمونیوم، میکوریزا و اثر متقابل میکوریزا × نیترات‌آمونیوم بر عملکرد بیولوژیکی معنی-دار بود (جدول ۳). کاربرد ۸۰، ۴۰ و صفر کیلوگرم در هکتار نیترات‌آمونیوم بترتیب دارای بیشترین تا کمترین عملکرد بیولژیکی بودند (جدول ۴). افزایش عملکرد بیولوژیکی در تیمار۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در مقایسه با کاربرد ۴۰ کیلوگرم و شاهد بترتیب ۱۱/۲ و ۱۵/۰ درصد بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا × نیترات‌آمونیوم نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیکی با کاربرد توام ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات-آمونیوم و میکوریزا و کمترین عملکرد بیولوژیکی با تیمار شاهد به دست آمد (جدول۶). با این حال بین کاربرد۴۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم توام با کاربرد میکوریزا با کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم وتوام با کاربرد میکوریزا تفاوت معنی‌داری در عملکرد بیولوژیکی مشاهده نگردید (جدول ۶). در آزمایشی بالاترین عملکرد بیولوژیک گیاه دارویی زیره سبز از تیمار تلفیقی تلقیح با کود زیستی نیتروکسین و کودشیمیایی نیتروژن گزارش گردید (طلایی و امینی‌دهقی ۲۰۱۵). در تیمار تلفیقی که کاربرد کود نیتروکسین و نیترات‌آمونیوم استفاده شده بود، به دلیل اثرات مختلف این ریزموجودات در تثبیت نیتروژن و قابلیت دسترسی بهتر فسفر برای گیاه، روندی افزایشی در بهبود رشد گیاه ملاحظه شد. فراهم بودن آب و عناصر غذایی، رشد رویشی مطلوب گیاه را به دنبال داشته و شرط اساسی برای تولید ماده خشک بیشتر در واحد سطح می‌باشد (کوپتا و همکاران ۲۰۰۶).

شاخص برداشت

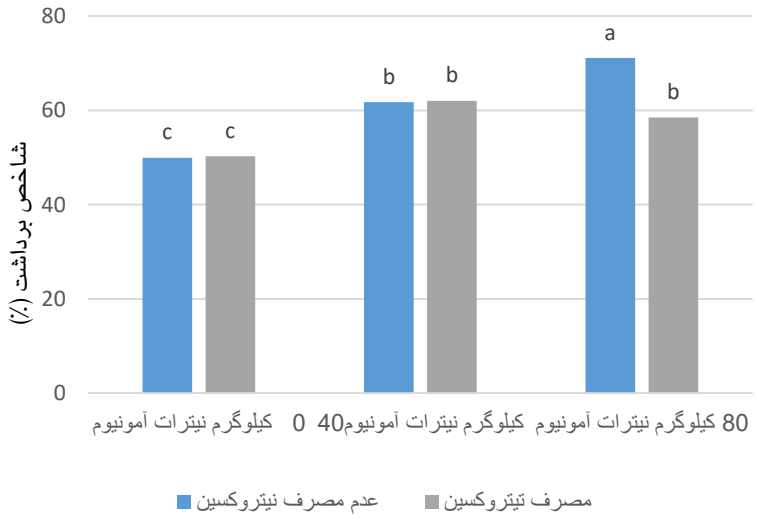
شاخص برداشت به طور معنی‌داری تحت تاثیر تاثیر نیترات‌آمونیوم و اثر متقابل نیتروکسین × نیترات-آمونیوم قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کاربرد میکوریزا باعث افزایش ۲۵/۳ درصدی شاخص برداشت در مقایسه با عدم کاربرد میکوریزا گردید (جدول ۴). با کاربرد نیترات‌آمونیوم از شاهد به ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار، شاخص برداشت افزایش معنی‌داری داشت به طوری که افزایش شاخص برداشت با کاربرد۴۰ و ۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار نسبت به شاهد بترتیب ۱۵/۲ و ۳۲/۵ درصد بود (جدول ۴). اثر متقابل نیتروکسین × نیترات آمونیوم نشان داد کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم و عدم مصرف نیتروکسین دارای بیشترین و عدم مصرف نیترات آمونیوم و عدم مصرف نیتروکسین دارای کمترین شاخص برداشت بودند (شکل ۲). مطلبی‌زاده و حسن‌زاده قورتپه (۲۰۱۵) در گیاه کتان روغنی و تشکری‌فرد و همکاران (۲۰۱۹)در رازیانه، افزایش شاخص برداشت با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. طلایی و امینی‌دهقی

(۲۰۱۵) علت افزایش شاخص برداشت در تیمار تلفیقی را به جذب بهتر عناصر غذایی تعمیم داده‌اند، زیرا گیاه با جذب بهتر عناصر غذایی و افزایش شاخص سطح برگ می‌تواند از تشعشع خورشیدی بهتراستفاده نماید و مواد فتوسنتزی بیشتری را به دانه ارسال نماید و در نتیجه نسبت دانه به ماده خشک کل را افزایش دهد.

درصد اسانس

تاثیر نیترات‌آمونیوم، میکوریزا، نیتروکسین و اثرات متقابل نیترات‌آمونیوم × میکوریزا، نیترات‌آمونیوم × نیتروکسین، میکوریزا × نیتروکسین و نیترات‌آمونیوم × میکوریزا × نیتروکسین بر درصد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نیترات‌آمونیوم × میکوریزا × نیتروکسین نشان داد مصرف همزمان ۸۰ کیلوگرم نیترات‌آمونیوم در هکتار، میکوریزا و نیتروکسین با مقادیر ۴/۲ درصد دارای بیشترین و تیمار عدم مصرف نیترات‌آمونیوم، عدم مصرف میکوریزا و نیتروکسین با مقادیر ۱/۲ درصد دارای کمترین درصد اسانس بودند(جدول ۵). با این حال بین کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیترات‌آمونیوم توام با کاربرد میکوریزا با کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات‌آمونیوم و کاربرد میکوریزا تفاوت معنی‌داری در درصد اسانس مشاهده نگردید (جدول ۵). در مورد افزایش درصد اسانس با کاربرد کود شیمیایی می‌توان بیان داشت که اسانس‌ها ترکیبات ترپنوئیدی هستند که واحدهای سازنده آن‌ها مانند ایزوپنتنیل پیروفسفات نیاز مبرم به NADPH و ATP دارند و حضور عناصری مانند نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد (سخاوی و همکاران ۲۰۱۷). افزایش درصد اسانس با کاربرد کودهای زیستی در زیره سبز (حقیرابراهیم‌آبادی و همکاران ۲۰۱۸؛غلامی‌گنجه و صالحی ۲۰۱۵؛ کریم‌زاده اصل و باغبانی‌آرانی ۲۰۱۹)، رزماری (لیتی و همکاران ۲۰۰۶)،

رازیانه (محفوظ و شرف‌الدین ۲۰۰۷) گزارش شده است. کلونی‌سازی ریشه تحت تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا بهبود یافته و در نتیجه خصوصیات رشدی، عملکرد ماده خشک و محتوی اسانس گیاه افزایش می‌یابد (گوپتا و همکاران ۲۰۰۲).



شکل ۲- ترکیبات تیماری نیتروکسین و نیترات‌آمونیوم برای شاخص برداشت

عملکرد اسانس

عملکرد اسانس به طور معنی‌داری تحت تاثیر نیترات-آمونیوم، میکوریزا، نیتروکسین و اثرات متقابل نیترات آمونیوم × میکوریزا، نیترات‌آمونیوم × نیتروکسین، میکوریزا × نیتروکسین و نیترات‌آمونیوم × میکوریزا × نیتروکسین قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر

متقابل نیترات‌آمونیوم × میکوریزا × نیتروکسین نشان داد کاربرد توام ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات‌آمونیوم و میکوریزا و نیتروکسین دارای بیشترین عملکرد اسانس و عدم کاربرد نیترات‌آمونیوم، میکوریزا و نیتروکسین دارای کمترین عملکرد اسانس بودند (جدول ۵). بین کاربرد ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات‌آمونیوم توام با کاربرد میکوریزا تفاوت معنی‌داری در عملکرد اسانس مشاهده نگردید (جدول ۵). افزایش عملکرد اسانس با کاربرد کودهای زیستی در زیره سبز در تحقیقات وثوقی‌تبار و همکاران (۲۰۱۸)، سعیدنژاد و رضوانی‌مقدم (۲۰۱۰)، حقیرابراهیم‌آبادی و همکاران (۲۰۱۸)، غلامی-گنجه و صالحی (۲۰۱۵)گزارش گردید. قارچ میکوریزا از طریق افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک و بخصوص از منابع غیر قابل دسترس آن‌ها، آزادسازی آهن خاک از طریق تولید سیدروفور،تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سایتوکنین، جیبرلین و کاهش سطح اتیلن از طریق تولید آنزیم-ACCدآمیناز، باعث افزایش وزن ریشه، افزایش رشد طولی و انشعابات فرعی، تولید ریشه‌های نازک‌تر و افزایش تولید تارهای کشنده و در نتیجه افزایش سطح ریشه و جذب آب و عناصر بیشتر شده، موجب بهبود رشد و عملکرد اسانس می شود (سرچشمه‌پور و همکاران ۲۰۱۴).از طرفی بررسی‌های انجام شده نشان داده که اسانس‌ها ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها نیاز ضروری به عناصری مانند نیتروژن و فسفر دارد. از این رو به نظر می‌رسد نیتروکسین با تأثیر بر بهبود کیفیت خاک و فراهمی بیشتر عناصر غذایی در خاک و میکوریزا با استفاده از گسترش ریشه گیاه به قسمت‌های پایین‌تر خاک و تماس بیشتر آن با خاک و بهبود جذب عناصرغذایی نیتروژن و فسفر باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس در گیاه دارویی زیره سبز می‌شود (غلامی‌گنجه و صالحی ۲۰۱۵).

نتیجه‌گیری

کاربرد کود نیترات‌آمونیوم، نیتروکسین و قارچ میکوریزا باعث بهبود صفات رویشی و افزایش عملکرد واجزای عملکرد دانه و درصد و عملکرد اسانس زیره سبز گردید. در اکثر صفات، استفاده توام کود شیمیایی نیترات آمونیوم و کودهای زیستی منجر به افزایش بیشتر عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس گردید. مصرف همزمان ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم، میکوریزا و نیتروکسین دارای بیشترین عملکرد دانه (۴۱۱/۸ کیلوگرم در هکتار)، درصد اسانس (۴/۲ درصد) و عملکرد اسانس (۱۹/۲۸ کیلوگرم در هکتار) بودند. در صفات عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس، تفاوت معنی‌داری در استفاده از کودهای زیستی توام با کاربرد ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم (چه بصورت مجزا و چه استفاده توام با کودهای زیستی) مشاهده نگردید. بنابراین میتوان با کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیترات‌آمونیوم توام با کاربرد کودهای نیتروکسین و قارچ میکویزا، ضمن کاهش ۵۰ درصدی مصرف کود شیمیایی نیترات-آمونیوم، عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس کاهش معنی‌داری نداشته باشد.

سپاسگزاری: از شرکت کشت و صنعت فتح المبین کاشان به خاطر همکاری در اجرای این تحقیق سپاسگزاری می‌نماییم.

منابع مورد استفاده

AghaAlikhani M, Iranpour A and Naghdi Badi H. 2013. Changes in agronomical and phytochemical yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) under urea and three biofertilizers application. Journal of Medicinal Plants, 12 (46) :121-136. Doi: 20.1001.1.2717204.2013.12.46.12.5 (In Persian with English Abstract).

Ahmadi M and Bahrani M. 2009. Effect of nitrogen fertilizer on yield and yield components of three sesame cultivars in Bushehr Province. Journal of Water and Soil Science, 13(48):123-131. Doi: 20.1001.1.24763594.1388.13.48.34.4 (In Persian with English Abstract).

Alami Milani M, Amini R and Bandehagh A. 2015. Effect of bio-fertilizers and combination with chemical fertilizers on grain yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 24(4.1):15-29. (In Persian with English Abstract).

Ameri AA, Nasiri Mahalati M and Rezvani Moghaddam P. 2007. Effects of different nitrogen levels and plant density on flower, essential oils and extract production and nitrogen use efficiency of Marigold (*Calendula officinalis*). Iranian Journal of Field Crops Research, 5(2): 315-326. doi: 10.22067/gsc.v5i2.1153. (In Persian with English Abstract).

Amiri M, Rezvani Moghaddam P, Jahan M, Naseri Abkooh N and Salehabadi M. 2020. Effect of planting date and method on some phytochemical characteristics and yield of Iranian ox-tongue (*Echium amoenum*) affected by bio and chemical fertilizers. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(2): 1-19. Doi: 20.1001.1.24764310.1399.30.2.1.4. (In Persian with English Abstract).

Banerjee M, Yesmin RL and Vessey JL. 2006. Plant-growth- promoting rhizobacteriaas biofertilizers and biopesticides, In: Handbook of microbial biofertilizers. Ed.,Rai, M., K., Food Production Press, U.S.A

Bastami A, Majidian M, Mohsenabadi G and Bakhshi D. 2015. Effects of fertilizer treatments on yield quantity and quality of coriander.Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture), 17(1): 93-108. Doi: 20.1001.1.83372008.1394.17.1.8.0(In Persian with English Abstract).

Bolandnazar S, Karimi K and Sarikhani M. 2019. Effect of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on physiological traits of tareh irani (*Allium ampeloprasum* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(1): 121-136. (In Persian with English Abstract).

Cheema MA, Malik MA, Hussain A, Shah SH and Basra AM. 2001. Effects of time and rate ofnitrogen and phosphorous application on the growth and the seed and oil yields of canola (*Brassica nupus* L.).Journal of Agronomy and Crop Sciences, 186(2): 103-110.DOI: 10.1046/j.1439-037X.2001.00463.x

Dadkhah AR. 2012. Effect of chemicals and bio-fertilizers on yield, growth parameters and essential oil contents of fennel (*Foeniculum vulgare* Miller.). Journal of Medicinal Plants and By-Products, 2: 101-105.Doi:10.22092/JMPB.2012.108473

Darzi MT, Ghalavand A, Rejali Fand Sefidkon F. 2007. Effects of biofertilizers application on yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 22(4): 276-292. (In Persian with English Abstract).

Foroughi Arani, A. 2012. Effect of chemical and biofertilizers on yield and yield components and biochemical traits of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Mscthesis, Islamic Azad University, Naragh Branch.

Gholami Ganjeh S and Salehi A. 2015. Effects of different levels of vermicompost and biofertilizerson essential oil content and uptake of some elements in cumin(*Cuminum cyminum* L.). IranianJournal of Medicinal and Aromatic Plants, 31 (5): 822-830.https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.103618. (In Persian with English Abstract).

Gholinezhad E. 2017. Effect of two species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces in different levels of drought stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 15(1): 150-167. Doi: 10.22067/GSC.V15I1.49403 (In Persian with English Abstract).

Gomaa EF. 2013 Effect of nitrogen, phosphorus and bio fertilizers on quinoa plant. The Journal of Applied Sciences Research, 9(8): 5210-5222. https://www.aensiweb.com/old/jasr/jasr/2013/5210-5222.pdf

Goshasbi F, haydari M, Sabbagh SKand Makarian H. 2020. Effect of irrigation interval, bio and non--biofertilizers on yield components and some of biochemical compounds in Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Horticultural Plants Nutrition, 3(1): 51-68. Doi: 10.22070/hpn.2020.5084.1070. (In Persian with English Abstract).

Gupta ML, Prasad A, Ram M and Kumar S. 2002. Effect of the vescular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of

different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Bioresource Technology, 81: 77-79**.** DOI: 10.1016/s0960-8524(01)00109-2

Haghir Ebrahimabadi A, Hatami M, Karimzadeh Asl K and Ghorbanpour M. 2018. Effect of mycorrhizal fungi and biophosphor fertilizer on growth features, yield and yield components, and essentialoil constituents in *Cuminum cyminum* L. Journal of Medical Plants. 17 (66) :74-90. Doi: 20.1001.1.2717204.2018.17.66.3.1 (In Persian with English Abstract).

Haghirsadat BBF, Vahidi A, Sabor MH, Azim zade M, Kalantar SM and Sharafdini M. 2011. Evaluation of active components and antioxidant properties of essential oil of cumin *(Cuminum cyminum* L.) native Yazd province. Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, 19 (4): 472-481.URL: http://jssu.ssu.ac.ir/article-1-1634-en.htm(In Persian with English Abstract).

Hamzei J and Sadeghi Meabadi F. 2013. Effects of mycorrhizal symbiosis on physiological indices and yield of grain sorghum under different irrigation intervals. Journal of Crops Improvement, 15(4): 151-163. Doi: 10.22059/jci.2013.51373. (In Persian with English Abstract).

Harman GE, Björkman T, Ondik K and Shoresh M. 2008. Changing paradigms on the mode of action and uses of *Trichoderma* spp. for biocontrol. Outlooks on Pest Management, 19: 24-9.DOI**:** https://doi.org/10.1564/19feb08

Heydari-Rahni M, Nasri M, Filizadeh Y and Kasraie P. 2022. Effect of chemical and biofertilizers on quantitative and qualitative characteristics of valerian (*Valeriana Officinalis*L.). Journal of Crops Improvement, 24(3): 947-959. Doi: 10.22059/jci.2021.326558.2577. (In Persian with English Abstract).

Hussein M, EL-Gereadly HM and EL-Desuki M. 2006. Role of putrescine in resistance tosalinity of pea plants (*Pisum sativum* L.). Journal of Applied Science Research, 2(9): 598-604.

Karimzadeh- Asl K and Baghbani Arani A. 2019. Effect of different irrigation regimes and bio-fertilizers on grain yield, essential oil content, some physiologic traits and uptake of nutrient status in cumin (*Cuminum cyminum* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences, 12(3): 817-830. Doi: 10.22077/escs.2019.1565.1352. (In Persian with English Abstract).

Khorramdel S, Koocheki A, Nassiri Mahallati M and Ghorbani R. 2010. Effects of biofertilizers on yield and yield components of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Field Crops Research, 8(5): 758-766. Doi: 20.1001.1.20081472.1389.8.5.3.6 .(In Persian with English Abstract).

Khorramdel S, Rezvani Moghaddam P, Aminghafori A and Shabahang J. 2013. Effects of biofertilizers and different water volume per irrigation on vegetative characteristics and seed yield of sesame (*Sesamum indicum*L.). Journal of Agroecology, 5(2): 93-104. doi: 10.22067/jag.v5i2.24461. (In Persian with English Abstract).

Khorramdel S, Rezvani Moghaddam P, Azizi H, Shabahang J and Seyedi M. 2018. Evaluation of the integrated effect of organic, chemical and biological fertilizers on yield of marshmallow (*Althea officinalis* L.) as a medicinal plant.Journal of Agroecology, 10(3): 603-619. Doi: 10.22067/JAG.V10I3.28104. (In Persian with English Abstract).

Leithy S, El-meseiry TA and Abdallah EF. 2006. Effect of biofertilizers, cell stabilizer and irrigation regime on rosemary herbage oil yield and quality. Journal of Applied Sciences Research, 2(10): 773-779.

Mafakheri S and Zarrabi MM. 2019. Investigation the possibility of partial replacing urea fertilizer with bio-fertilizers in the production of Dill (*Anethum graveolens* L.). Horticultural Plants Nutrition, 2(1): 116-128. Doi: 10.22070/hpn.2019.4503.1025. (In Persian with English Abstract).

Mahfouz SA and Sharaf-Eldin MA. 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). International Agrophysics, 21(4): 361-366.DOI:10.1055/s-2007-987419

Moosavi S. 2020. Effect of humic acid and mycorrhiza application on morphological traits and yield of cotton under drought stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(1): 121-139. (In Persian with English Abstract).

Mosavi SG, Seghatoleslami MJ, Jouyban Z, Ansarinia S, and Moosavi SA. 2015. Response morphological traits and yield of ajowan (*Carum copticum*) to water deficit stress and nitrogen fertilizer. Biological Forum– An International Journal, 7(1): 293-299.

Motalebizadeh B and Hassanzade Ghorttapeh A. 2015. Effect of biofertilizers application on the quantitative and qualitative characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.) lines**.** Journal of Crop Production and Processing Research in Field Crops, 5(16): 291-302. URL: http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-2381-en.html(In Persian with English Abstract).

Naghdi Badi H, Lotfizad M, Qavami N, Mehrafarin A and Khavazi K. 2013. Response of quantity and quality yield of valerian (*Valeriana officinalis* L.) to application of phosphorous bio/chemical fertilizers. The Journal of Medicinal Plants, 12(46): 25-37. Doi: 20.1001.1.2717204.2013.12.46.3.6. (In Persian with English Abstract).

Nasiri Y. 2022. Evaluation of organic and biofertilizer inputs application on yield, yield components and essential oil content of marigold (*Calendula officinalis*L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32(2): 97-113. doi: 10.22034/saps.2021.45515.2669. (In Persian with English Abstract).

Pishva ZK, Amini-Dehaghi M, Bostani A and Naji A. 2021. The effect of nitrogen fertilizer treatments on yield traits, essence percentage, and shoot nitrogen content of cumin under different irrigation regimes in the southern region of Tehran. Journal of Crops Improvement, 23(3):619-607. Doi: 10.22059/jci.2021.299840.2368. (In Persian with English Abstract).

Rajendran K and Devaraj P. 2004. Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with biofertilizers in farmland. Biomass and Bioenergy, 26 (3): 235-249.https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.07.001.

Rashnoo A, Movahedi Z, Rostami Mand Ghabooli M. 2020. *Piriformospora indica* culture filtrate and biofertilizer (Nitrokara) promote chicory (*Cichorium intybus* L.) growth and morphophysiological traits in an aeroponic system and soil culture. International Journal of Horticultural Science and Technology, *7*(4): 353-363.https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.292414.324 (In Persian with English Abstract).

Rasouli M, Sobhani Y and Movahedi Z. 2022. Improving morphological and physiological parameters of liliy (*Lilium Longiflorum*) by phosphours and mycorrhizal fungi. Horticultural Plants Nutrition, 4(2):73-84. Doi: 10.22070/hpn.2021.4479.1023. (In Persian with English Abstract).

Saeed Nejad AH and Rezvani Moghadam P. 2010. Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on morphological properties, yield, yield components and essence percentage of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Horticultural Science, 24 (1): 38-44.Doi: 10.22067/jhorts4.v1389i1.3643. (In Persian with English Abstract).

Sakhavi S, Amini R, Shakiba M and Dabbagh Mohammadi_Nasab A. 2017. Effect of bio- and chemical fertilizers on grain and essential oil yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba*L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(2): 49-63. (In Persian with English Abstract).

Sarcheshmeh Poor M, Savaghebi GR, Siadat H and Alikhani HA. 2014 The effect of plant growth rhizobacteria on improvement of growth and nutrition of pistachio seedlings under drought stress. Iranian Journal of Soil Research, 27(1): 107-119.Doi: 10.22092/ijsr.2015.103511. (In Persian)

Saydi Z, Fateh E and Ayneband A. 2017. Effect of different sources of nitrogen and organic fertilizers on yield and yield components of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.). Journal of Agroecology, 9(1): 115-128. Doi: 10.22067/jag.v9i1.49334. (In Persian with English Abstract).

Seyed Sharifi R and Namvar A. 2016. Biofertilizers in agronomy. University of Mohaghegh Ardabili press, 282 p. (In Persian with English Abstract).

Seyed sharif, R, Seyed Sharifi R andNarimani H. 2020. Effect of biofertilizers and putrescine on biomass, nodulation and some morphological and biochemical traits of *Vicia villosa*under rainfed

condition. Journal of Crops Improvement, 22(4): 513-529. Doi: 10.22059/jci.2020.294125.2316. (In Persian)

Shehata M, Khalil M, Arisha H and Mohsen A. 2018. Effect of mineral nitrogen, biofertilizers and culture media on tomato transplants production.Zagazig Journal of Agricultural Research, 45(1): 23-43. Doi: 10.21608/zjar.2018.49800

Shojaeian Kishi F, Yadavi A, Salehi A and Movahhedi Dehnavi M. 2019. Assessment of agronomical traits and photosynthesis pigments of linseed (*Linum usitatissimum* L. cv. Norman) under irrigation cut-off condition and application of mycorrhiza fungi and phosphate biofertilizer in Yasouj. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(4): 65-81. (In Persian with English Abstract).

Singh Gill S and Tuteja N. 2010. Polyamines and abiotic stress tolerance in plant. Plant Signaling and Behavior, *5*(1): 26-33.DOI: 10.4161/psb.5.1.10291

Sorkhi, F. 2017. Reaction of corn single cross 640 to chemical, biological and integrated source of nitrogen. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(2):169-181. (In Persian with English Abstract).

Talaei G and Amini Dehaghi M. 2015. Effects of bio and chemical fertilizers on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 30(6): 932-942. Doi: 10.22092/ijmapr.2015.11928. (In Persian with English Abstract).

Tashakorifard E, Mohsenabadi G, Ehteshami S and Asadi-Sanam S. 2019. Effects of integrated soil fertility management on the quantitative and qualitative yield of fodder, seed and fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) essential oil. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 35(5): 774-788. Doi: 10.22092/ijmapr.2019.124424.2450. (In Persian with English Abstract).

Vosoughi Tabar H, Hosseini Tafreshi S and Dehghanzadeh H. 2018. Effect of azetobacter on growth indices, yield and essence content of two cumin (*Cuminum cyminum* L.) landraces under salinity conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 34(2): 261-271. Doi: 10.22092/ijmapr.2018.120473.2244. (In Persian with English Abstract).

Wajid A, Ghaffar A, Maqsood M, Hussain K and Nasim W. 2007. Yield response of maize hybrids to varying nitrogen rates. Pakistan Journal of Agricultural Science, 44(2): 217-220.

Wu SC, Cao ZH, Li ZG, Cheung KC and Wong MH. 2005. Effects of biofertilizers containing N-fixer, P and K solubilizer and AM fungi on maize growth: a greenhouse trail. Geoderma, 125: 155-166.https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003.

Zahir ZA, Arshad M and Frankenberger WT. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy, 81(1): 98-169.DOI:10.1016/S0065-2113(03)81003-9

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 83-96

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

Effect of Foliar Application of Seaweed Extract on Growth, Yield and Quality of Forage Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Mohammad Reza Bahiraei[1], Javad Hamzei[2*], Mohammad Ali Abotalebian[2]

Received: 11 December 2022	Accepted: 16 March 2024

1- MSc. Student, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2- Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
*Corresponding Author Email: j.hamzei@basu.ac.ir

Abstract

Backgraound and Objective: Seaweed extracts serve as natural bio-stimulants, enhancing plant growth and productivity due to their rich composition of nutrients and bioactive compounds. Optimizing growth, yield, and quality in forage sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) is crucial for improving livestock nutrition and sustainable fodder production. However, studies on foliar application of seaweed extract in sorghum, particularly in the speedfeed cultivar, remain limited. This study aimed to assess the effects of different concentrations of seaweed extract on sorghum growth indices, yield, and fodder quality to identify the optimal application rate for maximizing performance and resource efficiency.

Matherials and Methods: This experiment was conducted in a randomized complete blocks design with five treatments and three replications. Treatments included foliar application of water (control) and 0.5, 1, 1.5 and 2 L/ha of seaweed extract. Leaf area index, crop growth rate, net assimilation rate, fresh and dry fodder yield and fodder quality (digestibility, protein percentage, crude fiber percentage, and carbohydrate) were measured and evaluated.

Results: The effect of seaweed extract foliar application on leaf area index, crop growth rate, net absorption rate and quantitative and qualitative yield of sorghum was significant. There was no significant difference between the concentrations of 1.5 and 2 L/ha of seaweed extract in most of the investigated traits. So that the highest amount of growth indices, total dry yield, protein percentage and the lowest amount of crude fiber were obtained from the application of 1.5 L/ha of seaweed extract. The lowest amount of these characteristics and the highest amount of crude fiber were obtained from the control treatment.

Conclusion: Overall, the application of seaweed extract improved the growth of sorghum fodder. The optimal treatment (1.5 L/ha of seaweed extract) boosted the leaf area index, crop growth rate, and total yield of sorghum by 32%, 26.71%, and 20.56% respectively compared to the control treatment, making it the most effective option.

Keywords: Ash, Digestibility, Fiber, Organic Manure, Protein, Soluble Sugars

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Javad Hamzei, Email: j.hamzei@basu.ac
http://doi.org/ 10.22034/SAPS.2023.54399.2958

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۹۶-۸۳

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر رشد، عملکرد و کیفیت سورگوم علوفه ای (*Sorghum bicolor* L. Moench)

محمد رضا بحیرایی۱، جواد حمزه‌ئی۲*، محمدعلی ابوطالبیان۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
* مسئول مکاتبه: Email: j.hamzei@basu.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: عصاره‌های جلبک دریایی به‌عنوان محرک‌های زیستی طبیعی، رشد و عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشند. بهینه‌سازی رشد، عملکرد و کیفیت سورگوم علوفه‌ای (Sorghum bicolor L. Moench) نقش مهمی در تغذیه دام و تولید پایدار علوفه دارد. با این حال، مطالعات محدودی اثر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی را بر سورگوم، به‌ویژه در رقم اسپیدفید، بررسی کرده‌اند. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی بر شاخص‌های رشد، عملکرد و کیفیت علوفه سورگوم انجام شد تا بهترین میزان مصرف برای بهبود عملکرد و بهره‌وری منابع شناسایی شود.

مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار (محلول پاشی با آب (شاهد) و غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی) و سه تکرار اجرا شد. شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، عملکرد علوفه‌تر و خشک و صفات کیفی (قابلیت هضم علوفه، پروتئین، فیبر خام، کربوهیدرات، فیبر محلول در شوینده اسیدی و خنثی) اندازه گیری و ارزیابی شدند.

یافته‌ها: اثر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی بر شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و عملکرد کمی و کیفی سورگوم معنی‌داری شد. در اکثر صفات مورد بررسی بین غلظت‌های ۱/۵ و ۲ لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی اختلاف معنی‌داری دیده نشد. به‌طوری که بیشترین میزان شاخص‌های رشد، عملکرد خشک کل، درصد پروتیین و کمترین میزان فیبر خام از کاربرد ۱/۵ لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی حاصل شد. کمترین میزان این ویژگی‌ها و بیشترین میزان فیبر خام نیز از تیمار شاهد به‌دست آمد.

نتیجه گیری: به‌طور کلی کاربرد عصاره جلبک دریایی، رشد سورگوم را افزایش داد. به‌طوری که تیمار برتر (۱/۵ لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی) در مقایسه با تیمار شاهد، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و عملکرد کل سورکوم را به‌ترتیب ۳۲، ۲۶/۷۱ و ۲۰/۵۶ درصد افزایش داد و آن را به موثرترین گزینه تبدیل کرد.

واژه‌های کلیدی: قابلیت هضم، پروتئین، فیبر، قندهای محلول، خاکستر، کود آلی

مقدمه

تأمین مواد خوراکی برای دام‌ها و تولید فرآورده‌های دامی مانند شیر و گوشت، اهمیت زیادی در تأمین غذای انسان دارد. به‌طوری که، کمیت و کیفیت گیاهان علوفه‌ای در تغذیه و پرورش دام و سایر فراورده‌های آن بسیار مفید و موثر است (هایس و همکاران ۲۰۱۳). سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای است که با توجه به نقش آن در تأمین علوفه کشور، اهمیت بسزایی در صنعت دام دارد (مومنی و همکاران ۲۰۱۷). سورگوم گیاهی روز کوتاه، یکساله و متعلق به تیره غلات است که از قرن‌ها پیش، به منظور تأمین علوفه برای دام کشت می‌شده است. این گیاه از لحاظ پتانسیل تولید دانه، علوفه و ماده خشک مقام پنجم را در دنیا داراست (هاریس و ناوینسکا ۲۰۲۳). سورگوم پتانسیل پاسخ‌دهی به چالش‌های مختلف مربوط به امنیت غذایی و تغییرات آب و هوایی را دارد. علاوه بر این توانایی انطباق این گیاه با شرایط مختلف زراعی و محیطی، آن را برای مناطقی با دسترسی محدود به آب و نیز شرایط شوری مناسب کرده است (بهرا و همکاران ۲۰۲۲). این گیاه تحمل به خشکی را از طریق مکانیسم‌های مختلف مورفولوژیکی، آناتومیک و فیزیولوژیکی نشان می‌دهد و این پدیده آن را به یک محصول انعطاف پذیر در مناطق خشک و نیمه خشک تبدیل کرده است. در واقع، سورگوم جهت تولید مواد غذایی و انرژی زیستی پایدار در شرایط متغیر آب و هوایی یک محصول امیدبخش به شمار می‌رود (تاکاناشی و همکاران ۲۰۲۳).

از طرفی، بهبود حاصلخیزی پایدار خاک و عملکرد کیفی گیاهان علوفه‌ای برای حمایت از تولید دام و تأمین تقاضای فزاینده برای خوراک دام با کیفیت بالا بسیار مهم است (سندال و همکاران ۲۰۲۳). به‌طور کلی، تحقیق و نوآوری در مدیریت حاصلخیزی خاک و بهبود کیفیت محصولات علوفه‌ای برای حمایت از کشاورزی پایدار و اطمینان از بهره‌وری بلند مدت سیستم‌های دامی ضروری است. به عبارتی، ضروری است که با تغییر در شیوه مدیریت کشت و با استفاده از کودهای آلی با منشأ طبیعی، ضمن افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود عملکرد گیاهان زراعی، پایداری تولید و سلامت محیط زیست را نیز در دراز مدت بهبود بخشید. یکی از کودهای طبیعی و اکولوژیک در عرصه کشاورزی که نقش مهمی در تغذیه گیاهان مختلف دارد، عصاره جلبک‌های دریایی است (خوشرویی و همکاران ۲۰۱۲). جلبک‌های دریایی در گذشته به عنوان کودهای آلی به شکل کمپوست استفاده می‌شدند، اما امروزه در کشورهای پیشرفته، از تکنولوژی‌های جدیدی برای تولید و بهره‌برداری از جلبک‌ها و عصاره این موجودات به‌عنوان محرک‌ها و هورمون‌های رشد استفاده می‌شود. در واقع وجود برخی از ترکیبات مغذی و محرک رشد در جلبک‌ها باعث شده است تا از عصاره این گیاهان برای تولید کودهایی استفاده شود که باعث افزایش میزان رشد و عملکرد گیاهان زراعی و باغی می‌گردد (حسین و همکاران ۲۰۲۱). مطالعات فراوان اثبات کرده است که کاربرد این فرآورده طبیعی به صورت محلول‌پاشی در گیاهان مختلف باعث افزایش جذب و فراهمی عناصرغذایی، افزایش جوانه‌زنی بذور، تحریک رشد ریشه و بهبود جذب آب، افزایش محتوای کلروفیل و انتقال مواد فتوسنتزی، کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی، افزایش مواد آلی خاک و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک شده و از این طریق، بهبود رشد و افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان مختلف را در پی دارد (ال-بخاری و همکاران ۲۰۲۰). محلول‌پاشی نوعی کاربرد مواد غذایی است که در نقطه اعمال شده (برگ) جذب و به نقطه مصرف (معمولاً بافت‌های در حال رشد) انتقال داده شود. محلول‌پاشی یا تغذیه برگی روشی برای مصرف تکمیلی مقادیر مختلف عناصر غذایی، هورمون‌های گیاهی، محرک‌ها و سایر مواد مفید می‌باشد. فوایدی که از محلول‌پاشی گزارش شده است شامل افزایش عملکرد، مقاومت به بیماری‌ها و آفات، بهبود تحمل به خشکی و افزایش کیفیت محصول گیاهان زراعی می‌باشد. واکنش گیاه به گونه، شکل کود مصرفی، غلظت، دفعات محلول-پاشی‌ها و مرحله رشدی گیاه بستگی دارد. عصاره محلول‌پاشی جلبک‌های دریایی به دلیل دارا بودن انواع مواد معدنی، عناصر غذایی، اسیدهای آمینه و هورمون-های طبیعی نقش به سزایی در رشد و عملکرد گیاهان خواهد داشت. نتایج تحقیقی نشان داد که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در کنار استفاده از سایر ترکیبات آلی مغذی، باعث افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه و عملکرد علوفه سورگوم علوفه‌ای شد (باکار و همکاران ۲۰۲۱). در پژوهش دیگری گزارش شد که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی به‌طور معنی‌داری عملکرد علوفه خشک سورگوم را افزایش می‌دهد (یونس الغزال و

همکاران ۲۰۲۱). محققین در بررسی اثر مصرف کودهای آلی بر عملکرد و کیفیت محصول سورگوم گزارش کردند که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی از طریق تأمین همزمان عناصر غذایی ماکرو در کنار مواد محرک رشد از جمله سیتوکنین و اکسین باعث افزایش درصد قند محلول، افزایش ماده خشک قابل هضم و همچنین کاهش درصد لیگنین و فیبر خام نسبت به تیمار شاهد می‌شود (کریمی و امیرنیا ۲۰۱۸). در مطالعه دیگری که روی گیاه یونجه انجام شد نتایج نشان داد که کاربرد جلبک دریایی با غلظت‌های مختلف ضمن افزایش عملکرد علوفه خشک یونجه همدانی، سبب افزایش میزان قندهای محلول و درصد پروتئین خام می‌شود که این دو فاکتور نقش مهمی در افزایش کیفیت علوفه دارند (فرنیا و احیایی ۲۰۱۵). بنابراین با محلول پاشی عصاره جلبک دریایی به عنوان یک کود طبیعی و اکولوژیک، می‌توان ضمن تأمین بخشی از نیاز گیاه به عناصر غذایی و تأمین اسیدهای آمینه، هورمون‌ها و ویتامین‌ها برای گیاه، عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی را نیز افزایش داد.

به‌طور کلی، هدف از اجرای این آزمایش، تعیین غلظت مناسبی از عصاره جلبک دریایی جهت محلول پاشی بر روی گیاه علوفه‌ای سورگوم (رقم اسپیدفید) بر اساس میزان بهبود شاخص‌های رشدی، عملکرد کمی و پارامترهای مرتبط با کیفیت علوفه در منطقه همدان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینای همدان انجام شد. آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر در هکتار و محلول پاشی با آب (شاهد) تیمارهای آزمایشی بودند. عملیات تهیه زمین شامل شخم و دو دیسک عمود بر هم بود و بعد از تسطیح زمین، عملیات کرت‌بندی انجام شد. قبل از انجام آزمایش، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت با فواصل ۵۰ سانتی‌متر و طول شش متر بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف ۴ سانتی‌متر و تراکم کاشت ۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها دو متر فاصله در نظر گرفته شد. پیش از کاشت، بر اساس نتایج آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل مصرف شد و کود اوره (حاوی ۴۵ درصد نیتروژن) نیز به میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و طی سه مرحله در زمان کشت، ۴ تا ۶ برگی و ۸ تا ۱۰ برگی بوته‌ها مصرف گردید. بعد از آماده‌سازی زمین، کشت بذرها در دهم خرداد ۱۳۹۹ انجام شد. آبیاری به صورت بارانی صورت گرفت. بذر سورگوم علوفه‌ای مورد استفاده در این تحقیق رقم اسپیدفید بود که از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در زمان ۶ تا ۸ برگی بوته‌ها و در هر دو چین انجام گرفت. برای اعمال تیمارهای محلول‌پاشی، مقادیر ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر عصاره جلبک دریایی در ۴۰۰ لیتر آب به عنوان مبنا برای یک هکتار در نظر گرفته شد. سپس محلول مورد نیاز بر اساس مساحت کرت‌های آزمایشی و با غلظت مربوط به هر تیمار تهیه و با استفاده از سمپاش پشتی، روی ردیف‌های کشت محلول پاشی شد. در تیمار شاهد نیز محلول پاشی فقط با آب صورت گرفت. عصاره جلبک دریایی مورد استفاده در این آزمایش، مارینا واردات شرکت سوپرمکس بود. مارینا عصاره غلیظ جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم (*Ascophyllum nodosum*) است که حاوی ۶۳/۵ درصد عصاره جلبک دریایی، ریزمغذی‌ها، ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدانت‌ها، پلی‌فنول‌ها و آمینواسیدها می‌باشد. دیگر اطلاعات مربوط به مارینا در جدول ۱ ارائه شده است. جهت محاسبه شاخص‌های رشد، نمونه‌برداری از بوته‌های هر کرت به فاصله دو هفته‌ای در هر چین انجام شد تا شاخص‌های رشد از جمله شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص اندازه‌گیری شود. در هر نمونه‌برداری سه بوته از هر کرت برداشت شد. ابتدا سطح برگ نمونه‌ها (شاخص سطح برگ)[1] به روش وزنی محاسبه شد. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، بوته‌ها برای مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها تعیین شد. پس از تعیین وزن خشک بوته‌ها، سرعت جذب خالص[2] و

[1] - Leaf area index

[2] - Net assimilation rate

سرعت رشد محصول[1] با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند (هوزاین و همکاران ۲۰۰۷). در این معادلات، T زمان بر حسب روز، W وزن خشک بوته بر حسب گرم و LA سطح برگ بر حسب سانتی‌متر مربع است. مقادیر شاخص‌های رشد محاسبه شده در زمان شروع گلدهی، مورد آنالیز و مقایسه میانگین قرار گرفتند.

$$NAR= ((W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)) \times ((\ln LA_2 - \ln LA_1)/(LA_2 - LA_1))$$ (رابطه ۱) سرعت جذب خالص

$$CGR= NAR \times LAI$$ (رابطه ۲) سرعت رشد محصول

در هر چین برای تعیین عملکرد علوفه‌تر و عملکرد علوفه خشک، سه متر مربع از هر کرت (با رعایت اثرات حاشیه) برداشت شد. همچنین از نمونه‌های برداشت شده جهت تعیین صفات کیفی شامل درصد ماده خشک قابل هضم (DMD)[2]، درصد قندهای محلول در آب (WSC)[3]، درصد پروتئین خام (CP)[4]، عملکرد پروتئین (PY)[5]، درصد خاکستر (ASH)[6]، درصد فیبر خام (CF)[7]، درصد فیبرهای غیرمحلول در شوینده اسیدی (ADF)[8] و درصد الیاف محلول در شوینده خنثی (NDF)[9] استفاده گردید. صفات کیفی با استفاده از دستگاه طیف سنج مادون قرمز نزدیک (مدل ۸۶۲۰ شرکت پرتن سوئد) در آزمایشگاه موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش و برخی ویژگی های عصاره جلبک دریایی مارینا

	رس	سیلت	شن	بافت خاک	فسفر	پتاسیم	نیتروژن کل(٪)	pH	EC (dS/m)	کربن آلی (٪)
خاک	٪۳۰	٪۴۵	٪۲۵	لوم رسی	۸/۳ (ppm)	۲۸۰/۰ (ppm)	۰/۱۴	۷/۵	۴/۴۲	۰/۷۴
مارینا	--	--	--	--	۰/۲۵ درصد	۹/۵ درصد	۲/۵۴	--	--	۱۶/۵

نتایج و بحث

شاخص‌های رشد

نتایج تجزیه واریانس داده‌های پژوهش حاضر نشان داد که شاخص‌های رشدی سورگوم در هر دو چین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی قرار گرفتند (جدول ۲). به طوری که، با افزایش میزان مصرف عصاره جلبک دریایی از صفر به ۲ لیتر در هکتار، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص سورگوم، افزایش یافت ولی بین غلظت‌های ۱/۵ و ۲ لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی، از نظر این ویژگی‌ها (به استثنای سرعت رشد محصول در چین اول) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل‌های ۱ تا ۳). کمترین مقدار شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص سورگوم در هر دو چین از تیمار عدم مصرف عصاره جلبک دریایی به‌دست آمد. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی به میزان دو لیتر در هکتار نسبت به عدم مصرف آن در چین اول و دوم، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص سورگوم را به ترتیب ۳۶/۶۷ و ۳۲/۹۵ درصد، ۳۷/۳۲ و ۳۲/۱۳ درصد و ۴۶/۳۵ و ۴۱/۶۴ درصد افزایش داد (شکل‌های ۱ تا ۳). در بررسی واکنش شاخص‌های رشد یونجه به محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی گزارش شده است که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی، شاخص سطح برگ یونجه را افزایش داد.

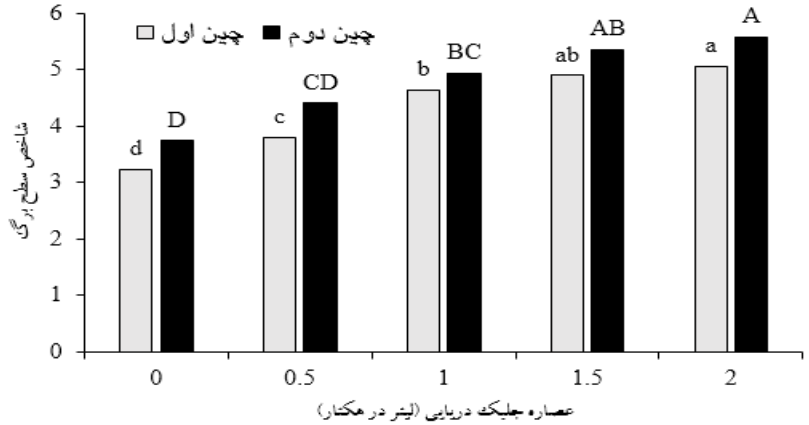
[1] - Crop growth rate
[2]- Dry matter digestibility
[3]- Water soluble carbohydrates
[4]- Crude Protein
[5]- Protein yield
[6]- Total ASH
[7]- Crude fiber
[8]- Acid detergent fiber
[9]- Neutral detergent fiber

به‌طوری که حتی زمانی که بوته‌های یونجه تحت تأثیر تنش شوری بودند، محلول‌پاشی این ماده محرک رشد، شاخص سطح برگ یونجه را افزایش داد (ژای ۲۰۱۳). محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی فسفر، نیتروژن و پتاسیم از خاک، سرعت رشد ذرت را افزایش داد (پال و همکاران ۲۰۱۵).

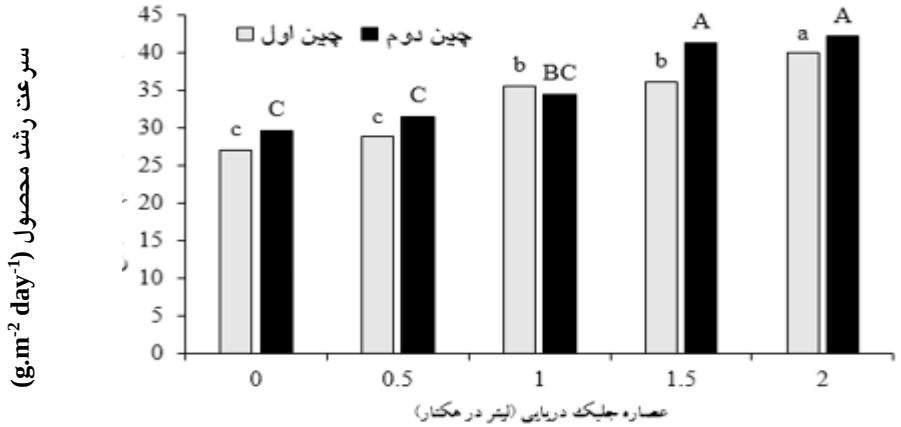
جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های رشدی سورگوم تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		شاخص سطح برگ		سرعت رشد محصول		سرعت جذب خالص	
		چین اول	چین دوم	چین اول	چین دوم	چین اول	چین دوم
بلوک	۲	۱/۴۱ *	۴/۰۹ **	۱۰۸/۳۸ *	۱۶۶/۹۳ **	۴/۰۹*	۵/۴۵*
تیمار	۴	۲/۱۹**	۱/۹۱*	۱۷۰/۱۰**	۱۳۸/۲۱**	۶/۷۸**	۴/۸۶ *
خطا	۸	۰/۳۱	۰/۴۷	۲۴/۲۵	۱۹/۱۷	۰/۹۱	۱/۲۱
ضریب تغییرات (%)		۱۲/۸۶	۱۴/۲۳	۱۵/۱۷	۱۲/۲۳	۱۳/۰۲	۱۳/۱۱

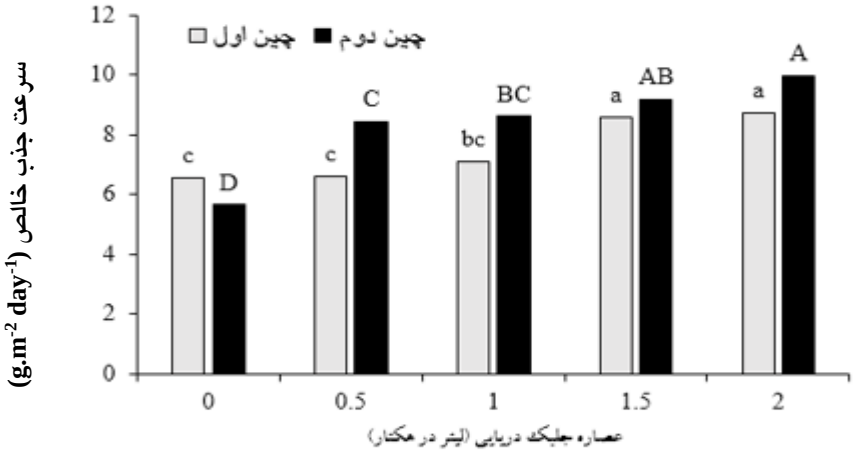
* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.



شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ سورگوم در زمان شروع گلدهی تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در چین اول و دوم



شکل ۲- مقایسه میانگین سرعت رشد محصول سورگوم در زمان شروع گلدهی تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در چین اول و دوم



شکل ۳- مقایسه میانگین سرعت جذب خالص سورگوم در زمان شروع گلدهی تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در چین اول و دوم

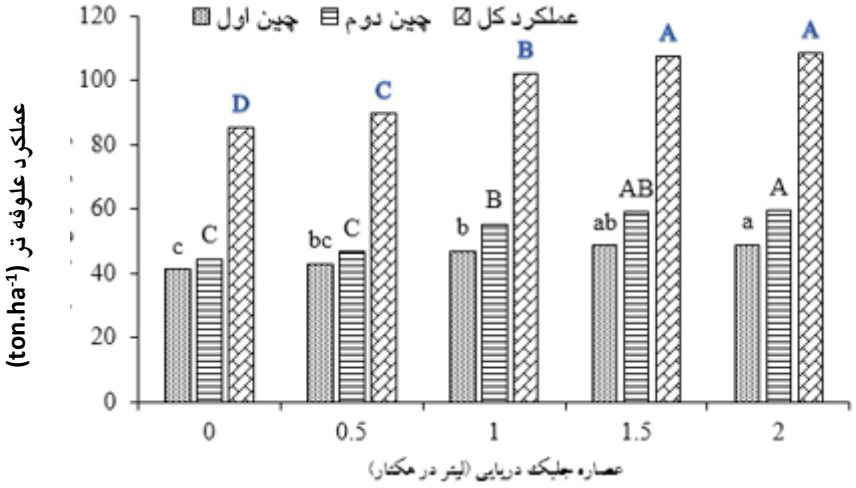
عملکرد علوفه تر و خشک سورگوم

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد علوفه تر سورگوم در چین اول و دوم و مجموع دو چین (عملکرد کل) به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی قرار گرفتند (جدول ۳). به طوری که با افزایش غلظت عصاره جلبک دریایی، عملکرد علوفه تر سورگوم افزایش معنی‌داری داشت. بیشترین عملکرد علوفه تر سورگوم، از غلظت دو لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی به‌دست آمد که با غلظت یک و نیم لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی اختلاف معنی‌داری نداشت. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت دو لیتر در هکتار نسبت به عدم مصرف آن، عملکرد علوفه تر سورگوم را در چین اول و دوم و مجموع دو چین به ترتیب ۱۵/۹۰، ۲۵/۵۹ و ۲۱/۲۱ درصد افزایش داد (شکل ۴). عملکرد علوفه تر یونجه نیز تحت تأثیر عصاره جلبک دریایی، افزایش نشان داده است (فرنیا و احیایی ۲۰۱۵). دلیل این امر، فرآهمی بهتر عناصر غذایی مورد نیاز یونجه گزارش شده است. همچنین، محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در کشت مخلوط سورگوم و لوبیا، عملکرد تر و عملکرد خشک هر دو گیاه را افزایش داده است (باکار و همکاران ۲۰۲۱). محققین مختلفی بیان داشتند که مصرف عصاره جلبک دریایی با دارا بودن مواد شبه‌هورمونی مختلف، به دلیل افزایش ترشحات ریشه و تحریک تولید ریشه بیشتر، سبب افزایش جذب عناصر غذایی از خاک می‌شود. علاوه بر این جمعیت میکروبی مفید در محیط ریشه نیز با افزایش این ترشحات، تحریک شده و موجب دسترسی بیشتر به عناصر غذایی، مواد سرکوب کننده بیماری، ویتامین‌ها و سایر مواد مفید برای گیاه می‌شود و شرایط را برای رشد بهتر گیاه فرآهم می‌کند (کارونگی و همکاران ۲۰۲۰؛ سینگ و همکاران ۲۰۱۹).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد علوفه سورگوم تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی

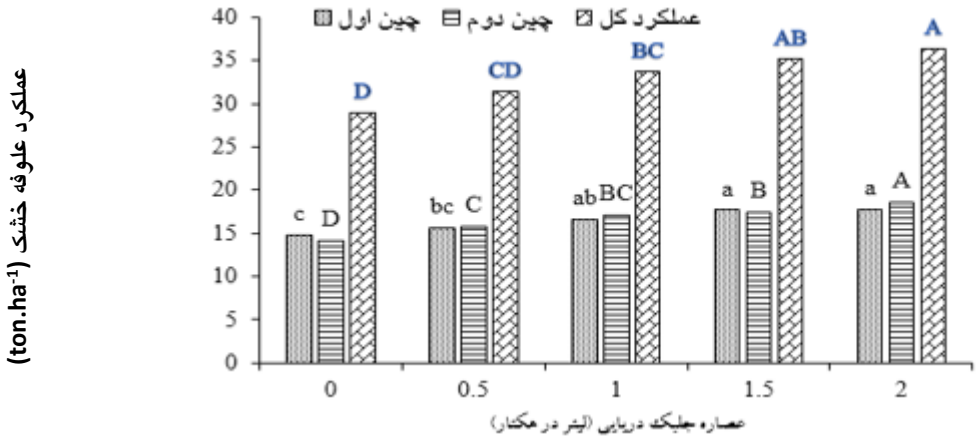
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد علوفه تر			عملکرد علوفه خشک		
		چین اول	چین دوم	کل	چین اول	چین دوم	کل
بلوک	۲	۴۳۹/۱۲**	۱۹۱/۷۸*	۷۹۱/۵۷*	۴۳/۱۶*	۳۴/۴۹*	۱۱۵/۹۲*
تیمار	۴	۳۴۷/۹۱**	۳۰۹/۸**	۱۱۶۵/۲۶**	۵۴/۵۶**	۷۹/۱۱**	۲۱۱/۴۵**
خطا	۸	۴۸/۷۲	۴۲/۹۵	۱۶۴/۹۱	۶/۰۰	۶/۱۵	۲۹/۴۱
ضریب تغییرات (٪)		۱۵/۲۳	۱۲/۳۸	۱۳/۰۱	۱۶/۴۱	۱۴/۸۹	۱۶/۳۶

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.



شکل ۴- مقایسه میانگین عملکرد علوفه تر سورگوم تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در چین اول و دوم و مجموع دو چین

عملکرد علوفه خشک سورگوم نیز در هر دو چین و مجموع دو چین (عملکرد کل) در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد علوفه خشک در چین اول، دوم و کل از محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت دو لیتر در هکتار به دست آمد. ولی، بین این تیمار و تیمار یک و نیم لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی، از نظر عملکرد خشک سورگوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین عملکرد علوفه خشک کل (۲۹ تن در هکتار و با ۲۰ درصد کاهش نسبت به تیمار ۲ لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی) را تیمار عدم مصرف عصاره جلبک دریایی داشت و با تیمار نیم لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی، در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵). اثر مدیریت تغذیه بر سورگوم بررسی و گزارش شد که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در کنار استفاده از سایر ترکیبات آلی، به واسطه‌ی افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم از خاک، رشد و عملکرد علوفه را افزایش داد (باکار و همکاران ۲۰۲۱). در آزمایش دیگری علت برتری محلول پاشی عصاره جلبک دریایی نسبت به محلول‌پاشی کودهای شیمیایی، افزایش سطح برگ، فتوسنتز و فعالیت برخی آنزیم‌ها گزارش شد (کریمی و امیرنیا ۲۰۱۸).



شکل ۵- مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک سورگوم تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در چین اول و دوم و مجموع دو چین

درصد (CP) و عملکرد پروتئین (YP)

یکی از منابع تأمین پروتئین مورد نیاز دام‌ها، پروتئین علوفه می‌باشد و درصد پروتئین همواره به عنوان یک فاکتور مهم در تنظیم جیره غذایی دام حائز اهمیت است (هاتانن و همکاران ۲۰۰۶). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که درصد پروتئین علوفه سورگوم در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی قرار گرفت. عملکرد پروتئین نیز که برهمکنش میزان عملکرد علوفه و درصد پروتئین آن می‌باشد، در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های درصد پروتئین تحت تأثیر غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی نشان داد که بیشترین مقدار این صفت از تیمار دو لیتر در هکتار به‌دست آمد که با تیمار محلول پاشی یک و نیم لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی تفاوت معنی‌داری نداشت. محلول‌پاشی با غلظت دو لیتر در هکتار نسبت به عدم مصرف جلبک، به میزان ۸/۶۶ درصد پروتئین خام سورگوم را افزایش داد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد پروتئین تحت تأثیر غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی نیز نشان داد که بیشترین مقدار این صفت از تیمار دو لیتر در هکتار به‌دست آمد. محلول‌پاشی با غلظت نیم لیتر در هکتار با تیمار عدم مصرف عصاره جلبک دریایی از نظر عملکرد پروتئین تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). افزایش پروتئین خام باعث خوش‌خوراکی علوفه شده و عمل جذب مواد مغذی در روده دام را افزایش می‌دهد (ارزانی و همکاران ۲۰۱۳). عصاره جلبک دریایی حاوی عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم است (جدول ۱). لذا افزایش میزان پروتئین با فرآهمی نیتروژن به دلیل نقش آن در ساختار پروتئین‌ها بدیهی به‌نظر می‌رسد. افزایش پروتئین گیاه با مصرف فسفر نیز این نظریه را تقویت می‌کند که عنصر غذایی فسفر به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم در امر پروتئین‌سازی مشارکت دارد (رشید و همکاران ۲۰۰۷). همچنین، فسفر در فتوسنتز، سنتز کربوهیدرات‌ها، پروتئین و متابولیسم چربی‌ها اهمیت فوق‌العاده‌ای داشته و دلیل آن، جایگاه ویژه این عنصر غذایی در فعالیت‌های سلولی، تشکیل اسیدهای هسته‌ای، فسفولیپیدها و تأمین انرژی در فرآیندهای مختلف گیاهی است (محمودی و همکاران ۲۰۱۶). عنصر غذایی پتاسیم نیز در بسیاری از فرآیندهای آنزیمی، سنتز ترکیبات گیاهی از جمله پروتئین و انجام تبادلات گازی نقش بسزایی دارد (مدنی و همکاران ۲۰۱۵). از این رو، به نظر می‌رسد تأمین همزمان این عناصر غذایی برای گیاه توسط عصاره جلبک دریایی، سبب بهبود کیفیت علوفه سورگوم از جمله افزایش درصد پروتئین خام علوفه می‌شود. این نتایج با یافته های کریمی و امیرنیا (۲۰۱۸)، فرنیا و احیایی (۲۰۱۵) و بگام و همکاران (۲۰۱۸) هماهنگ است.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مرتبط با کیفیت علوفه سورگوم تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		CP	YP	DMD	WSC	ASH	CF	ADF	NDF
بلوک	۲	۷۶/۰۲ **	۵۴۸۹۶۴ *	۵۷۵ **	۱۱/۶۵ *	۷/۶۶ *	۱۷۸ **	۱۳۷ *	۴۴۱ **
تیمار	۴	۱۵/۶۷ *	۸۶۲۶۵۹ **	۲۵۹ *	۲۳/۸ **	۱۲ **	۱۴۴ **	۱۱۷ *	۳۵۶ **
خطا	۸	۰/۹۶	۱۲۲۵۳۷	۶۶	۱/۴	۱/۷	۲۰	۳۰	۵۰
ضریب تغییرات(٪)		۱۲/۴۵	۱۳/۷۲	۱۳/۳۷	۱۲/۶۸	۱۲/۹۶	۱۳/۴۹	۱۴/۳۲	۱۱/۵۳

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

CP: درصد پروتئین خام، YP: عملکرد پروتئین، DMD: درصد ماده خشک قابل هضم، WSC: درصد قندهای محلول در آب، ASH: درصد خاکستر، CF: درصد فیبر خام، ADF: درصد فیبرهای غیرمحلول در شوینده اسیدی، NDF: درصد الیاف محلول در شوینده خنثی.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مرتبط با کیفیت علوفه سورگوم تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی

عصاره جلبک دریایی	CP (%)	PY ($kg.ha^{-1}$)	DMD (%)	WSC (%)	ASH (%)	CF (%)	ADF (%)	NDF (%)
عدم مصرف	۷/۱۲ ^{c}	۲۰۶۶^{c}	۵۶/۶۵ ^{c}	۸/۱۵ ^{c}	۸/۶۵ ^{d}	۳۴/۸۷ ^{a}	۳۹/۳۱ ^{a}	۶۳/۳۴ ^{a}
۰/۵ لیتر در هکتار	۷/۶۵ ^{bc}	۲۴۰۶^{c}	۵۷/۶۵ ^{c}	۹/۱۲ ^{b}	۹/۳۵ ^{c}	۳۴/۲۴ ^{a}	۳۸/۴۵ ^{b}	۶۲/۲۵ ^{b}
۱ لیتر در هکتار	۷/۹۶ ^{b}	۲۶۳۵^{b}	۶۱/۱۵ ^{b}	۹/۳۴ ^{ab}	۱۰/۲۲ ^{b}	۳۳/۱۳ ^{b}	۳۸/۰۵ ^{bc}	۶۱/۸۱ ^{bc}
۱/۵ لیتر در هکتار	۸/۱۲ ^{ab}	۲۸۵۵^{b}	۶۲/۴۲ ^{b}	۹/۸۵ ^{a}	۱۰/۳۱ ^{b}	۳۲/۹۱ ^{bc}	۳۷/۷۷ ^{cd}	۶۱/۰۲ ^{c}
۲ لیتر در هکتار	۸/۶۵ ^{a}	۳۱۵۰^{a}	۶۶/۶۴ ^{a}	۱۰/۱۳ ^{a}	۱۱/۰۷ ^{a}	۳۲/۰۴ ^{c}	۳۶/۹۳ ^{d}	۵۸/۷۳ ^{d}

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد هستند.

درصد ماده خشک قابل هضم (DMD)

این صفت که بیانگر میزان قابلیت هضم علوفه می‌باشد، نتایجی مشابه درصد پروتئین خام داشت. زیرا نتایج تحقیقات حاکی از آن است که با افزایش درصد پروتئین علوفه، میزان ماده خشک علوفه و قابلیت هضم آن نیز افزایش می‌یابد (پی‌راد و استیگراگا ۱۹۹۷). براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال پنج درصد، اثر معنی‌داری بر درصد ماده خشک قابل هضم سورگوم داشت (جدول ۴). بیشترین درصد ماده خشک قابل هضم علوفه از تیمار کاربرد عصاره جلبک دریایی به میزان دو لیتر در هکتار به‌دست آمد. کمترین مقدار این صفت نیز از تیمار عدم مصرف عصاره جلبک دریایی حاصل شد. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی به میزان دو لیتر در هکتار نسبت به تیمار عدم مصرف، افزایش ۱۷/۶۳ درصدی ماده خشک قابل هضم علوفه سورگوم را در پی داشت (جدول ۵). در سویا مصرف عصاره جلبک دریایی با کاهش درصد لیگنین، کاهش درصد NDF و ADF، افزایش ماده خشک قابل هضم و افزایش خوش خوراکی علوفه همراه بوده است (کاسیرا و همکاران ۲۰۱۹). دیگر پژوهشگران نیز تأثیر آرد جلبک دریایی (Gracilaria sp) را بر قابلیت هضم ماده خشک در شرایط آزمایشگاهی مطالعه و بیان داشتند که افزودن ۸ درصد از آرد جلبک دریایی بر جیره غذایی گوسفندان، به‌طور معنی‌داری قابلیت هضم علوفه را افزایش داد (ناگروهو و همکاران ۲۰۱۹).

درصد قندهای محلول در آب (WSC)

کربوهیدرات‌های محلول که بخش عمده‌ای از کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی را تشکیل می‌دهند، یکی از مهم‌ترین اجزای تعیین کننده کیفیت علوفه بوده و وظیفه آن تأمین انرژی برای میکروارگانیسم‌های شکمبه و حفظ سلامت دستگاه گوارش دام است (لیتورجیدیس و همکاران ۲۰۰۶) . نتایج تحقیق حاضر نشان داد که درصد قندهای محلول در آب در علوفه سورگوم در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش غلظت محلول‌پاشی، درصد قندهای محلول در آب در علوفه سورگوم افزایش یافت. بیشترین مقدار این صفت از تیمار کاربرد عصاره جلبک دریایی به میزان دو لیتر در هکتار به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با غلظت یک ونیم لیتر در هکتار نداشت (جدول ۵). محلول‌پاشی این کود آلی به میزان دو لیتر در هکتار نسبت به تیمار شاهد، افزایش ۲۴/۲۹ درصدی قندهای محلول در آب را در پی داشت. عصاره جلبک دریایی حاوی مواد غذایی مختلف، سیتوکنین، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و مواد آلی می‌باشد و مصرف آن با بهبود جذب عناصر غذایی و فرآهمی مواد مغذی برای گیاه، منجر به افزایش مواد فتوسنتزی و قندهای تولید شده در علوفه می‌گردد (یزدی مطلق و همکاران ۲۰۱۲). در مطالعه اثر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر کیفیت علوفه یونجه، مشخص گردید که کاربرد عصاره جلبک دریایی میزان قندهای محلول در آب یونجه را افزایش داد (فرنیا و احیایی ۲۰۱۵). در گیاه ذرت نیز محلول‌پاشی عصاره

جلبک دریایی با غلظت‌های مختلف اثر معنی‌داری بر کیفیت دانه داشته است، به طوری که کاربرد عصاره جلبک دریایی درصد پروتئین و درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب ذرت را افزایش داد (لایک و همکاران ۲۰۱۵).

درصد خاکستر علوفه (ASH)

با افزایش درصد خاکستر که حاوی مواد مغذی و عناصر معدنی است، گوارش پذیری علوفه افزایش می‌یابد (هاتانن و همکاران ۲۰۰۶). در این تحقیق درصد خاکستر علوفه سورگوم در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی قرار گرفت (جدول ۴). با افزایش غلظت محلول‌پاشی، درصد خاکستر علوفه سورگوم افزایش یافت. بیشترین و کمترین درصد خاکستر در علوفه به‌ترتیب از تیمارهای محلول‌پاشی با غلظت دو لیتر در هکتار و عدم مصرف عصاره جلبک دریایی به دست آمد که اختلاف ۲۷/۹۷ درصدی را نشان داد (جدول ۵). در نتایج پژوهشی گزارش شد که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی درصد خاکستر علوفه، مواد کل قابل هضم و درصد پروتئین سورگوم را افزایش داده و از این طریق افزایش کیفیت علوفه را در پی داشته است (باکار و همکاران ۲۰۲۱). نتایج مطالعه‌ی دیگری نیز نشان داد که مصرف عصاره جلبک دریایی درصد خاکستر و مواد معدنی علوفه سویا را افزایش می‌دهد (کاسیرا و همکاران ۲۰۱۹). به‌نظر می‌رسد مصرف برگی عصاره جلبک دریایی، به علت فراهمی بهتر عناصر غذایی و افزایش جذب آن‌ها، تحریک فتوسنتز و اثرات فیتوهورمونی متعددی که بر رشد گیاه دارد، سبب افزایش مواد معدنی مختلف در شیره گیاهی شده و از این طریق درصد خاکستر و مواد معدنی مغذی در علوفه را افزایش می‌دهد (عارفی و همکاران ۲۰۱۲).

درصد فیبر خام (CF)

الیاف خام در واقع کلیه مواد غیر قابل هضم علوفه است که شامل سلولز، همی‌سلولز و لیگنین می‌باشد. درصد فیبر خام علوفه صفت مطلوبی نیست و باعث کاهش قابلیت هضم علوفه می‌گردد (براهمات و کلاساریا ۲۰۱۳). براساس تجزیه واریانس داده‌ها، محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر درصد فیبر خام علوفه سورگوم داشت (جدول ۴). کمترین درصد فیبر خام علوفه از تیمار محلول‌پاشی با غلظت دو لیتر در هکتار به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با غلظت یک و نیم لیتر در هکتار نداشت. تیمار محلول‌پاشی با غلظت نیم لیتر در هکتار اثر معنی‌داری بر کاهش درصد فیبر خام علوفه سورگوم نداشت و با تیمار عدم مصرف عصاره جلبک دریایی در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۵). بنابراین می‌توان اظهار نمود که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی با کاهش درصد فیبر خام، افزایش قابلیت هضم‌پذیری علوفه را در پی خواهد داشت. در گیاه سویا نیز محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با کاهش درصد فیبر، لیگنین و همی‌سلولز، به‌طور قابل قابل توجهی توانست درصد فیبر خام کل (بافت‌ها و الیاف غیرقابل هضم) را کاهش و کیفیت علوفه را افزایش دهد (کاسیرا و همکاران ۲۰۱۹).

درصد الیاف محلول در شوینده اسیدی(ADF) و خنثی (NDF)

محتوای الیاف محلول در شوینده اسیدی و خنثی نشان دهنده سهم دیواره سلولی در علوفه است که شامل سلولز و لیگنین می‌باشد. از آنجایی که این صفات نشانگر قابلیت هضم علوفه توسط دام می باشد، حائز اهمیت است و معمولاً با افزایش مقدار این شاخص‌ها از قابلیت هضم علوفه کاسته می‌شود (آلبایرا و همکاران ۲۰۱۱). در این آزمایش، محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی به‌طور معنی‌داری درصد الیاف محلول در شوینده اسیدی و خنثی را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). به‌طوری که، رابطه معکوسی بین غلظت محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و درصد الیاف محلول در شوینده اسیدی و خنثی وجود داشت. کمترین درصد الیاف محلول در شوینده اسیدی و خنثی از تیمار دو لیتر در هکتار به‌دست آمد. لازم به ذکر است که تیمار دو لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی با تیمار یک و نیم لیتر در هکتار از نظر الیاف محلول در شوینده اسیدی تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). پیش‌تر از این نیز کاهش درصد الیاف

محلول در شوینده اسیدی سورگوم تحت تأثیر کاربرد عصاره جلبک دریایی توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (باکار و همکاران ۲۰۲۰؛ السید و همکاران ۲۰۱۵). در تحقیق دیگری با هدف تعیین اثر دفعات محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی (یک مرحله و دو مرحله در طول فصل رشد) بر کیفیت علوفه سویا گزارش شد که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی دو بار در طول فصل رشد، اثر معنی‌داری بر درصد فیبر، لیگنین، محتوی سلولز و همی‌سلولز علوفه سویا داشت و توانست به میزان قابل توجهی محتوی فیبر محلول در شوینده اسیدی و خنثی را کاهش داده و کیفیت علوفه سویا را بهبود بخشد (کاسیرا و همکاران ۲۰۱۹).

نتیجه گیری

به طور کلی محلول پاشی عصاره جلبک دریایی، رشد و عملکرد کمی . کیفی سوگوم علوفه‌ای را ببهود بخشید. به‌طوری که مصرف یک و نیم لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی در مقایسه با تیمار شاهد، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و عملکرد کل سورکوم را به‌ترتیب ۳۲، ۲۶/۷۱ و ۲۰/۵۶ درصد افزایش داد. همچنین، کاربرد یک و نیم لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی، درصد و عملکرد پروتئین، درصد ماده خشک قابل هضم، درصد قندهای محلول و درصد خاکستر علوفه را افزایش و درصد فیبر خام و الیاف محلول در شوینده‌های اسیدی و خنثی را کاهش داد. بنابراین به‌نظر می‌رسد جهت دست‌یابی به نتایج مطلوب در زراعت سورگوم، مصرف یک و نیم لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی به روش محلول پاشی مناسب باشد. هرچند جهت اطمینان از نتایج، نیاز به تکرار آزمایش نیز است.

سپاسگزاری

از سرپرست و کارکنان مزرعه آموزشی پژوهشی و نیز از حمایت مالی دانشگاه بوعلی سینا تشکر می‌کنیم.

منابع مورد استفاده:

Albayra S, Turk M, Yuksel O, Yilmaz M. 2011. "Forage yield and the quality of perennial legume-grass mixtures under rainfed conditions". Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 39(1): 114-118. https:// doi:10.15835/nbha3915853.

Arefi M, Kafi H, Khazaee R and Banayan Aval M. 2012. Effect of nitrogen phosphorous and potassium fertilizer levels on yield, photosynthetic pigments, chlorophyll content, and nitrogen concentration of plant components of Allium altissimum Regel. Agroecology, 4(3): 207-214.

Arzani H, Motamedi (Torkan) J, Jafari M, Farahpoor M and Zare Chahoki M A. 2013. Classification of forage quality index in highland rangelands of Taleghan. Range and Desert Research, 20(2): 250-271. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2013.5761

Begum M, Bordoloi B C, Singha D D and Ojha N J. 2018. Role of seaweed extract on growth, yield and quality of some agricultural crops: A review. Agricultural Reviews, 39(4), 321-326. https:// doi.10.18805/ag.R-1838.

Behera PP, Saharia N, Borah N and Devi SHSarma, RN. 2022. Sorghum Physiology and Adaptation to Abiotic Stresses. International Journal of Enviornment and Climate Change, 1005-1022. https:// DOI: 10.9734/ijecc/2022/v12i1030891.

Bhakar A, Singh M, Kumar S, Dutta S, Mahanta R K and Onte, S. 2020. Ensuring nutritional security of animals by mixed cropping of sorghum and guar under varying nutrient management. Indian Journal of Animal Nutrition, 37(1), 48-56. https:// doi: 10.5958/2231-6744.2020.00009.2.

Bhakar A, Singh M, Kumar S, Kumar D, Meena BL, Meena VK and Singh Y. 2021. Enhancing root traits and quality of sorghum and guar through mixed cropping and nutrient management. The Indian Journal of Agricultural Sciences, 91(1). https:// doi:10.56093/ijas.v91i1.110935.

Brahmbhatt N and Kalasariya H. 2013. Effect of weed extract on forage quality of Medicago sativa L. International Journal of Scientific and Research Publications, 4, 2685-2688.

Caronge MW, Djawad YA, Bourgougnon N, Makkulawu AT and Jumadi O. 2020 .Effect of application of algae sargassum sp. extract to corn plants (Zea mays L.) and microbial response. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 484, No. 1, p. 012058). IOP Publishing. https:// doi. 10.1088/1755-1315/484/1/012058

Dicko M H, H Gruppen A S, Traore A G J Voragen and W J H van Berkel. 2006. Sorghum grain as human food in Africa: Relevance of content of starch and amylase activities. African Journal of. Biotechnology, 5: 384-395.

EL Boukhari M, Barakate M, Bouhia Y and Lyamlouli K. 2020. Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. Plants, 9(3), 359. https://doi.org/10.3390/plants9030359.

El Sayed SAA, Hellal FA, Nofal OA, EL-Karamany MF and Bakry BA. 2015. Influence of algal extracts on yield and chemical composition of moringa and alfalfa grown under drought condition. Environment, 4: 151-157.

Fernia A and Ihyai O. 2015. Studying the quantitative and qualitative changes of Hamdani alfalfa fodder (Medicago sativa) under the effect of applying different amounts of humic acid and seaweed extract. Journal of New Agricultural Findings, 10th year, 4th issue, pages 291-307.

Harris T. and Nowińska J. 2023. Effects of Sodic Water irrigation and neutralizing amendments on physiological, biochemical, and nutritional quality traits of fodder sorghum. Agronomy, 13(4): 1128-1128. https://doi.org/10.3390/agronomy13041128.

Hozayn M, Zeidan MS, Abd El–Lateef EM and Abd El–Salam MS. 2007. Performance of some mungbean (Vigna radiate L. Wilczek) genotypes under late sowing condition in Egypt. Agriculture and Biotechnology Science, 3: 972–978.

Huhtanen P, Ahvenjarvi S, Weisbjerg MR and Norgaard P. 2006 "Digestion and passage of fiber in ruminants". In: Sejrsen K Hvelplund T and Nielsen M O, Edithors, Ruminant physiology. Digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress, Wageningen Academic Publishers, Wageningen. The Netherlands, 87-135.

Hussain HI, Kasinadhuni N and Arioli T. 2021. The effect of seaweed extract on tomato plant growth, productivity and soil. Journal of Applied Phycology, 33(2), 1305-1314. https://doi.org/10.1007/s10811-021-02387-2.

Karimi Rand Amirnia R. 2018. The effect of organic and chemical fertilizers in different phenological stages on some quantitative and qualitative characteristics of speedfed fodder sorghum. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29 (3): 28-40.

Khodabandeh N. 2018. Cultivation of fodder plants. Iranian Agricultural Science Publications, second edition, 347 pages.

Khoshroui R, Saadatmad S and Soltani S. 2012. The effect of different concentrations of mercury on the antioxidant activity of photosynthetic pigments of Caspian Sea green algae. Plant and Ecosystem Scientific-Research quarterly, 36(9): 89-100.

Kocira S, Szparaga A, Kocira A, Czerwińska E, Depo K, Erlichowska B and Deszcz E. 2019. Effect of applying a biostimulant containing seaweed and amino acids on the content of fiber fractions in three soybean cultivars. Legume Research-An International Journal, 42(3), 341-347. http:// doi.10.18805/LR-412.

Layek J, Das A, Ramkrushna GI, Trivedi K, Yesuraj D, Chandramohan M and Ghosh A. 2015. Seaweed sap: a sustainable way to improve productivity of maize in North-East India. International Journal of Environmental Studies, 72(2), 305-315. https:// doi:10.1080/00207233.2015.1010855.

Lithourgidis AS, Vasilakoglou IB, Dordas CA and Yiakoulaki MD. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. Field Crop Research. 99: 106-113. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.03.008.

Madani H, Sajedi N and Gholipoor Fadashk H. 2015. Improvement of quality and quantity of alfalfa forage yield by using chemical and bio-fertilizers. Crop Ecophysiology, 9(4): 583-598.

Mahmoodi Zuuic R, Nasri M and Oveysi M. 2016. Effects of humic acid sprying on yield and yield components of wheat in drought stress condition. Crop Ecophysiology, 8(1): 10-26.

Malkoti MJ, Tabatabayi SJ, Keshavarz P and Shahabi AA. 2013. New methods of timely supply of nutrients for plants. Publications of Water and Soil Research Institute, 4th edition, 387 pages.

Momeni H, Hadizadeh MH and Arab Jafari K. 2017. Sorghum herbal medicine. The country's herbal medicine research institute, first volume, 184 pages.

Niu J, Liu C, Huang M, Liu K and Yan D. 2021. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21(1), 104-118. https://doi.org/10.1080/01904167.2013.868480.

Nugroho A, Prayitno CH and Widiyastuti T. 2019. Effect of Red Seaweed Flour (Gracilaria sp) Supplementation on Dry Matter and Organic Matter Digestibility of Sheep feed by In Vitro. Institutions, 1(2): 122-128. https:// doi: https://doi.org/10.20884/1.angon.2019.1.2.p122-128.

Peyraud J L and Astegarraga L. 1997. Digestion of fresh perenninal ryegrass fertilized at two levels of nitrogen by lactating dairy cows. Animal Feed Science and Technology. 64: 155-171.

Rashid MA, Ranjha M and Rehim A. 2007. Model based fertilization to improve yield and quality of sorghum (sorghum bicolor L) fodder on usthochrept soil. Agricultural Science, 44: 221-227.

Rezazadeh H. 2013. Forage plants: from planting to harvesting. Mashhad Academic Jihad Publications, third edition, 184 pages.

Sandal SS, Puneet Walia P and Vidya AS. 2023. Quality enhancement in forage crops of cereals and legumes. International Journal of Plant and Soil Science, 35(16): 166-179. https://doi: 10.9734/ijpss/2023/v35i163142.

Singh S, Tiwari D, Gautam SS, Singh MK and Pal SK. 2019. Seaweed: An Alternative Liquid Fertilizer for Plant Growth. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 8(12), 772-781. https://doi: 10.22034/saps.2023.56467.3041.

Takanashi H. 2023. Genetic control of morphological traits useful for improving sorghum. Breeding Science, 73(1): 57-69. https:// doi: 10.1270/jsbbs.22069.

Yazdi-Motlagh A, Khavari-Khorasani S, Bakhtiari S and Musa-Abadi J, 2012. Effect of planting pattern on morphophysiologic characteristics, yield and yield components of forage maize varieties (Zea mays L.) in saline conditions. Agroecology, 4(4): 324-327.

Yones Al-ghazal SA, Aziz M and Shahaze Al-jehishi VK. 2021. Response of growth and yield of Sorghum (Sorghum bicolor L.) to different levels of humic acid and sea-ALgae extract. Journal of Al-Muthanna for Agricultural Sciences, 8(4). https:// doi:10.52113/mjas04/8.4/28.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 97-112

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

Investigating the effects of Summer Cover Crops in sequence with the Main Crop Wheat on its Yield and some Soil Physical and Chemical Properties

Yousef Yousefi Bejavani[1], Reza Amirnia[2*], Mohammad Reza Mehrvar[3], Alireza Fallah Nosratabad[4]

Received: 20 January 2024	Accepted: 08 February 2024

1-Ph.D. Student, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran.
2-Professor., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran.
3-Assist. Prof., Cereal Dept. Seedling and Seed Breeding and Preparation Research Institute, Karaj, Iran
4-Prof., of Soil Science, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran
*Corresponding Author Email: r.amirnia@urmia.ac.ir

Abstract

Background and Objective: This study was conducted to evaluate the effects of summer cover crops used as green manure on wheat yield and selected soil physicochemical properties in a wheat-based rotation system over two growing seasons (2019-2021). The research also examined how different treatments influenced soil organic matter dynamics and their subsequent effects on wheat yeild.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications over two growing seasons (2019-2020 and 2020-2021) at the Karaj Research Station. The experimental treatments included 16 cover crops that were cultivated after wheat harvest and used as green manure. Wheat was subsequently planted, and the yield of each treatment was measured after harvest. Soil samples were collected from each treatment plot and analyzed in the laboratory to determine organic matter content and physicochemical properties.

Results: The biomass of cover crops showed significant differences. Sudan grass and cowpea had the highest biomass, while barley and rye had the lowest. No significant differences in wheat grain yield were observed among different treatments over the two years. However, the composite analysis revealed a 21% increase in wheat yield in the second year compared to the first year. Soil organic carbon content increased by 0.35% over the two years. Mung bean and cowpea had the highest increase in soil organic matter and the highest effect on C/N ratio, respectively. Safflower had the greatest effect on increasing the amount of absorbable phosphorus in the soil, and clover and mung bean had the greatest effect on increasing the amount of absorbable potassium in soil.

Conclusion: Cover crops have different effects on various soil components. The consecutive use of cover crops as green manure increased yield over two years. High biomass production alone cannot be the sole criterion for selecting cover crops as green manure; attention should be paid to their effects on soil properties, especially soil organic carbon.

Keywords: Cover Crops, Green Manure, Organic Matter, Physical and Chemical, Soil, Wheat, Wheat Yield,

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Reza Amirnia , Email: r.amirnia@urmia.ac.ir
http://doi.org/ 10.22034/SAPS.2024.60044.3164

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۱۱۲-۹۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

بررسی تاثیر گیاهان پوششی تابستانه در توالی زراعی با گیاه اصلی گندم بر عملکرد آن و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

یوسف یوسفی بجوانی[۱]، رضا امیرنیا[۲*]، محمدرضا مهرور[۳]، علیرضا فلاح نصرت آباد[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

۱- دانشجوی دکترای زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه،
۲- استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه
۳- استادیار بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج
۴- استاد موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج
مسئول مکاتبه: E-mail: r.amirnia@urmia.ac.ir

چکیده

اهداف: این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کشت گیاهان پوششی تابستانه به عنوان کود سبز بر عملکرد گندم و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در تناوب با گندم طی دو سال زراعی انجام شد. همچنین، تأثیر تیمارهای مختلف بر تغییرات ماده آلی خاک و ارتباط آن با عملکرد گندم مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) در ایستگاه تحقیقاتی کرج اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱۶ گیاه پوششی بود که پس از برداشت گندم به عنوان کود سبز کشت شدند. پس از دوره رشد گیاهان پوششی، گندم کشت گردید و عملکرد آن اندازه گیری شد. همچنین، نمونه‌های خاک از هر تیمار تهیه و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میزان ماده آلی در آزمایشگاه تجزیه و تحلیل شد.

یافته ها : میزان بیوماس گیاهان پوششی تفاوت معنی‌داری داشتند. سودان گراس و ماشک بیشترین میزان بیوماس ، جو و چاودار کمترین میزان بیوماس را داشتند. در دو سال اجرای طرح تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه گندم در بین تیمارهای مختلف مشاهده نگردید. ولی در تجزیه مرکب، میانگین عملکرد گندم سال دوم نسبت به سال اول ۲۱ درصد افزایش نشان داد. میزان کربن آلی خاک در دوسال ۰,۳۵ درصد افزایش یافت. بیشترین افزایش میزان ماده آلی خاک متعلق به ماش(۰,۹۲ درصد) و بیشترین میزان تأثیر بر نسبت C/N به لوبیا چشم بلبلی(۱۶ درصد) تعلق داشت. *گلرنگ* بیشترین تأثیر بر افزایش فسفر قابل جذب خاک(۳۲۸ درصد)، ماش و شبدر برسیم بیشترین تأثیر را بر افزایش پتاسیم قابل جذب خاک(به ترتیب ۱۴۶ و ۱۳۳ درصد) داشتند.

نتیجه گیری: گیاهان پوششی تاثیر متفاوتی بر هر یک از اجزای خاک دارند. استفاده متوالی از گیاهان پوششی به عنوان کودسبز در دوسال عملکرد کندم را افزایش داد. تنها تولید بیوماس بالای گیاه پوششی نمی‌تواند معیار انتخاب بعنوان کود سبز باشد، بلکه باید به تأثیرات آن بر خصوصیات خاک، به ویژه کربن آلی خاک توجه شود.

واژه های کلیدی: گندم، گیاهان پوششی،کودسبز، عملکرد گندم، مواد آلی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، خاک

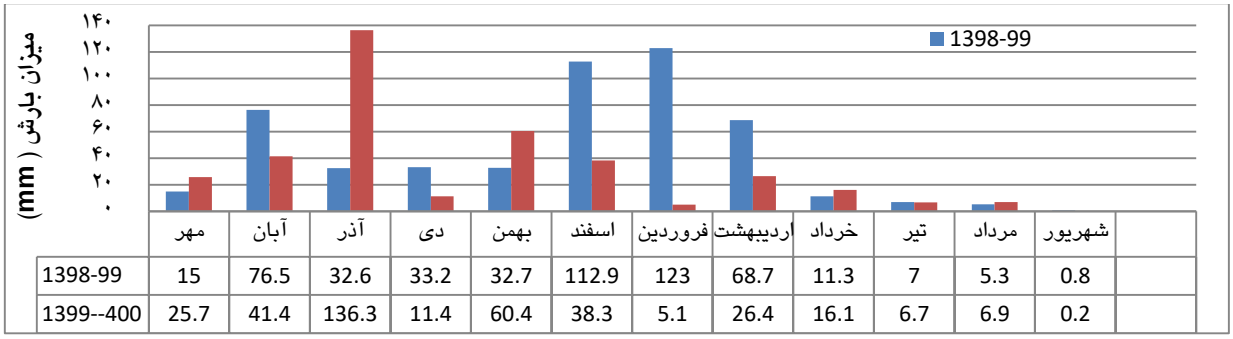
مقدمه

امنیت غذایی جهانی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی کشاورزی امروز است. این چالش امروزه بیش از پیش تشدید می‌شود زیرا تولید مواد غذایی باید نه تنها بر مواد غذایی ایمن و باکیفیت متمرکز شود، بلکه محصولات نیز باید به طور پایدار تولید شوند. روش‌های متداول کشاورزی فشرده ممکن است به افزایش بهره‌وری محصول کمک کند، اما با استفاده از ماشین‌آلات سنگین، تنوع محدود تناوب و ورودی‌های بیش از حد مواد شیمیایی کشاورزی، کاهش کیفیت خاک و محیط‌زیست مشاهده می‌شود (ویتور و همکاران ۲۰۱۷). کشاورزی فشرده و ناپایدار باعث تخریب زمین و مشکلات زیست محیطی مانند آلودگی، فرسایش خاک، کاهش حاصل‌خیزی، کاهش تنوع زیستی و افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌شود. روش‌های کشاورزی پایدار مانند کشت گیاهان پوششی کود سبز و حفظ بقایای گیاهی به عنوان راهکارهای مقرون به صرفه معرفی شده‌اند که می‌توانند تخریب زمین، امنیت غذایی و سازگاری با تغییرات آب و هوایی را بهبود بخشند (فرانکاویلا و همکاران ۲۰۲۳). بر خلاف نظام کشاورزی مرسوم، کشاورزی حفاظتی با بهبود شرایط فیزیکی، حاصل‌خیزی و زیست شناختی خاک از یک طرف و کنترل اکولوژی آفات و بیماری‌ها از طرف دیگر، نه تنها پایداری اکولوژی نظام‌های کشت را افزایش می‌دهد، بلکه در طولانی مدت پایداری اقتصادی و عملکرد محصول را نیز تضمین می‌کند (پیج و همکاران ۲۰۲۰). در حال حاضر دو سوم خاک‌ها در سطح دنیا کم‌تر از دو درصد کربن آلی دارند. در واقع با افزایش کربن آلی خاک وابستگی و اتکا به کود نیتروژن کاهش یافته و به کاهش خلاء عملکرد در سطح جهانی کمک می‌نماید (اولدفیلد وهمکاران ۲۰۱۹). یک مسیر اصلی برای ایجاد ذخیره‌سازی کربن در خاک، افزایش مقدار ورودی کربن است. براساس گزارش کیم و همکاران (۲۰۱۲) گیاهان پوششی روشی امیدبخش در کشاورزی پایدار است که با کاهش عواقب تخریب خاک می‌تواند سلامت خاک را افزایش دهد. مزایای گیاهان پوششی را در چند بخش شامل: مزایای مربوط به فیزیک خاک از جمله: فرسایش خاک، پایداری خاک‌دانه، خصوصیات هیدرولیکی خاک، تراکم و وزن مخصوص خاک و دمای خاک، بهبود خصوصیات شیمیایی خاک شامل: کربن و ماده آلی خاک، نیتروژن خاک، عناصر غذایی اصلی و ریزمغذی خاک و نیز منافع بیولوژیکی شامل: جمعیت و فعالیت میکروبی خاک، جمعیت کرم‌های خاکی و مدیریت آفات می‌توان برشمرد (ادتانجی و همکاران ۲۰۲۰). اثرات گیاه پوششی با عوامل مختلف مربوط به منطقه شامل اقلیم و مدیریت میدانی متفاوت بوده، خواص خاک نوع گیاه پوششی (حبوبات یا غیر لگوم‌ها) فصل گیاه پوششی (زمستانه یا تابستانه) و نیتروژن ورودی عواملی هستند که بر عملکرد محصول اولیه تأثیر دارند (فان و همکاران ۲۰۲۱). گیاهان پوششی تأثیرات مثبتی بر تولید گیاهان دارند و منجر به افزایش عملکرد محصول تا ۲۴ درصد در سیستم‌های کم خاک-ورزی ارگانیک می‌شود اما در سیستم خاک‌ورزی معمولی این میزان تنها ۲ درصد است (ویتور و همکاران ۲۰۱۷). گیاهان پوششی تابستانه بویژه گیاهان پوششی در کشت گندم، می‌توانند عملکرد گندم را از طریق تغییر ساختار جمعیت میکروبی خاک که به سمت شرایط بهینه خاک بهبود پیدا کرده است، افزایش دهند(سن لی و همکاران ۲۰۱۷). یک مطالعه دیگر گزارش داده که چاودار از خانوده غلات و ماشک به عنوان یک گیاه پوششی معمولی می‌تواند ساختمان خاک را بهبود بخشیده و جوامع میکروبی خاک را تغییر دهد (گو و همکاران ۲۰۰۸ ، پافن بارگر و همکاران ۲۰۱۵). علاوه بر این، گیاهان پوششی می‌توانند با افزایش کربن آلی، خصوصیات خاک را در جایی که مخلوط‌هایی با نسبت زیاد کربن به نیتروژن وجود دارد، نیتروژن کل در جایی که مخلوط-های مبتنی بر حبوبات وجود دارد، را تغییر دهند، بنابراین در همه موارد مواد مغذی خاک موجود برای موفقیت برای محصولات زراعی تقویت می‌کنند (هابرد و همکاران ۲۰۱۳). جیان و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند بهره‌گیری جهانی از گیاهان پوششی موجب افزایش کربن آلی خاک به میزان ۱۵/۵ درصد شده است. جونز و همکاران (۱۹۹۸) نتیجه‌گیری نمودند که مصرف مواد آلی علاوه بر افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، می‌تواند آب را به مدت طولانی‌تری نگه دارد و متناسب با گیاه در اختیار

آن قرار دهد. نتایج محمدپور و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد کشت ماش به عنوان کود سبز در تاریخ‌های مختلف تأثیر مثبتی بر روی انباشتگی مواد آلی و عناصر غذایی اصلی (N,P2o5,K2o) در خاک داشته است. همچنین استفاده از کودهای سبز و معدنی به طور همزمان باعث افزایش جذب کودهای معدنی و هم چنین افزایش استفاده گندم از عناصر غذایی موجود در کودهای سبز می‌شود.. با این حال شیوه‌های سازگار نمودن مدیریت مزرعه با اقلیم، خاک و آب و هوای هر منطقه مهم است. با توجه به نتایج تحقیقات، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از گیاهان پوششی کود سبز مناسب در توالی زراعی گندم می‌تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد گندم ایجاد نموده و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را به همراه داشته باشد. هدف اصلی این مقاله، شناسایی و معرفی گیاهان پوششی کود سبز مناسب برای توالی گندم جهت دستیابی به به عملکر بالاتر بود. همچنین از جمله اهداف اصلی دیگر این تحقیق بررسی اثرات دو ساله توالی زراعی گندم با گیاهان پوششی کود سبز در کشت تابستانه بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه آزمایشی چمن بخش تحقیقات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی صورت گرفت. با مختصات جغرافیایی (39 S, X=492886 Y=3960330) و ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا در شهرستان کرج به اجرا در آمد. متوسط کمینه دما در این اقلیم از ۷ –تا ۱۵ – درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و تعداد روزهای یخبندان آن نیز بین ۳۰ تا ۶۰ روز متغیر می-باشد. وضعیت بارندگی دو سال زمان اجرای پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.



	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
1398-99	15	76.5	32.6	33.2	32.7	112.9	123	68.7	11.3	7	5.3	0.8
1399--400	25.7	41.4	136.3	11.4	60.4	38.3	5.1	26.4	16.1	6.7	6.9	0.2

شکل ۱- نمودار میانگین بارندگی ماهانه استان البرز در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹.

این پژوهش با استفاده از طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی شامل ۱۶ تیمار گیاهان پوششی کود سبز در کشت خالص بانضمام تیمار شاهد آیش علف هرز و با سه تکرار به اجرا در آمده و در مجموع آزمایش شامل ۴۸ واحد آزمایشی بود.. ابعاد هر واحد آزمایشی ۱۱/۵ متر طول، ۴/۸ متر عرض و ۵۵۲/۲ متر مربع مساحت بود. تحقیق در دو سال زراعی۹۹-۹۸ و ۱۴۰۰-۹۹ اجرا و مزرعه انتخابی در سال قبل به کشت گندم اختصاص داده شده بود. قبل از کاشت گیاهان پوششی از هر بلوک یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و جهت تجزیه به آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات خاک و آب ارسال گردید. تیمارهای مورد مطالعه در این بررسی شامل ۱۶ گیاه پوششی از جمله سورگوم دانه‌ای، ارزن علوفه‌ای، سورگوم سودان گراس، جو، شبدر برسیم، شبدر لاکی، لوبیا چشم بلبلی، کلزا، ماش، چاودار، ماشک گل‌خوشه‌ای، یولاف، گلرنگ، سویا، کنجد و اسپرس بود که ۲۰ روز پس از برداشت مزرعه گندم با ایجاد شیار در ردیف‌های کشت گندم و بدون انجام عملیات خاک‌ورزی کشت شدند. پس از رسیدن گیاهان پوششی کود سبز به مرحله شروع گل‌دهی در برخی از آن‌ها و یا ۶۵ روز (اوایل دهه سوم مهرماه) پس از کاشت بذر، تمامی گیاهان پوششی کود سبز با استفاده از هرس بشقابی سبک با رعایت سرعت پیشروی و نیز در عمق کم‌تر از ۱۵ سانتی‌متر و به

منظور رعایت شرایط خاک‌ورزی حفاظتی به عنوان کود سبز به درون خاک بازگردانده شدند. قبل از عملیات برگردان از گیاهان پوششی هر کرت نمونه برداری و جهت تعیین صفات بیوماس تر و خشک وهمچنین بیوماس علف های هرز به آزمایشگاه منتقل شدند. (شکل ۲).

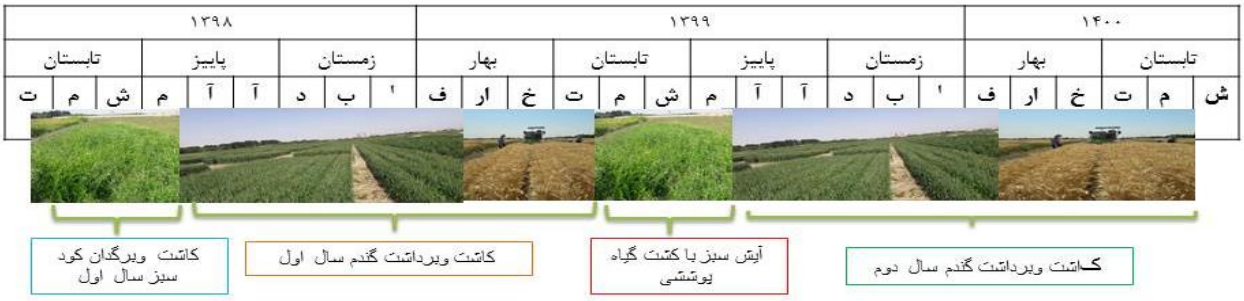
بذرگندم مورد مطالعه رقم بهاران بود که در اوایل آبان‌ماه با تراکم بذری ۴۰۰ عدد در متر مربع و بر اساس وزن هزار دانه در هر سال زراعی کشت شد. عملیات زراعی شامل مصرف کود پایه، کود سرک، مبارزه با آفت سن و آبیاری بر اساس نیاز گیاه انجام شد. پس از رسیدگی کامل در هرسال برداشت محصول گندم جهت تعیین عملکرد، محصول هر کرت با کمباین آزمایشی به عرض ۱/۵ متر شامل ردیف‌های وسط به طور جداگانه انجام شد. محصول گندم گیاهان پوششی کود سبزدر دو بخش رشد به مدت ۶۰ تا ۶۵ روز و در دو هفته پیش از کاشت گندم کاشت شدند.

جدول ۱-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در ابتدای سال اول

ظرفیت تبادل کاتیون	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	هدایت الکتریکی	اسیدیته گل اشباع	درصد ازت کل	فسفر قابل جذب	پتاسم قابل جذب	درصد کربن آلی	درصد مواد آلی
CEC	Clay%	Silt%	Sand%	EC	PH	N%	P%	K%	OC%	SOC٪
۱۶/۳۴	۲۴/۳۳	۳۸/۶۷	۳۷	۱/۲۷	۷/۹۸	۰/۰۴	۷/۴	۱۴۸/۳۳	۰/۴۵	۰/۷۷

این عملیات در سال دوم نیز عیناً تکرار و۲۰ روز پس از برداشت محصول گندم کشت گیاهان پوششی بعد از برداشت گندم انجام و در مهرماه به خاک برگردانده شد و دو هفته بعد کشت، گندم سال دوم مطابق کشت سال اول انجام شد. پس از برداشت محصول گندم سال دوم به منظور ارزیابی اثرات گیاهان پوششی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از هر کرت نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و نمونه برداری از گیاهان پوششی کود سبز و خاک انجام شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه موسسه تحقیقات خاک وآب ارسال و پس از تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل، کربن آلی خاک، فسقر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، نیتروژن کل، تخلخل، پایداری خاکدانه ها وظرفیت تبادل کاتیونی اندازه گیری شد.

نتایج به دست آمده از این تحقیق با استفاده از آزمون‌های آماری مناسب مورد تحلیل قرار گرفتند و تفاوت میانگین‌ها با استفاده از آزمون مقایسه میانگین چند دامنه دانکن مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۲- نمودار تصویری از مراحل کشت گندم و کود سبز در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹.

نتایج و بحث

تولید بیوماس خشک گیاهان پوششی

تجزیه مرکب نشان داد میانگین دو ساله، بیوماس خشک (گیاه پوششی + علف‌هرز) بیوماس گیاه پوششی خالص و بیوماس علف‌هرز تفاوت معنی‌دار آماری داشتند (جدول ۳). تأثیر سال بر تفاوت تیمارها معنی‌دار نبوده و نشان داد که بیوماس در سال اول و دوم تفاوت قابل توجهی نداشته و گیاهان پوششی کود سبز در دو

سال پیاپی از نظر تولید بیوماس تفاوت معنی‌داری نداشتند. بیشترین میزان بیوماس خشک تولیدی به گیاه پوششی سودان گراس تعلق داشت. در رتبه بعدی گیاهان ماشک گل‌خوشه‌ای و گیاه ماش قرار گرفتند. همچنین، کم‌ترین میزان بیوماس خشک به جو تعلق داشت. در مقایسه با دیگر گیاهان غیر لگوم، گیاهان لگوم بیشترین تولید بیوماس را نسبت به سایر گیاهان داشتند. در آزمایشی که توسط دبیقی و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کود سبز شامل مخلوط (ماش + ارزن)، ماش و ارزن در میزان زیست توده تولید شده مشاهده نشد و کم‌ترین وزن خشک تولیدی مربوط به کود سبز جو بود، که احتمالاً این موضوع به علت درجه حرارت بالا در این دوره کشت و عدم تحمل به دمای بالا در جو بوده است که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. در مطالعات رز و همکاران (۲۰۰۸) شبدر برسیم یک‌ساله بیوماس بیشتری نسبت به سایر لگوم‌ها و چاودار تولید کرد. تاربرت و همکاران (۱۹۹۶) تولید بیوماس بیشتر در گیاهان لگوم در مقایسه با گیاهان غیر لگوم را گزارش نمودند.

بیوماس علف‌هرز در دو سال زراعی تفاوت معنی‌دار آماری داشت. تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارها در دو سال زراعی مشاهد شده و اثر سال نیز معنی‌دار بود. بیشترین میزان بیوماس علف‌هرز به تیمار گیاه اسپرس تعلق داشت و در رتبه بعدی ماشک گل‌خوشه‌ای و سویا قرار گرفتند. کم‌ترین میزان بیوماس علف‌هرز به تیمارهای ارزن علوفه‌ای و سودان‌گراس تعلق داشت. نتایج نشان داد که استفاده از گیاهان پوششی کود سبز باعث کاهش قابل توجهی در جمعیت علف‌های‌هرز می‌شود. برخی از گیاهان پوششی کود سبزمانند سورگوم سودان‌گراس، سورگوم دانه‌ای و ارزن علوفه‌ای به دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی خود و مزیت چهار کربنه بودن، توان مهار مؤثرعلف‌های هرز را دارا بودند. کاهش ماده خشک علف‌های‌هرز در حضور گیاهان پوششی در بین ردیف‌های گیاه اصلی توسط بسیاری از محققین گزارش شده است (آچینو و همکاران ۲۰۱۱ ، غفاری و همکاران ۲۰۰۹). بنابراین انتخاب گیاه پوششی مناسب که هم‌چنین توانایی کنترل علف‌های‌هرز را داشته باشد و میزان علف‌های‌هرز را کاهش دهد گزینه بهتری است. سورگوم سودان‌گراس به عنوان یکی از گیاهان پوششی کود سبز در کشت تابستانه، با تولید بیوماس فراوان و قدرت کنترل علف‌های‌هرز مورد توجه قرار دارد.

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله مربوط به گیاهان پوششی مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد گیاه پوششی			عملکرد گندم
		بیوماس خشک علف‌هرز و گیاه پوشش	بیوماس گیاه پوششی	بیوماس علف‌هرز	عملکرد دانه
سال	۱	۴۲۴۱۳۷/۰۹ ns	۴۵۹۳۷/۵ ns	۱۹۱۵۳۰ ns	۱۱۵۰۴۷۲۷۷/۶**
سال در تکرار	۴	۱۵۲۴۴۱/۸ ns	۲۱۴۶۷۱/۹*	۸۰۴۴۴/۶۱۵ ns	۸۶۴۶۴۷۷/۷۱**
تیمار	۱۵	۲۷۰۱۸۳/۰۱*	۵۸۵۴۱۱/۹**	۲۷۵۴۶۰/۷**	۹۳۸۰۹۳/۶ ns
سال*تیمار	۱۵	۱۰۲۰۷۹/۹۸ ns	۲۴۱۳۴۱/۹**	۱۷۸۱۲۹/۴**	۱۰۸۷۲۸۵/۵ ns
خطا	60	۹۸۷۷۹/۵۷۲	۷۹۵۳۸/۶۹	۴۸۸۷۸/۱۴	۶۷۳۷۵۲/۱
ضریب تغییرات (٪)		۳۵/۴	۴۵/۲	۶۵/۴	۱۱/۷

در این مطالعه، میزان بیوماس گیاه پوششی در کشت خالص در تیمارهای مورد بررسی در دو سال تفاوت معنی‌داری نشان دادند. بیشترین میزان بیوماس گیاه پوششی در کشت خالص به گیاه سورگوم سودان‌گراس تعلق داشته، در رتبه‌های دوم و سوم گیاهان ارزن علوفه‌ای و ماش قرار گرفتند. کم‌ترین میزان بیوماس گیاه پوششی در کشت خالص به گیاهان اسپرس و سویا تعلق داشت. گیاه سورگوم سودان‌گراس با داشتن ویژگی چهار کربنه بودن و توان بالای کنترل علف‌های‌هرز، در رتبه اول قرار داشت. همچنین، گیاه ارزن علوفه‌ای به دلیل

توانایی ممانعت بیولوژیکی نیترات‌سازی از طریق ترشحات ریشه، به خصوص در شرایط تنش خشکی، می‌تواند از هدر رفت نیترات در خاک جلوگیری کند و در افزایش عملکرد دانه گندم مؤثر باشد. استفاده از ارزن علوفه‌ای به عنوان یک گیاه پوششی کود سبز در کشت تابستانی، بهبود عملکرد گندم را نشان داده که نکته‌ای مهم در تحول سامانه‌های زراعی گندم بنیان آبی است.

جدول ۳- میانگین دو ساله صفات مربوط به گیاهان پوششی در تیمارهای آزمایشی

ردیف	تیمار گیاه پوششی	میانگین دوساله صفات گیاه پوششی			میانگین دوساله
		بیوماس خشک علف‌هرز وگیاه پوشش ($g.m^{-2}$)	بیوماس علف‌هرز ($g.m^{-2}$)	بیوماس گیاه پوششی خالص ($g.m^{-2}$)	عملکرد دانه ($Kg.ha^{-1}$)
۱	سورگوم دانه‌ای	bcd۸۷۴/۲	c۷۱۸	bc۷۱۸	c۶۲۸۷/۵
۲	ارزن علوفه‌ای	abc۱۰۷۷/۲	c۹۶۵	b۹۶۵	abcv۷۳۱۷/۷
۳	سورگوم سودان-گراس	a۱۵۰۶/۳	c۱۳۹۵	a۱۳۹۵	abcv۷۳۳۰/۳
۴	جو	d۵۹۱/۳	bc۲۹۹	edf۲۹۹	abcv۷۰۶۹
۵	شبدر برسیم	bcd۹۲۳/۵	bc۶۷۳	bd۶۷۳	abc۶۹۹۸/۷ .
۶	شبدر لاکی	bcd۸۰۹/۳	ab۳۳۰	edf۳۳۰	abcv۷۱۸۶/۷
۷	لوبیا چشم بلبلی	bcd.۹۲۷/۵۵	bcv۷۱۲	bcv۷۱۲	bc۶۸۶۳/۸
۸	کلزا	bcd۸۰۷/۸۵	c۶۲۶	bcd۶۲۶	abcv۷۲۰۴/۳
۹	ماش	abc۱۱۳۳۲/۵۵	bc۸۹۶	bc۸۹۶	a۸۱۰۵/۲
۱۰	چاودار	dc۶۹۹/۸۵	c۶۰۸	bcde۶۰۸	abv۷۴۷۷/۲
۱۱	ماشک گل خوشه‌ای	ab۱۷۷۸/۳	a۵۶۹	cdef۵۶۹	abcv۷۲۵۷
۱۲	یولاف	bcd۱۰۲۲/۵	ab۵۳۲	cdef۵۳۲	abcv۷۳۳۷/۲
۱۳	گلرنگ	abc۱۰۸۴	abc۸۶۵	bc۸۶۵	abcv۷۵۳۵/۲
۱۴	سویا	bcd۸۸۲/۸	a۲۴۲	ef۲۴۲	abv۷۴۱۱/۵
۱۵	کنجد	bcd۹۳۱/۲	a۳۱۷	ef۳۱۷	abv۷۵۹۷
۱۶	اسپرس	bcd۹۳۱/۳	a۲۷۷	f۲۷۷	abv۷۶۵۴/۳
۱۷	شاهد	–	–	–	ab۶۹۲۴

در هر ستون تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک با هم تفاوت معنی‌دار ندارند

عملکرد گندم

در سال اول از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری در بین تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نشد و کشت گیاهان پوششی در سال اول تاثیر معنی‌داری بر عملکرد محصول گندم نداشت. همچنین در سال دوم نیز تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه گندم مشاهده نشد (جدول۴).

جدول۴- نتایج تجزیه واریانس ساده عملکرد گندم در سال اول و دوم

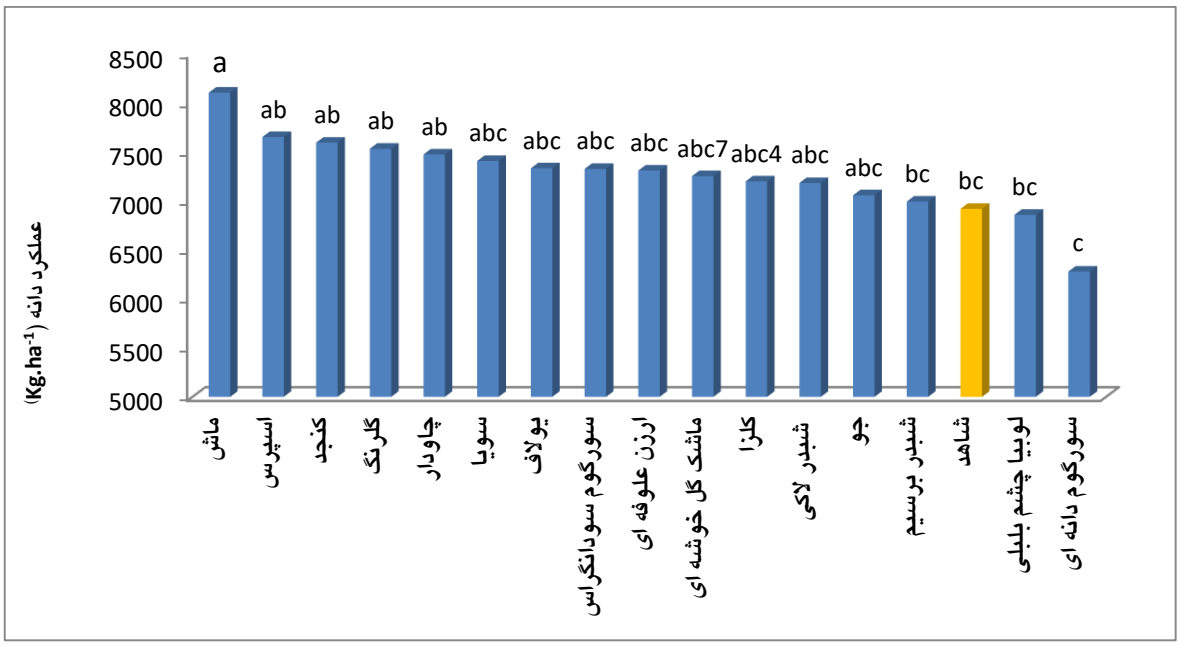
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد گندم سال اول	عملکرد گندم سال دوم
بلوک	۲	۱۶۰۳۱۷۴۴/۶**	۴۸۲۲۰/۷ns
تیمار	۱۶	۲۳۴۹۷۵/۷ns	۱۷۳۱۶۱۶/۹ns
خطا	۳۲	۳۸۸۸۹۴/۸	۹۶۷۳۴۲
ضریب تغییرات	-	۱۰/۰۸	۱۱/۷۸

ns غیر معنی دار *و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

تجزیه واریانس مرکب دو ساله عملکرد دانه گندم نشان داد تیمارها از نظر عملکرد دانه تفاوت‌های معنی-داری باهم ندارند. اثر سال معنی‌دار بوده و نتایج عملکرد سال اول و دوم تفاوت معنی‌داری باهم دارند. اثر سال تیمار در سال نیز معنی‌دار نشد و این به این معنی است که گیاهان پوششی در دو سال مورد بررسی تفاوت‌های یکسانی از خود نشان دادند (جدول۲). میانگین عملکرد دانه در دو سال بررسی تفاوت بسیار معنی‌داری داشتند. میانگین عملکرد گندم سال دوم (۸۱۳۵ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سال اول (۶۱۹۵ کیلوگرم در هکتار) به میزان ۱۳۵۱ کیلوگرم معادل ۲۱ درصد افزایش نشان داد. میانگین تیمارهای گیاهان پوششی مورد مطالعه در دو سال، تفاوت معنی‌داری از خود نشان ندادند. علیرغم معنی‌دار نشدن تفاوت بین تیمارها، گروه‌بندی تیمارها با آزمون دانکن از نظر نتایج عملکرد تیمارها در گروه‌بندی-ها متفاوت قرار داد (شکل ۳) میانگین حداکثر مقدار عملکرد دانه در دو سال به میزان ۸۱۰۵ کیوگرم در هکتار به تیمار پس از کشت ماش اختصاص داشت. همچنین تیمارهای پس از کشت ماش، کنجد و اسپرس دارای عملکرد دانه بالاتری بود و عملکرد دانه تیمار گیاه پوششی سورگوم دانه‌ای کم‌ترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. در این بررسی دو ساله علی‌رغم معنی‌دار نشدن تفاوت عملکرد تیمارها، اختلاف بالاترین عملکرد با شاهد، میزان ۱۱۸۱ کیلوگرم در هکتار (۱۷ درصد) افزایش نشان می‌دهد که از نظر اقتصادی عدد قابل توجهی است (نمودار۳). لذا علیرغم معنی‌دار نشدن تفاوت بین تیمارهای مورد مقایسه و تفاوت نتیجه سال اول و دوم می‌توان کشت گیاهان پوششی به عنوان کود سبز را بهبود عملکرد دانه گندم توصیه نمود. در مطالعه مشابهی نتایج گیمیری و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد تیمارهای گیاهان پوششی در دو سال مطالعه نداشتند. عملکرد گندم در سال ۲۰۱۷ بیشتر از سال ۲۰۱۶ بود که احتمالاً به دلیل بهبود شرایط محیطی خاک طی سال‌ها با اتخاذ خاک‌ورزی بدون خاک‌ورزی بوده است. تفاوت معنی‌دار در عملکرد گندم زمستانه در بین محصولات پوششی و تیمار آیش نیز نیاز به مطالعه طولانی مدت را نشان می‌دهد. که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در خصوص افزایش عملکرد گیاه ماش می‌توان اشاره نمود که این گیاه از خانواده لگومینوز بوده و این گیاهان اثرات مهم در بهسازی خاک دارند.

استفاده از گیاهان پوششی کود سبز مانند ماش باعث افزایش تعداد دانه در سنبله و در نتیجه افزایش عملکرد دانه گندم شد. گرامی و همکاران (۲۰۱۳) بیان نمودند که بین تیمارهای کود سبز برای صفت عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کود سبز لوبیا چشم‌بلبلی بهترین تأثیر را دارا بود. مدحج و محمدپور (۲۰۱۴) گزارش نمودند، افزایش عملکرد دانه در تیمارهای کود سبز (گیاه ماش) نسبت به تیمار آیش به دلیل افزایش تعداد دانه در واحد سطح و عملکرد بیولوژیکی بود. به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای سبز و معدنی به طور همزمان باعث افزایش جذب کودهای معدنی و همچنین افزایش استفاده گندم از عناصر غذایی موجود در کودهای سبز شد. نتایج بررسی شریفی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد نوع گیاه پوششی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه دارد. محمدپور و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که کاشت ماش جهت استفاده به عنوان کود سبز

باعث افزایش عملکرد دانه گندم نسبت به شرایط آیش شد. کشت ماش در تاریخ‌های مختلف به عنوان کود سبز عامل مهم اکولوژیک در روند افزایش محتوای مواد آلی و مواد غذایی اصلی در خاک شد. گرامی و همکاران (۲۰۱۳) بیان نمودند که بین تیمارهای کود سبز برای صفت عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کودسبز لوبیا



شکل ۳- مقایسه میانگین دو ساله نتایج عملکرد دانه گندم پس از کشت گیاهان پوششی

چشم بلبلی بهترین تأثیر را دارا بود. نتایج تحقیق عبدی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد گیاهان شبدر سفید و ماشک به دلیل داشتن نسبت C/N پایین، افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک و نیتروژن کل قابل استفاده برای گیاه بعدی، می‌توانند به عنوان مناسب‌ترین کود سبز در بین گیاهان مورد مطالعه معرفی شوند. بلاچو و آبرنا (۲۰۱۱) گزارش دادند که کشت لگوم‌ها به عنوان کود سبز از طریق افزایش میزان عناصر غذایی قابل دسترس و میزان مواد آلی خاک باعث افزایش عملکرد دانه گندم شد. نتایج فرزادی و سیدنورالدین (۲۰۱۳) نشان داد که گیاه پوششی ماش ضمن کنترل وزن خشک علف‌های هرز گندم باعث افزایش تعداد دانه در سنبله (۱۴۸ سنبله در متر مربع)، افزایش تعداد دانه در سنبله (۸ دانه در هر سنبله) و در نهایت موجب افزایش عملکرد گندم رقم چمران به میزان ۱۳۴۱ کیلوگر م در هکتار نسبت به تیمار آیش شد. بنابراین، استفاده از گیاهان پوششی کود سبز مانند ماشک گل‌خوشه‌ای، یولاف و سویا می‌تواند بهبود عملکرد گندم را در این صفات ارائه دهد (جدول ۳).

صفات مربوط به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی خاک

در جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس مربوط به خصوصیت فیزیکی، شیمیایی خاک مورد مطالعه آورده شده است. هیچکدام از صفات مربوط به خاک در این بررسی معنی‌دار نبود و تیمارها از نظر آماری تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند (جدول۵). با توجه به ماهیت خاک ایجاد تغییرات درخاک بسیار بطئی بوده ونیاز به مدت زمان طولانی دارد. مقایسه میانگین صفات درجدول۶ آورده شده است. بیشترین مقدار کربن آلی خاک به تیمارهای لوبیا چشم بلبلی و ماش تعلق داشته و کم‌ترین مقدار آن به تیمارهای سویا و چاودار متعلق بود. در تیمارهای مختلف گیاهان پوششی کود سبز تفاوت معنی‌داری نداشتند.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس ماده آلی خاک گیاهان پوششی مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		ماده آلی خاک	نیتروژن کل	نسبت کربن به نیتروژن	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	ظرفیت تبادل کاتیونی	جرم مخصوص ظاهری خاک	تخلخل	پایداری خاکدانه ها
بلوک	۲	۰/۰۱۰۲۴	۰/۰۱۸۶۶۱۲۵	۰/۱۹۲۹۳۲۷۱	۳۱۴/۴۲۴	۱۳۹۰۱۹/۱	۳۴/۱۲۹	۲۱۱۶/۲۷	۰/۰۰۵۶۸	۹۰۹/۲
تیمار	۱۵	۰/۰۱۲۰۶^{ns}	۰/۰۱۶۹۹۸۷۲^{ns}	۰/۸۷۸۲۵۰۷^{ns}	۸۴/۱۹^{ns}	۵۳۳۰/۵ ^{ns}	۱۱/۲۸۹^{ns}	۱۹۷۴/۷ ^{ns}	۰/۰۰۳۵۰ ns	۱/۵۸۴^{ns}
خطا	۳۰	۰/۱۱۶۳۰	۰/۱۸۴۸۷۱۶	۰/۱۰۰۸۹۶۶۳^{ns}	۱۵۰/۵۳۰^{ns}	۳۹۰۶/۸	۲۴۲/۸۵۴	۲۰۴۰	۰/۰۰۴۴۱	۱/۸۴۴۶۵
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۳/۳۵	۱۳۲	۳/۲۶	۴۸/۵۶	۲۳/۰۱	۱۸/۲۷	۵۷۷/۳۳	۱۵/۶۲	۸/۱۳۰

ns غیر معنی دار *و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

بررسی نتایج آزمون خاک قبل (جدول ۱) و بعد از استفاده از گیاهان پوششی کود سبز (جدول۶) نشان داد که میانگین درصد کربن آلی خاک در آخرین سال زراعی ۰/۸۱ درصد بوده است، در حالی که در سال شروع تحقیق این میزان ۰/۴۵ درصد بود. این نتایج نشان می-دهد که در یک دوره کوتاه دو ساله می‌توان درصد کربن آلی خاک را حدود ۸۰ درصد افزایش داد.

استفاده از گیاهان به عنوان کود سبز تأثیر مثبتی بر افزایش کربن آلی خاک و میزان نیتروژن در خاک دارد (سابینیت و همکاران ۲۰۱۰) که نتایج تحقیق حاضر نیز این اثر را تأیید می‌کند. ماندل و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند کود سبز ماش باعث بهبود ساختمان خاک، افزایش میزان مواد آلی و میزان نیتروژن موجود در خاک و افزایش میزان عملکرد دانه گندم شد. میزان نیتروژن کل خاک در تیمارهای مختلف گیاهان پوششی کود سبز تفاوت معنی‌داری نداشتند. تیمارهای لوبیا چشم بلبلی و ماش بیشترین مقدار نیتروژن کل در خاک را نشان دادند، که بر این واقعیت تأکید داشته که این گیاهان یاد شده به خوبی در دمای بالای نیمه تابستان رشد و نمو داشته‌اند و نیتروژن را در بیوماس خود ذخیره کرده‌اند تا برای گندم قابل استفاده باشد. در مقابل، تیمار سویا کم‌ترین مقدار نیتروژن کل را نشان داد، که نشان می‌دهد سویا به عنوان گیاه پوششی کود سبز رشد مطلوبی را در دوره نیمه دوم تابستان به بعد نداشته است. اهمیت افزودن گیاهان کود سبز در خاک، آزادسازی عناصری مانند نیتروژن از این گیاهان می‌باشد. نیتروژن آزاد شده از گیاهان کود سبز می‌تواند توسط گیاهان کشت بعدی مورد استفاده قرار گیرد و چون این میزان نیتروژن به تدریج از مواد آلی رها می‌شود بنابراین خطر آبشویی آن کاهش می‌یابد (واد و سانکز ۱۹۸۳). عبدی و همکاران (۲۰۱۵) طی یک آزمایش دوساله اعلام نمودند افزایش درصد نیتروژن کل در خاک در اثر افزودن بقایای سبز گیاهان خانواده لگوم یعنی ماشک، گاودانه، اسپرس و انواع شبدر بیشتر از سایر گیاهان مورد آزمایش بوده است. استفاده از ارزن علوفه‌ای به عنوان یک گیاه پوششی کود سبز در کشت تابستانی، بهبود عملکرد گندم را نشان داده که نکته‌ای مهم در تحول سامانه‌های زراعی گندم بنیان آبی است. در خصوص گیاه ارزن قابل ذکر است که براساس نتایج آخرین تحقیقات در این زمینه گیاه ارزن علوفه‌ای به دلیل دارا بودن توانایی ممانعت بیولوژیکی نیترات‌سازی (Inhibition nitrification Biological) از طریق ترشحات ریشه این گیاه بویژه در شرایط تنش خشکی که در ماه‌های گرم تابستان ممکن است رخ دهد از هدر رفت نیترات ذخیره شده در خاک جلوگیری نمود که این انباشت می‌تواند توسط گندم پس از آن مورد استفاده قرار گیرد (گتاک و همکاران ۲۰۲۲).

نتایج جدول ۶ نشان داد که نسبت کربن به نیتروژن خاک در تیمارهای مختلف گیاهان پوششی کود سبز تفاوت معنی‌داری نداشتند. تیمارهای ماشک گل‌خوشه‌ای و سورگوم سودان‌گراس بیشترین نسبت کربن به

نیتروژن را داشتند، در حالی‌که شبدر برسیم و گلرنگ کم‌ترین نسبت یاد شده را داشتند. با این حال، نسبت کربن به نیتروژن به تنهایی نمی‌تواند نشان دهنده وضعیت کربن و نیتروژن خاک باشد و بایستی به اعداد مربوط به کربن و نیتروژن و همچنین نسبت C/N خاک توجه کرد. مطابق تحقیقات گذشته، بالا بودن نسبت C/N می‌تواند باعث کاهش معدنی شدن و افزایش پدیده آلی شدن شود (کومار و گاه ۲۰۰۲) بر اساس نتایج یک آزمایش دوساله، گیاهان شبدر سفید و ماشک به دلیل نسبت C/N پایین، میزان فسفر قابل جذب خاک و نیتروژن کل قابل استفاده برای گیاهان بعدی را افزایش می‌دهد (کوچکی و همکاران ۲۰۰۵) و به عنوان بهترین کود سبز در بین گیاهان مورد مطالعه معرفی می‌شوند.

جدول ۶- میانگین صفات مربوط به خصوصیات فیزیکی ،شیمیایی خاک

تیمار گیاه پوششی	میانگین دوساله صفات خاک								
	میزان کربن آلی(٪)	نیتروژن کل	نسبت کربن به نیتروژن	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	ظرفیت تبادل کاتیونی	جرم مخصوص ظاهری خاک	تخلخل	پایداری خاکدانه ها
سورگوم دانه ای	۰/۸۹ a	۰/۰۹ a	۹/۹ a	۲۲/۹۳ a	۳۰۳/۳ abc	۱۸/۳ ab	۱/۵۷ a	۰/۴۲ ab	۰/۹۷ a
ارزن علوفه ای	۰/۸۷ a	۰/۰۹ a	۹/۷ a	۲۴/۳۳ a	۲۷۳/۳ abc	۲۰/۳ a	۱/۵۲a	۰/۴۳ ab	۰/۸۷a
سورگوم سودان گراس	۰/۸۴ a	۰/۰۸۳ a	۱۰ a	۲۶/۸۷ a	۲۵۸/۳ abc	۱۸/۵ ab	۱/۵۸ a	۰/۴۳ ab	۰/۹۶ a
جو	۰/۷۸ a	۰/۰۸ a	۹/۷ a	۱۸/۴ a	۲۴۸/۳ abc	۱۵/۳ ab	۱/۶۷a	۰/۴۱ ab	۰/۹۳ a
شبدر برسیم	۰/۸۶ a	۰/۰۹ a	۹/۵ a	۲۹/۲ a	۳۴۶/۶۷ ab	۱۷/۱ ab	۱/۵۳a	۰/۳۸ b	۰/۷۴ a
شبدر لاکی	۰/۹۱ a	۰/۰۹۳ a	۹/۷ a	۲۱/۷۳ a	۲۵۱/۷ abc	۱۵/۵ ab	۱/۴۸ a	۰/۳۸ b	۰/۷۹ a
لوبیا چشم بلبلی	۰/۷۵ a	۰/۱ a	۹/۴ a	۲۷/۶۷ a	۱۸۵/۰ c	۱۴/۴ b	۱/۵۹ a	۰/۵۲ a	۰/۶۸ b
کلزا	۰/۷۳ a	۰/۰۷۳ a	۹/۸ a	۲۷/۴۷ a	۲۴۳ abc	۱۶/۳ ab	۱/۴۷ a	۰/۴۳ ab	۰/۹۶ a
ماش	۰/۹۲ a	۰/۰۹۵ a	۹/۷ a	۲۷/۷۳ a	۳۶۵ a	۱۳/۶ b	۱/۵۶ a	۰/۴۰ ab	۰/۷۶a
چاودار	۰/۷۵ a	۰/۰۷۷ a	۹/۸ a	۲۴/۴ a	۲۹۷/۷ abc	۱۶/۵ ab	۱/۴۴ a	۰/۴۵ ab	۰/۹۰ a
ماشک گل خوشه ای	۰/۷۶ a	۰/۰۸ a	۹/۵ a	۲۱/۶۷ a	۲۷۶/۷ abc	۱۵/۱ ab	۱/۷۴ a	۰/۳۹ ab	۰/۸۱ a
یولاف	۰/۷۵ a	۰/۰۷۷ a	۹/۸ a	۳۰/۸۷ a	۲۵۸/۳ abc	۱۶/۰ ab	۱/۵۳ a	۰/۴۳ ab	۰/۷۵ a
گلرنگ	۰/۸۱ a	۰/۰۸۳ a	۹/۷ a	۳۱/۱۷ a	۲۸۶/۷ abc	۱۴/۳ b	۱۵۸ a	۰/۴۰ ab	۰/۸۵ a
سویا	۰/۸۴ a	۰/۰۸۳ a	۱۰a	۲۸/۹۳ a	۳۲۶/۷ab	138 b	۱/۵۳a	۰/۴۴ ab	۰/۸۲a
کنجد	۰/۷۴ a	۰/۰۷a	۹/۷a	۲۰/۳۷a	۲۳۰bc	۱۳/۷ b	۱/۵۰a	۰/۴۳ab	۰/۸۸a
اسپرس	۰/۷۷a	۰/۰۸ a	۹/۷a	۱۴/۵۳ a	۲۲۶/۷bc	۱۲/۰ b	۱/۴۵ a	۰/۴۳ab	۰/۸۶a

فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای مختلف گیاهان پوششی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. بیشترین میزان فسفر قابل جذب مربوط به تیمار گیاه پوششی کود سبز گلرنگ بود که به نظر می‌رسد با توانایی این گیاه در توسعه سطح جذب ریشه از طریق ارتباط با قارچ‌های مایکوریزا در خاک مربوط باشد. کم‌ترین فسفر قابل جذب خاک به تیمار اسپرس تعلق داشت که نشان می‌دهد این گیاه به دلیل سازگاری کم‌تر با دمای بالای محیط در تابستان نمی‌تواند در ارتقاء و بهبود فسفر قابل جذب خاک موفق باشد. آزاد شدن فسفر بعد از زیر خاک نمودن بقایای گیاهان پوششی موجب توسعه مناسب ریشه‌ها شده و منجر به جذب بیشتر عناصر غذایی و گیاهچه‌های قوی می‌گردد (جمشیدیان و خواجه‌پور ۱۹۹۸). مقایسه میانگین میزان فسفر بعد از کشت گیاهان پوششی با نتایج قبل از استفاده از گیاهان پوششی حاکی از افزایش ۱۱۱ درصدی آن می‌باشد (جدول ۷). اگر کود سبز (نسبت C/Nپایین) مانند شبدر سفید، شبدر قرمز، شبدر برسیم، اسپرس، ماشک و گاودانه داشته باشد، تجزیه سریع

انجام می‌گیرد و در طی این فرآیند، اسید کربنیک آزاد می‌شود و اسیدیته خاک کاهش می‌یابد و با اسیدی شدن خاک قابلیت دسترسی فسفر افزایش می‌یابد (کوچکی و همکاران ۲۰۰۵).

میزان پتاسیم قابل جذب خاک در در تیمارهای مختلف گیاهان پوششی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. بیشترین میزان پتاسیم قابل جذب مربوط به تیمار گیاه پوششی کود سبز شبدر برسیم و سویا بود و کم‌ترین میزان پتاسیم قابل جذب خاک به تیمار اسپرس تعلق داشت که نشان می‌دهد این گیاه به دلیل سازگاری کم‌تر با دمای بالای محیط در تابستان نمی‌تواند در ارتقاء و بهبود پتاسیم قابل جذب خاک موفق باشد. مقایسه میانگین میزان پتاسیم بعد از کشت گیاهان پوششی با نتایج قبل از استفاده از گیاهان پوششی حاکی از افزایش ۸۰ درصدی این عنصر می‌باشد (جدول ۷).

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) در تیمارهای مختلف گیاهان پوششی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد در این بررسی بیشترین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به تیمارهای گیاهان پوششی کود سبز ارزن علوفه‌ای و سورگوم سودان‌گراس و کم‌ترین میزان به اسپرس و چاودار تعلق داشت. مقایسه میانگین میزان فسفر بعد از کشت گیاهان پوششی با نتایج قبل از استفاده از گیاهان پوششی حاکی از ۴/۵ درصدی این عامل می‌باشد (جدول ۷).

جرم مخصوص ظاهری خاک در در تیمار های مختلف گیاهان پوششی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد در این بررسی بیشترین جرم مخصوص ظاهری به تیمارهای گیاهان پوششی کود سبز ارزن علوفه‌ای و سورگوم سودان‌گراس و کم‌ترین میزان به اسپرس و چاودار تعلق داشت.). نوع و میزان بقایای گیاهی در خاک می‌تواند سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شود (ژانگ و همکاران ۲۰۰۹)

درصد تخلخل خاک در تیمارهای مختلف گیاهان پوششی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۵). بیشترین میزان تخلخل خاک واحدهای ثابت آزمایشی زیر کشت گیاهان کود سبز لوبیا چشم‌بلبلی و کم‌ترین آن به شبدر برسیم و شبدر لاکی تعلق داشت. بقایای گیاهی در خاک باعث افزایش مـواد آلـی شده و مواد آلی خاک باعث دانه بندی بهتر خاک بهبود دانه‌بندی خاک تخلخل آن را افزایش داده و باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود. عظیم زاده و همکاران (۲۰۰۲). سیدل و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که کاشت گیاهان پوششی تاثیر معنی‌داری بر تخلخل خاک نداشته، همچنین کاکاییان و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند که نوع گیاه پوششی تاثیر معنی‌داری بر تخلخل خاک نداشت.

پایداری خاکدانه در تیمارهای مختلف گیاهان پوششی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۶). بیشترین پایداری خاکدانه به روش الک مرطوب با کیفیت فیزیکی بسیار عالی (حدود ۹۷ درصد) به ترتیب به تیمارهای سورگوم دانه‌ای، سورگوم سودان‌گراس و سویا و کم‌ترین آن با کیفیت فیزیکی متوسط تا خوب (حدود ۶۷ درصد) به تیمار گیاه پوششی کود سبز کلزا تعلق داشت. پایداری خاکدانه‌های زیر ۲۵ درصد کیفیت فیزیکی ضعیف، ۳۰ تا ۵۰ درصد کیفیت فیزیکی پایین تا متوسط، ۵۰ تا ۷۵ درصد کیفیت فیزیکی متوسط تا خوب و بالای ۸۰ درصد کیفیت فیزیکی عالی در نظر گرفته می‌شود که بر روی خاک‌های بافت مشابه مقیاس‌بندی شده است (ورهالست و همکاران ۲۰۱۰).

همبستگی صفات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک

بر اساس نتایج همبستگی بین صفات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک محل اجرای آزمایش در سال آخر اجرای آزمایش، بین کربن آلی با نیتروژن کل و با پتاسیم قابل جذب، پایداری خاک‌دانه و نسبت C/N همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت، در حالی‌که بین وزن مخصوص ظاهری خاک با تخلخل همبستگی منفی و معنی‌دار بود. همچنین بین وزن مخصوص ظاهری خاک با پتاسیم قابل جذب و بین پتاسیم قابل جذب با نیتروژن کل و نیز بین کربن آلی با نسبت کربن به نیتروژن خاک همبستگی‌ها مثبت و معنی‌دار بودند (جدول ۸).

جدول ۷- مقایسه نتایج میانگین کربن آلی درصد ازت کل خاک ، ماده آلی و نسبت کربن به نیتروژن خاک قبل و بعد از کاریرد گیاهان پوششی در مزرعه

شرح	درصد کربن آلی	درصد ماده آلی خاک	درصد نیتروژن کل	نسبت کربن به نیتروژن(C/N)	فسفر قابل جذب	پتاسم قابل جذب	ظرفیت تبادل کاتیونی
قبل از تیمار گیاه پوششی	۰/۴۵	۰/۷۸	۰/۰۴	۱۱/۲۵	۷/۴	۱۴۸/۳	۱۶/۳۴
پس از تیمار گیاه پوششی	۰/۸۱	۱/۴	۰/۰۸۴۴	۹/۶	۱۷/۳	۲۷۵/۵	۱۵/۶
میزان افزایش(٪)	۸۰	۸۰	۱۱۱	-۱۴/۶۹	۱۳۳/۸	۸۵/۸	-۴/۵

جدول ۸- ضرایب همبستگی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

	کربن آلی ٪	فسفر قابل جذب	ظرفیت تبادل کاتیونی خاک	جرم مخصوص ظاهری	تخلخل ٪	پتاسیم قابل جذب	پایداری خاکدانه	نیتروژن کل ٪	نسبت کربن به نیتروژن
کربن آلی ٪	۱								
فسفر قابل جذب	۰/۲۷۴	۱							
ظرفیت تبادل کاتیونی	-۰/۱۰۳	۰/۰۱۴	۱						
جرم مخصوص	۰/۱۷۹	۰/۲۲۷	۰/۰۹۹	۱					
تخلخل ٪	-۰/۱۸۸	۰/۲۱۲	-۰/۰۴۸	-۰/۹۸۱	۱				
پتاسیم قابل جذب	۰/۴۲۳**	۰/۰۵۸	-۰/۰۰۶	۰/۳۱۲*	-۰/۲۸۷	۱			
پایداری خاکدانه	۰/۲۲۶**	-۰/۰۰۶	۰/۱۵	۰/۰۱۱	۰/۰۳۷	۰/۲۵۴	۱		
نیتروژن کل ٪	۰./۹۷۵**	۰/۲۵۷	۰/۰۵۹	۰/۲۱۳	۰/۲۲۱	۰/۴۱۶**	۰/۲۰۲	۱	
نسبت کربن به نیتروژن	۰/۳۷۹**	۰/۱۳۷	-۰/۱۹۹	-۰/۹۴	۰/۰۸۳	۰/۲۰۲	۰/۱۴۸	۰/۱۶۶	۱

ns غیر معنی دار *و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

نتیجه گیری کلی

نتایج تحقیق نشان در بررسی دوساله اکثر تیمارها عملکرد بالاتری نسبت به گیاه شاهد داشتند لذا علی‌رغم معنی‌دار نشدن تفاوت بین تیمارها به علت بالا بودن تفاوت عملکرد گیاه ماش (۱۱۸۱ کیلوگرم در هکتار) این گیاه را می‌توان جهت بهبود شرایط خاک و افزایش عملکرد دانه گندم معرفی نمود. کشت این گیاه پوششی برای کاشت و به زیر خاک بردن در نیمه دوم تابستان تا اواخر مهرماه یعنی پیش از کاشت گندم توصیه می‌شود. کاشت گیاهان پوششی کود سبز، قبل از گندم اصلی به دلیل ثبات واحدهای آزمایشی در دو سال، تأثیرات مثبتی بر رشد، عملکرد و کیفیت گندم و همچنین خاک داشت. افزایش قابل توجه درصد کربن آلی خاک به میزان ۸۱ درصد (از ۰/۴۵ درصد در ابتدا به ۰/۸۱ درصد در سال زراعی انتهایی) نشان می‌دهد. استفاده از کودهای سبز باعث افزایش میزان فسفر و پتاسیم خاک می‌شود. بسته به هدف از گیاهان پوششی می‌توان برای اهداف مشخصی استفاده نمود. برای بالا بردن میزان ماده آلی خاک برای گیاه پوششی ماش، افزایش میزان ازت کل و میزان تخلخل گیاه پوششی لوبیا چشم بلبلی، برای بالا بردن نسبت C/N، پایداری خاک‌دانه‌ها و افزایش میزان نگه‌داری رطوبت خاک و افزایش پایداری خاک دانه‌ها گیاه سورگوم علوفه‌ای، افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک گیاه گلرنگ، میزان پتاسیم قابل جذب خاک گیاهان شبدر

برسیم و سویا، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک گیاه پوششی ارزن علوفه‌ای و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک گیاه ماشک گل خوشه‌ای و توصیه می‌شود.

گیاهان خانواده لگومینوز (پروانه آسا) مانند لوبیا چشم بلبلی، ماش و ماشک گل‌خوشه‌ای اهمیت ویژه‌ای در افزایش ماده آلی خاک دارند. همچنین، تیمارهای سورگوم دانه‌ای، سورگوم سودان‌گراس و ارزن علوفه‌ای نیز تولید بیوماس بالایی دارند. این نتایج نشان می‌دهند که تنها تولید بیوماس بالا نمی‌تواند مبنای انتخاب کود سبز باشد، بلکه باید به تأثیرات آن بر خصوصیات خاک، به ویژه کربن آلی خاک توجه شود. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که دمای بالا در ماه مرداد برای رشد و نمو لوبیا چشم‌بلبلی مناسب نیست، بنابراین این گیاهان به عنوان گیاهان پوششی کود سبز در اواسط تابستان توصیه نمی‌شوند.

سپاسگزاری

برخود لازم می دانیم از آقایان دکتر اسماعیل زاده، نجفی میرک، قزوینی، جاسمی، سرکار خانم دکترنقی پور،اعضای هیات علمی وآقای دکتر قربانی وسرکار خانم مهندس رمضانی کارشناسان موسسه تحقیقات و پرسنل مزرعه تحقیقاتی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر اصلاح وتهیه نهال و بذر که در اجرای طرح پژوهشی ما را یاری نمودند تقدیر وتشکر نماییم. همچنین از آقایان دکتر اصغر رحیمی ،مهندس علی بیگلری، مهندس ناصر پیمانی، مهندس مهران دادخواهی، سرکار خانم کبری دهقانی نژاد سپاسگزاری می نماییم.

منابع مورد استفاده

Abdani F , Farzaneh M and Meskarbashee M . 2017. The effect of cover crop rye, hairy vetch and residuals on weeds, yield and yield components of wheat. Plant Ecophysiology (Arsanjan Branch), 10 (35): 221-233. DOR: 20.1001.1.20085958.1397.10.35.20.

Abdi S, Tajbakhsh M, 2 Abdollahi Mandoulakani B and Rasouli M H. 2015. The effect of different green manures on availability of phosphor, total nitrogen and organic carbon content. Applied Field Crops Research, 107:48-57. (In Persian with English Abstract). DOI: 10.22092/AJ.2015.105685.

Adetunji A, Tomiwa B, Ncube R, Mulidzi F and Bayo L. 2020. Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review. Soil and Tillage Research, 204: 104717. . doi: 10.1016/j.still.2020.104717

Azimzadeh, M., A. Kochi, and M. Top. 1381. Investigating the effect of different plowing methods on apparent specific gravity, porosity, soil moisture and wheat yield in rainfed conditions. Journal of Agricultural Sciences of Iran, 4)3 :(209-224. DOR: 20.1001.1.15625540.1381.4.3.7.2

Belachew, T. and Abera, Y. 2011. Effect of green manuring in combination with nitrogen on soil fertility and yield of bread wheat (Triticum aestivum) under double cropping system of Sinanadinsho, Southeast Ethiopia Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 1 (1): 1-11.

Dabighi Kh Esfandiar *F* and Ayenehband A .2016. Different green manure on soil fertilization and weed density reduction. The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture), 39: 1-10. (In Persian with English Abstract). DOI: 10.22055/ppd.2016.12069

Fan F, Vander W, Makowski D, Cong W and Zhang F. 2021. Cover crops promote primary crop yield in China: A meta-regression of factors affecting yield gain. Field Crops Research, 271: 108237. DOI:10.1016/j.fcr.2021.108237

Farzadi H and Seyed Masoum S N . 2013. Effect of cover crops on weeds dry matter and grain yield of wheat cv. chamran in north Khuzestan in Iran. Seed and Plant Production, 29: 569-581. (In Persian with English Abstract). DOI:10.22092/SPPJ.2017.110531.

Francaviglia, R, Almagro M and Vicente-Vicente J L.2023. Conservation agriculture and soil organic carbon: principles, processes, practices and policy options. Research on Soil Management and Conservation, 7: 17-30. doi:10.3390/7010017

Gerami F, Ayneh band A and Fateh E. 2013. Effect of Green Manures and Nitrogen Fertilizer Levels on Early Growth, Yield and Yield Components of Wheat (*Triticum aestivum* L.), Agricultural Science and Sustainable Production, 23(1): 1-17. (In Persian with English Abstract).

Ghafari, M., Elahi panah, F., Soghani, M., Nadali, A. and Morovati, A. 2011. Ecological control of weed by cover crops: effect on winter weed and weed stabilized in potato culture. Proc. the National Conf. of New Achievements in Agronomy. Islamic Azad University of Shahre-Qods, Iran. (In Farsi).

Ghatak A, Schindler F, Bachmann G, Chaturvedi P and Weckwerth W. 2022. Root exudation of contrasting drought-stressed pearl millet genotypes conveys varying biological nitrification inhibition (BNI) activity ,Biology and Fertility of Soils, 2022, 58(3), pp. 291–306. doi.org/10.1007/s00374-021-01578-w

Ghimire R, Binod G, Abdel O, Upendra M and Omololu J. 2019. Soil health response of cover crops in winter wheat–fallow system. Agronomy Journal. 111: 2108-2115. doi: 10.2134/agronj2018.08.0492

Guo R, Li P, ChristieQ, Chen R, and Zhang F. 2008. Influence of root zone nitrogenmanagement and a summer catch crop on cucumber yield and soil mineral nitrogen dynamicsin intensive production systems. Plant Soil, 313:55–70. Doi:10.1007/s11104-008-9679-0

Hesami, E., Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., & Farhoodi, R.. (2020). Evaluation of the effect of the return of different types of plant residues to soil on the yield of maize and some soil characteristics in Shoushtar weather conditions. PLANT ECOPHYSIOLOGY (ARSANJAN BRANCH), 12(41), 134-147. SID. https://sid.ir/paper/188441/en

Heydarzadeh S and Jalilian J.. 2020. Effect of fertilizers and cover crops on weed control and some quality characteristics of safflower (Carthamus tinctorius). Iranian Journal of Field Crops. 51(2): 105-120. (In Persian with English Abstract). DOI: 10.22059/IJFCS.2019.223288.654231

Hubbard, R. K., Strickland, T. C., and Phatak, S. 2013. Effects of cover crop systems on soil physical properties and carbon/nitrogen relationships in the coastal plain of southeastern USA. Soil Tillage Research, 126, 276–283. doi: 10.1016/j.still.2012.07.009

jamshidian, R. and M. R. Khajapour. 1999. Investigating the effects of different tillage methods on soil compaction and nutrients and establishment of mung bean after wheat harvest. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of Isfahan University of Technology. Volume 2, Number 3. . (in Persian).Dor: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.4.2

Jian B, Xuan C, Mark S. Reiter A , Ryan D and Stewart A. 2020. A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping. Soil Biology and Biochemistry. 143: 107735. Doi:10.1016/j.soilbio.2020.107735

Jones, A. J., R. D. Grisso and C. A. Shapire. 1988. Soil compaction: Fact and fiction. Common questions and their answers. NE. Coop. Ext. Serv.342. Neb, USA. Journal of Crop Products. 7(1): 131-156

Kakaiyan, Ali Mohammad, Mohammadi, Gholamreza, Qabadi, Mohammad Iqbal, and Najafi, Abdullah. (2014). The effect of pure and mixed rye and vetch cover plants on soil physicochemical properties. Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 25(2), 47-64. SID https://sid.ir/paper/180641/fa

Kim, S.Y., J. Gutierrez, and P.J. Kim. 2012. Considering winter cover crop selection as green manure to control methane emission during rice cultivation in paddy soil. Agriculture, Ecosystems and Environment, 161:130-136. DOI: 10.1016/j.agee.2012.07.026

Koocheki, A., Gholami, A., Mahdavi Damghani, A. and Tabrizi, L. (2005). Organic field crop. Ferdowsi University of Mashhad Publisher. 385pp. (in Persian).

Kumar K and Goh, M. 2002. Management practices of antecedent leguminous and non–leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. European Journal of Agronomy. 16: 295–308. DOI: 10.1016/S1161-0301(01)00133-2 Mandal U, Singh G, Victor U and Sharma K. 2003. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice/wheat cropping system. European Journal of Agronomy. 19: 225-237. Doi:10.1016/S1161-0301(02)00037-0

Modhej A and Mohammad pour A R. 2014. The effect of green manure and different amounts of phosphorus and nitrogen fertilizers on grain yield of wheat in Dezful environmental conditions. Crop Physiology Research Quarterly - Islamic Azad University, Ahvaz Branch. 19: 73-84. (In Persian with English Abstract).

Mohammadpour A , Hunanyan S and Modhej A. 2023, Investigating the possibility of increasing effectiveness of different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers by changing the planting date of mungbean green manure in autumn wheat cultivation. Soil Management and Sustainable Production. 12: 113-131. (In Persian with English Abstract). DOI: 10.22069/ejsms.2022.19933.2052

Oldfield.E, Mark B and Stephen B. 2019. Wood Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields,Soil Geoscience Union. 5: 15–32. Doi: 10.5194/soil-5-15-2019

Page, K.L., Dang, Y.P., & Dalal, R.C. (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. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00031

Poffenbarger H, Mirsky S, Weil R, Maul J, Kramer M, Spargo J, Cavigelli M. 2015. Biomass and nitrogen content of hairy vetch-cereal rye cover crop mixtures as influenced by species proportions. Agronomy journal.107: 2069–208. DOI: 10.2134/agronj14.0462

Ross S M, King R , Izaurralde C and O'Donovan T. 2008. The green manure value of seven clover species grown as annual crops on low and high fertility temperate soils. Canadian Journal of Plant Science, 89: 465-476. DOI: 10.4141/CJPS08173

Sabienet, N., Kusliene, G. and Zaleckas, E. (2010). The influence of land use on soil organic carbon and nitrogen content and redox potential. Agriculture, 97(3): 15-24.

Sen Li I, Danmei G, Xiao G, Xingang Z and Fengzhi W .2017. Effects of Different Summer Cover Crops and Residue Management on Plant Growth and Soil Microbial Community. International Journal of Agriculture and Biology. 19: 1350-1356. DOI: 10.17957/IJAB/15.0416

Sharefee Z, Eslami S V, and Jami Al-Ahmadi M. .2018. Effect of different tillage methods and cover crop types on yield and yield components of wheat. Iranian Journal of Field Crops Research, 49: 217-228. (In Persian with English Abstract). DOI: 10.22067/GSC.V16I1.62248

Seidel EP, da Silva SC, da Silva LPE and Spaki AP, 2012.Effect of cover crops on common bean yield and soil physical properties under no-till system. Acta Scientiarum, 34: 399-404. Doi: 10.4025/actascitechnol.v34i4.11989

Torbert H, Reeves W and Mulvaney L. 1996. Winter legume cover crop benefits to corn: rotation vs. fixed nitrogen effects. Agronomy Journal, 88: 527-535. DOI: https://doi.org/10.2134

Uchino H, Iwama K, Jitsuyama Y, Yudate T and Nakamura S. 2011. Yield losses of soybean and maize by competition with interseeded cover crops and weeds in organic – based cropping systems. Field Crops Research, 113: 342-351. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.06.013

Verhulst , N., Goverts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalma, M., Wall, P., Deckers, J. and Sayre, K. D. 2010. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? In: Lal, R. and Stewart, B. A. (Eds.). Advances in soil science: Food security and soil quality. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp: 137-208. DIO:10.1201/EBK1439800577-7

Wade M K and Sanchez A.1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon Basin. Agronomy Journal, 75: 39-45. DOI: https://doi.org/10.2134

Wittwer, R. A., Dorn, B., Jossi, W., and van der Heijden, M. G. A. 2017. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. Scientific Report. 7:41911. doi: 10.1038/srep41911

Zhang, X. R., H. W. Li, J. He, Q. J. Wang and M. H. Golabi. 2009. Influence of conservation tillage practices on soil properties and crop yields for maize and wheat cultivation in Beijing, China. Australian Journal of Soil Research, 47: 362-371. DoI: 10.1071/SR08110

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 113-127

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

Effect of Phosphorus, Iron and Zinc Nutrition on Growth and Yield Indices of *Hibiscus sabdariffa* L. in a Calcareous Soil

Mohammad Hasan Kargar shouroki[1], Mostafa Shirmardi[2*], Heydar Meftahizade[2], Jalal Gholamnezhad[2]

Received: 28 April 2023	**Accepted:** 24 January 2024

1- M.Sc. Graduate, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
2Assoc. Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran,
*Corresponding Author Email: shirmardi@ardakan.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Calcareous soils and irrigation water with high bicarbonate reduce the availability of nutrients, especially phosphorus, iron and zinc for the plant. For this purpose, study was conducted to investigate different levels of phosphorus, iron and zinc fertilizers on the growth and yield parameters of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in a calcareous soil.

Materials and Methods: A factorial experiment based on randomized complete block design was conducted with three replications in 2021 in the research farm of medicinal plants of Ardakan University. The treatments included three levels of triple superphosphate fertilizer (0, 75, and 150 kg/ha) and three levels of iron and zinc chelate (0, 2, and 4 kg/ha).

Results: Comparison of means showed that the application of 4 kg/ha iron and zinc chelate significantly increased chlorophyll a, b and total compared to the control and 2 kg/ha iron and zinc chelate treatments. Application of 150 kg/ha of triple superphosphate significantly increased chlorophyll a, b and total compared to control and 75 kg/ha triple superphosphate treatments. 75 and 150 kg/ha Triple superphosphate treatments significantly increased sepal dry weight compared to the control (39.2% and 49.7% increase, respectively). The results showed that the simultaneous application of 150 kg/ha triple superphosphate with 2 and 4 kg/ha iron and zinc chelates significantly increased the dry weight of the shoot compared to the control. All treatments of simultaneous application of phosphorus fertilizer and iron and zinc chelate significantly increased the antioxidant capacity and total phenol compared to the control treatment.

Conclusion: The simultaneous application of triple superphosphate fertilizer and iron and zinc chelate has a positive effect on the growth and yield parameters of *Hibiscus sabdariffa* L. compared to their separate application. It seems that the application of 150 kg/ha of triple superphosphate with 2 kg/ha of iron and zinc chelate can improve yield parameters significantly in calcareous soil that the bicarbonate content of irrigation water is high.

Keywords: Antioxidant Capacity, Availability of Elements, Essential Elements, Nutrition, Phytochemical Properties

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Mostafa Shirmardi , Email: shirmardi@ardakan.ac.ir
http://doi.org/ 10.22034/saps.2024.56168.3034

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۱۲۷-۱۱۳

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تاثیر تغذیه فسفر، آهن و روی بر شاخص‌های رشدی و عملکردی چای ترش در یک خاک آهکی

محمدحسن کارگر شورکی[۱]، مصطفی شیرمردی[۲*]، حیدر مفتاحی‌زاده[۲]، جلال غلام‌نژاد[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
۲-دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: shirmardi@ardakan.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: آهکی بودن خاک‌ها و بالا بودن بیکربنات آب آبیاری، فراهمی عناصر غذایی به ویژه فسفر، آهن و روی برای گیاه را کاهش می‌دهد. به همین منظور مطالعه‌ای با هدف ارزیابی سطوح مختلف کود فسفر، کلات آهن و روی بر پارامترهای رشدی و عملکردی چای ترش در یک خاک آهکی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: این مطالعه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه اردکان انجام شد. تیمارها شامل سه سطح کود سوپر فسفات تریپل (۰، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سه سطح کلات آهن و روی (۰، ۲ و ۴ کیلوگرم در هکتار) بود.

یافته‌ها: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد ۴ kg/ha کلات آهن و روی، کلروفیل a، b و کل را نسبت به تیمار شاهد و ۲ kg/ha کلات آهن و روی، به طور معنی‌داری افزایش داد. تیمار ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات‌تریپل، کلروفیل a، b و کل را نسبت به تیمار شاهد و ۷۵ kg/ha سوپرفسفات‌تریپل به طور معنی‌داری افزایش داد. تیمارهای ۷۵ و ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات‌تریپل، وزن خشک کاسبرگ را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد (به ترتیب ۳۹/۲ و ۴۹/۷ درصد افزایش). نتایج نشان داد کاربرد همزمان ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات‌تریپل با ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی، وزن خشک اندام هوایی را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. تمام تیمارهای کاربرد همزمان کود فسفر و کلات آهن و روی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فنول کل را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش دادند.

نتیجه گیری: کاربرد همزمان کود سوپرفسفات‌تریپل و کلات آهن و روی، نسبت به کاربرد مجزای آن‌ها تاثیر مثبتی بر شاخص‌های رشدی و عملکردی چای ترش داشت. به نظر می‌رسد که کاربرد ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات‌تریپل به همراه ۲ kg/ha کلات آهن و روی، بتواند شاخص‌های عملکردی چای ترش را در شرایطی که خاک آهکی بوده و محتوای بیکربنات آب آبیاری بالا باشد به طور معنی‌داری افزایش دهد.

واژه های کلیدی: تغذیه، خصوصیات فیتوشیمیایی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، عناصر ضروری، فراهمی عناصر

مقدمه

در سالیان اخیر توجه شرکت‌های داروسازی و پزشکان در کشورهای مختلف به گیاهان دارویی افزایش یافته است. از طرفی مصرف گیاهان دارویی به عنوان راهی برای درمان بیماری‌ها، سابقه طولانی دارد. در طول سالیان متمادی، بشر با انجام مطالعات، تعداد زیادی ماده موثره از گیاهان دارویی استخراج و جهت درمان بیماری‌ها مورد استفاده قرار داده است (ریچاردسون و آرلوتا ۲۰۲۱). چای ترش با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* L. گیاهی یک یا دوساله بوده که گل و میوه گوشتی آن در صنایع داروسازی جهت تسکین علائم برونشیت و سرفه و کاسبرگ آن جهت درمان فشار خون بالا، اسهال، درمان سوء هاضمه، دیابت و بیماری‌های قلبی و کبدی کاربرد دارد. چای ترش گیاهی است که تحمل بالایی به تنش‌های محیطی داشته و در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری به خوبی رشد می‌کند (عزیز و همکاران ۲۰۰۷).

مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه از عوامل بسیار مهم و تاثیرگذار بر رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی به شمار می‌رود (لی و همکاران ۲۰۲۰). نکته حائز اهمیت مدیریت مصرف کودهای شیمیایی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد به گونه‌ای که تاثیر زیست محیطی مصرف کودها به حداقل رسیده و تاثیر مثبتی بر عملکرد گیاهان داشته باشد. بخش قابل توجهی از خاک‌های کشور را خاک‌های آهکی تشکیل می‌دهند و آب‌های آبیاری محتوای بیکربنات بالایی دارند که می‌توانند در جذب عناصری مانند فسفر، آهن و روی ایجاد اختلال کنند (جلالی و زینلی ۲۰۱۲).

فسفر به عنوان یک عنصر پرمصرف که حدود ۰/۲ درصد از وزن خشک گیاه را به خود اختصاص می‌دهد، یکی از اجزاء مهم آنزیم‌ها و پروتئین‌ها بوده و در واکنش‌های انتقال انرژی نقش دارد. فسفر نقش مهمی در بخش‌های زایشی گیاه داشته و کمبود آن منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (بالدی و همکاران ۲۰۱۸). آهن یکی از عناصر کم مصرف برای گیاه می‌باشد که نقش اساسی در سنتز کلروپلاست داشته و کمبود آن در گیاه منجر به کاهش سنتز کلروفیل، کاهش سطح برگ، به تاخیر افتادن گلدهی و نهایتا کاهش عملکرد می‌شود (والاه و همکاران ۲۰۲۰). روی نیز مانند آهن جزء عناصر کم مصرف بوده که باعث انتقال بهتر پروتئین به دانه شده و در نتیجه منجر به بالا رفتن کیفیت محصول می‌شود. این عنصر در ساختار آنزیم‌هایی که در سنتRNA و DNA شرکت دارند وجود دارد (اولاه و همکاران ۲۰۱۹).

بر اساس نتایج (برجی آباد ۲۰۱۴)، مشخص شد که محلول پاشی عناصر ریز مغذی تاثیر مثبتی بر عملکرد بیولوژیکی ، وزن هزار دانه و تعداد غوزه در گیاه دارویی چای ترش داشت. همچنین مصرف کود دی آمونیوم فسفات و سولفات روی سبب افزایش در ترکیبات ثانویه در نعناع فلفلی شد (رام و همکاران ۲۰۰۳). در تحقیقی که بر روی چای ترش صورت گرفت مشاهده شد که کاربرد مقادیر مختلف عناصر فسفر و نیتروژن در عملکرد گیاه معنی دار بود (اوکسوم و همکاران ۲۰۰۶). در تحقیقات مختلف تاثیر مثبت کاربرد عناصر فسفر، آهن و روی بر شاخص‌های رشدی، عملکردی و متابولیت‌های ثانویه گیاهان گزارش شده است (عزیزی و همکاران ۲۰۱۸، ناتقی و همکاران ۲۰۱۵، قایدی جشنی و همکاران ۲۰۱۶) ولی در ارتباط با گیاهان دارویی به ویژه چای ترش نیاز به تحقیقات بیشتر می‌باشد. به همین دلیل تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر کاربرد مقادیر مختلف کود سوپرفسفات تریپل و کلات آهن و روی بر شاخص‌های رشدی، عملکردی و فیتوشیمیایی چای ترش در یک خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه اردکان انجام شد. آنالیز خاک مزرعه و آب مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

طرح آماری و تیمارها

پژوهش حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه سطح کاربرد کود سوپرفسفات تریپل (صفر، ۷۵ و kg/ha ۱۵۰ سوپرفسفات تریپل) و سه سطح کاربرد کلات آهن و روی (صفر، ۲ و kg/ha ۴) بود. بلوک‌ها با فاصله ۱/۵ متر از هم و کرت‌ها با ابعاد ۲×۲ و با فاصله ۱/۵ متر از هم، روی بلوک در نظر گرفته شدند.

به طور کلی، آزمایش شامل ۹ تیمار و ۲۷ کرت، که در هر کرت، چهار ردیف کشت با فاصله ۴۰ سانتی‌متر بین و روی ردیف‌ها در نظر گرفته شد. کود سوپرفسفات تریپل بر اساس تیمارها قبل از کشت به خاک اضافه شد و تا عمق ۳۰cm شخم زده شد. کلات آهن و کلات روی به صورت جداگانه و همراه با آب آبیاری در دورهای مختلف آبیاری، مورد استفاده قرار گرفت. بذرهای چای ترش از پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه اردکان تهیه شدند. در اوایل فروردین سال ۱۴۰۰ بذرها به صورت دستی و در عمق ۳ سانتی‌متری کشت شدند. آبیاری کرت‌ها به صورت منظم و با فاصله هفت روز انجام شد. دوره آزمایش مذکور با رسیدن کاسبرگ‌ها و برداشت آنها به پایان رسید. در انتهای پژوهش، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد آنالیز مجدد قرار گرفت و مشاهده شد که در تیمار ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل و تیمار ۴ kg/ha کلات آهن و روی، غلظت فسفر، آهن و روی قابل استفاده برای گیاه افزایش یافته ولی به غلظت سمیت نرسیده بود. سایر خصوصیات خاک تغییری نکرده است (جدول۲).

جدول ۱- آنالیز خاک و آب آبیاری مورد استفاده در این تحقیق

عمق خاک cm	شوری عصاره اشباع	pH	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده	آهن قابل استفاده	روی قابل استفاده	SAR	شن	سیلت	رس	بافت
	dS/m		%			(mg/kg)				$(meq/l)^{0.5}$	%			
۰-۳۰	۵/۶	۷/۴	۳۰/۲	۰/۳	۰/۰۱	۷/۵	۲۸۷	۲/۷	۱/۴	۱۲/۶	۳۳	۳۲	۳۵	لومی رسی

آب	شوری	pH	TDS	بیکربنات	کربنات	کلسیم	منیزیم	سدیم	SAR
	dS/m		mg/l			meq/l			$(meq/l)^{0.5}$
	۳/۶	۷/۵	۲۳۱۶	۲۵/۶	۰	۳/۹۹	۲/۴۹	۳۲/۹۷	۱۸/۳۲

TDS: Total Dissolved Solids SAR: Sodium Adsorption Ratio

جدول ۲- آنالیز خاک مورد استفاده پس از انجام تحقیق مربوط به تیمار ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل و تیمار ۴ kg/ha کلات آهن و روی

عمق خاک cm	شوری عصاره اشباع	pH	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده	آهن قابل استفاده	روی قابل استفاده	SAR
	dS/m			%		(mg/kg)				$(meq/l)^{0.5}$
۰-۳۰	۵/۵	۷/۴	۳۰/۱	۰/۳	۰/۰۱	۱۶/۳	۲۶۹	۶/۳	۵/۸	۱۲/۵

اندازه گیری پارامترهای مختلف در گیاه

در انتهای دوره آزمایش، قطر ساقه، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه جانبی، تعداد غوزه در گیاه، قطر و طول کالیکس، وزن تر و خشک کاسبرگ، وزن تر و خشک کالیکس، وزن تر و خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. کلروفیل برگ توسط دستگاه کلروفیل‌متر (مدل اسپد ۵۰۲ ساخت ژاپن) در اواخر گلدهی (پایان مهر ماه) در برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته اندازه‌گیری شد.

کلروفیلa، b و کل و کارتنوئید

کلروفیلa، b و کل به روش آرنون (۱۹۴۹) تعیین شد. به این صورت که به نیم گرم از برگ تازه ۱۰ میلی‌لیتر

استون ۸۰ درصد اضافه و بعد از اختلاط، با سانتریفیوژ کردن محلول رویی جدا شد. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل یو وی ۲۱۰۰ ساخت یونیکو آمریکا) در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر جذب نمونه‌ها قرائت و با استفاده از رابطه‌های (۱، ۲ و ۳)، کلروفیلa، b و کل تعیین شد.

رابطه (۱) Chlorophyll a (mg/g of fresh weight) = (12.7A663 – 2.69A645) V/ (1000W)

رابطه (۲) Chlorophyll b (mg/g of fresh weight) = (22.9A645 – 4.68A663) V/ (1000W)

رابطه (۳) Total chlorophyll (mg/g of fresh weight) = (20.2 A645 + 8.02 A663) V/ (1000 W)

در این رابطه A645 و A663 به ترتیب جذب در طول موج ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر، V: حجم نمونه و W: وزن نمونه می‌باشد.علاوه بر این جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر نیز اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه (۴)، کارتنوئید تعیین شد (لیخ تنتالر ۱۹۸۷).

رابطه (۴)

Carotenoids (mg/g of fresh weight) = (1000A470 – 1.82Chlorophyll a -85.02Chlorophyll b) V/ (198×1000 W)

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH (2, 2-diphenyl-1-picryl hydrazyl) تعیین شد (کلوا و همکاران ۲۰۰۲). (Koleva *et al.*, 2002).درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی با رابطه (۵)، محاسبه شد.

رابطه (۵) $AA\ (\%) = [(A_B-A_A)/A_B] \times 100$

AA: فعالیت آنتی‌اکسیدانی، A_B و A_A به ترتیب جذب عصاره متانولی DPPH بدون نمونه و جذب عصاره متانولی DPPH پس از اضافه نمودن نمونه و گذشت ۳۰ دقیقه در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل یو وی ۲۱۰۰ ساخت یونیکو آمریکا) می‌باشد.

فنول کل

جهت تعیین محتوای فنول کل از روش فولین سیوکالتو استفاده شد و مقدار فنول کل بر حسب معادل اسید گالیک (GAE) در گرم وزن خشک کاسبرگ گزارش شد. منحنی استاندارد نیز با استفاده از غلظت‌های مختلف اسید گالیک تهیه شد (وولوکا و همکاران ۲۰۰۵).

غلظت فسفر، آهن و روی

پس از نمونه‌برداری برگ از هر تکرار (برگ‌های جوان کاملا توسعه یافته)، نمونه‌ها با آب مقطر شسته و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس نمونه‌ها آسیاب و با استفاده از اسید کلریدریک غلیظ به روش هضم خشک، هضم شدند (کوتنی ۱۹۸۰). غلظت فسفر در نمونه‌ها به روش نیتروواناداومولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر(مدل یو وی ۲۱۰۰ ساخت یونیکو آمریکا) در طول موج ۴۳۰ نانومتر، اندازه‌گیری شد (مورفی و رایلی ۱۹۶۲). غلظت آهن و روی نمونه‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل آآ ۷۰۰۰ ساخت شیمادزو ژاپن) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد. مقایسات میانگین با آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر برهمکنش کود فسفر و عناصر آهن و روی بر شاخص‌های ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، تعداد غوزه، طول کالیکس، میزان کارتنوئید، وزن تر و خشک اندام هوایی، میزان فنول، غلظت فسفر، آهن و روی در اندام هوایی در سطح یک درصد و بر شاخص‌های وزن تر اندام هوایی و DPPH در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر کود فسفر بر قطر ساقه، شاخص سبزینگی، کلروفیلa، b و کل، وزن تر و

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس اثر تیمارها بر شاخص‌های مورد ارزیابی در چای ترش

		میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	قطر ساقه اصلی	ارتفاع گیاه	تعداد شاخه فرعی	تعداد غوزه در گیاه	قطر کالیکس	طول کالیکس	کلروفیل
تکرار	۲	۱/۲۸^{ns}	۱۴۸/۳۷^{ns}	۱/۸۱^{ns}	۷۷/۴۸^{ns}	۰/۵۴^{ns}	۵/۰۳^{ns}	۹۴/۹۵^{ns}
فسفر	۲	۳۳/۸۸*	۷۵۱/۴۲**	۳۷/۱۲**	۱۸۷۲/۹۳**	۱/۳۹^{ns}	۸/۴۱^{ns}	۱۰۴۸/۷۲**
عناصر کم مصرف	۲	۱۰/۶۴^{ns}	۳۷۷/۵۴*	۱۱/۱۵**	۱۳۱۰/۸**	۰/۰۹^{ns}	۰/۳۹^{ns}	۹۰۷/۳۷**
فسفر×عناصر کم مصرف	۴	۸/۷۱^{ns}	۴۴۹/۴**	۷/۸۷**	۲۹۰/۰۴**	۹/۱**	۲۳/۵۶**	^{ns}۲۶۳/۱۲
خطا	۱۶	۷/۶۷	۸۷/۴۵	۱/۲۴	۴۰/۶۹	۱/۴۵	۲/۸۷	۹۱/۶۹
ضریب تغییرات (%)		۲۲/۶۶	۱۱/۹	۲۲/۷	۱۵/۳	۷/۸۴	۷/۳۱	۱۵/۰۱

خشک کاسبرگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. به علاوه تاثیر عناصر آهن و روی بر شاخص سبزینگی، کلروفیلa، کلروفیلb و کلروفیل کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳).

^{ns}، * و **: به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد است.

ادامه جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس اثر تیمارها بر شاخص‌های مورد ارزیابی در چای ترش

		میانگین مربعات								
منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	وزن تر کاسبرگ	وزن خشک کاسبرگ	وزن تر کالیکس	وزن خشک کالیکس	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی
تکرار	۲	۰/۷^{ns}	۴/۰۶*	۷/۸۹*	۸۵/۸۴^{ns}	۰/۴۲^{ns}	۰/۸۷^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۴۳۱/۰۸^{ns}	۲۴/۹۵^{ns}
فسفر	۲	۱۰/۹۴**	۱۵/۴۳**	۵۱/۲۷**	۴۳۱/۶۶**	۲/۴۵**	۰/۱۷^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۸۹۹۲۲/۵**	۷۲۳۵/۶۷**
عناصر کم مصرف	۲	۲۱۱/۸**	۱۹/۱۸**	۳۵۱/۶**	۲۷/۶۷^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۰/۳۸^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۴۶۱۹۵**	۱۹۰۶/۷**
فسفر×عناصر کم مصرف	۴	۰/۰۹^{ns}	۲/۰۴^{ns}	۱/۳۴^{ns}	۸۵/۸۳^{ns}	۰/۳۶^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۵۰۹۷/۸*	۸۹۸/۳**
خطا	۱۶	۰/۳۲	۰/۷۵	۱/۹۴	۲۷/۸۷	۰/۱۸	۰/۵	۰/۰۰۷	۱۲۱۰/۳	۸۰/۲۹
ضریب تغییرات (%)		۱۳/۸۷	۱۲/۷۷	۷/۴۵	۲۰/۹۴	۱۶/۲۵	۱۶/۴۹	۱۵/۵۲	۱۳/۹۳	۱۴/۰۵

^{ns}، * و **: به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد است.

ادامه جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس اثر تیمارها بر شاخص‌های مورد ارزیابی در چای ترش

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	کارتنوئید	ظرفیت آنتی اکسیدانی	محتوای فنول کل	فسفر	آهن	روی
تکرار	۲	۱/۶۲*	۰/۱۹ns	۱۸/۵۲ns	۰/۰۰۵ns	۱۹۹/۶ns	۲۷/۲۵ns
فسفر	۲	۰/۸۲**	۳۳/۴۱**	۶۸/۴۱ns	۰/۰۰۵ns	۴۲۲/۱*	۳۰۷/۹۷**
عناصر کم مصرف	۲	۱۲/۸۲**	۷/۶۲ns	۱۷۶/۶۶**	۰/۰۲**	۴۳۹/۰۲*	۳۴/۸۹ns
فسفر×عناصر کم مصرف	۴	۰/۷۶**	۱۰/۷۹*	۳۲۸/۴۲**	۰/۰۲**	۹۸۲/۲۷**	۹۹/۰۸**
خطا	۱۶	۰/۱	۲/۴۳	۲۱/۷۳	۰/۰۰۲	۹۳/۲۲	۱۸/۵
ضریب تغییرات (%)		۴/۸۹	۴/۹۲	۹/۰۳	۱۱/۲۸	۸/۷	۱۰/۳۱

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد است.

ارتفاع گیاه

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد همزمان مقادیر مختلف کود فسفر و کلات آهن و روی تاثیر مثبتی بر شاخص ارتفاع گیاه داشته است. کاربرد ۷۵ و ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل به همراه ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی منجر به افزایش معنی‌دار این شاخص نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود فسفر و کلات آهن و روی) شد (جدول۴).

تعداد شاخه فرعی

تمام تیمارها به استثنای تیمار کاربرد ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل، منجر به افزایش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش فسفر و کلات آهن و روی بر شاخص‌های مورد ارزیابی چای ترش

سوپرفسفات تریپل	کلات آهن و روی	ارتفاع گیاه	تعداد شاخه فرعی	تعداد غوزه در گیاه	قطر کالیکس	طول کالیکس	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی
kg/ha	kg/ha	cm			mm	mm	g	g
۰	۰	۶۰/۷۳d	۱/۳۳c	۱۲/۰۰e	۱۳/۵۷e	۱۸/۷۲d	۵۶/۰۵e	۱۲/۳۴e
	۲	۷۴/۷۳bcd	۳/۵۰b	۳۵/۰۰c	۱۳/۷۹de	۲۱/۱۷cd	۱۵۰/۴۱d	۴۱/۵۱d
	۴	۶۰/۶۳d	۴/۰۰b	۲۹/۰۰cd	۱۴/۴۵cde	۲۱/۶۴bcd	۲۴۷/۵۵c	۵۵/۲۰d
۷۵	۰	۶۷/۹۳cd	۲/۶۷bc	۲۲/۳۳de	۱۵/۰۸bcde	۲۴/۵۳ab	۱۶۶/۴۷d	۴۱/۶۵d
	۲	۹۳/۹۷a	۴/۰۰b	۵۹/۰۰ab	۱۵/۷۰abcd	۲۴/۲۴ab	۲۳۵/۵۲c	۵۶/۷۰d
	۴	۸۳/۱۰abc	۷/۶۷a	۶۰/۳۳a	۱۵/۳۳abcde	۲۵/۲۱a	۳۳۷/۸۸b	۸۷/۳۰bc
۱۵۰	۰	۹۲/۲۷a	۷/۵۰a	۴۹/۰۰b	۱۶/۲۷abc	۲۳/۸۸abc	۳۴۴/۷۲ab	۷۴/۳۱c
	۲	۸۸/۸۳ab	۷/۰۰a	۵۰/۶۷ab	۱۶/۸۷ab	۲۴/۰۷abc	۳۰۷/۹۴b	۱۰۶/۰۰a
	۴	۸۴/۳۷abc	۶/۵۰a	۵۸/۰۰ab	۱۷/۱۸a	۲۴/۸۱a	۴۰۰/۸۸a	۹۸/۶۰ab

وجود حروف لاتین مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش فسفر و کلات آهن و روی بر شاخص‌های مورد ارزیابی چای ترش

سوپرفسفات تریپل	کلات آهن و روی	کارتنوئید	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی	محتوای فنول کل	فسفر	آهن	روی
kg/ha	kg/ha	%			%	mg/kg	mg/kg
	۰	۵/۱۴g	۳۰/۱۳cd	۳۶/۹۰e	۰/۳۸cde	۸۴/۷۳e	۳۳/۴۴d
۰	۲	۵/۶۷fg	۳۱/۵۸bc	۴۱/۶۷de	۰/۳۶de	۹۹/۴۶cde	۳۴/۸۹d
	۴	۵/۷۹ef	۲۸/۲۶d	۵۱/۲۲bc	۰/۳۰e	۹۶/۶۰de	۳۶/۶۷cd
	۰	۵/۹۴def	۲۸/۴۷d	۵۱/۲۲bc	۰/۴۳bcd	۱۱۲/۵۴bcd	۳۶/۳۵cd
۷۵	۲	۶/۲۷de	۳۲/۸۲abc	۵۲/۴۲bc	۰/۴۵abc	۱۰۵/۸۳cd	۴۳/۴۹bc
	۴	۷/۲۰c	۳۲/۶۱abc	۵۷/۱۹ab	۰/۵۰ab	۱۱۴/۵۳abc	۴۲/۸۳bc
	۰	۶/۴۱d	۳۳/۴۴ab	۴۸/۸۴cd	۰/۵۰ab	۱۲۶/۹۰ab	۴۷/۱۰ab
۱۵۰	۲	۷/۸۰b	۳۳/۰۳ab	۶۴/۳۵a	۰/۵۲a	۱۲۹/۶۰a	۵۲/۴۵a
	۴	۸/۶۲a	۳۴/۸۸a	۶۰/۷۷a	۰/۵۲a	۱۲۵/۶۳ab	۴۸/۲۵ab

وجود حروف لاتین مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

تعداد غوزه در گیاه

مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن بود که تمام تیمارها به استثنای تیمار کاربرد ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل، تعداد غوزه در گیاه را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش دادند. نکته حائز اهمیت آن است که بین تیمار ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما تیمار ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل نسبت به تیمار ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول۴).

قطر و طول کالیکس

نتایج نشان داد که تیمار کاربرد ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل به تنهایی و همچنین به همراه ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی منجر به افزایش معنی‌دار قطر کالیکس نسبت به شاهد شد (به ترتیب ۱۹/۹، ۲۴/۳ و ۲۶/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد). به علاوه تیمار کاربرد همزمان ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل و ۲ kg/ha کلات آهن و روی، قطر کالیکس را نسبت به شاهد ۱۵/۷ درصد افزایش داد. کاربرد کلات آهن و روی به تنهایی اثر معنی‌داری بر شاخص طول کالیکس نداشت. این در حالی است که کاربرد همزمان مقادیر مختلف کود فسفر و کلات آهن و روی توانست طول کالیکس را نسبت به شاهد افزایش دهد. کاربرد ۷۵ و ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل به تنهایی نیز منجر به افزایش طول کالیکس نسبت به شاهد شد اما بین این دو تیمار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول۴).

وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تمام تیمارها توانستند وزن تر و خشک اندام هوایی را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش دهند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش میزان مصرف کود فسفر، وزن تر و خشک اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت و بالاترین مقدار وزن خشک و تر اندام هوایی در تیمار کاربرد همزمان ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل و مصرف ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی مشاهده شد (جدول۴).

رشد مناسب گیاه و دستیابی به عملکرد بالا در گرو فراهمی عناصر غذایی ضروی برای گیاه می‌باشد. تامین این عناصر به صورت متعادل، نقش بسزایی در کمیت و کیفیت عملکرد گیاه دارد. فسفر بعد از نیتروژن به عنوان مهمترین عنصر ضروری برای گیاه شناخته می‌شود که

کمبود آن منجر به کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (تاوارینی و همکاران ۲۰۱۸). نکته مهم در ارتباط با فسفر، واکنش‌پذیری بالای این عنصر در خاک می‌باشد. دو سازوکار برای تثبیت فسفر در خاک‌ها وجود دارد. جذب سطحی آنیون فسفات بر روی سطوحی مانند رس‌ها، اکسیدهای آهن و آلومنیم و همچنین تشکیل رسوب‌هایی مانند فسفات کلسیم، فسفات آهن و فسفات آلومینیم، از راه‌های کاهش فسفر قابل استفاده برای گیاه می‌باشد (دل بوبا و همکاران ۲۰۰۳). خاک‌های ایران عمدتا آهکی بوده و آب‌های آبیاری داری محتوای بیکربنات بالایی می‌باشند. با توجه به موارد ذکر شده، توجه به تغذیه فسفر به عنوان یک عنصر ضروری پرمصرف، می‌تواند نقش موثری بر رشد و عملکر گیاه داشته باشد. علاوه بر این هر کدام از عناصر کم مصرف، وظیفه خاصی در گیاه بر عهده داشته و وجود این عناصر در غلظت مطلوب و کفایت، منجر به کامل شدن سیکل حیات گیاه می‌شود (ناتقی و همکاران ۲۰۱۵). افزایش رشد رویشی و بهبود شاخص‌های عملکردی گیاه با کاربرد فسفر، احتمالاً به دلیل نقش فسفر در تحریک رشد سلول، سنتز ATP و اسیدهای آمینه و در نتیجه افزایش رشد رویشی از طریق تحریک فتوسنتز گیاه می‌باشد (آرون ۲۰۰۲). عدم تاثیر کاربرد ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل بر شاخص تعداد غوزه در گیاه، احتمالا به دلیل تثبیت فسفر در خاک و خارج شدن فسفر مصرفی از دسترس گیاه باشد که مصرف مقادیر بیشتر کود فسفره را نمایان می‌کند. وجود کربنات کلسیم در خاک، بازیابی فسفر را تحت تاثیر قرار می‌دهد و بیشترین مقدار تثبیت در زمان‌های ابتدایی مصرف فسفر در خاک رخ می‌دهد، لذا با توجه به فاصله بین زمان مصرف کود و برداشت توسط گیاه، گاها نیاز به مصرف مقادیر بیشتر کود می‌باشد (توفیقی و شیرمردی ۲۰۱۵). آهکی بودن خاک‌ها، بالا بودن pH خاک‌ها و همچنین بالا بودن غلظت آنیون بیکربنات در آب‌های آبیاری، فراهمی آهن و روی برای گیاه را به شدت کاهش داده و منجر به اختلال در جذب این عناصر توسط گیاه می‌شود. غفاری ملایری و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که کمبود روی به علت تأثیر سوء بر بیوسنتز اکسین، منجر به کاهش شاخص‌های رشدی گیاه می‌شود. به نظر می‌رسد بهبود فراهمی آهن برای گیاه، با افزایش سنتز کلروفیل و بهبود فتوسنتز، مواد فتوسنتزی بیشتری را به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه‌ها فرستاده و در نتیجه شاخص‌های رشدی و شاخص‌های مرتبط با عملکرد را افزایش دهند. همچنین به دلیل نقش عنصر روی در تولید هورمون اکسین، تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها، کاربرد این عنصر نقش مثبتی بر شاخص‌های رشدی دارد (بروادلی و همکاران ۲۰۰۷). از طرفی گزارش شده است که کاربرد عنصرهای روی و آهن در کنار همدیگر تأثیر مثبتی بر رشد همیشه بهار و شوید داشته است (میرانصاری و همکاران ۲۰۱۵ و رضایی چیانه و همکاران ۲۰۱۵). تحقیقات نشان داده است که کاربرد عناصر دخیل در فتوسنتز، تولید شیره پرورده در گیاه را افزایش داده و با افزایش صادرات فتوسنتزی به اندام‌های زایشی در مرحله گلدهی، منجر به افزایش عملکرد گیاه می‌شود (ناتقی و همکاران ۲۰۱۵). علت بالا بودن تعداد غوزه در گیاه در شرایط مصرف کودهای فسفر، آهن و روی را احتمالا بتوان به عدم وجود محدودیت منبع نسبت داد. فلذا در صورت عدم وجود محدودیت منبع، محدودیت مخزن نیز رخ نخواهد داد (ناتقی و همکاران ۲۰۱۵). در مطالعه‌ای بیان شده که کاربرد فسفر منجر به افزایش رشد ریشه و اندام هوایی شده و ساقه‌های جانبی را افزایش داده است (اوشر ۱۹۷۴ و زینلی و همکاران ۲۰۱۴). همچنین گزارش شده است که فسفر تاثیر مثبتی بر جذب سایر عناصر ضروری داشته و عملکرد گیاه به همین دلیل افزایش می‌یابد (زینلی و همکاران ۲۰۱۴) که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد.

کارتنوئید

تمام تیمارهای کاربردی به استثنای تیمار ۲ kg/ha کلات آهن و روی توانستند کارتنوئید را به شاهد به طور معنی‌داری افزایش دهند. بالاترین میزان کارتنوئید در تیمار کاربرد همزمان ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل و ۴ kg/ha کلات آهن و روی مشاهده شد که نسبت به شاهد ۶۷/۷ درصد افزایش نشان داد (جدول۴).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنها تیمار کاربرد ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل و تیمار کاربرد همزمان ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل با ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی منجر به افزایش معنی‌دار DPPH نسبت به شاهد شد (به ترتیب ۱۱، ۹/۶ و ۱۵/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد) (جدول۴).

فنول کل

نتایج حاکی از آن بود که تمام تیمارهای کاربردی به استثنای تیمار کاربرد ۲ kg/ha کلات آهن و روی، منجر به افزایش معنی‌دار محتوای فنول نسبت به شاهد شدند و بالاترین محتوای فنول در تیمار کاربرد همزمان ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل با ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی مشاهده شد (جدول۴).

غلظت عناصر فسفر، آهن و روی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل نتوانست غلظت فسفر در گیاه را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش دهد. با این وجود تیمارهای کاربرد همزمان ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل و ۴ kg/ha کلات آهن و روی و همچنین مصرف ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل به تنهایی و همراه با ۴ kg/ha کلات آهن و روی، منجر به افزایش غلظت فسفر نسبت به شاهد شدند. مصرف ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی به تنهایی نتوانست غلظت عناصر آهن و روی را در گیاه به طور معنی‌داری افزایش دهد ولی کاربرد همزمان ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی با ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل و ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل منجر به افزایش معنی‌دار غلظت آهن و روی نسبت به شاهد شد (جدول۴).

در مورد پارامترهای کارتنوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنول کل و غلظت عناصر فسفر، آهن و روی کاربرد ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل با هر دو سطح ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی، توانست این شاخص‌ها را نسبت به شاهد و کاربرد ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل افزایش دهد. گرچه متابولیت‌های ثانویه تحت تاثیر ژن‌ها می‌باشند ولی شرایط محیطی تاثیر قابل توجهی بر تولید این متابولیت‌ها دارند که از جمله می‌توان به فراهمی عناصر پر مصرف و کم مصرف اشاره کرد (شریفی عاشورآبادی ۲۰۰۶). بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه تحت تاثیر آهن می‌باشد و کمیت و کیفیت این ترکیبات تحت تاثیر فراهمی آهن برای گیاه قرار می‌گیرد (میسرا و همکاران ۲۰۰۷). افزایش این ترکیبات با کاربرد آهن گزارش شده است (باقری و همکاران ۲۰۱۳ و شبان زاده و همکاران ۲۰۱۲). با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که کاربرد ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات‌تریپل به همراه ۲ kg/ha کلات آهن و روی، تاثیر مثبتی بر شاخص‌های رشدی و عملکردی چای ترش در خاک‌های آهکی داشته باشد.

شاخص کلروفیل، کلروفیل a، b و کل

نتایج حاکی از آن بود که کاربرد ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل نسبت به شاهد و ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل شد و بین تیمار شاهد و ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با این وجود تیمارهای کاربرد ۷۵ و ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل، کلروفیل a، b و کل را نسبت به شاهد افزایش دادند و بیشترین مقدار کلروفیل a، b و کل در تیمار ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل مشاهده شد (جدول۵).

کاربرد ۴ kg/ha کلات آهن و روی توانست شاخص کلروفیل را نسبت به شاهد و تیمار ۲ kg/ha کلات آهن و روی به طور معنی‌داری افزایش دهد (۳۳ درصد افزایش نسبت به شاهد). این در حالی است که تیمارهای ۲ و ۴ kg/ha کلات آهن و روی توانستند کلروفیل a، b و کل را نسبت به شاهد افزایش دهند و بیشترین مقدار کلروفیل a، b و کل در تیمار کاربرد ۴ kg/ha کلات آهن و روی مشاهده شد (جدول۶).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر کود فسفر بر شاخص‌های مورد ارزیابی چای ترش

سوپرفسفات تریپل	قطر ساقه اصلی	کلروفیل	کلروفیل a	کلروفیلb	کلروفیل کل	وزن تر کاسبرگ	وزن خشک کاسبرگ
kg/ha	mm	Spad value	mg/g of fresh weight	mg/g of fresh weight	mg/g of fresh weight	g/plant	g/plant
۰	۱۰/۴۷b	۶۰/۵۴b	۱۳/۶۴c	۲/۷۶c	۱۶/۴۰c	۱۸/۱۸c	۱/۹۹b
۷۵	۱۱/۸۹ab	۵۴/۹۹b	۱۴/۷۰b	۳/۸۱b	۱۸/۵۱b	۲۵/۴۳b	۲/۷۷a
۱۵۰	۱۴/۳۱a	۷۵/۸۳a	۱۵/۸۰a	۵/۳۷a	۲۱/۱۶a	۳۲/۰۲a	۲/۹۸a

وجود حروف لاتین مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر کلات آهن و روی بر شاخص‌های مورد ارزیابی چای ترش

کلات آهن و روی	کلروفیل	کلروفیل a	کلروفیلb	کلروفیل کل
kg/ha	Spad value	mg/g of fresh weight	mg/g of fresh weight	mg/g of fresh weight
۰	۵۶/۵۳b	۹/۱۳c	۲/۴۵c	۱۱/۵۷c
۲	۵۹/۹۶b	۱۷/۰۴b	۴/۱۴b	۲۱/۲b
۴	۷۵/۱۸a	۱۷/۹۵a	۵/۳۵a	۲۳/۳a

وجود حروف لاتین مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

باقر و همکاران (۲۰۱۶) نیز بیان کردند که در شرایط کمبود فسفر در خاک، کاربرد کودهای فسفره تاثیر مثبتی بر محتوای کلروفیل دارد. فسفر برخلاف عناصری مانند منیزیم و یا آهن که جزء سازنده کلروفیل بوده و یا در مراحل بیوسنتز این ترکیب دخالت دارند به‌طور مستقیم در سنتز و ساختار کلروفیل نقش ندارد، اما کاهش بیوسنتز آن می‌تواند منجر به کاهش عمومی متابولیسم، دسترسی کمتر به ATP و کاهش سنتز غشاهای کلروپلاستی که محل استقرار کلروفیل است شده و در نتیجه سنتز کلروفیل کاهش یابد (حاجیبولاند و همکاران ۲۰۱۵).

وزن تر و خشک کاسبرگ

با کاربرد ۷۵ و ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل، وزن تر کاسبرگ نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت (به ترتیب ۳۹/۹ و ۷۶/۱ درصد). تیمار ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل منجر به افزایش وزن تر کاسبرگ نسبت به تیمار ۷۵ kg/ha سوپرفسفات تریپل نیز شد (۲۵/۹ درصد افزایش). علاوه بر این هر دو تیمار ۷۵ و ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل توانستند وزن خشک کاسبرگ را نسبت به شاهد افزایش دهند ولی بین این دو تیمار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول۵).

افزایش شاخص‌های عملکردی در چای ترش با مصرف عناصر آهن و روی را می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور روی، افزایش فتوسنتز و متعاقبا افزایش غلظت کلروفیل در گیاه، افزایش فعالیت ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و فسفوانول پیروات کربوکسیلاز و افزایش کارایی جذب عنصر فسفر در حضور روی نسبت داد. همچنین افزایش فراهمی آهن برای گیاه و نقش مهم این عنصر در فتوسیستم‌های I و II نیز بسیار حائز اهمیت است (مرتودی ۲۰۰۳). تاثیر کاربرد عنصر روی هنگامی که با آهن مورد استفاده قرار گیرد در افزایش عملکرد گیاه در تحقیقات نشان داده شده است (رز و همکاران ۲۰۰۵). گزارش شده است که کمبود آهن در گیاه منجر به کاهش سنتز کلروفیل شده و در نتیجه کاهش شاخص‌های رشدی مانند سطح برگ، وزن

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در چای ترش به روش پیرسون.

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19	Y20	Y21
Y2	۰/۵۴**																				
Y3	۰/۶۳**	۰/۷۲**																			
Y4	۰/۵۷**	۰/۸۸**	۰/۷۹**																		
Y5	۰/۳۸*	۰/۵۴**	۰/۷**	۰/۴۸*																	
Y6	۰/۴۹*	۰/۶۷**	۰/۷۶**	۰/۶۹**	۰/۸۱**																
Y7	۰/۲۸ns	۰/۴۱*	۰/۲۹*	۰/۳۴ns	۰/۲۰ns	۰/۱۵ns															
Y8	-۰/۱۳ns	-۰/۲۸ns	۰/۰۵ns	-۰/۱۸ns	۰/۰۲ns	۰/۰۹ns	-۰/۵۴**														
Y9	-۰/۱۰ns	-۰/۱۳ns	۰/۰۹ns	-۰/۰۷ns	۰/۰۷ns	۰/۲۳ns	-۰/۵۴**	۰/۹۴**													
Y10	-۰/۱۳ns	-۰/۲۳ns	۰/۰۶ns	-۰/۱۵ns	-۰/۰۳ns	۰/۱۴ns	-۰/۵۵**	۰/۹۹**	۰/۹۷**												
Y11	-۰/۱۹ns	-۰/۴۲*	-۰/۱۷ns	-۰/۳۸ns	-۰/۱۶ns	-۰/۵۱**	۰/۰۸ns	-۰/۰۸ns	-۰/۳۴ns	-۰/۱۶ns											
Y12	-۰/۰۷ns	-۰/۲۸ns	۰/۰۱ns	-۰/۲۵ns	۰/۰۲ns	-۰/۳۶ns	۰/۱۳ns	-۰/۰۱ns	-۰/۲۴ns	-۰/۰۸ns	۰/۹۵**										
Y13	-۰/۰۳ns	-۰/۱ns	۰/۰۷ns	-۰/۰۱ns	۰/۲۳ns	-۰/۱۸ns	۰/۰۳ns	۰/۱۲ns	۰/۰۷ns	۰/۱۱ns	۰/۲۸ns	۰/۲۳ns									
Y14	-۰/۰۳ns	-۰/۱۸ns	۰/۱۶ns	-۰/۲۵ns	۰/۲۱ns	-۰/۱۶ns	-۰/۲۵ns	-۰/۰۲ns	-۰/۰۸ns	-۰/۰۴ns	۰/۱۹ns	۰/۱۵ns	۰/۵۷**								
Y15	۰/۶۴**	۰/۶۶**	۰/۸۶**	۰/۸۲**	۰/۴۸*	۰/۶۶**	۰/۳۴ns	۰/۱۵ns	۰/۱۵ns	۰/۱۵ns	-۰/۲۱ns	-۰/۰۳ns	-۰/۱ns	-۰/۳۴ns							
Y16	۰/۶۰**	۰/۶۷**	۰/۸۴**	۰/۸۲**	۰/۴۷*	۰/۶۶**	۰/۵۳**	-۰/۰۷ns	-۰/۰۴ns	-۰/۰۶ns	-۰/۰۳ns	-۰/۰۴ns	-۰/۱۱ns	-۰/۲۹*	-۰/۹۳**						
Y17	۰/۳۳ns	۰/۳۹*	۰/۳۴ns	۰/۵۴**	-۰/۰۸ns	۰/۱۹ns	۰/۳۳ns	-۰/۱ns	-۰/۱ns	-۰/۱۰ns	-۰/۱۳ns	-۰/۰۵ns	-۰/۲۵ns	-۰/۵**	-۰/۶۹**	۰/۷۶**					
Y18	۰/۱۸ns	۰/۳۵ns	۰/۰۷ns	۰/۳۹*	-۰/۴۴*	-۰/۱۹ns	۰/۲۴ns	-۰/۱۵ns	-۰/۱۱ns	-۰/۱۱ns	-۰/۲۵ns	-۰/۸ns	-۰/۳ns	-۰/۴۴*	۰/۴۱*	۰/۸۳*					
Y19	۰/۴۴*	۰/۵۰**	۰/۵۹**	۰/۶۸**	۰/۳ns	۰/۶**	۰/۴۳*	-۰/۰۳ns	-۰/۰۳ns	-۰/۰۳ns	-۰/۲۵ns	-۰/۱۳ns	-۰/۲۳ns	-۰/۴۹**	۰/۸**	۰/۸**	۰/۸۲**	۰/۴۳*			
Y20	۰/۳۳ns	۰/۶۳**	۰/۴۴*	۰/۵۹**	۰/۵ns	۰/۳۳ns	۰/۲۷ns	۰/۱۰ns	۰/۱۸ns	۰/۱۳ns	-۰/۳۵ns	-۰/۲۲ns	-۰/۲۷ns	-۰/۴۵*	۰/۶۲**	۰/۶۸**	۰/۸۴**	۰/۷۹**	۰/۶۸**		
Y21	۰/۵۴**	۰/۶۵**	۰/۶۲**	۰/۶۴**	۰/۲۵ns	۰/۵۲**	۰/۴۵*	-۰/۰۵ns	۰/۱۷ns	۰/۷ns	-۰/۳۶ns	-۰/۲۲ns	-۰/۲۹ns	-۰/۵۳**	۰/۸**	۰/۸۴**	۰/۸۱**	۰/۶۱**	۰/۸۱**	۰/۸۶**	
Y22	۰/۵**	۰/۷۲**	۰/۶۵**	۰/۷۱**	۰/۲۸ns	۰/۴۳*	۰/۵۸**	-۰/۱۱ns	-۰/۱ns	-۰/۱۱ns	-۰/۱۵ns	-۰/۱ns	-۰/۲۵ns	-۰/۴۲*	۰/۸**	۰/۸۹**	۰/۸۲**	۰/۶۶**	۰/۸۴**	۰/۸۵**	۰/۹۱**

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد. Y1: قطر ساقه، Y2: ارتفاع گیاه، Y3: تعداد شاخه فرعی، Y4: تعداد غوزه در گیاه، Y5: قطر کالیکس، Y6: طول کالیکس، Y7: کلروفیل a، Y8: کلروفیل b، Y9: کلروفیل کل، Y10: وزن تر کالیکس، Y11: وزن خشک کالیکس، Y12: وزن تر کالیکس، Y13: وزن خشک کالیکس، Y14: وزن تر اندام هوایی، Y15: وزن خشک اندام هوایی، Y16: کاروتنوئید، Y17: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، Y18: محتوای فنول کل، Y19: P، Y20: K و Fe :Y21 و Zn :Y22

اندام هوایی و کاهش رشد شاخه‌های جانبی و در نهایت تعویق در گلدهی و کاهش عملکرد در پی خواهد داشت (نجار ۱۹۹۶). روی در بیوسنتز تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید ایندول استیک و کربوهیدرات‌ها نقش اساسی داشته و به همین دلیل می‌تواند باعث بهبود اجزاء عملکرد در گیاهان شود. این نقش روی احتمالا به دلیل اهمیت این عنصر در تجمع آسمیلات‌ها در مراحل آخر رشد در اندام‌های زایشی می‌باشد (بیبوردی و ممدوف ۲۰۱۰).

همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده

نتایج همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده به روش پیرسون در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین قطر ساقه، ارتفاع گیاه، تعداد غوزه در گیاه، قطر و طول کالیکس، وزن تر و خشک اندام هوایی، فنول کل، غلظت آهن و روی گیاه وجود داشت. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن تر و خشک اندام هوایی با کارتنوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول کل و غلظت عناصر فسفر، آهن و روی مشاهده شد. این در حالی است که بین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فنول کل با وزن خشک کالیکس، همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۷).

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که توجه به تغذیه فسفر و عناصر آهن و روی در خاک‌های آهکی تاثیر مثبت و معنی‌داری بر شاخص‌های رشدی، عملکردی و فیتوشیمیایی چای ترش دارد. تیمار کاربرد ۱۵۰ kg/ha سوپرفسفات تریپل به همراه ۴ kg/ha کلات آهن و روی توانست نسبت به سایر تیمارها و همچنین تیمارهای مجزای آن‌ها اثربخشی بیشتری داشته و در اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده بیشترین مقدار را دارا باشد. با توجه به نتایج به دست آمده در خاک‌های ایران که آهکی هستند و آب‌های آبیاری محتوای بیکربنات بالایی دارند توجه به کاربرد مقدار مناسب کودهای فسفر، آهن و روی ضروری به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه اردکان و پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه اردکان به خاطر در اختیار قرار دادن امکانات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی، کمال سپاسگزاری به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Arnon DI. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplast polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24: 1–15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Arun KS. 2002. A Handbook of Organic Farming Publication. Agrobios, India.

Aziz E, Gad N and Badran NM. 2007. Effect of Cobalt and Nickel on Plant Growth, Yield and Flavonoids Content of (*Hibiscus sabdariffa* L.). Australian Journal of Basic Applied Sciences, 1(2): 73-78. http://ajbasweb.com/old/ajbas/73-78.pdf

Azizi H, Rezvani Moghaddam P, Parsa M, Khorasani R and Shoor M. 2018. The Effect of Cow Manure, Nitrogen, Phosphorus and Corm Weight on the Yield Characters of Colchicum (*Colchicum kotschyi* Boiss.). Journal of Horticultural Science, 32(3): 359-370. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v31i4.44438

Bagheri A, Rahmani A and Abbaszadeh B. 2013. The effect of iron chelate foliar application on damask rose. Annals of Biological Research, 4(4): 53-55. doi/full/10.5555/20133161883

Bagheri A, Sirousmehr AR, Asgharipour MR and Forouzandeh M. 2018. Effect of mycorrhizal inoculation and phosphorus supply on morphological traits of rosemary under greenhouse conditions. Journal of Applied Horticulture, 20(2): 97-102. https://doi.org/10.37855/jah.2018.v20i02.18

Baldi E, Miotto A, Ceretta CA, Quartieri M, Sorrenti G, Brunetto G and Toselli M. 2018. Soil-applied phosphorous is an effective tool to mitigate the toxicity of copper excess on grapevine grown in rhizobox. Scientia Horticulturae, 227: 102-111. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.010

Borji Abad A. 2014. Effects of density and application of iron and zinc on yield quantity and quality of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). MSc Thesis. Faculty of Agriculture, University of Zabol (In Persian with English Abstract).

Broadley MR, Philip JW, Hammond JP, Zelko I and Alexander, L. 2007. Zinc in plants. New Phytologist, 173: 677-702. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x

Bybordi A and Mamedov G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae, 2(1): 21-30. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20103104911

Cottenie A. 1980. Soil and plant testing and analysis as a basis of fertilizer recommendations (4th ed.). FAO Soils Bulletin.

Del Bubba M, Arias CA and Brix H. 2003. Phosphorus adsorption maximum of sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds as measured by the Langmuir isotherm. Water Research, 37(14): 3390-3400. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00231-8

Ghaedi Jeshni M, Mousavinik M and Aminifar J. 2016. The Effect of Phosphorus and Zinc Fertilizers on Nutrient Content and Essential Oil Yield of German Chamomile under Drought Stress (*Matricaria recutita* L.). Journal of Horticultural Science, 29(4): 642-651. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v29i4.35762

Ghaffari Malayeri M, Akbari GA and Mohammadzadeh A. 2012. The reaction yield and yield components of maize to soil application and foliar consumption. Iranian Agriculture Research, 2(10): 368-373. (In Persian with English Abstract). 20.1001.1.20081472.1391.10.2.14.5

Hajiboland R, Radpour E and Pasbani B. 2015. Influence of phosphorus deficiency on drought stress tolerance in two tomato (*Solanum lycopersum* L.) cultivars. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 27(5): 788-803. doi: 27504

Jalali M and Zinli, NAM. 2012. Effects of common ions on Zn sorption in some calcareous soils of Western Iran. Pedosphere, 22(2): 190-200. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60005-8

Khan H, Akbar WA, Shah Z, Rahim HU, Taj A and Alatalo JM. 2022. Coupling phosphate-solubilizing bacteria (PSB) with inorganic phosphorus fertilizer improves mungbean (*Vigna radiata*) phosphorus acquisition, nitrogen fixation, and yield in alkaline-calcareous soil. Heliyon, 8(3): e09081. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09081

Koleva II, Van Beek TA, Linssen JPH, de Groot A and Evstatieva LN. 2002. Screening of plant extracts for antioxidant activity: a comparative study on three testing methods. Phytochemical Analysis, 13: 8–17. https://doi.org/10.1002/pca.611

Li D, Li C, Yao Y, Li M and Liu L. 2020. Modern imaging techniques in plant nutrition analysis: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 174 p. 105459. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105459

Lichtenthaler HK. 1987. Chlorophylls and carotenoidspigments of photosyn-thetic biomembranes. Methods in Enzymology, 148: 350–382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Miransari H, Mehrafarin A and Naghdi Badi H. 2015. Morphophysiological and phytochemical responses of dill (*Anethum graveolens* L.) to foliar application of iron sulfate and zinc sulfate. Journal of Medicinal Plants, 14(2): 15-30. (In Persian with English Abstract). 20.1001.1.2717204.2015.14.54.2.5

Misra A, Dwivedi S, Srivastava AK, Tewari DK, Khan A and Kumar R. 2007. Analysis of growth, physiology, photosynthesis, essential monoterpene oil(s) yield and quality in (*Ocimum sanctum* L.) genotypes. Bioscience Research, 4(1): 1-5. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v30i2.39348

Mortvedi J. 2003. Efficient Fertilizer use Micronutrient. Florida University Published, USA.

Murphy J and Riley JP. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta, 27: 31–36. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5

Nateghi S, Pirzad A and Darvishzadeh R. 2015. Effect of Fe and Zn Micro Nutrients on Yield and Yield Components of (*Pimpinella anisum* L.). Journal of Horticultural Science, 29(1): 37-46. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.48438

Nijjar G. 1996. Nutrition of Fruit Trees. Kalyani Published, Lyall Bk Depot, New Delhi.

Okosun LA, Magaji MD and Yakubu AI .2006. The effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* var. sabdariffa L.) in a semi-arid agro-ecology of Nigeria. Journal of Plant Sciences, l(2): 154-160. 10.3923/jps.2006.154.160

Ram M, Singh R and Sangwan RS. 2003. Foliar applications of phosphate increase the yield of essential oil in menthol mint (Menthaarvensis). Australian Journal of Experimental Agriculture, 43(10): 1263-1268. https://doi.org/10.1071/EA02196

Rezaee Chiane A, Zehtab Salmasi S, Pirzad A and Rahimi A. 2015.The effect of foliar micronutrients iron, zinc and manganese on yield, yield components, and seed oil, calendula (*Calendula officinalis* L.). Journal of Horticulture Science, 29(1): 95-102. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.24618

Richardson ML and Arlotta CG. 2021. Differential yield and nutrients of (*Hibiscus sabdariffa* L.) genotypes when grown in urban production systems. Scientia Horticulturae, 288 p.110349. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110349

Roze I, Felton W and Banks L. 2005. Response of four soybean varieties to foliar zinc fertilizer. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, 21(109): 236-240. https://doi.org/10.1071/EA9810236

Shabanzadeh S, Ramroudi M and Galavi M. 2012. Influence of micronutrients foliar application on seed yield and quality traits of black cumin in different irrigation regimes. Journal of Crop Production and Processing, 1(2): 79-89. 20.1001.1.22518517.1390.1.2.6.1

Sharifi Ashourabadi E, Ardakani MR, Paknejhad F, Habibi D and Adraki M. 2006. Effect of solid nitrogen application on biological yield, essential oil percentage and essential oil yield of balm (*Melissa officinalis* L.) under greenhouse condition. Proceeding of 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 9-15 July: 147.

Tavarini S, Passera B, Martini A, Avio L, Sbrana C, Giovannetti M and Angelini LG. 2018. Plant growth, steviol glycosides and nutrient uptake as affected by arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorous fertilization in Stevia rebaudiana Bert. Industrial Crops and Products, 111: 899-907. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.055

Towfighi H, and Shirmardi M. 2015. Effect of Calcium Carbonate and pH on the Kinetics of P Fixation in Different Soils. Iranian Journal of Soil and Water Research, 46(4), 739-748. 10.22059/ijswr.2015.56797

Ullah A, Romdhane L, Rehman A and Farooq M. 2019. Adequate zinc nutrition improves the tolerance against drought and heat stresses in chickpea. Plant Physiology and Biochemistry, 143: 11-18. 10.1016/j.plaphy.2019.08.020

Usher G. 1974. A Dictionary of Plants Used by Man. CBS Publishers & Distributrors, Delhi, 619p.

Wala M, Skwarek-Fadecka M, Kołodziejek J, Mazur J, Lasoń-Rydel M and Krępska M. 2022. Effect of the Fe-HBED chelate on the nutritional quality of tomato fruits. Scientia Horticulturae, 293: 110670. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110670

Wolucka BA, Goosens A and Inze D. 2005. Methyle jasmonatc stimulates the denovo biosynthesis of vitamin c in plant cell suspensions. Journal of Experimental Botany, 56(419): 2527-2538. 10.1093/jxb/eri246

Zeinali H, Moslehi Yazddeli A, Safaei L, Jaberalansar Z, Akhondi A and Skanderi Z. 2014. Effects of different N.P.K fertilizer levels on quantitative and qualitative traits of (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 30(4): 511-518. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.9831

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 129-147

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

Morpho-physiological Characteristics, Competition Index and Yield Components of different bread wheat (*Triticum aestivum*) Genotypes under Malva (*Malva neglecta* L.) Weed Competition in Khuzestan conditions

Razi Sorkheh[1], Jafar Asghari[2*], Adel Modhej[3], Ahmad Ali Shoushi-Dezfouli[4]

Received: 11 May 2023	Accepted: 08 February 2024

1- Ph.D. Candidate, Agronomy, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran.
2- Professor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, PO Box 41635-1314, Rasht, Iran.
3- Assoc. Prof, Dept. of Agronomy, Shushtar branch of Islamic Azad University, Shushtar, Iran
4- Assist. Prof., Dept. of Agricultural and Horticultural Science Research, Safi-abad Agriculture and Natural Resources Research and Training Center, Iran.
*Corresponding Author Email: jafasghr@guilan.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Decreasing the effect of weeds on the characteristics of the main product increases the production and quality of the seeds and finally stabilizes the agricultural ecosystems. This research was conducted in order to investigate the effect of Dwarf Mallow weed on yield, yield components, competition index, Greenness and photosynthesis rate in wheat fields in North Khuzestan.

Materials and Methods: The experiment was carried out as a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications during the two crop years of 2018-2019 and 2019-2020 in the agricultural research and studies center of Safi-abad, Dezful. Treatments included of three varieties of wheat; (Mehregan, Chamran 2 and Barat) and five Density of Malva (control (zero), 8, 16, 24 and 32 plants/m^2).

Results: The results showed that the length of the plant increased by 2.38, 7.42, 15.44 and 20.47%, respectively, compared to the control treatment, with the increase in the density of the weed and the spike length decreased by 7.42, 8.47, 16.47 and 29.71% compared to the control treatment with increasing the density of Malva weed. The number of seeds in the spike of Chamran 2 and Mehrgan cultivars decreased by 1.45% and 11.72% respectively compared to Barat cultivar. The number of seeds in the spike decreased by 13.22, 20.65, 28.84 and 44.60%, respectively, compared to the control treatment with the increase in the density of the Malva weed. Seed yeild with increasing density of Dwarf Mallow weed in Mehrgan variety 19.41, 29.44, 36.24 and 48.22%, in Chamran 2 variety 6.27, 15.84, 21.78 and 43.89% and in Brat variety 28.51, 39.06, 40.23, and 50.78% showed a decrease compared to the control treatment, respectively. The biological yield decreased by 13.08, 15.86, 20.40, and 32.44%, respectively, compared to the control treatment, with the increase in the density of the weed. The photosynthesis ratio with increasing the density of Malva weed in Mehrgan variety 14.25, 24.49, 60.86 and 80.66%, in Chamran 2 variety 23.81, 31.48, 52.92 and 74.28% and of 25.02, 43.70, 49.42 and 74.00% in Brat variety respectively, showed a decrease compared to the control treatment. The tolerance index of Chamran 2 and Mehregan cultivars decreased by 1.08 and 1.85%, respectively, compared to Barat variety, and with the increase in the density of Dwarf Mallow weed, it decreased by 3.68, 7.45 and 11.32%, respectively, compared to the density of 8 Dwarf Mallow weed plants.

Conclusion: The results of the experiment showed a decrease in the values of developmental and physiological characteristics and a decrease in seed and biological yield, photosynthesis rate and tolerance index due to the increase in the density of Malva weed. In general, the control of Dwarf Mallow weed density can be recommended to improve quantitative yield, morpho-physiological indicators of bread wheat in order to achieve sustainable agricultural goals and increase grain and biological yield per unit area in the agricultural areas of North Khuzestan.

Keywords: Allelopathy, Assimilation, Competition, Density, Yield components.

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Jafar Asghari, Email: jafasghr@guilan.ac.ir
http://doi.org/ 10.22034/SAPS.2024.56550.3043

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۱۴۷-۱۲۹

دانش کشاورزی و تولید پایدار

خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، مؤلفه‌های عملکردی و شاخص رقابت ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان (*Triticum aestivum*) تحت رقابت علف‌هرز پنیرک (*Malva neglecta* L.) در شرایط خوزستان

راضی سرخه[۱]، جعفر اصغری[۲*]، عادل مدحج[۳]، احمد علی شوشی دزفولی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

۱- دانشجوی دکترای زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، شوشتر، ایران
۴- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول، دزفول، ایران
* مسئول مکاتبه: Email: jafasghr@guilan.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: کاهش میزان تأثیر علف‌های هرز بر خصوصیات محصول اصلی، سبب افزایش میزان تولید و کیفیت دانه شده و در نهایت موجب پایداری اکوسیستم‌های زراعی می‌گردد. این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر علف‌هرز پنیرک بر عملکرد، اجزای عملکرد، شاخص رقابت و سرعت فتوسنتز در مزارع گندم شمال خوزستان مورد آزمایش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات و مطالعات کشاورزی صفی‌آباد دزفول اجرا شد. تیمارها شامل سه رقم گندم (مهرگان، چمران ۲ و برات) و پنج تراکم پنیرک (شاهد (صفر)، ۸، ۱۶، ۲۴ و ۳۲ بوته در متر مربع) بودند.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که طول بوته با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۲/۳۸، ۷/۴۲، ۱۵/۴۴ و ۲۰/۴۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و طول سنبله با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۷/۴۲، ۸/۴۷، ۱۶/۴۷ و ۲۹/۷۱ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. تعداد دانه در سنبله ارقام چمران ۲ و مهرگان به‌ترتیب ۱/۴۵ و ۱۱/۷۲ درصد نسبت به رقم برات کاهش نشان داد. تعداد دانه در سنبله با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۱۳/۲۲، ۲۰/۶۵، ۲۸/۸۴ و ۴۴/۶۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. عملکر دانه با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک در رقم مهرگان به‌ترتیب ۱۹/۴۱، ۲۹/۴۴، ۳۶/۲۴ و ۴۸/۲۲ درصد، در رقم چمران ۲ به‌ترتیب ۶/۲۷، ۱۵/۸۴، ۲۱/۷۸ و ۴۳/۸۹ درصد و در رقم برات به‌ترتیب ۲۸/۵۱، ۳۹/۰۶، ۴۰/۲۳ و ۵۰/۷۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد. عملکرد بیولوژیک با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۱۳/۰۸، ۱۵/۸۶، ۲۰/۴۰ و ۳۲/۴۴ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد. سرعت فتوسنتز با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک در رقم مهرگان به‌ترتیب ۱۴/۲۵، ۲۴/۴۹، ۶۰/۸۶ و ۸۰/۶۶ درصد، در رقم چمران ۲ به‌ترتیب ۲۳/۸۱، ۳۱/۴۸، ۵۲/۹۲ و ۷۴/۲۸ درصد و در رقم برات به‌ترتیب ۲۵/۰۲، ۴۳/۷۰، ۴۹/۴۲ و ۷۴/۰۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد. شاخص تحمل ارقام چمران ۲ و مهرگان به‌ترتیب ۱/۰۸ و ۱/۸۵ درصد نسبت به رقم برات و با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۳/۶۸، ۷/۴۵ و ۱۱/۳۲ درصد نسبت به تراکم ۸ بوته علف‌هرز پنیرک کاهش نشان داد.

نتیجه‌گیری: نتایج آزمایش نشان‌دهنده کاهش مقادیر خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک، سرعت فتوسنتز و شاخص تحمل ناشی از افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک بود. به‌طور کلی، کنترل تراکم علف‌هرز پنیرک می‌تواند برای بهبود عملکرد کمی، شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک گندم نان جهت حصول اهداف کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک در واحد سطح در مناطق زراعی شمال خوزستان توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آسیمیلاسیون، اجزای عملکرد، تراکم، دگرآسیبی، رقابت

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت جهان به حدود ۹ میلیارد نفر در پایان سال ۲۰۵۰، به‌منظور تولید گندم جهت تغذیه این میزان جمعیت، افزایش سطح زیر کشت و کاهش رقابت علف‌های هرز مزارع یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (آکرچ و همکاران ۲۰۰۸). یکی از راهکارهای اصلی در کشاورزی پایدار، حذف عوامل محدود کننده در اکوسیستم‌های زراعی با هدف کاهش رقابت بر سر منابع غذایی (بنیاس و همکاران ۲۰۱۰) و کاهش تراکم علف‌های هرز و رقابت بین گونه‌ای به‌منظور دسترسی مطلوب گیاه زراعی به منابع و در نتیجه افزایش میزان تولید، کاهش هزینه‌های تولید و توسعه کشاورزی سازگار با محیط‌زیست است (لاکوود و بلکیری ۲۰۰۷).

سطح زیر کشت گندم در ایران، ۶۴۷۳۹۴/۹ هکتار و عملکرد آن ۱۵۵۹/۱ کیلوگرم در هکتار گزارش شده، در حالی که متوسط عملکرد گندم در دنیا ۳۴۹۱/۹ کیلوگرم در هکتار بوده است (فائو ۲۰۲۱). قطب تولید گندم ایران استان‌های خوزستان، گلستان، کردستان، فارس، کرمانشاه و آذربایجان غربی است. مجموع سطح زیر کشت گندم آبی و دیم در استان خوزستان ۶۵۷۷۹۱ هکتار و متوسط عملکرد گندم آبی و دیم به‌ترتیب ۴۸۰۰ و۱۶۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (وزارت جهاد کشاورزی ۲۰۲۱).

علف‌های هرز از جمله مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد در گیاهان زراعی به‌ویژه گندم به‌شمار رفته که با رقابت بر سر منابع عذایی، مانع از دسترسی مطلوب گیاه زراعی به این منابع شده و موجب کاهش میزان تولید و افزایش هزینه آن می‌گردد (اصغری و همکاران ۲۰۱۲). بر اساس آمار و ارقام منتشر شده درسال ۲۰۲۱، قسمت قابل توجهی از محصولات کشاورزی دنیا قبل از رسیدن به مرحله مصرف بر اثر خسارت بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز از بین رفته که میانگین آن در مزارع گندم کشور حدود ۲۳ درصد برآورد شده است (فائو ۲۰۲۱). گیاه پنیرک گونه‌ای از علف‌های هرز یک‌ساله و زمستانه است که در حال حاضر یک تهدید جدی در پایداری تولید گندم کشور محسوب می‌شود. این علف‌هرز در غالب استان‌های کشور به‌جز استان‌های سمنان، گلستان، مازندران، گیلان و سیستان و بلوچستان گزارش شده، لیکن در قطب مهم تولید گندم کشور یعنی استان خوزستان به‌دلیل مصرف بی رویه و مدیریت نشده انواع علفکش‌ها، به‌عنوان پهن برگ غالب این استان در آمده است (جعفری‌زاده و مدحج ۲۰۱۱). یکی از راه‌کارهای مبارزه با علف‌های هرز در سیستم مدیریت تلفیقی علف‌های هرز، استفاده از ارقامی با قدرت رقابتی بالا است (پاوار ۲۰۰۹). ارقامی که توانایی رقابت بالایی دارند ضمن کاهش رشد علف‌هرز، عملکرد خود را در حد قابل قبولی حفظ خواهند کرد (زیمدال ۲۰۰۴). بنابراین شناسایی رقم هایی از گندم با قدرت رقابت پذیری بالا و شناخت ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک مؤثر بر رقابت آن‌ها می‌تواند به به‌نژادی و مدیریت علف‌های هرز کمک کند.

افزایش توان گیاهان زراعی جهت رقابت با علف‌های هرز از عوامل مهم در سیستم‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز محسوب می‌شود. این امر به کمک ایجاد یک محیط مناسب برای رشد گیاه همراه با کاهش تراکم و توان علف‌های هرز محقق شده و موجب کاهش مصرف علف‌کش می‌گردد. افزایش قدرت رقابت گیاهان زراعی می‌تواند با برنامه‌های خاص اصلاحی یا به‌واسطه تغییر در محیط زندگی گیاه مانند تغییر زمان کاشت و تغییر در تراکم گیاه زراعی و توزیع فضایی آن، کشت واریته‌های

مقاوم انجام گیرد (کریستنسن و همکاران ۲۰۰۸). بررسی نتایج تحقیقات نشان داد که ارتفاع گیاه تأثیر مثبتی در قابلیت رقابتی گندم دارد، به‌طوری که ارقام تجاری پاکوتاه در برابر علف‌های هرز نسبت به ارقام تجاری پابلندتر، رقیب ضعیف‌تری محسوب می‌شوند (بالیان و همکاران ۲۰۰۷). پژوهشگران توصیه کردند ارقامی که ارتفاع آن‌ها به‌طور متوسط ۱۰۹-۹۰ سانتی‌متر بود همواره از توانایی رقابت بیشتری از ارقامی که ۸۹-۸۰ یا ۷۹-۶۹ سانتی‌متر ارتفاع داشتند، برخوردار بودند (اولسن و همکاران ۲۰۰۵). محققین نیز نشان دادند که با کاشت ارقام پاکوتاه در مقایسه با ارقام پابلند گندم، تعداد سنبله، تولید بذر و وزن خشک یولاف وحشی (*Avena fatua*) ۸۰ تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد (لمرل و همکاران ۲۰۰۷). پژوهش‌گران اظهار داشتند که افزایش تراکم علف‌هرز از طریق کاهش تعداد پنجه بارور و تعداد سنبله در متر مربع منجر به کاهش عملکرد گندم می‌گردد (آرمین و اصغری‌پور ۲۰۱۱). نتایج ارزیابی رقابت علف‌هرز پنیرک بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم رقم چمران نشان داد که تراکم‌های مختلف علف‌هرز پنیرک (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ بوته در مترمربع)، با افزایش تراکم علف هرز سبب کاهش عملکرد دانه گندم به‌طور معنی‌دار گردید. کاهش عملکرد دانه در تراکم‌های بالای علف‌هرز به‌دلیل کاهش تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه می‌باشد. در تراکم ۲۰ بوته پنیرک در مترمربع، صفات عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزار دانه به ترتیب ۲۷، ۱۵، ۱۰، ۶ و ۶ درصد نسبت به کرت شاهد بدون علف هرز کاهش یافتند (جعفری‌زاده و مدحج ۲۰۱۱). حسینی فرادنبه و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش تراکم پنیرک، عملکرد گندم به‌طور خطی کاهش یافت و بیشترین تراکم پنیرک موجب افت ۲۴ درصدی عملکرد گندم گردید. همچنین کاهش معنی‌دار در وزن هزاردانه، شاخص سطح برگ، سرعت رشد و سرعت رشد نسبی گندم در اثر تداخل با این علف هرز مشاهده شد اما ارتفاع، تعداد دانه در سنبله گندم و سرعت جذب خالص گندم تحت تأثیر افزایش تراکم پنیرک قرار نگرفت. به‌طور کلی نتایج آزمایش نشان داد که پنیرک در تراکم های بالا می‌تواند عملکرد و رشد گندم را در یک منطقه گرم و خشک و در شرایط کشت آبی به‌طور معنی‌داری کاهش دهد.

بسیاری از گونه‌های گیاهی قادر به تولید و آزادسازی مواد شیمیایی هستند که برای سایرگیاهان سمی می‌باشند، این مواد شیمیایی را دگرآسیب می‌گویند. مواد آللوشیمیایی گیاهانی هستند که فعالیت فیزیولوژیکی سمیت گیاهی خود را، بر گیاهان یا میکروب‌ها اعمال می‌کنند (سیل و پراتلی ۲۰۱۰). علف های هرز همچنین بر رشد گیاهان زراعی از طریق آزادسازی آللوکمیکال‌ها به محیط اثر می گذارند. همه بخش‌های علف‌های هرز شامل برگ، ساقه، ریشه و میوه توانایی دگرآسیبی دارند. بخش‌های مختلف علف‌هرز رفتارهای مختلفی در اثر دگرآسیبی بر گیاهان نشان داده‌اند. اما همه علف‌های هرز اثرات دگرآسیبی بر محصولات زراعی را توسط آزادسازی ترکیبات محلول در آب به خاک دارند (ژو ۲۰۰۸). ترکیبات آللوشیمیایی می‌توانند ساختار، عملکرد و نفوذپذیری غشاء را تحت‌تأثیر قرار داده، به طوری‌که ابتدا غشای پلاسمایی را تخریب کرده و سپس اطلاعاتی تنشی را از نقطه مشخصی به داخل سلول‌ها ارسال کنند. بدین ترتیب اثرات مختلفی بر سلول‌های گیاهی بر جای می‌گذارند (پنگ و همکاران ۲۰۰۴). همچنین گزارش شده است که این ترکیبات، فتوسنتز گیاه را از طریق تخریب کلروفیل تحت‌تأثیر قرار داده و سبب تخریب ساختار غشاهای درونی کلروپلاست می‌شوند (ژنگ و همکاران ۲۰۰۸). یکی از فرآیندهای حساس به ترکیبات آللوشیمیایی، تنفس می‌باشد، و اثر بازدارندگی این ترکیبات در گیاه، به‌دلیل توقف انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون میتوکندریایی و یا تغییر نفوذپذیری غشای میتوکندری است (یورچاک و همکاران ۲۰۰۵). شواهد متعددی نشان می‌دهد وقتی گیاه در معرض ترکیبات آللوشیمیایی قرار می‌گیرد، رشد ونمو آن‌ها تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. ازجمله اثرات این ترکیبات، بازدارندگی یا کندکردن میزان جوانه‌زنی، تیره و متورم شدن دانه‌ها، کاهش رشد طولی ریشه و یا ریشه‌چه و اندام هوایی، نکروزه شدن نوک ریشه، پیچ خوردگی محور ریشه، بی‌رنگ شدن ریشه و عدم تشکیل تارهای کشنده است. این اثرات مورفولوژیک، نشان‌دهنده انواع مختلف اثر ترکیبات آللوشیمیایی در سطح سلولی یا مولکولی سلول‌های گیاهان دریافت کننده است (پنگ و همکاران

۲۰۰۴). محققین در بررسی توانایی رقابتی ارقام گندم بهاره غرب کانادا نسبت به علف‌های هرز یولاف و خردل وحشی آن منطقه دریافتند که ارقام گندم بهاره به رقابت علف‌های هرز واکنش‌های متفاوتی نشان دادند. برخی از ارقام گندم بهاره از جمله؛ Glenlea، CDC Rama، Genesis، AC Taber، AC Vista، Plenty، Napoleon و BW652 با حفظ عملکرد خود تحت فشار علف‌های هرز دارای پتانسیل عملکرد بالایی بودند. به نظر می رسد مزیت توانایی رقابتی با ارتفاع بوته یا پنجه در متر مربع و همچنین نیاز بهاری کوتاه تر همراه با حساسیت دوره نوری مرتبط باشد (گرارد و همکاران ۲۰۲۲). همچنین، پژوهشگران در بررسی قابلیت رقابتی گندم نان در برابر علف‌های هرز یولاف وحشی و خارمریم در پاکستان، به این نتیجه رسیدند که تمامی پارامترهای رشد گندم در هر دو سال مورد مطالعه به طور معنی‌داری تحت تأثیر رقابت علف‌های هرز قرار گرفتند. نتایج نشان داد که گندم در شرایط عاری از علف‌های هرز دارای بیشترین میزان زیست توده و شاخص سطح برگ در هر دو فصل رشد نسبت به گندم آلوده به علف‌های هرز بود (احمد و گول ۲۰۲۱). در همین راستا، بررسی تأثیر تراکم‌های مختلف علف‌هرز پنیرک در اراضی گندم‌کاری استان خوزستان به‌منظور تعیین اثرات آن بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و عملکردی ارقام مختلف گندم، هدف تحقیق حاضر بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر علف‌هرز پنیرک بر عملکرد، اجزای عملکرد، شاخص رقابت، سبزینگی و سرعت فتوسنتز در مزارع گندم شمال خوزستان، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات و مطالعات کشاورزی صفی‌آباد دزفول با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۸۷ متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارها شامل سه رقم گندم (مهرگان، چمران ۲ و برات) و پنج تراکم پنیرک (شاهد (صفر)، ۸، ۱۶، ۲۴ و ۳۲ بوته در متر مربع) بودند. جهت اجرای آزمایش، کشت گندم در بیست و پنجم آذر ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ بصورت دستی و با تراکم کاشت توصیه شده ۴۰۰ بوته در متر مربع با فواصل ردیف ۱۵ سانتی متر انجام شد. اندازه هر کرت ۱/۶ × ۳ متر که متشکل از ۱۰ ردیف بود. قبل از انجام کشت، از بذر علف‌هرز پنیرک تست تعیین قوه نامیه انجام شد و همزمان با کاشت گندم، بذرهای پنیرک به میزان تعیین شده برای هر کرت پس از مخلوط کردن با ماسه بادی در بین و روی ردیف‌ها و به‌صورت کاملاً تصادفی و یکنواخت در هر کرت پخش گردید. به‌منظور شکستن خواب بذر پنیرک و اطمینان از حصول تراکم‌های مورد نظر، بذر به‌مدت یک هفته قبل از کاشت در سرمای نزدیک صفر و طبق جدول ایستا تیمار دمایی شد (بذرافشان و همکاران ۲۰۱۰). پس از اطمینان از سبز شدن مطلوب علف هرز، سه هفته پس از سبز شدن، عملیات تنک انجام شد و علف‌های هرز مزرعه به جز پنیرک، به‌طور مستمر به‌صورت وجین دستی حذف شدند. سایر عملیات داشت مانند آبیاری (بارانی) و سمپاشی علیه آفات، از جمله سم سوین با نام عمومی کاربایل و فرمولاسیون Swvin-Wp-25% به نسبت ۱/۵ کیلوگرم در ۳۰۰ لیتر آب در هکتار و کنترل بیماری برگی همچون سفیدک پودری، زنگ زرد و فوزاریوم سنبله از قارچکش پروبیکونازول با نام تجاری تیلت و فرمولاسیون Title-25%-EC در مرحله گلدهی به نسبت یک لیتر آب در هکتار، به‌طور یکسان در کلیه تیمارها اعمال شد. جهت تعیین مقدار کود مصرفی، قبل اجرای آزمایش ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه با نمونه‌برداری از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری تعیین شد (جدول ۱). بر اساس نتایج حاصل از آزمون خاک در زمان تهیه بستر بذر، مقدار ۶۴ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (از منبع کود اوره) و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاس و ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر (به‌ترتیب از منابع کودی سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل) به زمین داده شد و با دیسک با خاک مخلوط گردید

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در آزمایش طی دو سال زراعی

سال زراعی	فسفر	پتاسیم	منگنز	مواد مغذی کل	نیتروژن معدنی	نیتروژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بافت خاک
–	ppm			%				$dS.m^{-1}$	–	–
۱۳۹۸-۹۹	۱۴	۳۸۰	۴/۴	۸/۲	۳۰	۰/۱۲	۱/۵۵	۰/۶۰۰	۷/۷	لومی رسی
۱۳۹۹-۱۴۰۰	۱۳	۳۷۸	۴/۶	۷/۹	۳۲	۰/۱۵	۱/۵۸	۰/۶۵۰	۷/۳	لومی رسی

همچنین دو بار کود نیتروژن به‌صورت سرک در طول دوره رشدی، یک بار در ابتدای ساقه رفتن و بار دیگر در ابتدای پیدایش سنبله ها به نسبت ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (از منبع کود اوره) استفاده شد. مزرعه پس از کوددهی بلافاصله آبیاری شد. ویژگی‌های ارقام گندم نان نیز در جدول زیر بیان شده است (جدول ۲).

جدول ۲- خصوصیات ارقام گندم نان مورد مطالعه در این آزمایش (اسماعیل‌زاده مقدم و همکاران، ۲۰۱۴، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹)

رقم گندم نان	اقلیم	ارتفاع (cm)	وزن هزاردانه (g)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	رسیدگی	تیپ رشد
مهرگان	گرم و خشک	۸۹	۴۰	۵۶۹۰	نسبتاً زودرس	بهاره
چمران ۲	گرم و خشک	۹۱	۴۱	۶۴۴۲	نسبتاً زودرس	بهاره
برات	گرم و خشک	۹۵	۳۷	۵۵۹۶	نسبتاً زودرس	بهاره

در مرحله رسیدگی نهایی با رعایت اثر حاشیه‌ای، ۱۰ بوته گندم از ردیف‌های وسط به‌طور تصادفی انتخاب و صفاتی مانند تعداد دانه در سنبله به‌صورت شمارش، ارتفاع بوته و طول سنبله با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. به‌منظور محاسبه تعداد سنبله در متر مربع، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت وزن هزار دانه، عملیات برداشت در مساحتی معادل یک متر مربع از ردیف‌های کشت وسط هر کرت آزمایشی انجام شد و تا رسیدن به وزن ثابت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفت و وزن آن‌ها بر حسب گرم محاسبه شد. برای اندازه‌گیری رقابت گندم با علف‌های هرز از شاخصی بنام توانایی تحمل رقابت[1] (AWC) استفاده گردید که به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد (کوری و همکاران ۲۰۱۷).

رابطه (۱) $AWC=(Y_{infested}/Y_{pure})\times 100$

که در این معادله، $Y_{infested}$ عملکرد هر رقم در شرایط آلوده به علف‌هرز و Y_{pure} عملکرد هر رقم در شرایط عاری از علف‌هرز است. سرعت فتوسنتز گیاه با استفاده از سیستم تبادل گاز قابل حمل[2] (Li-Cor 6400, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA) در مرحله گلدهی از برگ‌های جوان بوته گندم بین ساعت ۱۰ صبح الی ۱۴ عصر پس از گذشت یک دقیقه و ثابت شدن مقادیر، ثبت گردید. درصد کاهش عملکرد ارقام گندم در اثر رقابت با علف هرز پنیرک توسط مدل تجربی سه پارامتری کوزنس (کوزنس، ۱۹۸۵)، بر اساس معادله زیر برآورد شد.

رابطه (۲) $Y=ywf[1-Iw(100(1+Iw/A))]$

که در این معادله؛ Y عملکرد مشاهده شده ارقام گندم (گرم در متر مربع)، ywf عملکرد برآورد شده گندم در کرت های عاری از علف هرز، w تراکم علف‌هرز (بوته در متر مربع)، I شب منحنی (درصد کاهش عملکرد گندم به ازای هر واحد تراکم علف هرز هنگامی که تراکم به سمت صفر میل می‌کند) و A مجانب منحنی (حداکثر کاهش عملکرد گندم ناشی از رقابت علف هرز است).

[1] Ability to withstand competition

[2] Portable gas exchange system

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمال بودن داده‌ها انجام گرفته و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی عمومی (GLM) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) محافظت شده در سطح پنج درصد احتمال استفاده شد. از برش‌دهی فیزیکی برای مقایسه میانگین اثرات دوگانه استفاده گردید.

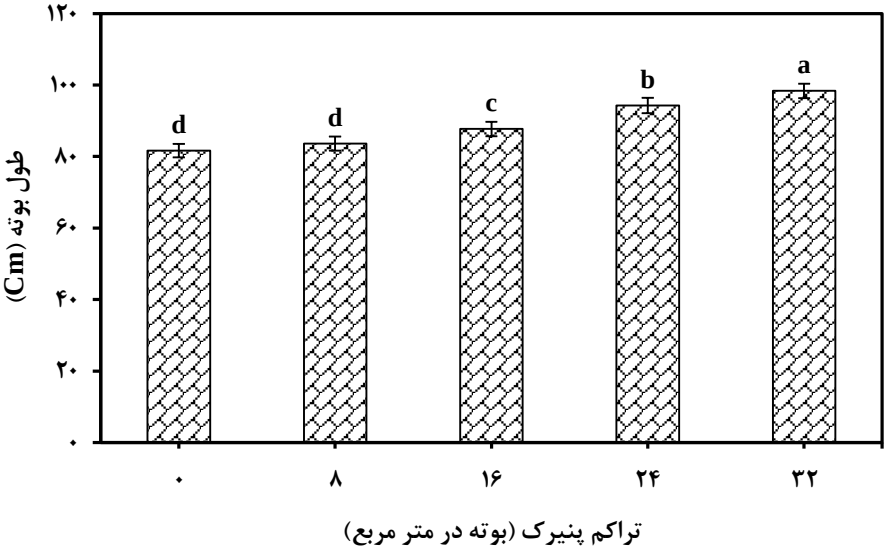
نتایج و بحث

ارتفاع بوته و طول سنبله

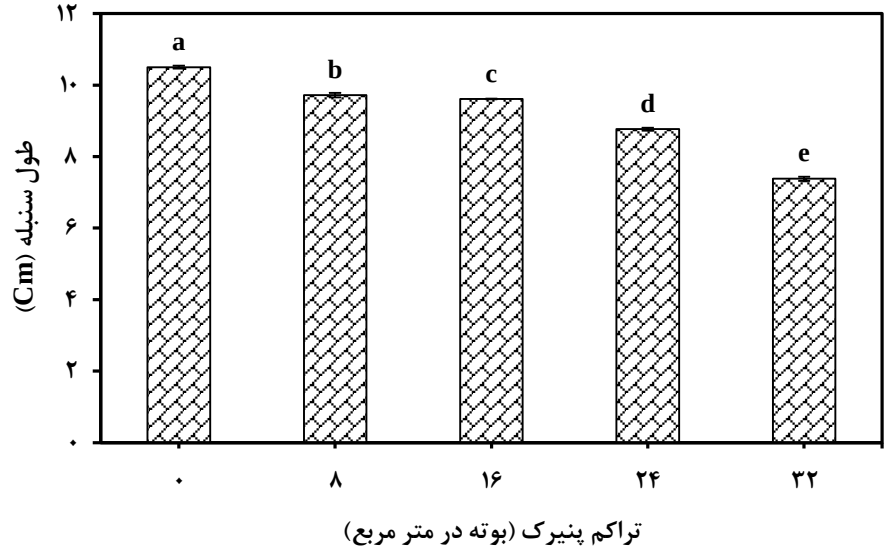
نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که طول گیاه و سنبله تحت‌تأثیر تراکم پنیرک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین طول بوته و سنبله از نظر تراکم پنیرک نشان داد که بیشترین طول بوته (۹۸/۳۸ سانتی‌متر) در تراکم ۳۲ بوته پنیرک در مترمربع و کمترین آن (۸۱/۶۶ سانتی‌متر) در تیمار شاهد (بدون علف‌هرز) مشاهده گردید و طول بوته با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۲/۳۸، ۷/۴۲، ۱۵/۴۴ و ۲۰/۴۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (شکل ۱). همچنین، بیشترین طول سنبله (۱۰/۵۰ سانتی‌متر) در تیمار شاهد (بدون علف‌هرز) و کمترین آن (۷/۳۸ سانتی‌متر) در تراکم ۳۲ بوته در متر مربع پنیرک دیده شد و طول سنبله با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۷/۴۲، ۸/۴۷، ۱۶/۴۷ و ۲۹/۷۱ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد (شکل ۲). احمد و گول (۲۰۲۱) در مطالعه قابلیت رقابتی گندم نان در برابر علف‌های هرز یولاف وحشی و خارمریم در پاکستان گزارش داند که تمامی پارامترهای رشد گندم در هر دو سال مورد مطالعه به طور معنی‌داری تحت تأثیر رقابت علف‌های هرز قرار گرفتند. حداکثر ارتفاع بوته گندم (۳۸/۱ و ۳۹/۴ سانتی‌متر) بود که در گندم بدون رقابت علف های هرز به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ ثبت شد. درحالی که حداقل ارتفاع بوته (سانتی‌متر) ۳۰/۴ و ۳۱/۹ در گندم آلوده به یولاف وحشی و خارمریم ثبت شد.

به عبارت دیگر اگرچه مواد غذایی باعث رشد گیاهان زراعی می شوند ولی علف‌های هرز بیشتر از گیاهان زراعی از مواد غذایی استفاده کرده و این امر موجب طولانی‌تر شدن دوره رشد رویشی و در نتیجه افزایش ارتفاع بوته و به‌دلیل مصرف بیش از حد مواد غذایی توسط علف‌های هرز موجب کاهش طول سنبله گیاهان زراعی می‌گردد (اصغری و همکاران ۲۰۱۲). برخی از محققان اظهار داشتند که رقابت علف‌های هرز در مراحل اولیه رشد و یا رقابت ضعیف آن‌ها می‌تواند موجب افزایش ارتفاع گیاه گردد (بیکی و همکاران ۲۰۰۸). این موضوع که به‌دلیل تغییر کیفیت نور رسیده به گیاه زراعی (کاهش نسبت نور قرمز به نور قرمز دور) و نیز از طریق افزایش اندازه سلول‌ها (نه مقدار آن‌ها) صورت می‌گیرد، که جزء مکانیسم‌های گریز از سایه محسوب می‌شود (لی و همکاران ۲۰۱۲). در حقیقت یکی از ویژگی‌های رقابتی که پنیرک از آن بهره می‌گیرد زیاد بودن ارتفاع، در مقابل گیاهان زراعی می‌باشد. علاوه بر این، رفتار رشد نا محدودی این علف‌هرز باعث شد که این گیاه به طور مداوم ارتفاع خود را افزایش دهد (فلگارت و همکاران ۲۰۱۱). به‌نظر می‌رسد که پیشروی مراحل رشد پنیرک و افزایش شاخص سطح برگ آن که موجب بسته تر شدن پوشش گیاه زراعی می‌شود، نفوذ نور به داخل پوشش گیاهی را کاهش داده و به این ترتیب کاهش شدت تشعشع، گیاه زراعی را از رشد طبیعی خو باز داشته و موجب اتیوله شدن گیاه زراعی می‌گردد (نادری و غدیری ۲۰۱۱). یکی دیگر از دلایل کاهش طول سنبله گندم در اثر افزایش تراکم پنیرک را می‌توان به ارتفاع زیاد پنیرک در مقایسه با گندم و سایه اندازی آن به‌ویژه در مرحله رشد زایشی روی این گیاه نسبت داد (راحمی و همکاران ۲۰۱۰). پژوهشگران بیان داشتند زمانی که گیاه در معرض افزایش تراکم بیش از حد مطلوب قرار می‌گیرد، توسعه سطح برگ کاهش می‌یابد. از طرفی در این شرایط سرعت گسترش سطح برگ کم‌تر از سرعت زوال آن‌ها است و مقدار مواد ذخیره کربوهیدرات گیاه به نسبت سطح برگ کاهش ولی مقدار کربوهیدرات مورد نیاز برای ادامه رشد گیاه افزایش می‌یابد. بنابراین در شرایط تراکم بیش از حد مطلوب به علت رقابت شدید بین

بوته‌ای، گیاه قادر نخواهد بود که کربوهیدرات مورد نیاز برای ادامه رشد کامل گیاه را فراهم کند. در نتیجه گسترش سطح برگ متوقف شده و بقیه گیاه به مرور زمان ضعیف می‌شود (میرلیتا و همکاران ۲۰۱۸).



شکل ۱- مقادیر ارتفاع بوته در تراکم‌های مختلف علف‌هرز پنیرک



شکل ۲- مقادیر طول سنبله در تراکم‌های مختلف علف‌هرز پنیرک

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه روی گندم نان تحت‌تأثیر رقابت علف‌هرز پنیرک در شمال خوزستان

منابع تغییر	درجه آزادی	طول بوته	طول سنبله	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	سرعت فتوسنتز	شاخص رقابت
سال	۱	۷/۷۱^{ns}	۰/۴۰^{ns}	۳۸۴/۰۰^{ns}	۲۶/۳۴^{ns}	۲/۸۴^{ns}	۲۸۴۴۴/۴۰^{ns}	۴۷۶۴۰۳/۴۰^{ns}	۱/۴۸^{ns}	۵/۲۳^{ns}
خطای الف	۴	۳/۸۸	۱/۲۶	۳۰۲/۲۰	۲۸/۲۴	۲/۳۲	۱۷۱۱۱/۱۰	۴۰۱۸۶۴/۳۰	۰/۹۸	۴/۲۰
رقم	۲	۲۰/۳^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۷۶۴/۴۰**	۱۱۱/۴۱**	۰/۲۳^{ns}	۱۲۲۸۶۷۷۷/۷۸**	۱۱۳۷۳۵۵۴۳/۲۰**	۳۴۱/۲۲**	۶۵/۷۸**
تراکم پنیرک	۴	۹۰۱/۶۶**	۲۵/۱۵**	۴۱۷۶۸/۳۳**	۶۳۰/۱۵**	۲۱/۸۴**	۱۳۰۴۴۲۷۷/۷۸**	۳۲۶۲۰۶۶/۰۶**	۲۸۷/۳۴**	۸۰/۲۲**
سال × رقم	۲	۳/۶۷^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۲۵۰/۰۰^{ns}	۱۳/۱۴^{ns}	۰/۵۴^{ns}	۷۸۱۱۱/۱۰^{ns}	۳۸۱۵۱/۶۰^{ns}	۱/۹۲^{ns}	۲/۵۶^{ns}
سال× تراکم پنیرک	۴	۱۶/۳۷^{ns}	۰/۵۱^{ns}	۳۸۵/۰۰^{ns}	۱۰/۴۲^{ns}	۱/۶۲^{ns}	۶۳۷۲۲/۲۰^{ns}	۲۸۶۶۱۵/۴۰^{ns}	۱/۰۹^{ns}	۳/۷۲^{ns}
رقم × تراکم پنیرک	۸	۸/۴۷^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۸۲۰/۰۰**	۴/۲۵^{ns}	۱/۲۹^{ns}	۳۷۵۱۱/۱۱**	۲۶۲۵۹۶/۵۴^{ns}	۴۰۲/۷۲**	۳/۲۹^{ns}
سال × رقم × تراکم پنیرک	۸	۴/۵۵^{ns}	۰/۳۶^{ns}	۱۴۶/۶۰^{ns}	۳/۱۸^{ns}	۱/۱۹^{ns}	۵۵۸۸/۸۹^{ns}	۱۸۴۲۸۱/۲۰^{ns}	۱/۷۷^{ns}	۳/۳۹^{ns}
خطای باقی مانده (ب)	۵۶	۸/۳۳	۰/۵۴	۲۱۵/۳۱	۴/۷۵	۱/۴۷	۸۱۸۷/۳۰	۱۵۳۸۱۷/۲۴	۳/۹۵	۲/۸۹
ضریب تغییرات (درصد)	-	۳/۲۲	۸/۱۶	۳/۳۴	۷/۵۴	۳/۲۸	۷/۷۷	۱۲/۸۱	۱۰/۹۱	۹/۲۴

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال آماری پنج و یک درصد، و ns: غیر معنی‌دار است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی رقم و تراکم پنیرک بر صفات مورد مطالعه

	تیمار	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (g)	عملکرد بیولوژیک ($g.m^{-2}$)	شاخص تحمل
رقم	مهرگان	۲۶/۶۶±۰/۴۳^{b}	-	۹۹۲۶/۰۷±۱۲۴/۱۶^{b}	۹۱/۰۷±۰/۱۶^{b}
	چمران ۲	۲۹/۷۶±۰/۵۲^{ab}	-	۱۱۳۲۱/۷۸±۱۳۲/۲۷^{a}	۹۱/۷۸±۰/۳۱^{a}
	برات	۳۰/۲۰±۰/۳۳^{a}	-	۷۴۷۴/۷۹±۱۴۵/۳۷^{c}	۹۲/۷۹±۰/۲۷^{a}
	LSD	۱/۰۶	-	۲۱۲/۳۲	۲/۰۶
تراکم پنیرک	صفر (بدون علف‌هرز)	۳۶/۶۱±۱/۵۴^{a}	۴۰/۵۰±۰/۵۴^{a}	۱۱۴۴۶/۶۵±۲۲۱/۴۴^{a}	۱۰۰/۴۹±۱/۸۴^{bc}
	۸ بوته در متر مربع	۳۱/۷۷±۱/۰۶^{b}	۳۹/۶۰±۰/۴۶^{ab}	۹۹۴۸/۷۸±۲۵۸/۱۶^{b}	۱۰۵/۰۸±۱/۶۱^{a}
	۱۶ بوته در متر مربع	۲۹/۰۵±۱/۳۱^{c}	۳۹/۰۵±۰/۴۱^{bc}	۹۶۳۰/۰۸±۲۱۲/۱۱^{c}	۱۰۱/۲۷±۱/۵۶^{b}
	۲۴ بوته در متر مربع	۲۶/۰۵±۱/۴۴^{d}	۳۸/۵۰±۰/۳۴^{cd}	۹۱۱۱/۰۲±۲۳۶/۲۴^{d}	۹۷/۲۵±۱/۴۴^{c}
	۳۲ بوته در متر مربع	۲۰/۲۸±۱/۳۶^{e}	۳۷/۶۱±۰/۵۶^{e}	۷۷۳۳/۳۲±۲۰۹/۵۶^{e}	۹۳/۱۸±۱/۶۶^{d}
	LSD	۱/۰۹	۱/۶۸	۲۲۵/۰۷	۲/۴۱

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون، در سطح احتمال آماری پنج درصد در آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (میانگین±خطای استاندارد).

اجزای عملکرد

مطابق جدول تجزیه واریانس، تعداد سنبله در واحد سطح از نظر رقم، تراکم پنیرک و برهمکنش رقم × تراکم پنیرک؛ تعداد دانه در سنبله از نظر رقم و تراکم پنیرک و وزن هزار دانه از نظر تراکم پنیرک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین

برهمکنش رقم × تراکم پنیرک نشان داد که تعداد سنبله در واحد سطح با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک در رقم مهرگان به‌ترتیب ۳/۳۷، ۱۰/۸۱، ۱۵/۸۷ و ۱۹/۵۹ درصد، در رقم چمران ۲ به‌ترتیب ۸/۶۶، ۱۳/۶۶، ۱۴/۶۶ و ۳۲/۶۶ درصد و در رقم برات به‌ترتیب ۷/۲۱، ۱۵/۷۳، ۲۰/۶۵ و ۲۸/۵۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد (جدول ۵). مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله از نظر رقم نشان داد که که بیشترین تعداد دانه در سنبله (۳۰/۲۰) در رقم برات مشاهده شد با رقم چمران ۲ تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن (۲۶/۶۶) در رقم مهرگان دیده شد که با رقم چمران ۲ تفاوت معنی‌داری نداشت و تعداد دانه در سنبله ارقام چمران ۲ و مهرگان به‌ترتیب ۱/۴۵ و ۱۱/۷۲ درصد نسبت به رقم برات کاهش نشان داد (جدول ۴). همچنین، از نظر تراکم پنیرک، بیشترین تعداد دانه در سنبله (۳۶/۶۱) در تیمار شاهد (بدون علف‌هرز) و کمترین آن (۲۰/۲۸) در تراکم ۳۲ بوته در متر مربع پنیرک مشاهده گردید و تعداد دانه در سنبله با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۱۳/۲۲، ۲۰/۶۵، ۲۸/۸۴ و ۴۴/۶۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد (جدول ۴). مقایسه میانگین وزن هزار دانه از نظر تراکم پنیرک نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه (۴۰/۵۰ گرم) در تیمار شاهد (بدون علف‌هرز) مشاهه شد که با تراکم ۸ بوته در متر مربع پنیرک تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار آن (۳۷/۶۱ گرم) در تراکم ۳۲ بوته در متر مربع پنیرک مشاهده گردید و وزن هزاردانه با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۲/۲۲، ۳/۵۸، ۴/۹۳ و ۷/۱۳ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد (جدول ۴).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه ارقام مختلف گندم نان تحت سطوح مختلف تراکم علف‌هرز پنیرک.

(برش‌دهی فیزیکی در سطح رقم)

رقم	تراکم پنیرک	تعداد سنبله در واحد سطح	سرعت فتوسنتز (میکرومول CO_2 بر متر مربع در ثانیه)
مهرگان	صفر (بدون علف‌هرز)	۴۹۳/۳۳±۱۰/۲۶^{a}	۱۰/۴۵±۰/۵۷^{a}
	۸ بوته در متر مربع	۴۷۶/۶۷±۹/۲۶^{a}	۸/۹۶±۰/۴۴^{b}
	۱۶ بوته در متر مربع	۴۴۰/۰۰±۱۰/۲۹^{b}	۷/۸۹±۰/۲۰^{c}
	۲۴ بوته در متر مربع	۴۱۵/۰۰±۹/۲۶^{c}	۴/۰۹±۰/۷۲^{d}
	۳۲ بوته در متر مربع	۳۹۶/۶۷±۱۰/۲۶^{c}	۲/۰۲±۰/۴۲^{e}
	LSD	۳۵/۷۴	۲/۲۳
چمران ۲	صفر (بدون علف‌هرز)	۵۰۰/۰۰±۱۰/۳۵^{a}	۱۲/۶۴±۱/۰۵^{a}
	۸ بوته در متر مربع	۴۵۶/۶۷±۱۴/۲۶^{b}	۹/۶۳±۱/۰۶^{b}
	۱۶ بوته در متر مربع	۴۳۱/۶۷±۱۲/۶۱^{b}	۸/۶۶±۱/۱۲^{b}
	۲۴ بوته در متر مربع	۴۲۶/۶۷±۱۵/۲۰^{b}	۵/۹۵±۱/۰۵^{c}
	۳۲ بوته در متر مربع	۳۳۶/۶۷±۱۰/۲۰^{c}	۳/۲۵±۱/۰۵^{c}
	LSD	۳۲/۳۰	۳/۳۱
برات	صفر (بدون علف‌هرز)	۵۰۸/۳۳±۱۰/۴۰^{a}	۱۱/۳۵±۱/۰۷^{a}
	۸ بوته در متر مربع	۴۷۱/۶۷±۱۲/۲۰^{b}	۸/۵۱±۱/۰۶^{b}
	۱۶ بوته در متر مربع	۴۲۸/۳۳±۸/۳۶^{c}	۶/۳۹±۱/۰۸^{b}
	۲۴ بوته در متر مربع	۴۰۳/۳۳±۱۵/۲۰^{d}	۵/۷۴±۱/۰۴^{c}
	۳۲ بوته در متر مربع	۳۶۳/۳۳±۱۰/۲۰^{e}	۲/۹۵±۱/۰۴^{c}
	LSD	۳۳/۰۴	۲/۲۵

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون برش داده شده، در سطح احتمال آماری پنج درصد در آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (میانگین±خطای استاندارد).

در آزمایشی در رابطه با بررسی اثرات تراکم روی مرگ و میر ساقه و پنجه در مراحل رشدی مختلف در ارقام گندم نشان داد که تعداد سنبله در متر مربع تنها مؤلفه‌ای از اجزای عملکرد بود که در ارقام مختلف گندم تحت تأثیر افزایش تراکم علف‌هرز قرار گرفت (میرلیتا و همکاران ۲۰۱۸). مطالعات روی عناصر غذایی و آب و اثرات متقابل بین گیاه زراعی و علف‌هرز نشان داد که علف‌های هرز در شرایطی که مقادیر مواد غذایی و آب قابل توجه وجود داشته باشد، رقبای قویتری از گیاهان زراعی هستند (بیکی و همکاران ۲۰۰۸). برهمکنش رقابتی بین ژنوتیپ‌های گندم نان و علف‌هرز پنیرک یکی از مکانیسم‌های مهم کنترل‌کننده استقرار و رشد در رقابت و اندازه جمعیت آن‌ها است. ایجاد جمعیت بزرگ گیاهی (علف‌هرز و گیاه زراعی) باعث شروع رقابت برای فضا، قابلیت دسترسی به نور، آب و عناصر غذایی می‌گردد (احمد و گول ۲۰۲۱). زمانی که تراکم علف‌های هرز پایین است، عناصر غذایی و آب موجود سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه زراعی می‌شود. این مساله گیاه زراعی را به رقیب قوی‌تر برای علف‌هرز تبدیل می‌کند. اما زمانی که تراکم علف‌هرز بالا است، عناصر غذایی و آب موجود رشد علف هرز را بر گیاه زراعی برتری می‌بخشد (محمدی و همکاران ۲۰۱۲). موفقیت هر گیاه در رقابت برای آب و عناصر غذایی به خواص ژنتیکی، سرعت رشد ریشه، میزان رشد نسبی گیاه و تقاضای اولیه گیاه برای آب بستگی دارد و به‌نظر می‌رسد که علف‌های هرز از نظر موفقیت در جذب آب و عناصر غذایی از گیاهان زراعی برترند و رقابت برای آب و عناصر غذایی به هنگام تداخل علف‌های هرز با گیاه زراعی، به شکل تنش علف هرز تظاهر نموده که موجب کاهش اجزای عملکرد گیاه زراعی و در نهایت موجب کاهش عملکرد محصول می‌گردد (قنبری و همکاران ۲۰۲۲). محققین سرعت رشد و زمان نسبی شدن علف‌های هرز نسبت به گیاه زراعی و تراکم را به‌عنوان عامل مؤثر بر رقابت نوری و غذایی دانسته، ولی معتقداند که اگر گیاهان در مراحل اولیه، سرعت رشد بالایی داشته باشند و یا نسبت به سایر گیاهان زودتر سبز شوند، سهم بیشتری از کل سایه‌انداز مخلوط را به خود اختصاص می‌دهند و در رقابت برای جذب آب، نور و عناصر غذایی موفق تر عمل می‌کنند (خاماری و همکاران ۲۰۲۳). دلیل عملکرد پایین رقم برات به رقابت با پنیرک را می توان در ارتفاع کمتر، سطح برگ پایین و آرایش نامناسب سایه انداز دانست که در رقابت برای جذب منابع با خردل وحشی مخصوصاً نور، ضعیف عمل می کند . اکتساب ضعیف نور در این رقم سبب می شود که برگ های پایین پوشش گیاهی حالت انگلی به خود گرفته و متعاقب آن فتوسنتز خالص کاهش یابد. کاهش عملکرد در اثر افزایش تراکم خردل وحشی در ارقام گندم به لحاظ کاهش صفات تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه صورت گرفته است. از آنجا که علف های هرز در حصول به این منابع در مقایسه با گیاه زراعی رقیب قوی تری می باشند، محدودیت این منابع در حضور علف هرز و نقصان رشد مطلوب گیاه زراعی امری بدیهی به نظر می رسد (پونیا و همکاران ۲۰۲۳). پژوهشگران گزارش کردند که افزایش تراکم علف های هرز بر اثر سایه اندازی می تواند باعث کاهش باروری گلچه و کاهش تعداد دانه در سنبله شود. ایشان همچنین گزارش نمودند که کاهش عملکرد دانه گندم زمستانه در رقابت با علف های هرز به دلیل کاهش تعداد دانه در سنبله بود. عملکرد دانه در گندم ناشی از اثرات تجمعی اجزای عملکرد می‌باشد که این اجزا تحت تأثیر مدیریت مزرعه، ژنوتیپ و اثر متقابل محیط با ژنوتیپ قرار می‌گیرد (آردوینی و همکاران ۲۰۱۲).

مدل کاهش عملکرد-تراکم

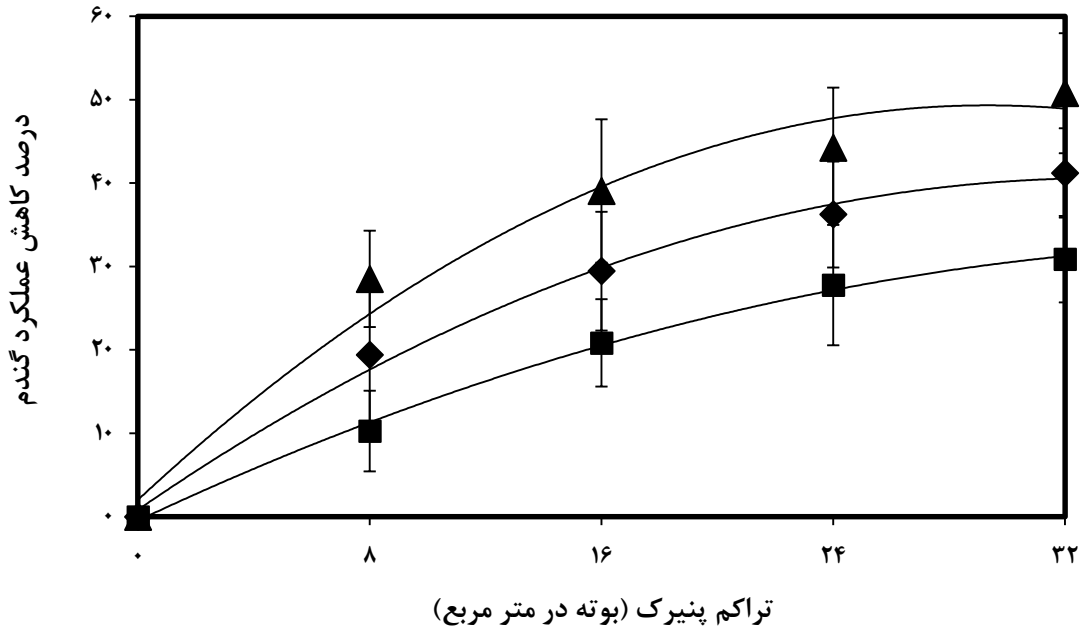
در این تحقیق کاهش عملکرد ناشی از رقابت تراکم‌های مختلف پنیرک با ارقام گندم نان محاسبه شد، نتایج نشان داد که با افزایش تراکم پنیرک کاهش عملکرد نیز افزایش یافت (جدول ۶ و شکل ۱). به‌طور معمول هرچه تراکم علف هرز بیشتر باشد، درصد افت عملکرد نیز متناسب با آن بیشتر خواهد شد و این روند تا جایی ادامه می‌یابد که تراکم علف هرز به سطحی می‌رسد که دیگر سبب کاهش معنی‌دار تولید گیاهان زراعی نمی‌شود (کوزنس، ۱۹۸۵).

جدول ۶- پارامترهای مدل هایپربولیک کاهش عملکرد ارقام گندم نان در سطوح مختلف تراکم پنیرک

ارقام مختلف گندم نان	i±SE	A±SE	R^2	RMSE
چمران ۲	۰/۷۶±۰/۲۸	۵۱/۷۶±۸/۱۴	۰/۹۹	۱/۹۰
برات	۱/۳۵±۰/۰۶	۷۲/۲۱±۱/۵۶	۰/۹۹	۰/۴۸
مهرگان	۱/۰۸±۰/۲۳	۶۰/۵۲±۹/۲۳	۰/۹۹	۱/۹۸

I: شیب اولیه مدل جذر میانگین؛ A: مجانب منحنی؛ SE: خطای استاندارد؛ RMSE: مربعات خطا و R^2: ضریب تبیین می‌باشد.

مقایسه پارامترهای حاصل از برازش داده‌های آزمایشی به مدل رگرسیونی دو پارامتره (i و A) (کوزنس، ۱۹۸۵) نیز دلالت بر نتیجه فوق داد. شیب اولیه مدل هایپربولیک (پارامتر i) که بیانگر درصد کاهش عملکرد به ازای هر بوته در تراکم‌های پایین علف‌هرز می‌باشد، در ارقام برات و مهرگان معنی‌دار بود (جدول ۶). به‌علاوه، برای مدل هایپربولیک، اثر معنی‌دار ارقام گندم نان روی حداکثر کاهش عملکرد در بالاترین تراکم علف هرز (پارامتر A) نیز دیده شد (جدول ۶). حسینی و همکاران (۲۰۱۱) همچنین، گزارش کردند که کاهش عملکرد ارقام مختلف سویا به‌دلیل تداخل تاج‌خروس افزایش یافت. میزان کاهش عملکرد برآورد شده بر اساس این مدل در این مطالعه برای هر دو رقم کاهشی بوده ولی نسبت کاهش در رقم انترپرایز تا ۴۵ درصد متغییر بود. با توجه به میزان کاهش عملکرد در ارقام مختلف گندم نان، به ترتیب کمترین و بیشترین کاهش عملکرد به ارقام برات و چمران ۲ تعلق داشت. کمترین و بیشترین مقدار پارامتر i به‌ترتیب متعلق به ارقام چمران ۲ و برات بود و همچنین کم‌ترین مقدار پارامتر A مربوط به رقم چمران ۲ بود (جدول ۶، شکل ۳).



شکل ۳- شبیه‌سازی درصد کاهش عملکرد ارقام مختلف گندم ناشی از تداخل پنیرک توسط مدل هایپربولیک.
(▲: گندم رقم برات؛ ♦: گندم رقم مهرگان؛ ■: گندم رقم چمران ۲. خطای استاندارد توسط میله نمایش داده شده است).

مقایسه شیب اولیه مدل و حداکثر کاهش عملکرد برآورد شده بین ارقام مختلف گندم نان در این پژوهش نشان داد که افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک در واحد سطح مقادیر این پارامترها را افزایش داد؛ اگرچه مقادیر این پارامترها در رقم برات بیشتر از رقم مهرگان بود. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک نسبت ارقام مختلف گنم نان منجر به کاهش عملکرد بیشتر گیاه زراعی گردید که علت آن می‌تواند جلوگیری از جوانه‌زنی بذور ارقام مختلف گندم نان و قابلیت بیشتر رشد گیاهچه این گیاهان وحشی نسبت به گیاه زراعی باشد (میرلیتا و همکاران ۲۰۱۸). این نتیجه می‌تواند اهمیت زیادی برای کشاورزان در این منطقه داشته باشد، زیرا پنیرک یک علف هرز شایع و رقیب جدی گیاهان زراعی زمستانه به‌شمار می‌رود و عدم کنترل مناسب این علف‌هرز بدون توجه به توصیه‌های مدیریتی می‌تواند به نفع علف هرز تمام شود.

عملکرد بیولوژیک

مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک از نظر رقم نشان داد که که بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک (۱۱۳۲۱/۷۸ گرم در متر مربع) در رقم چمران ۲ و کمترین مقدار آن (۷۴۷۴/۷۹ گرم در متر مربع) در رقم برات دیده شد و عملکرد بیولوژیک ارقام مهرگان و برات به‌ترتیب ۱۲/۳۲ و ۳۳/۹۷ درصد نسبت به رقم چمران ۲ کاهش نشان داد (جدول ۴). همچنین، از نظر تراکم پنیرک، بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۱۴۴۶/۶۵ گرم در متر مربع) در تیمار شاهد (بدون علف‌هرز) و کمترین آن (۷۷۳۳/۳۲ گرم در متر مربع) در تراکم ۳۲ بوته در متر مربع پنیرک مشاهده گردید و عملکرد بیولوژیک با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۱۳/۰۸، ۱۵/۸۶، ۲۰/۴۰ و ۳۲/۴۴ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد (جدول ۴).

پژوهشگران دریافتند که کاهش عملکرد ارقام مختلف جو در رقابت با علف‌های هرز از ۰/۶ تا ۱/۴ تن در هکتار متغییر بود (مندا و همکاران ۲۰۲۲). با توجه به خسارت ۱۵ تا ۹۷ درصدی علف‌های هرز در زراعت سورگوم توجه به برنامه‌های مدیریت علف‌های هرز از طریق انتخاب ارقام رقابتی‌تر می‌تواند سبب کاهش خسارت علف‌های هرز از طریق تأثیر بر دسترسی آن‌ها به نور و خاصیت دگرآسیبی شود (علیزاده سلته و همکاران ۲۰۲۲). از سویی دیگر، نتایج تحقیقات محققین روی گیاه برنج نشان داد تفاوت معنی‌داری در توانایی رقابتی ارقام برنج وجود دارد و رقم طارم نسبت به ارقام قائم و شیرودی به‌دلیل خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ویژه خود در تراکم‌های مختلف این علف هرز مقاوم‌تر است (محمدی و همکاران ۲۰۱۲). محققین اظهار داشتند حضور علف‌های هرز در یک مزرعه باعث افزایش تعداد کل افراد (گیاه زراعی و علف‌هرز) در یک سطح مشخص شده که با وجود آن که تراکم گیاه زراعی در بهترین مقدار خود برای عملکرد مطلوب می‌باشد، وجود علف‌های هرز باعث کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک گیاهان زراعی خواهند شد (سانتی و برتی ۲۰۰۴). افزایش تلفات عملکرد دانه و بیولوژیک در رقابت با علف‌های هرز در خصوص عناصر غذایی به‌دلیل قابلیت انعطاف بیشتر علف‌های هرز در پاسخ به منابع موجود است (احمد و گول ۲۰۲۱). این در حالی است که گیاهان زراعی از جمله گندم، برعکس علف‌های هرز طی فرآیند اصلاح نباتات، انعطاف‌پذیری مورفولویکی و فیزیولوژیکی شامل؛ تنوع در تعداد و اندازه، تنظیم جوانه‌زنی بذرها، میزان فتوسنتز و تخصیص مواد سنتزی، رشد رویشی و زایشی و .... خود را نسبت به تغییر شرایط محیطی از دست داده‌اند (فلگارت و همکاران ۲۰۱۱). به این ترتیب علف‌های هرز می‌توانند در طول فصل رشد و استفاده از حاصلخیزی خاک و با بهره‌گیری از این ویژگی، رشد خود را افزایش داده و با ایجاد تنش علف‌های هرز موجب اختلال در جذب مواد غذایی، آب، نور و ...، شده و قدرت رقابتی گیاه زراعی را کاهش داده و در نهایت بر میزان عملکرد دانه و بیولوژیک گیاه زراعی تأثیر منفی می‌گذارد (پاوار ۲۰۰۹). تحقیقات نشان داده است که در بیشتر موارد، رابطه تراکم علف‌هرز- عملکرد دانه و بیولوژیک گیاه زراعی خطی نیست و با توجه به مدل‌های تجربی مبتنی بر تراکم علف‌هرز این رابطه از نوع هذلولی است (زیمدال ۲۰۰۴). بر این اساس در

تراکم‌های پایین‌تر علف‌هرز، مقدار کمی کاهش محصول در گیاه زراعی مشاهده می‌شود، ولی افزایش بیشتر تراکم موجب کاهش سریع عملکرد دانه و بیولوژیک خواهد شد و در نهایت نقطه‌ای فرا می‌رسد که عملکرد گیاه زراعی با افزایش تراکم علف هرز همبستگی پیدا نمی‌کند (بوبینا و کاوالیااوسکایت ۲۰۰۶). منان و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقات خود در ترکیه به این نتیجه دست یافتند که خردل وحشی با ۱۶و ۳۲ بوته در متر مربع به ترتیب حدود ۴۶ درصد و ۷۷ درصد موجب کاهش عملکرد دانه گندم زمستانه شد، در حالی که در یونان در گندم بهاره که طول دوره رویش آن کمتر از گندم زمستانه است، خردل وحشی با ۱۴ بوته در متر مربع ۲۶ درصد در کاهش عملکرد دانه و ۳۱ درصد در کاهش عملکرد بیولوژیک تأثیر داشت (سایتو و همکاران ۲۰۱۰). به‌عبارتی در تراکم بیش از حد به علت رقابت خیلی شدید درون گونه‌ای بوته‌ها، قسمت عمده ماده خشک تولید شده را جهت حفظ بقاء و حداقل تولید صرف می‌کنند، به‌طوری که ساقه بیش از حد تخلیه شده و میزان کلروفیل در برگ‌ها به حداقل می‌رسد و گیاه ضعیف و حساس به ورس می‌شود (هاشمی و همکاران ۲۰۰۵).

سرعت فتوسنتز و شاخص تحمل

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سرعت فتوسنتز و شاخص تحمل از نظر اثرات اصلی رقم و تراکم پنیرک و سرعت فتوسنتز از نظر برهمکنش رقم × تراکم پنیرک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین برهمکنش رقم × تراکم پنیرک نشان داد که سرعت فتوسنتز با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک در رقم مهرگان به‌ترتیب ۱۴/۲۵، ۲۴/۴۹، ۶۰/۸۶ و ۸۰/۶۶ درصد، در رقم چمران ۲ به‌ترتیب ۲۳/۸۱، ۳۱/۴۸، ۵۲/۹۲ و ۷۴/۲۸ درصد و در رقم برات به‌ترتیب ۲۵/۰۲، ۴۳/۷۰، ۴۹/۴۲ و ۷۴/۰۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد (جدول ۵). مقایسه میانگین شاخص تحمل از نظر رقم نشان داد که که بیشترین مقدار شاخص تحمل (۹۲/۷۹) در رقم برات دیده شد که با رقم چمران ۲ تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار آن (۹۱/۰۷) در رقم مهرگان دیده شد و شاخص تحمل ارقام چمران ۲ و مهرگان به‌ترتیب ۱/۰۸ و ۱/۸۵ درصد نسبت به رقم برات کاهش نشان داد (جدول ۴). همچنین، از نظر تراکم پنیرک، بیشترین مقدار شاخص تحمل (۱۰۵/۰۸) در تراکم ۸ بوته در متر مربع پنیرک و کمترین آن (۹۳/۱۸) در تراکم ۳۲ بوته در متر مربع پنیرک مشاهده گردید و شاخص تحمل با افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک به‌ترتیب ۳/۶۸، ۷/۴۵ و ۱۱/۳۲ درصد نسبت به تراکم ۸ بوته علف‌هرز پنیرک کاهش نشان داد (جدول ۴).

طی یک آزمایش گلخانه‌ای توانایی رقابتی ارقام متحمل و غیرمتحمل گندم در رقابت با علف‌های هرز خردل وحشی خاکشیر جو دره و یولاف وحشی ارزیابی شد نتایج نشان داد رقم طبسی علی رغم داشتن توانایی تحمل پایین در مقایسه با رقم پیشتاز در رقابت با علف‌های هرز از توانایی رقابتی بالاتری برخوردار است (وزان و نجفی ۲۰۱۰). شاخص تحمل نشاندهنده توانایی رقم در تحمل رقابت علف‌های هرز بدون کاهش عملکرد است. به‌عبارتی ارقامی که تحمل رقابت بالایی داشته باشند توانایی حفظ عملکرد در حضور علف‌های هرز را دارند. وجود تراکم مناسب علف‌های هرز در مزارع با تأثیر بر آرایش و اندازه برگ‌ها و ارتفاع گیاهان زراعی می‌تواند تحمل گیاه به رقابت علف‌های هرز را افزایش دهد (نعمتی و همکاران ۲۰۱۲). پژوهشگران در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که سرعت فتوسنتز به‌نحوی مثبت با قابلیت رقابت گندم مرتبط می باشد. ارقام تجاری پاکوتاه در برابر علف‌های هرز، نسبت به ارقام تجاری پابلندتر، رقیب ضعیف‌تری بوده و سرعت فتوسنتز و تجمع ماده خشک به ازاء واحد سطح از صفات مؤثر در افزایش قدرت رقابت گندم با گیاه هرز به شمار می‌رود (بالیان و همکاران ۲۰۰۷). تحقیقات نشان داد که حضور علف‌هرز یولاف وحشی زمستانه عملکرد گندم پاکوتاه را نسبت به ارقام پابلند بیشتر کاهش داده و تحمل ارقام مختلف گندم در مقابل علف‌های هرز نیز در میزان خسارت وارده تأثیر فراوان دارد (بلک شاو و همکاران ۲۰۰۸). در این بین، مشکل اصلی حضور علف‌های هرز ایجاد رقابت آن‌ها با گیاهان زراعی برای عناصر غذایی، نور و آب است. هر چه نیازهای علف‌هرز به نیازهای گیاه زراعی شبیه‌تر باشد، رقابت شدیدتری بین آن‌ها وجود

خواهد داشت. اگر علف‌های هرز در بهره‌برداری از آب یا عناصر غذایی کارآمدتر باشند یا اگر آن‌ها رشد سریع‌تری داشته باشند و بتوانند بر گیاهان زراعی سایه‌اندازی کنند و در رقابت برای نور بهتر از گیاهان زراعی عمل کنند، می‌توانند باعث کاهش جدی و شدید سرعت فتوسنتز و شاخص تحمل گیاه زراعی شوند (هورواث و همکاران ۲۰۱۸). پژوهشگران اظهار داشتند که هر گونه‌ای که بتواند فضایی که هر تک بوته می‌تواند در شرایط منفرداشغال کند، را زودتر اشغال کند، از توان رقابتی بیشتری برخوردار است. روشن است که هر گیاهی بتواند زودتر سبز شده یا سرعت رشد بیشتری داشته باشد، دریک زمان خاص نسبت به دیگر گیاهان دارای توان رقابتی بیشتری بوده و روی هم رفته سبز شدن زودتر علف‌های هرز نسبت به گیاه زراعی باعث خسارت بیشتری می‌شود که این امر در مورد تراکم علف‌های هرز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (کریستنسن و همکاران ۲۰۰۸). چنانچه جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم به دلیل کاهش فراهمی عناصر ناشی از رقابت علف‌های هرز و یا کاهش محتوای این عناصر ناشی از تنش علف‌های هرز، محتوی عناصر ضروری رشد در گیاه کاهش مییابد و گیاه از طریق کاهش آسیمیلاسیون به این عدم تعادل واکنش نشان می‌دهد و این امر موجب کاهش میزان سرعت فتوسنتز و تجمع مادۀ خشک و کاهش تحمل گیاه زراعی می‌شود (قنبری و همکاران ۲۰۲۱).

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طور کلی، با افزایش تراکم بوته علف‌هرز پنیرک در واحد سطح، تعداد سنبله در واحد سطح، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در ارقام گندم نان تحت مطالعه کاهش می‌یابد. بیشترین تعداد دانه در سنبله و شاخص تحمل به‌ترتیب در ارقام برات≤چمران۲>مهرگان دیده شد. عملکرد بیولوژیک نیز به‌ترتیب در ارقام چمران ۲>برات>مهرگان مشاهده شد. بغیر از طول بوته، در سایر صفات از جمله؛ طول سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص تحمل، افزایش تراکم علف‌هرز پنیرک موجب کاهش در مقادیر صافت فوق می‌گردد. از این رو، کاربرد سیستم‌های کنترل علف‌هرز در منطقه شمال خوزستان در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار و کنترل علف‌هرز غالب پنیرک، افزایش عملکرد دانه در واحد سطح برای کشاورزان در شرایط بحران کمبود آب جهانی قابل توجیه است.

سپاسگزاری

بدین وسیله، از کلیه کسانی که ما را در انجام این طرح پژوهشی یاری رسانیده‌اند، به خصوص جناب آقای دکتر اصغری ، آقای دکتر مدحج ، آقای دکتر شوشی دزفولی وآقای دکتر ربیعی و کارکنان مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول و آقای حسین سرخه وآقای عارف سرخه وآقای امین دیناروند وآقای محسن جهانی زاده کمال تشکر و قدردانی را داریم.

همچنین از همکاری و مساعدت های مدیریت محترم گروه زراعت دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان تقدیر و تشکر نیز میگردد.

منابع مورد استفاده

Acreche, M. M., Briceño-Félix, G., Sánchez, J. A. M., & Slafer, G. A. (2008). Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. European journal of agronomy, 28(3), 162-170 DOI:10.1016/j.eja.2007.07.001

Ahmad, I., & Gul, B. (2021). Competitive ability of wheat crop against different densities of Avena fatua and Silybum marianum. Sarhad Journal of Agriculture, 37, 631-638. DOI:10.17582/journal.sja/2021/37.2

Ahsan Aziz, A. A., Asif Tanveer, A. T., Asghar Ali, A. A., & Muhammad Yaseen, M. Y. (2009). Density dependent interactions between cleavers (Galium aparine) and wheat (Triticum aestivum) planted at different times. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 46(4), 256-268. DOI: 10.21162/PAKJAS

AJMIRI (Agricultural Jihad Ministry of Islamic Republic of Iran). (2021). Programs and Achievements. Achievements of the agricultural sector in the twelfth government. (Available at http://www.pr.maj.ir/portal/Home/). (In Persian with English Abstract).

Alizadeh-salteh, S., Molaei kordabad, N., Ghanbari Jahromi, M. & Saber, M. (2022). Investigation of allopathic effect of some medicinal plants on germination and growth of dodder (Cuscutsa campestris Yuncker). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32(2), 285-298.DOI: 10.22034/saps.2021.48384.2749 (In Persian with English Abstract).

Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L., & Mariotti, M. (2006). Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. European Journal of Agronomy, 25(4), 309-318. DOI:10.1016/j.eja.2006.06.009

Armin, M., & Asghripour, M. (2011). Effect of plant density on wild oat competition with competitive and non-competitive wheat cultivars. Agricultural Sciences in China, 10(10), 1554-1561. DOI:10.1016/S1671-2927(11)60151-X

Asghari, J., Amir Mordi, Sh. & Kamkar, B. (2012). Physiology of weeds (volume 1). Reproduction and ecophysiology. (Translation). Gilan University press. 260 p. (In Persian with English Abstract).

Balyan, R. S., Malik, R. K., Panwar, R. S., & Singh, S. (1991). Competitive ability of winter wheat cultivars with wild oat (Avena ludoviciana). Weed Science, 39(2), 154-158. DOI: 10.1017/S0043174500071393

Bazrafshan, F., Moosavinia, H., Moezi, A., Siadat, A. & Hamidi, R. (2010). Influence of wild mustard (Sinapis arvensis L.) different densities on yield and yield component of winter wheat (Triticum aestivum L.). Weed Res J., 2(1), 15-29. (In Persian with English Abstract).

Beckie, H. J., Johnson, E. N., Blackshaw, R. E., & Gan, Y. (2008). Weed suppression by canola and mustard cultivars. Weed Technology, 22(1), 182-185. DOI:10.1614/WT-07-126.1

Blackshaw, R. E. (2005). Nitrogen fertilizer, manure, and compost effects on weed growth and competition with spring wheat. Agronomy Journal, 97(6), 1612-1621. DOI:10.2134/agronj2005.0155

Cousens, R. (1985). A simple model relating yield loss to weed density. Annals of applied biology, 107(2), 239-252. DOI:10.1111/j.1744-7348.1985.tb01567.x

Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Abedini Esfahlani, M., Nikzad, A., Akbari Moghaddam, H., Lotfali Aeineh, G. A., Jalal Kamal,i M., Afshari, F., Vahabzadeh, M., Roohparvar, R., Zakeri, A., Dalvand, M., Naderi, A., Bahari, M., Sayahfar, M., Tabatabaei, N., Kia, S., Akbari, A., Sofi, A. & Yasaei, M. (2014). Chamran 2, A new bread wheat cultivar, with acceptable tolerance to yellow and leaf rust and high bread making quality for cultivation under irrigated conditions in southern warm and dry zone of Iran. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 3(2), 117-126.DOI: 10.22092/rafhc.2014.100836

Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Khodarahmi, M., Mahmoudi, K., Akbari Moghaddam, H., Sayahfar, M., Tahmasebi, S., Lotfalie Aeineh, G. A., Naderi, A., Amir Bakhtiar, N., Farhadi Sadr, M., Afshari, F., Dalvand, M., Zakeri, A. K., Tabatabaei, N., Yasaei, M., Roohparvar, R. & Kia, S. (2019). Barat, A new bread wheat cultivar, suitable for irrigated areas in southern warm and dry zone of Iran. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 7(2), 139-147.DOI: 10.22092/rafhc.2019.110213.1070

Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Khodarahmi, M., Pour-Shabazi, A., Akbari Moghaddam, H., Sayahfar, M., Tahmasebi, S., Aeineh, G. L., Amir-Bkhtiar, N., Afshari, F., Dalvand, M., Zakeri, A. K., Tabatabaei, N. A., Roohparvar, R. & Kia, S. (2017). Mehreghan, A new bread wheat cultivar, resistant to yellow, leaf and stem rust and high bread making quality for cultivation in agricultural systems in southern warm and dry zone of Iran. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 6(1), 71-77.DOI: 10.22092/rafhc.2017.115256

FAO STAT. 2021. FAO statistical database (available at www.fao.org).

Folgart, A., Price, A. J., Van Santen, E., & Wehtje, G. R. (2011). Organic weed control in white lupin (Lupinus albus L.). Renewable Agriculture and Food Systems, 26(3), 193-199. DOI:10.1017/S1742170510000542

Gerard, G., Hucl, P., Holm, F. A., Kirkland, K. J., Johnson, E., & Pozniak, C. J. (2022). Competitive ability of western Canadian spring wheat cultivars in a model weed system. Canadian Journal of Plant Science, 102(6), 1101-1114. DOI:10.1139/cjps-2021-0257

Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Talebi-Siah Saran, P. & Moradi-Lat Mahaleh, R. (2022). Evaluation of leaf yield, physiological and biochemical characteristics of Green Tea (Camellia sinensis L.) in response to different irrigation regimes and foliar application of Cu and Zn nano-Chelate. Horti Plant Nutrit, 5(1), 28-43. (In Persian with English Abstract). DOI: 10.22070/HPN.2022.14601.1140

Hashemi, A. M., Herbert, S. J., & Putnam, D. H. (2005). Yield response of corn to crowding stress. Agronomy journal, 97(3), 839-846.

Hassanpouraghdam, M. B. (2010). Allelopathic Effects of Xanthium strumarium L. Shoot Aqueous Extract on Germination, Seedling Growth and Chlorophyll... Romanian Biotechnological Letters, 15(3), 5223-5228. DOI:10.1300/J064v26n03_06

Horvath, D. P., Clay, S. A., Bruggeman, S. A., Anderson, J. V., Chao, W. S., & Yeater, K. (2019). Varying weed densities Alter the corn transcriptome, highlighting a core set of weed-induced genes and processes with potential for manipulating weed tolerance. The Plant Genome, 12(3), 190035. DOI:10.3835/plantgenome2019.05.0035

Hosseini Faradonbe, N. A., Mahmodi, S. & Karim Mojni, H. (2015). Growth and yield analysis of wheat (Triticum aestivum L.) under interference of wild barely (Hordeum spontaneum L.) in Isfahan region. Plant Proc and Func, 3(9), 133-142. (In Persian with English Abstract).

Hosseini, P., Rahimian Mashhadi, H. & Alizadeh, H. (2011). Competition of red root pigweed (Amaranthus retroflexus) with two soybean (Glysine max) cultivars under sole and intercropping systems 1- soybean yeild and redroot pigweed growth analysis. Iran J Weed Sci, 7, 13-24.DOI: 10.22067/jag.v10i3.60348

Jafarizadeh, S. & Modhaj, A. (2011). Effect of common mallow (malva spp) competitiveness on grain yield and yield components in wheat under different levels of nitrogen. Iran J of Field Crop Sci (Iran J of Agri Sci), 42(4), 767-777. (In Persian with English Abstract).

Kavaliauskaitė, D., & Bobinas, Č. (2006). Determination of weed competition critical period in red beet. Agronomy research, 4(Special), 217-220. DOI:10.15580/GJAS.2015.3.030150939

Khamare, Y., Marble, S. C., Pearson, B. J., Chen, J., & Devkota, P. (2023). Effect of Weed Competition on Growth of Container Grown Ornamentals Plants in Four Different Container Sizes. Horticulturae, 9(3), 317. DOI:10.3390/horticulturae9030317

Kristensen, L., Olsen, J., & Weiner, J. (2008). Crop density, sowing pattern, and nitrogen fertilization effects on weed suppression and yield in spring wheat. Weed Science, 56(1), 97-102. DOI:10.1111/wre.12101 DOI:10.1614/WS-07-065.1

Lemerle, D., Gill, G. S., Murphy, C. E., Walker, S. R., Cousens, R. D., Mokhtari, S., Peltzer, S. J., Coleman, R. & Luckett, D. J. (2001). Genetic improvement and agronomy for enhanced wheat competitiveness with weeds. Australian Journal of Agricultural Research, 52, 527-548. DOI:10.1101/2020.09.27.315531

Li, H., Tang, C., Xu, Z., Liu, X., & Han, X. (2012). Effects of different light sources on the growth of non-heading Chinese cabbage (Brassica campestris L.). Journal of Agricultural Science, 4(4), 262-273. DOI:10.5539/jas.v4n4p262

Lockwood, G. B. & Belkhiri, A. (2007). Plant systematic and evolution. Springer-Verlag Wien Press, 11, 167.

Mierlita, D. A. N. I. E. L., Simeanu, D., Pop, I. M., Criste, F., Pop, C., Simeanu, C., & Lup, F. (2018). Chemical composition and nutritional evaluation of the lupine seeds (Lupinus albus L.) from low-alkaloid varieties. Rev. Chim, 69, 453-458. DOI:10.37358/RC.18.2.6126

Mohammadi, G. R., Mozafari, S., Ghobadi, M. E., & Najaphy, A. (2012). Weed suppressive ability and productivity of berseem clover (Trifolium alexandrinum L.) interseeded at different rates and times in corn (Zea mays L.) field. Philippine Agricultural Scientist, 95(4), 352-357. DOI:10.5958/0974-8164.2016.00076.9

Mwendwa, J. M., Brown, W. B., Weston, P. A., & Weston, L. A. (2022). Evaluation of Barley Cultivars for Competitive Traits in Southern New South Wales. Plants 2022, 11, 362. DOI:10.3390/plants11030362

Naderi, R., & Ghadiri, H. (2011). Competition of wild mustard (Sinapis arvense L.) densities with rapeseed (Brassica napus L.) under different levels of nitrogen fertilizer. J. Agr. Sci. Tech., 13, 45-51.

Nemati, M., Asghari, A., Sofalian, O., Rasoulzadeh, A., & Mohamaddoust Chamanabad, H. (2012). Effect of water stress on rapeseed cultivars using morpho-physiological traits and their relations with ISSR markers. Journal of Plant Physiology and Breeding, 2(1), 55-66. DOI:10.20935/AcadNutr7655.

Olsen, J., & Weiner, J. (2007). The influence of Triticum aestivum density, sowing pattern and nitrogen fertilization on leaf area index and its spatial variation. Basic and applied ecology, 8(3), 252-257. DOI:10.1016/j.baae.2006.03.013

Pawar, R. K. (2009). Weed management. oxford Book company, Jaipur, India, 300p.

Peng, S. L., Wen, J., & Guo, Q. F. (2004). Mechanism and active variety of allelochemicals. Acta Botanica Sinica-English Edition, 46(7), 757-766.

Pourreza, J. (2017). Evaluating the Wheat (Triticum aestivum) yield loss caused by wild Oat (Avena fatua) interference at nitrogen different levels. The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture), 40(3), 41-53. (In Persian with English Abstract). DOI: 10.22055/ppd.2017.18933.1372

Puniya, R., Bazaya, B. R., Kumar, A., Sharma, B. C., Ahmed Nesar, N., Bochalya, R. S., Dwivedi, M. C., Sharma, N., Kumar, R., Sharma, J., Sharma, A. & Mehta, S. 2023. Effect of residue and weed management practices on weed flora, yield, energetics, carbon footprint, economics and soil quality of zero tillage wheat. Scientific Reports, 13(1), 19311. DOI:10.1038/s41598-023-45488-3

Rahemi-Karizaki, A., Galeshi, S., Soltani, A., & Kamkar, B. (2010). Variation of nitrogen use efficiency, grain protein concentration and yield in wheat cultivars in temperate sub humid. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 9(1), 8-15. DOI: 10.20935/AcadMatSci6213.

Saito, K., Azoma, K., & Rodenburg, J. (2010). Plant characteristics associated with weed competitiveness of rice under upland and lowland conditions in West Africa. Field Crops Research, 116(3), 308-317. DOI:10.1016/j.fcr.2010.01.008

Santi, M. & Berti, A. (2004). Weed management for developing countries. FAO Corporate Document Repository. Rome, pp: 29-34.

Seal, A. N., & Pratley, J. E. (2010). The specificity of allelopathy in rice (Oryza sativa). Weed research, 50(4), 303-311. DOI:10.1111/j.1365-3180.2010.00783.x

Sinclair, T. R. (1998). Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. Crop Science, 38(3), 638-643. DOI:10.2135/cropsci1998.0011183X003800030002x

Vazan, S. & Najafi, H. (2010). Studying the competitive ability of two wheat cultivars with four weed species under greenhouse conditions. Weed Res. J., 2(2), 71-83. (In Persian with English Abstract).

Yurchak, L. D., Uteush, Y. A., & Omelchenko, T. V. (2005). Microflora and specific allelopathic properties of fodder plants from the crocifera family in plant-microorganism interaction in phytocoenoses. Naukova Dumk. Kive, pp: 161-168.

Zeng, R. S., Mallik, A. U. & Luo, S. M. (2008). Allelopathy in forested ecosystems. In: Zeng, R. S., Mallik, A. U. & Luo, S. M., Eds., Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry, Springer, New York, 363-377. DOI: 10.4236/as.2018.911101

Zhang, L. Z., Van der Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., & Spiertz, J. H. J. (2008). Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research, 107(1), 29-42. DOI:10.1016/j.fcr.2007.12.014

Zimdahl, R. L. (1980). Weed-Crop Competition. A Review, International Plant Protection Control. Oregon State University, Corvallis, Ore, USA, pp, 8. DOI.:10.1007/BF02853237

Zuo, S., Ma, Y., & Shinobu, I. (2008). Ecological adaptation of weed biodiversity to the allelopathic rank of the stubble of different wheat genotypes in a maize field. Weed Biology and Management, 8(3), 161-171. DOI:10.1111/j.1445-6664.2008.00292.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 149-166

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

Evaluation of different Weed Management Methods on the Growth Characteristics and Yeild of the Dragon's head (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer)

Jalil Shafagh-Kolvanagh[1*], Safar Nasrollahzade[1], Roya Mokhtariyan[2], Mina Amani[3]

Received: 17 April 2023	Accepted: 08 February 2024

1- Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Dept. of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- PhD Student in Crop Plant Physiology, Dept. of Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University od Urmia, Urmia, Iran.

3- PhD Student in Production and Post-Harvest Physiology of Horticultural Plants, Dept. of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author Email: shafagh.jalil@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1008-241X

Abstract

Background & Objective: This research has been carried out with the aim of investigating the effect of different management methods such as mulch, cover plants and trifluralin herbicide on the growth characteristics and yeild of the Dragon's head (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer).

Materials & Methods: This experiment was carried out as a split-plot based on a randomized complete block design in three replications in 2014-2015 in the research farm of the Faculty of Agriculture of University of Tabriz, located eight kilometers east of Tabriz (Karkaj). In this study, the test treatments include two levels of herbicides (use and non-use of trifluralin) and treatments of pure cultivation of infected and weed-free Dragon's head and cultivation along with the use of mulch and cover plants (pure cultivation of Dragon's head weed-infested, pure cultivation of Dragon's head without weeds, Dragon's head + Straw and stubble mulch of wheat (three tons per hectare), *Dragon's head* + *Lens culinaris*, Dragon's head + *Vicia ervilia*, Dragon's head + *Hordeum vulgare*, Dragon's head + *Vicia villosa*.

Results: Weed infestation decreased the percentage of green cover, leaf chlorophyll index, diameter of the main branch and number of fertile sub-branches of the Dragon's head. However, the height of the main and secondary branches increased significantly from the soil surface of the Dragon's head in the weed-infested treatments. The results showed that the highest percentage of green cover (87.33%) was obtained in the weeding treatment. The highest value of seed yield per unit area (195.9 g/m2), diameter of main branch (2.833 mm) and number of fertile sub-branches (3.167) were obtained in complete weeding treatment. The highest value of the main and secondary branch height was obtained in the treatment of Dragon's head + *V. ervilia*. The highest amount of chlorophyll index was obtained in the treatment of Dragon's head + *V. villosa*.

Conclusion: The results of this research showed that by using mulch and cover plants in the management of weeds, the use of chemical poisons can be reduced and their adverse effects on crops and the environment, which are the basic foundations of human health, can be reduced to the extent significantly prevented.

Keywords: Chemical Pesticides, Cover Plants, Integrated Management, Mulch, Weeds

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 , Email: shafagh.jalil@gmail.com

http://doi.org/10.22034/saps.2023.56194.3026

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۱۶۶-۱۴۹

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر روش‌های مختلف مدیریت علف‌های‌هرز بر صفات رشدی و عملکرد بالنگوی‌شهری (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer)

جلیل شفق کلوانق[۱*]، صفر نصرالله‌زاده[۱]، رویا مختاریان[۲]، مینا امانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

۱- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- دانشجوی دکتری تخصصی گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- دانشجوی دکتری تخصصی فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: shafagh.jalil@gmail.com

چکیده

مقدمه و اهداف: این پژوهش باهدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف مدیریتی مانند مالچ کاه و کلش گندم، گیاهان پوششی عدس، گاودانه، جو و ماشک گل خوشه‌ای و علفکش تریفلورالین بر صفات رشدی و عملکرد گیاه بالنگوی‌شهری اجرا شده است.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در هشت کیلومتری شرق تبریز (اراضی کرکج) اجرا شد. در این مطالعه تیمارهای آزمایش شامل دو سطح علفکش (کاربرد و عدم کاربرد علفکش تریفلورالین) و تیمارهای کشت خالص بالنگوی‌شهری آلوده و عاری از علف‌هرز و کشت به‌همراه استفاده از مالچ و گیاهان پوششی (کشت خالص بالنگوی‌شهری آلوده به علف‌های‌هرز، کشت خالص بالنگوی‌شهری عاری از علف‌های‌هرز، بالنگوی‌شهری + مالچ کاه و کلش گندم (سه تن در هکتار)، بالنگوی‌شهری + عدس، بالنگوی‌شهری + گاودانه، بالنگوی‌شهری + جو، بالنگوی‌شهری + ماشک گل خوشه‌ای) بود.

یافته‌ها: آلودگی به علف‌های‌هرز سبب کاهش درصد پوشش سبز، شاخص کلروفیل برگ، قطر شاخه اصلی و تعداد شاخه فرعی بارور بالنگوی‌شهری شد. بااین حال، ارتفاع شاخه اصلی و فرعی از سطح خاک بالنگوی‌شهری در تیمارهای آلوده به علف‌های‌هرز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. نتایج نشان داد که بالاترین مقدار درصد پوشش سبز (۸۷/۳۳ درصد) در تیمار وجین علف‌های‌هرز به‌دست آمد. بالاترین مقدار عملکرد دانه در واحد سطح (۱۹۵/۹ گرم در مترمربع)، قطر شاخه اصلی (۲/۸۳۳ میلی‌متر) و تعداد شاخه فرعی بارور (۳/۱۶۷) در تیمار وجین کامل علف‌های‌هرز به‌دست آمد. بیشترین مقدار ارتفاع شاخه اصلی و فرعی در تیمار بالنگوی‌شهری + گاودانه به‌دست آمد. بالاترین میزان شاخص کلروفیل در تیمار بالنگوی‌شهری + ماشک گل خوشه‌ای (۲۸) به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان با استفاده از مالچ و گیاهان پوششی در مدیریت علف‌های‌هرز، استفاده از سموم شیمیایی را کاهش داد و از اثرات سوء آن‌ها بر روی محصولات زراعی و محیط زیست که از پایه‌های اساسی سلامتی بشر هستند، تا حد قابل‌توجهی جلوگیری نمود.

واژه های کلیدی: علفکش، علف‌های‌هرز، گیاهان پوششی، مالچ، مدیریت تلفیقی

مقدمه

امروزه با افزایش چشمگیر جمعیت جهان و بالارفتن نیاز تولید مواد غذایی برای انسان، استفاده از روش‌های نوین کشاورزی الزامی می‌باشد. این ضرورت پیامدهایی را به‌دنبال دارد که ازجمله این پیامدها می‌توان مسئله علف‌های‌هرز را نام برد که ابعاد جدیدی یافته است (مارتینز و همکاران ۲۰۲۰). اگرچه طی دهه‌های اخیر روش‌های مدرن کنترل علف‌های‌هرز توسعه یافته است، بااین وجود این گیاهان ناخواسته همچنان به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل مشکل‌ساز در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند (وارگاس و همکاران ۲۰۱۸). ازاین‌رو، کنترل علف‌های‌هرز به‌منظور دستیابی به عملکرد مطلوب ضرورت دارد (حمزی و همکاران ۲۰۱۶). برای کنترل علف‌های‌هرز می‌توان از روش‌های مختلفی مانند کنترل مکانیکی، شیمیایی، زراعی و بیولوژیکی استفاده کرد (ریمنس و همکاران ۲۰۲۲). شفق و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند برای رسیدن به عملکرد مطلوب در گیاه بالنگوی‌شهری و جلوگیری از افت عملکرد بیش از هفت درصد، وجود یک دوره عاری از علف‌های‌هرز بین ۱۱ تا ۶۶ روز پس از سبزشدن گیاه لازم می‌باشد. این دوره تقریباً با رشد رویشی و سریع گیاه منطبق است و بیشترین نیاز به کنترل علف‌های‌هرز در این زمان احساس می‌شود تا پس از آن گیاه بتواند به‌خوبی با علف‌های‌هرز مقابله کند. دوره بحرانی عاری از علف‌های‌هرز برای ۱۰ درصد کاهش عملکرد نیز ۱۹ تا ۵۵ روز پس از سبزشدن می‌باشد و این نشان می‌دهد که برای حصول حداکثر عملکرد اقتصادی بایستی مزرعه برای پنج درصد کاهش عملکرد، ۵۵ روز و برای ۱۰ درصد کاهش عملکرد، ۳۶ روز عاری از علف‌های‌هرز نگه داشته شود (شفق کلوانق و همکاران ۲۰۱۵). امروزه سموم شیمیایی با دارابودن طیف وسیع کنترل علف‌های‌هرز بیشتر از سایر روش‌ها مورد توجه قرار می‌گیرند (سامرویل و همکاران ۲۰۱۹). بسیاری از مطالعات حاکی از عدم امکان استفاده از این سموم به‌تنهایی به دلیل تنوع بالای گونه‌های علف‌های‌هرز، تفاوت در دوره‌های رشد، مکانیسم‌های متفاوت تحمل به سموم علفکشی و نیز آلودگی محیط زیست می‌باشد (رنجبر و همکاران ۲۰۰۷). علاوه بر این، با استفاده مداوم از روش‌های مکانیکی، امکان آسیب به گیاه زراعی وجود دارد (بلالیس و همکاران ۲۰۱۲). با درنظرگرفتن معایب استفاده مداوم از روش‌های مختلف کنترل علف‌های‌هرز، ضرورت به‌کارگیری تلفیقی از روش‌های مبارزه با علف‌های‌هرز آشکار می‌گردد. در کشاورزی نوین نیز علف‌های‌هرز از طریق تلفیق روش‌های مبارزه شیمیایی، روش‌های زراعی و مکانیکی کنترل می‌شوند. به بیان دیگر مدیریت تلفیقی علف‌های‌هرز به‌عنوان راهی برای کاهش کاربرد علفکش‌ها بدون افت چشمگیر عملکرد به شمار می‌رود (کادر و همکاران ۲۰۱۹). کاربرد بقایای گیاهی (مالچ‌های گیاهی) به‌عنوان یکی از روش‌های کنترل فیزیکی علف‌های‌هرز اهمیت زیادی در توسعه و گسترش سیستم‌های کشاورزی پایدار دارد (کادر و همکاران ۲۰۱۹). استفاده از مالچ‌های گیاهی می‌توانند تأثیر به سزایی در جوانه‌زنی، رشد و توانایی رقابتی علف‌های‌هرز و گیاهان زراعی داشته باشند (اقبال و همکاران ۲۰۱۹). مالچ‌های گیاهی با داشتن خاصیت دگرآسیبی بالا می‌توانند سبب کاهش آسیب‌رسانی علف‌های‌هرز شوند (تان و همکاران ۲۰۱۹). از دیگر روش‌های مؤثر در میان روش‌های غیرشیمیایی برای کنترل علف‌های‌هرز استفاده از گیاهان پوششی می‌باشد (بلاژویچ-ووزنیاک و همکاران ۲۰۱۶). با استفاده از گیاهان پوششی، میزان نور دریافتی و نیز رطوبت قابل‌دسترس برای جوانه‌زنی بذر علف‌های‌هرز کاهش می‌یابد. همچنین، با رشد همزمان گیاه پوششی و علف‌های‌هرز رقابت ایجاد می‌شود که این امر مانع توسعه علف‌های‌هرز می‌گردد (کاکائیان و همکاران

۲۰۱۵). تورسان و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند استفاده از گیاهان پوششی فرصتی مؤثر برای کنترل غیرشیمیایی علف‌های‌هرز فراهم می‌کند و این به نوبه خود در تولید میوه‌های ارگانیک اهمیت دارد. استورم و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که ترب سفید، یولاف و گندم‌سیاه با اثر آللوپاتیک خود توانستند علف‌های‌هرز گندمک را کنترل کنند. باتوجه‌به این موارد، این پژوهش باهدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف مدیریتی مانند مالچ، گیاهان پوششی و علفکش تریفلورالین بر صفات رشدی و عملکرد گیاه بالنگوی‌شهری اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز واقع در هشت کیلومتری شرق تبریز (اراضی کرکج) اجرا شد. مشخصات خاک مورد کشت براساس گزارش نتایج آزمایش توسط گروه متخصصین خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل موردآزمایش

بافت	PH	EC (dS/m)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
لومی شنی	۷/۸۴	۰/۶	۰/۸	۱۲	۴۸۰

طرح آزمایشی مورداستفاده

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. در این مطالعه تیمارهای آزمایش شامل دو سطح علفکش (کاربرد و عدم کاربرد علفکش تریفلورالین) و تیمارهای کشت خالص بالنگوی‌شهری آلوده و عاری از علف‌های‌هرز و کشت به همراه استفاده از مالچ و گیاهان پوششی (کشت خالص بالنگوی‌شهری آلوده به علف‌های‌هرز، کشت خالص بالنگوی‌شهری عاری از علف‌های‌هرز، بالنگوی‌شهری + مالچ کاه و کلش گندم (سه تن در هکتار)، بالنگوی‌شهری + عدس، بالنگوی‌شهری + گاودانه، بالنگوی‌شهری + جو، بالنگوی‌شهری + ماشک گل خوشه‌ای) بود.

عملیات زراعی

پس از مشخص‌شدن قطعه زمین مورد آزمایش پس از گاورو شدن مزرعه در اواخر اسفند ماه شخم زده شد. سپس زمین تسطیح گردید و به‌دنبال آن کرت‌بندی و تفکیک بلوک‌های آزمایش صورت پذیرفت. کاشت در کرت‌هایی به ابعاد یک متر عرض در ۱/۵ متر طول انجام گرفت و در هر کرت، پنج ردیف کاشت شد. عملیات کاشت بذرهای کل گیاهان به‌طور همزمان انجام شد. در این پژوهش رقم مورد کشت، بالنگوی‌شهری اکوتیپ بومی شهر کلوانق بود. تراکم مطلوب برای گیاه بالنگوی‌شهری ۵۰۰ بذر در هر مترمربع، ماشک گل خوشه‌ای ۲۵۰ بذر در هر مترمربع، جو ۳۰۰ بذر در هر مترمربع، گاودانه ۳۵۰ بذر در هر مترمربع و عدس ۵۲۵ بذر در هر مترمربع بود. فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بذر روی ردیف‌ها بر اساس تراکم محاسبه شده در نظر گرفته شد. کاه و کلش مورداستفاده در این تحقیق را از مرکز خلعت پوشان تهیه نموده و آن‌ها را به اندازه‌های کوچک برش داده و بعد از کاشت به مقدار ۲۰۰ گرم در مترمربع به‌صورت کامل داخل پلات ریخته شد و به‌صورت سطحی با خاک بدون آسیب‌زدن به ردیف‌های کاشت مخلوط شدند. مقدار مصرفی علفکش تریفلورالین نیز ۰/۱۵ میلی‌لیتر در مترمربع بود. تریفلورالین قبل از کاشت و قبل از رویش علف‌های‌هرز در سطح خاک با استفاده از سمپاش پشتی پاشیده شد و تا عمق ۱۰ – ۵ سانتی‌متری خاک مخلوط شد. کرت‌ها بلافاصله پس از کاشت و به‌صورت هفتگی تا استقرار گیاهچه‌ها آبیاری گردیدند. آبیاری‌های بعدی به‌صورت هفتگی و تا اواخر دوره رشد گیاهان انجام پذیرفت. در طول دوره رشد دو بار کود نیتروژن (کود کامل و کود ناخالص) به‌صورت سرک اضافه شد.

اندازه‌گیری صفات و عملیات برداشت

به‌منظور ارزیابی برخی شاخص‌های زراعی و عملکردی گیاه بالنگوی‌شهری در طول فصل رشد و بعد از برداشت، برخی صفات شامل ارتفاع شاخه اصلی و فرعی، تعداد شاخه فرعی بارور، قطر شاخه اصلی، شاخص کلروفیل برگ، درصد پوشش سبز مزرعه و عملکرد دانه در واحد سطح، همچنین بیوماس علف‌های-هرز در واحد سطح نمونه‌برداری و نیز گونه‌های موجود علف‌های‌هرز مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت شمارش تعداد علف‌های‌هرز و تعیین بیوماس آن‌ها، از کوادرات ۱*۱ استفاده شد. کوادرات به‌طور تصادفی در بخشی از کرت‌ها قرار داده شد و تعداد علف‌های‌هرز داخل کوادرات شمارش شد. علف‌های‌هرز داخل هر کوادرات داخل پاکت جداگانه قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از تعیین نوع گونه و تعداد، ارتفاع آن‌ها با استفاده از خط-کش محاسبه شد. درنهایت برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در داخل آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیده و سپس توزین شدند. پس از رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه بالنگوی شهری عملیات برداشت آغاز و پس از حذف ردیف‌های کناری هر کرت، تعداد ۱۰ نمونه از ردیف میانی با حذف ۰/۵ متر از حاشیه‌ها برداشت و به تفکیک هر کرت جهت اندازه-گیری‌های لازم به آزمایشگاه منتقل گردید. صفات مختلف در این بررسی به شرح زیر اندازه‌گیری شدند.

ارزیابی صفات بالنگوی‌شهری

ارتفاع شاخه اصلی و فرعی: ارتفاع شاخه اصلی و فرعی، در زمان برداشت در ۱۰ بوته از هر کرت اندازه‌گیری شد. سپس میانگین اعداد برحسب سانتی‌متر مدنظر قرار گرفت.

تعداد شاخه فرعی بارور: تعداد شاخه فرعی بارور در زمان برداشت در ۱۰ بوته از هر کرت شمارش شد. سپس میانگین اعداد در محاسبات آماری مورداستفاده قرار گرفت.

قطر شاخه اصلی: قطر شاخه اصلی در ۱۰ بوته در هر کرت، با کولیس برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید و میانگین آن‌ها در نظر گرفته شد.

شاخص کلروفیل برگ: اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ‌ها در مرحله ظهور سنبله با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر پرتابل CCM-200 انجام گرفت. در مرحله گلدهی گیاه بالنگوی شهری، شاخص کلروفیل برگ سه قسمت فوقانی، میانی و پایینی بوته در سه گیاه از هر تیمار اندازه‌گیری و میانگین آن به‌عنوان شاخص کلروفیل برگ ثبت گردید.

درصد پوشش سبز مزرعه: به‌منظور تعیین درصد پوشش سبز از چارچوبی به ابعاد ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر که توسط ریسمان به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده بود و در مرحله پرشدن دانه استفاده گردید. این چارچوب درون هر واحد آزمایشی به‌نحوی قرار داده می‌شد که با مشاهده پوشش گیاهی از قسمت فوقانی آن، ارزیابی پوشش سبز امکان‌پذیر باشد. به هریک از تقسیمات صدتایی چارچوب که حداقل نصف آن با پوشش سبز پر شده بود، نمره یک و در غیر این صورت نمره صفر داده می‌شد. مجموع تعداد خانه‌های پر، درصد پوشش سبز را مشخص می‌کرد.

عملکرد دانه در واحد سطح: برداشت نهایی از مساحتی معادل یک مترمربع پس از حذف اثر حاشیه‌ای از هر کرت انجام گردید. سپس دانه‌ها از طبق جدا شده و وزن دانه‌ها در بوته‌های یک مترمربع اندازه‌گیری شده و به‌عنوان عملکرد اقتصادی ثبت شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

پس از انجام آزمون‌های نرمال‌بودن توزیع داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات آزمایشگاهی براساس مدل آماری طرح مربوطه انجام شد. کلیه تجزیه‌های آماری و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج

درصد استفاده گردید. برای برازش منحنی‌ها و ترسیم شکل‌ها هم از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

- نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط علف‌های‌هرز مزرعه بالنگوی‌شهری

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس صفات مربوط به علف‌های‌هرز در مزرعه بالنگوی‌شهری اثر ساده علفکش تریفلورالین بر تراکم علف‌های‌هرز بر تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز در سطح احتمال یک درصد و بر ارتفاع علف‌های‌هرز غیرمعنی‌دار بود. همچنین اثر ساده روش‌های مدیریتی علف‌های‌هرز بر تراکم علف-های‌هرز، ارتفاع و وزن خشک علف‌های‌هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. براساس نتایج به‌دست‌آمده اثر متقابل علفکش تریفلورالین و روش‌های مدیریتی بر صفات تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مربوط به علف‌های‌هرز در مزرعه بالنگوی‌شهری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		تراکم علف‌های‌هرز در یک مترمربع	ارتفاع علف‌های‌هرز	زیست‌توده علف‌های‌هرز
تکرار	۲	۳۶/۰۹۵ *	۲۸/۹۴۲ ns	۱۴۱۲/۰۹ **
تریفلورالین (a)	۱	۸۹۶/۰۹۵ **	۱۹/۵۷۶ ns	۴۷۱۵۴/۰۷ **
اشتباه آزمایش ۱	۲	۱/۸۱۰	۲۶/۴۷۷	۶/۱۸۱
مدیریت غیرشیمیایی علف هرز (b)	۶	۹۰۶/۸۵۷ **	۱۴۰۳/۰۹ **	۳۹۸۹۸/۶۴ **
a × b	۶	۱۱۱/۸۷۳ **	۲۸/۸۴۹ ns	۳۴۳۲/۲۲ **
اشتباه آزمایش ۲	۲۴	۱۱/۱۷۵	۱۳/۳۴۴	۲۲۳/۷۹
ضریب تغییرات (٪)	---	۱۳/۶۳	۱۰/۶۸	۸/۸۵

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

- تراکم علف‌های‌هرز

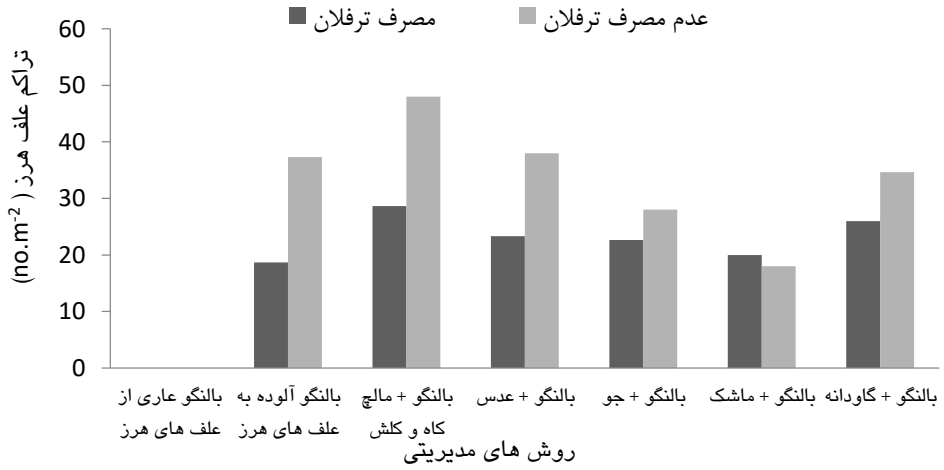
طی نمونه‌برداری از علف‌های‌هرز موجود در مزرعه بالنگوی‌شهری، گونه‌هایی همچون سلمه‌تره[1]، کاسنی وحشی[2]، چسبک[3]، توق[4]، پیچک صحرایی[5] و علف شور[6] ازجمله علف‌های‌هرز غالب مزرعه بودند. طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها تراکم علف‌های‌هرز مزرعه بالنگوی‌شهری تحت‌تأثیر تریفلورالین و روش‌های مدیریتی علف‌های‌هرز و اثر متقابل این دو عامل در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. تراکم علف‌های‌هرز موجود در مزرعه بالنگوی‌شهری در تیمار کشت خالص بالنگو تحت شرایط عدم مصرف علفکش تریفلورالین بیشترین مقدار بود. این درحالی است که تیمار بالنگوی-شهری + مالچ کاه و کلش همراه با مصرف تریفلورالین کمترین تراکم علف‌های‌هرز را دارا بود که تفاوت معنی-داری با تیمارهای کشت خالص بالنگوی‌شهری و بالنگوی‌شهری + ماشک گل خوشه‌ای با مصرف علفکش تریفلورالین و بالنگوی‌شهری + ماشک گل خوشه‌ای با عدم مصرف علفکش نداشت (شکل ۱). علت کاهش تراکم علف‌های‌هرز در تیمارهایی که از گیاه پوششی و مالچ استفاده شده کاهش نفوذ نور، رقابت گیاهان پوششی با علف‌های‌هرز، رهاسازی مواد آللوپاتیکی و یا بهبود شرایط رقابت گیاه زراعی می‌باشد (محمد دوست چمن-آباد و همکاران ۲۰۱۵). در بین گیاهان پوششی موردبررسی، ماشک گل خوشه‌ای تأثیر بیشتری بر کاهش تراکم و کنترل علف‌های‌هرز داشت که دلیل این امر نیز می‌تواند ناشی از رشد سریع و توانایی تثبیت

[1] *Chenopodium album* L.
[2] *Cichorium intybus* L.
[3] *Setaria viridis* L.
[4] *Xanthium strumarium* L.
[5] *Convolvulus arvensis* L.
[6] *Salsola kali* L.

نیتروژن در ماشک گل خوشه‌ای باشد. بررسی‌ها نشان داد که گیاهان پوششی لگومینوز به‌دلیل رشد سریعی که دارند، علاوه بر تأمین نیتروژن گیاه بعدی، دارای توان خوبی برای مقابله با علف‌های‌هرز نیز هستند (رائو ۲۰۱۵).

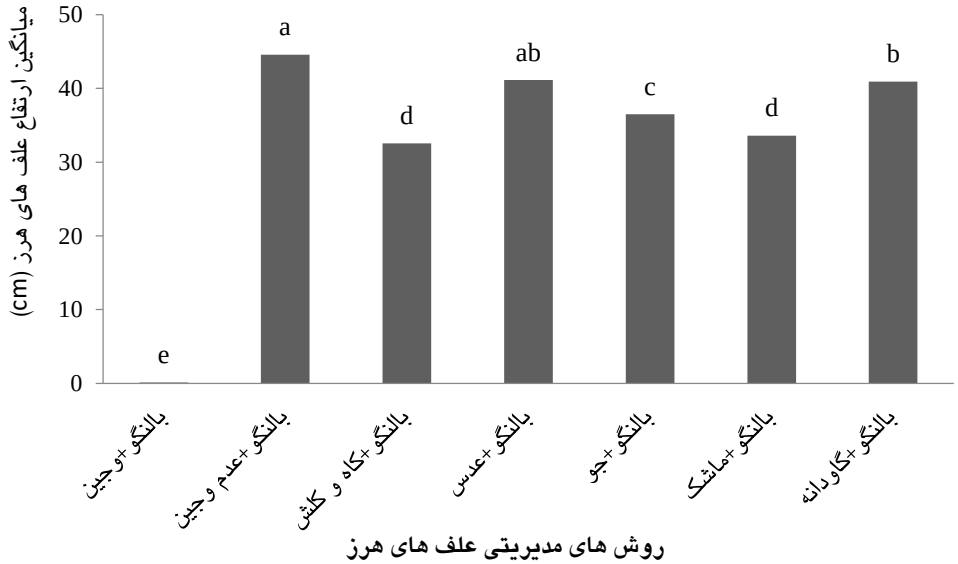
ارتفاع علف‌های‌هرز

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین تیمارهای به‌کار برده شده، روش‌های مدیریت علف‌های‌هرز تأثیر معنی‌داری بر میانگین ارتفاع علف‌های‌هرز داشته و اثر تیمار علفکش تریفلورالین بر این صفت معنی‌دار نگشت (جدول ۲). میانگین ارتفاع علف‌های‌هرز در تیمار عدم وجین‌دستی در حداکثر مقدار بود. بااین‌حال این تیمار از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با استفاده از گیاه پوششی عدس نداشت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بین روش‌های مدیریتی به‌کار برده شده برای کنترل علف‌های‌هرز در مزرعه بالنگوی شهری، استفاده از مالچ کاه و کلش و گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای بیشترین کاهش را در ارتفاع علف‌های‌هرز سبب گردید (شکل ۲). استفاده از گیاهان پوششی به‌دلیل پوشش سطح خاک و سایه‌اندازی منجربه بسته‌شدن سریع‌تر کانوپی شده و درنتیجه ارتفاع و تولید ماده خشک علف‌های‌هرز کاهش می‌یابد (رنجبر و همکاران ۲۰۰۷). به‌طورکلی گیاهان پوششی و مالچ کاه و کلش می‌توانند موجب کاهش رقابت علف‌های‌هرز با گیاهان زراعی در کشت بهاره شده و بانک بذر علف‌های هرز را نیز در خاک کاهش می‌دهند (پتریکوزکی و همکاران ۲۰۲۰). امینی و همکاران (۲۰۱۵) نیز در بررسی روش‌های مدیریت تلفیقی (شیمیایی، زراعی و فیزیکی) علف‌های‌هرز مزارع سیب‌زمینی گزارش کردند که تیمار سرکه به‌همراه مالچ کلش بهترین ترکیب تیماری از جهت کاهش زیست‌توده علف‌های‌هرز بود.



شکل ۱- تأثیر برهمکنش کاربرد علفکش تریفلورالین در روش‌های مدیریتی بر تراکم علف‌های‌هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.



شکل ۲- اثر روش‌های مدیریتی علف‌های‌هرز بر ارتفاع علف‌های‌هرز مزرعه بالنگوی‌شهری

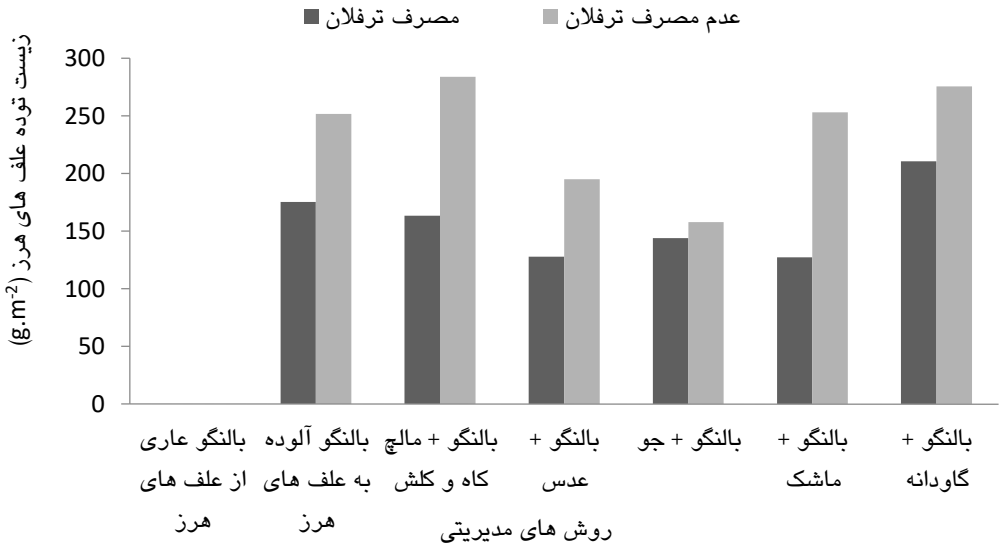
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.

- زیست توده علف‌های‌هرز

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد وزن خشک علف‌های‌هرز مزرعه بالنگوی‌شهری متأثر از کاربرد تریفلورالین و روش‌های مدیریتی علف‌های‌هرز و اثر متقابل این دو عامل در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). وزن خشک علف‌های‌هرز در تیمار بالنگوی‌شهری + مالچ کاه و کلش و ماشک گل خوشه‌ای با مصرف تریفلورالین کمترین مقدار را دارا بود که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار گیاه پوششی جو با مصرف علفکش و ماشک گل خوشه‌ای بدون مصرف علفکش نداشت (شکل ۳). آزمایش‌های زیادی نشان داده که کاشت گیاهان پوششی مختلف تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز را به‌صورت معنی‌داری کاهش داده است (محمد دوست چمن‌آباد و همکاران ۲۰۱۵؛ آموسه و همکاران ۲۰۱۳؛ کاسیرا و همکاران ۲۰۲۰). یوچینو و همکاران (۲۰۱۲) با کاشت گیاهان پوششی ماشک گل خوشه‌ای و چاودار در بین ردیف‌های ذرت، سویا و سیب‌زمینی بیان کردند که گیاه ماشک گل خوشه‌ای به‌دلیل رشد سریع و تولید شاخه‌های فرعی فراوان دارای توان رقابتی بالاتری نسبت به چاودار جهت کنترل علف‌های‌هرز بود. کاهش وزن خشک علف‌های‌هرز نیز می‌تواند درنتیجه کاهش تراکم آن‌ها و یا ممانعت گیاهان پوششی از رشد و نمو آن‌ها باشد. استفاده از مالچ نیز به‌دلیل ممانعت از نفوذ نور و متعاقباً کاهش قدرت جوانه‌زنی، تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز را کاهش می‌دهد (پتریکوزکی و همکاران ۲۰۲۰).

صفات مربوط به بالنگوی‌شهری

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس صفات مربوط به گیاه دارویی بالنگوی‌شهری اثر ساده علفکش تریفلورالین بر درصد پوشش سبز، شاخص کلروفیل برگ، ارتفاع شاخه فرعی، قطر شاخه اصلی و تعداد شاخه فرعی بارور غیرمعنی‌دار بود. همچنین اثر ساده روش‌های مدیریتی علف‌های‌هرز بر ارتفاع شاخه فرعی در سطح احتمال پنج درصد و در بقیه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. براساس نتایج به‌دست‌آمده اثر متقابل علفکش تریفلورالین در روش‌های مدیریتی بر صفات درصد پوشش سبز، شاخص کلروفیل برگ، قطر شاخه اصلی، تعداد شاخه فرعی بارور، عملکرد دانه در واحد سطح در سطح احتمال یک درصد و در صفت ارتفاع شاخه اصلی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).



شکل ۳- تأثیر برهمکنش کاربرد علفکش تریفلورالین در روش‌های مدیریتی بر زیست‌توده علف‌های‌هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس بالنگوی‌شهری در واکنش به کاربرد علفکش تریفلورالین و روش‌های مدیریتی علف‌های‌هرز

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		درصد پوشش سبز	شاخص کلروفیل برگ	ارتفاع شاخه اصلی	ارتفاع شاخه فرعی	قطر شاخه اصلی	تعداد شاخه فرعی بارور	عملکرد دانه در واحد سطح
تکرار	۲	۰/۳۱۰ ns	۰/۲۴۲ ns	۰/۱۹۵ ns	۰/۵۰۷ ns	۰/۰۲۵ ns	۰/۱۳۰ ns	۳۰/۶۵ ns
تریفلورالین (a)	۱	۰/۳۸۱ ns	۲۰/۳۰۱ ns	۱۱/۴۱۹ *	۰/۶۴۶ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۲۷۵ ns	۳۰۳۵/۳۵ ns
اشتباه آزمایش ۱	۲	۶/۷۳۸	۱/۸۳۷	۰/۴۹۴	۰/۱۵۸	۰/۰۱۱	۰/۱۴۷	۴۶۷/۸۲
روش‌های مدیریت علف‌های‌هرز (b)	۶	۹۳۶/۱۹۰ **	۴۲/۸۴۵ **	۳۵/۴۸۷ **	۴/۶۰۳ *	۰/۳۷۱ **	۳/۶۹۰ **	۲۹۵۶/۶۵**
a × b	۶	۲۰۱/۷۱۴ **	۱۹/۶۴۱ **	۷/۵۹۵ *	۱/۹۹۳ ns	۰/۰۸۷ **	۰/۴۳۲ **	۱۸۴۹/۴۳**
اشتباه آزمایش ۲	۲۴	۲۸/۱۰۷	۱/۰۹۶	۳/۰۱۲	۱/۵۹۰	۰/۰۲۰	۰/۰۳۸	۱۵۶
ضریب تغییرات (٪)	---	۷/۸۵	۴/۶۰	۵/۰۶	۸/۶۹	۵/۷۹	۹/۳۳	۹/۱۹

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

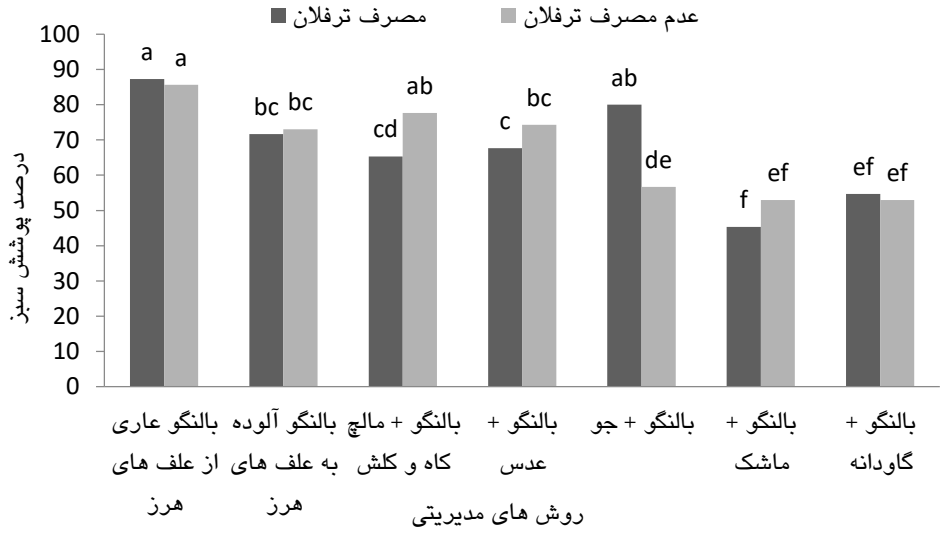
- درصد پوشش سبز

استفاده از روش‌های مدیریتی و اثر متقابل آن با مصرف علفکش تریفلورالین در سطح احتمال یک درصد، پوشش سبز بالنگوی‌شهری را به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر قرارداد (جدول ۳). آلودگی به علف‌های‌هرز سبب کاهش درصد پوشش سبز گیاه بالنگوی‌شهری شد. طبق نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها، در تیمار وجین علف‌های‌هرز بالاترین مقدار درصد پوشش سبز برای گیاه بالنگوی‌شهری به‌دست آمد. در گیاهان تیمار شده با مالچ کاه و کلش و گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای به همراه استفاده از علفکش تریفلورالین بیشترین مقدار درصد پوشش سبز برای گیاه بالنگوی-شهری مشاهده گردید (شکل ۴). استفاده از مالچ کاه و کلش و نیز گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای به همراه علفکش تریفلورالین با کنترل مؤثر علف‌های‌هرز از لحاظ کاهش تراکم، وزن خشک و ارتفاع توانست بیشترین

مقدار درصد پوشش سبز گیاه بالنگوی‌شهری را سبب شود. محققان گزارش کرده‌اند که استفاده از علفکش تریفلورالین به‌تنهایی در کنترل علف‌های‌هرز مؤثر عمل‌نکرده و حداکثر کارایی آن در تلفیق با روش‌های مدیریتی زراعی و مکانیکی حاصل می‌گردد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (مدحج و علیخانی ۲۰۱۴).

- شاخص کلروفیل برگ

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها، شاخص کلروفیل برگ بالنگوی‌شهری به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر روش‌های مدیریتی و اثر متقابل علفکش تریفلورالین در روش‌های مدیریتی قرار گرفت (جدول ۳). تیمار علفکش تریفلورالین اثر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل برگ گیاه بالنگوی‌شهری نداشت. در تیمارهای آلوده به علف‌های‌هرز شاخص کلروفیل برگ نسبت به تیمارهای عاری از علف‌های‌هرز به‌طور معنی‌داری کمتر بود (شکل ۵). به‌کار بردن علفکش تریفلورالین به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل برگ نداشت. تحت شرایط عدم استفاده از علفکش بین روش‌های مدیریتی اعمال شده برای کنترل علف‌های‌هرز اثر تیمار گیاه پوششی عدس و جو بر شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار نشد، ولی با استفاده از علفکش تریفلورالین تمامی روش‌های مدیریتی تأثیر معنی‌داری بر افزایش شاخص کلروفیل گیاه داشتند. میزان کلروفیل در گیاه به قابلیت دسترسی نیتروژن خاک و توانایی جذب نیتروژن توسط گیاه وابسته است. شاخص کلروفیل بالا نیز نشان‌دهنده سلامت گیاه می‌باشد (زیدعلی و همکاران ۲۰۱۷). آلودگی به علف‌های‌هرز به‌دلیل افزایش رقابت در جذب نیتروژن سبب کاهش محتوای کلروفیل گیاه زراعی می‌گردد. در تیمارهایی که تراکم و بیوماس علف‌های‌هرز کمتر بود، به‌علت



شکل ۴- تأثیر بر همکنش کاربرد علفکش تریفلورالین در روش‌های مدیریتی بر درصد پوشش سبز

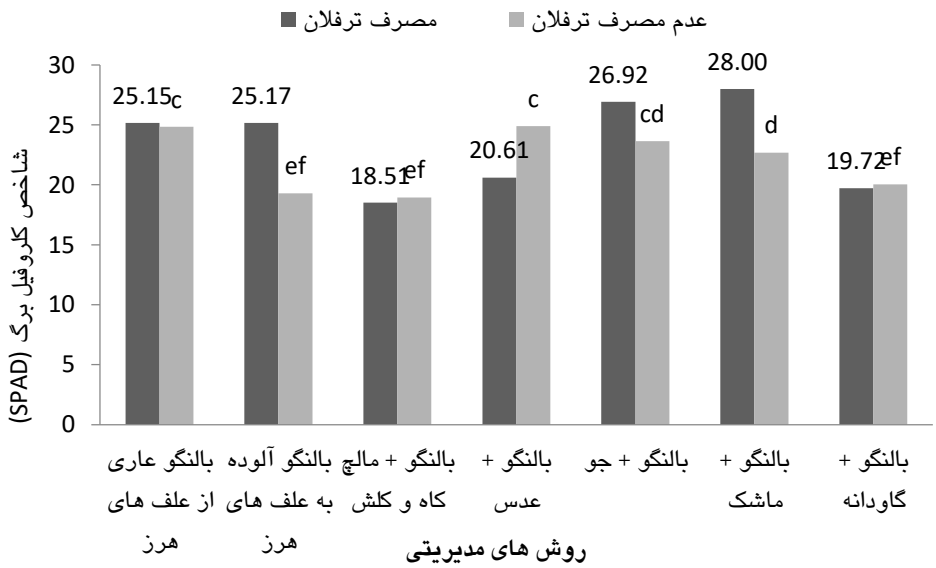
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.

کاهش رقابت بین گیاه زراعی و علف‌های‌هرز میزان نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه زراعی قرار گرفته و کلروفیل برگ افزایش پیدا کرد که این امر با نتایج سایر محققین همخوانی دارد (قطری و همکاران ۲۰۱۸؛ زیدعلی و همکاران ۲۰۱۷). کاهش شدت نور نیز باعث کاهش مقدار نیتروژن در برگ می‌شود. ازاین‌رو در پی اعمال تیمارهایی برای حذف علف‌های‌هرز، رقابت برای دریافت نور بین گیاه زراعی و علف هرز کاسته شده و با افزایش مقدار نور قابل دسترس برای گیاه زراعی مقدار نیتروژن نیز افزایش می‌یابد (قطری و همکاران ۲۰۱۸). شفق کلوانق و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند تحت تیمار آلوده به علف‌های‌هرز در کل دوره رشد، شاخص کلروفیل برگ جو درمقایسه با تیمار شاهد عاری از علف‌های‌هرز در کل دوره رشد ۷/۳۵ درصد کاهش یافت. کاشت گیاهان

پوششی و استفاده از مالچ کاه و کلش به‌دلیل پوشاندن فضای خالی خاک و کاهش تراکم علف‌های‌هرز سبب افزایش محتوای نیتروژن خاک می‌گردند. تیوسین و همکاران (۲۰۱۰) نیز افزایش میزان کلروفیل در اثر کاربرد گیاهان پوششی را به بهبود جذب عناصرغذایی توسط گیاه اصلی نسبت دادند. یانگ و همکاران (۲۰۰۶) گزارش نمودند که استفاده از مالچ گندم باعث افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌دلیل فراهم بودن رطوبت موردنیاز می‌گردد. ژو و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی اثر مالچ کلش بر روی سویا به این نتیجه رسیدند که محتوای کلروفیل برگ با کاربرد مالچ کلش افزایش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های هی و همکاران (۲۰۱۷) نیز مطابقت دارد.

- ارتفاع شاخه اصلی و فرعی

ارتفاع شاخه اصلی بالنگوی‌شهری تحت‌تأثیر تیمار علف‌کش تریفلورالین، روش‌های مدیریتی علف‌های‌هرز و اثر متقابل این دو تیمار در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). بااین حال میانگین ارتفاع شاخه‌های فرعی تنها متأثر از اعمال روش‌های مدیریتی علف‌های-هرز بود و اثر کاربرد علفکش بر این صفت معنی‌دار نگشت. ارتفاع شاخه اصلی (شکل ۶) و شاخه فرعی (شکل ۷) بالنگوی شهری در تیمارهای آلوده به علف‌های‌هرز به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت.

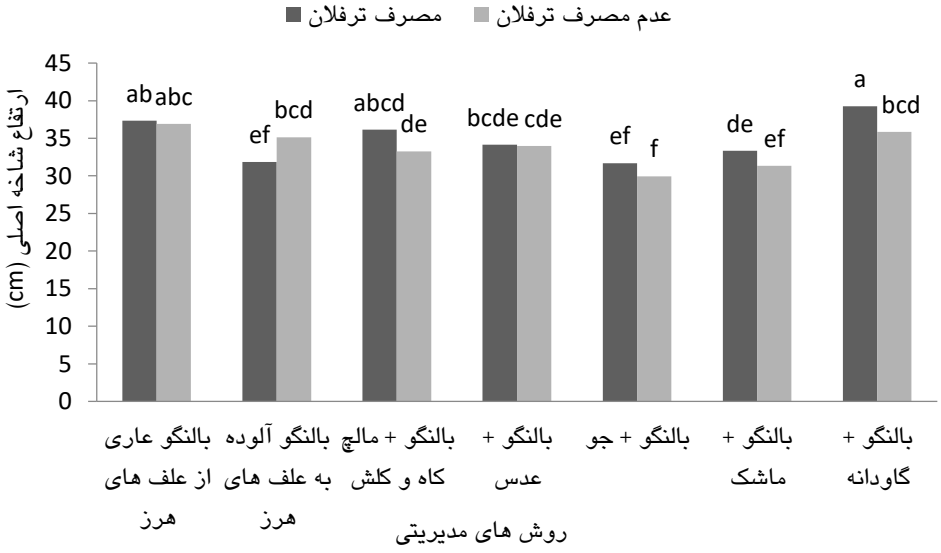


شکل ۵- تأثیر بر همکنش کاربرد علفکش تریفلورالین در روش‌های مدیریتی بر شاخص کلروفیل برگ

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.

استفاده از علفکش تریفلورالین به تنهایی ارتفاع شاخه اصلی گیاه را در تیمار عاری از علف‌های‌هرز نسبت به تیمار آلوده به علف‌های‌هرز کاهش داد، ولی با ترکیب علف‌کش و روش‌های مدیریتی نسبت به شرایط عدم استفاده از علفکش ارتفاع گیاه بیشتر بود. طبق نتایج مشاهده شده، بیشترین ارتفاع بوته برای گیاه بالنگوی-شهری در شرایط کشت خالص این گیاه با عدم وجین علف‌های‌هرز به دست آمد. میانگین ارتفاع در شاخه فرعی در تیمار آلوده به علف‌های‌هرز بالنگوی‌شهری و نیز تیمارهایی که از روش‌های مدیریتی برای کنترل علف-های‌هرز استفاده شده بود بیشتر از کشت خالص بالنگوی شهری تحت شرایط عاری از علف‌های‌هرز بود. بین روش‌های مدیریتی علف‌های‌هرز، استفاده از گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای بیشترین و عدس، جو و گاودانه کمترین تأثیر را در افزایش ارتفاع شاخه‌های فرعی گیاه داشتند. رقابت بر سر نور و فضا از مهمترین عوامل افزایش ارتفاع نهایی بوته می‌باشد (خوجملی و همکاران ۲۰۱۹). گزارش‌های محققین درخصوص اثر

تداخل علف‌های‌هرز بر ارتفاع گیاه زراعی متناقض است. برخی از محققین معتقدند که در اثر رقابت با علف‌های‌هرز ارتفاع بوته گیاه زراعی می‌تواند در پی افزایش سنتز هورمون جیبرلین در ساقه و درنتیجه افزایش طول میان‌گره ساقه افزایش می‌یابد (کاردوسا و همکاران ۲۰۱۱). البته باید توجه داشت که میزان افزایش ارتفاع بوته‌ها به‌شدت به رقابت آن‌ها برای نور نیز بستگی دارد. از سوی دیگر برخی دیگر معتقدند سایه‌اندازی حاصل از رقابت گیاه زراعی و علف‌های‌هرز، باعث کاهش میزان فتوسنتز و تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود و به‌دنبال آن اثرات نامطلوبی را بر مورفولوژی گیاه زراعی از قبیل کاهش ارتفاع، تعداد شاخه‌های فرعی و... باقی می‌گذارد (کاردوسا و همکاران ۲۰۱۱). در این تحقیق مشاهده شد که رقابت گیاه زراعی با علف‌های‌هرز سبب افزایش ارتفاع شاخه اصلی و میانگین ارتفاع شاخه فرعی بالنگوی شهری گردید. تأثیر علف‌های‌هرز بر افزایش ارتفاع شاخه گیاه زراعی در آزمایش‌های هامود و صافی (۲۰۱۸) بر گندم و احتشامی و همکاران (۲۰۱۴) بر کلزا نیز به اثبات رسیده است. همچنین مشاهده شد که با استفاده از گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای ارتفاع بالنگوی‌شهری نسبت به تیمار کشت خالص این گیاه در شرایط آلوده به علف‌های‌هرز بیشتر بود. مهنی و همکاران (۲۰۲۰) نیز در بررسی اثر کشت مخلوط برای کنترل علف‌های‌هرز گزارش کردند که استفاده از کشت نخود و جو و همچنین شنبلیله با سیاه‌دانه در شرایط عدم کنترل علف‌های‌هرز، باعث افزایش ارتفاع بوته می‌شود. همچنین با کاربرد مالچ کاه و کلش نیز رطوبت توسط مالچ ذخیره می‌شود که این امر توان افزایش سریع در ارتفاع و اندام رویشی را به گیاه زراعی می‌دهد (نجفی و همکاران ۲۰۱۸).



شکل ۶- تأثیر برهمکنش کاربرد علفکش تریفلورالین در روش‌های مدیریتی بر ارتفاع شاخه اصلی

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.

- قطر شاخه اصلی

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها، روش‌های مدیریتی علف‌های‌هرز و اثر متقابل آن با کاربرد علفکش تریفلورالین قطر شاخه اصلی بالنگوی‌شهری را تحت تأثیر قرارداد، ولی اثر تیمار علفکش در این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). آلودگی به علف‌های‌هرز، قطر شاخه اصلی را در گیاه بالنگوی‌شهری نسبت به شاهد عاری از علف‌های‌هرز کاهش داد. تحت شرایط آلوده به علف‌های‌هرز استفاده از علفکش تریفلورالین به‌تنهایی تأثیر معنی‌داری در افزایش قطر شاخه اصلی گیاه نداشت. بااین‌حال کاربرد علفکش به همراه گیاهان پوششی و مالچ کاه و کلش سبب افزایش معنی‌دار قطر شاخه اصلی گردید که بیشترین میزان آن از تیمار گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای، گاودانه و مالچ کاه و کلش

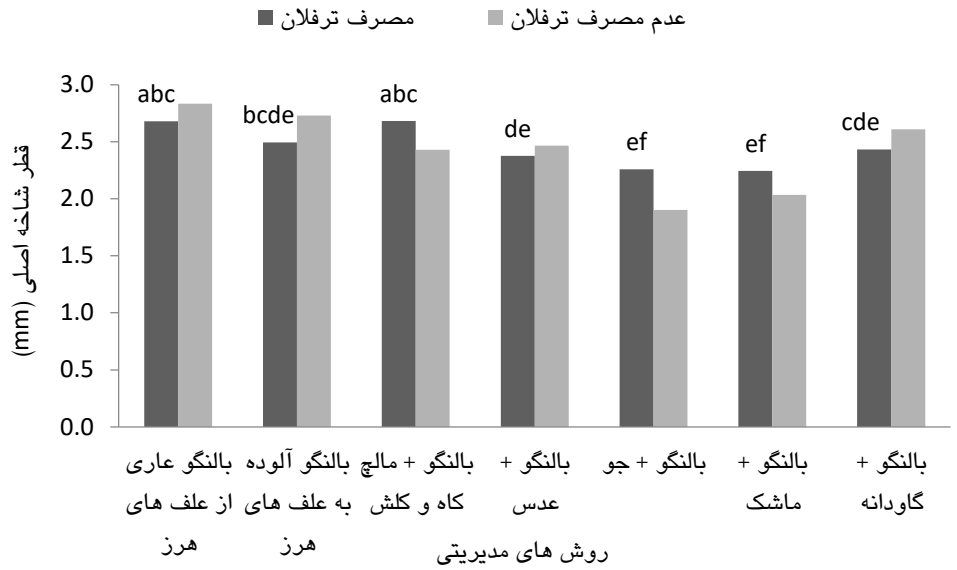
و کمترین مقدار از تیمار گیاه پوششی عدس و جو به‌دست آمد (شکل ۸). علت کاهش قطر شاخه بالنگوی‌شهری در تیمار شاهد آلوده به علف‌های‌هرز را می‌توان به تشدید رقابت بین بالنگوی‌شهری و علف‌های‌هرز برای جذب منابع محیطی نسبت داد. کاهش قطر شاخه در اثر تداخل با علف‌های‌هرز در تحقیقات هاشمی و همکاران (۲۰۱۸) در گیاه سویا و بلندی عموقین و همکاران (۲۰۱۵) در گیاه آفتابگردان نیز به اثبات رسیده است. استفاده از مالچ کاه و کلش و گیاهان پوششی با کنترل مطلوب علف‌های‌هرز سبب افزایش قطر شاخه گیاه گردید. سائلی (۲۰۱۵) برای بهبود عملکرد و کارایی استفاده از منابع رشدی با استفاده از مدیریت زراعی علف‌های‌هرز در کشت مخلوط گلرنگ و کلزا آزمایشی انجام داد. این پژوهشگر نشان داد که کنترل علف‌های‌هرز باعث افزایش معنی‌دار قطر ساقه‌های گلرنگ می‌شود.

شکل ۷- اثر روش‌های مدیریتی علف‌های‌هرز بر ارتفاع شاخه فرعی بالنگوی‌شهری

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.

- تعداد شاخه فرعی بارور

استفاده از علفکش تریفلورالین تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی بارور بالنگوی‌شهری نداشت، ولی اعمال روش‌های مدیریتی مکانیکی و فیزیکی کنترل علف‌های‌هرز و اثر متقابل آن با علفکش تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی بارور گیاه داشت (جدول ۳). تعداد شاخه فرعی بارور با آلودگی به علف‌های‌هرز به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. بین تیمار کاربرد و عدم کاربرد علفکش تریفلورالین در شرایط عدم استفاده از روش‌های مدیریتی تفاوت معنی‌داری از لحاظ تعداد شاخه فرعی بارور وجود نداشت. با به‌کاربردن گیاه پوششی عدس و جو تغییر معنی‌داری در تعداد شاخه فرعی گیاه مشاهده نگردید. استفاده از مالچ کاه و کلش و گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای و گاودانه سبب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی بارور بالنگوی‌شهری نسبت به شاهد آلوده به علف‌های‌هرز شد که بیشترین میزان این افزایش تحت شرایط استفاده از علفکش تریفلورالین به‌دست آمد (شکل ۹). بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمار کشت خالص بالنگوی‌شهری با وجین مشاهده گردید که احتمالاً می‌تواند به‌علت فضای دردسترس بیشتر توسط



شکل ۸- تأثیر بر همکنش کاربرد علفکش تریفلورالین در روش‌های مدیریتی بر قطر شاخه اصلی

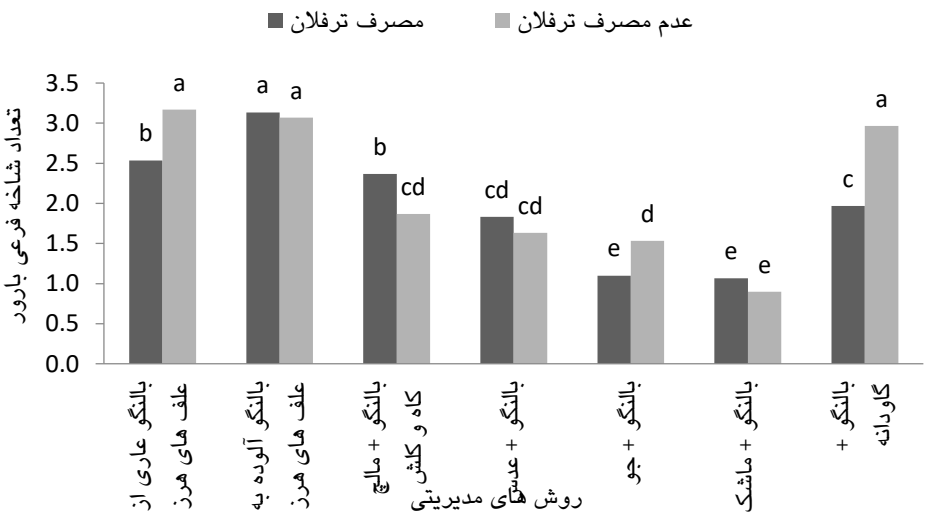
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.

بوته‌های بالنگوی‌شهری درمقایسه با دیگر تیمارها باشد، زیرا گیاهان بالنگوی‌شهری تحت تیمار کنترل دستی در تمام طول فصل رشد عاری از علف‌های‌هرز بودند که همین عامل باعث رقابت کمتر بوته‌های بالنگوی‌شهری می‌باشد و درنتیجه گیاهان در این سیستم کشت از منابع و شرایط محیطی استفاده بهتری کرده و تعداد انشعابات جانبی را گسترش دادند. در تیمارهای آلوده به علف‌های-هرز، علف‌های‌هرز از طریق اشغال فضاهای خالی و مصرف منابع رشد مانند نور، مواد غذایی و آب مانع از توسعه مطلوب کانوپی و درنتیجه باعث کاهش تعداد شاخه فرعی بارور گیاه می‌گردند (قمری و احمدوند ۲۰۱۴). محمدی و همکاران (۲۰۰۴) و اکرام و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که رقابت علف‌های‌هرز تعداد شاخه فرعی را در گیاه نخود تحت تأثیر قرار داد و منجربه کاهش رشد آن شد. علت کاهش تعداد شاخه در بوته در تراکم‌های بالا را می‌توان به کاهش نفوذ نور به بخش‌های پایین سایه‌انداز گیاهی نسبت داد که موجب انتقال اکسین از مریستم انتهایی به محل تشکیل جوانه-های جانبی شاخه می‌گردد (داجو و موندل ۱۹۹۶).

- عملکرد دانه در واحد سطح

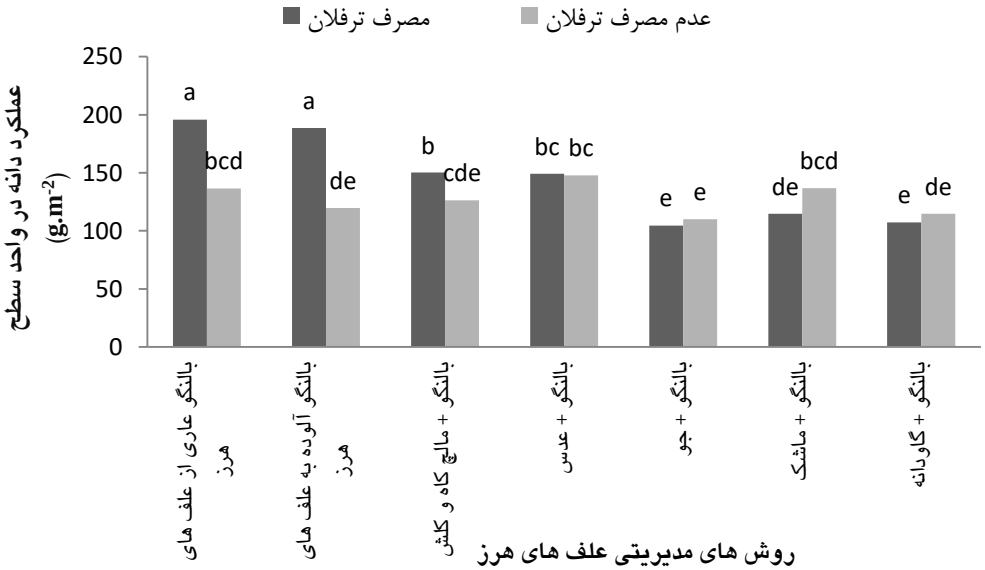
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر استفاده از علفکش تریفلورالین، روش‌های مدیریت علف‌های‌هرز و اثر متقابل این دو تیمار بر عملکرد دانه در واحد سطح بالنگوی‌شهری معنی‌دار بود (جدول ۳). عملکرد دانه در واحد سطح در گیاهان رشدیافته تحت شرایط تداخل با علف‌های‌هرز به‌صورت معنی‌داری کمتر از تیمارهای عاری از علف‌های‌هرز بود. استفاده از علفکش تریفلورالین در تیمارهای آلوده به علف‌های‌هرز سبب افزایش عملکرد دانه در واحد سطح گیاه بالنگوی‌شهری شد. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین داده‌ها می‌توان گزارش کرد که تحت شرایط استفاده از علفکش، تیمار مالچ کاه و کلش و گیاهان پوششی سبب افزایش عملکرد دانه در واحد سطح شدند که این افزایش در تیمار گیاه جو نسبت به تیمار شاهد آلوده به علف-های‌هرز معنی‌دار نبود (شکل ۱۰). تحت شرایط عدم استفاده از علفکش تریفلورالین نیز عملکرد دانه در واحد سطح در تیمار گیاه پوششی جو و گاودانه نسبت به تیمار شاهد آلوده به علف‌های‌هرز معنی‌دار نبود. نتیجه به‌دست‌آمده از این آزمایش با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های ناندیتا و همکاران (۲۰۰۹) روی کنجد و

یزدیفر و همکاران (۲۰۰۷) روی کلزا مطابقت داشت. بررسی‌های به‌عمل آمده نشان می‌دهد که استفاده از تیمار مالچ با کاهش تلفات رطوبتی سبب افزایش کارایی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ساقه به دانه شده و درنهایت به افزایش عملکرد دانه کمک می‌نماید (شفق کلوانق و همکاران ۲۰۱۵).



شکل ۹- تأثیر بر همکنش کاربرد علفکش تریفلورالین در روش‌های مدیریتی بر تعداد شاخه فرعی بارور

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.



شکل ۱۰- تأثیر بر همکنش کاربرد علفکش تریفلورالین در روش‌های مدیریتی بر عملکرد دانه در واحد سطح

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد ندارند.

سپاسگزاری

از دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز به‌خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Amini R, Dabagh Mohammadi Nasab A and Ghorbani-Faal P. 2015. Using Physical, Cultural and Chemical Methods in Integrated Weed Management of Potato (*Solanum tuberosum* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25(4): 105-118. (In Persian with English Abstract).

Amossé C, Jeuffroy M.H, Celette F and David C. 2013. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. European Journal of Agronomy, 49: 158-167. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.04.002

Błażewicz-Woźniak M, Patkowska E, Konopiński M and Wach D. 2016. Effect of cover crops and ploughless tillage on weed infestation of field after winter before pre-sowing tillage. Romanian Agricultural Research, 33: 185.

Bolandi Amoughein M, Tobeh A and Taghi Alebrahim M. 2015. The effect of species, planting date, and management of cover crops on weed community in hybrid sunflower (*Helianthus annuus*). Journal of Iranian Plant Protection Research, 29: 337-348. https://doi.org 10.22067/jpp. v29i3.28939

Cardoso G.D, Alves P.L, Severino L.S and Vale L.S. 2011. Critical periods of weed control in naturally green colored cotton BRS Verde. Industrial Crops and Products, 34(1): 1198-1202. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.014

Dajue L and Mundel H.H. 1996. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant, Genetic and Crop Plant Research, Gatesleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

Efthimiadou A, Froud W.R, Eleftherohorinos I, Karkanis A and Bilalis D.J. 2012. Effects of organic and inorganic amendments on weed management in sweet maize. International Journal of Agronomy and Plant Production, 6(3): 291-307.

Ehteshami S.M, Soleimani S and Pazoki A.R. 2014. Effect of weed competition on morphophysiologic indices, yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) cv. Zarfam in Varamin. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 28(4): 121-131. (In Persian with English Abstract). https://dx.doi.org/10.47176/jcpp.10.4.36001

Ghatari A.R, Rozbahani A and Yaghoobi S.R. 2018. Integration of mechanical and chemical methods in red bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) weeds management. Journal of Plant Ecophysiology, 11(39): 58-70.

Hammood W.F and Safi S.M. 2018. Effect of weed competition in the characteristics of growth and yield and its components of wheat crop *Ttriticum aestivum* L.: A mini review. Journal Ecological Research, 6: 1637-1646.

Hamzei J, Seyedi M and Babaei M. 2016. Competitive ability of lentil (*Lens culinaris* L.) cultivars to weed interference under rain-fed conditions. Journal of Agroecology, 8(1): 82-94. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v8i1.34606

Hashemi S, Zaefarian F, Farahmandfar E and Bagheri Shirvan M. 2018. Effect of Sowing Dates and Types of Cover Crops on Soybean (*Glycine max* L.) and Weeds Interaction. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 28(2): 167-183. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v13i2.83169

He J, Lin L, Ma Q, Liao M.A, Wang X, Liang D and Wang L. 2017. Effects of mulching accumulator straw on growth and cadmium accumulation of *Cyphomandra betacea* seedlings. Environmental Progress & Sustainable Energy, 36(2): 366-371. https://doi.org/10.1002/ep.12463

Hossein Ghamari H and Ahmadvand G. 2014. Evaluation of traits of dry Bean (*Phaseolurs vulgaris* L.) under weed interference conditions using boltzmann model. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 24(4): 91-101. (In Persian with English Abstract).

Ikram R.M, Tanveer A, Maqbool R and Nadeen M.A. 2018. Modeling the competitive effect of *Euphorbia dracunculoides* and *Astragalus* sp. In zero input rainfed chickpea. Planta Daninha, 36: 1-8. https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100021

Iqbal R, Raza M.A, Saleem M.F, Khan I.H, Ahmad S, Zaheer M.S, Aslam M.U and Haider I. 2019. Physiological and biochemical appraisal for mulching and partial rhizosphere drying of cotton. Journal of Arid Land, 11(5): 785-794.

Kacira A, Stanika M, Tomaszewska M, Kornas R, Cymerman J, Panasiewicz K and Lipinska H. 2020. Legume cover crops as one of the elements of strategic weed management and soil qualit improvement. A Review. Agriculture, 10: 1-41. https://doi.org/10.3390/agriculture10090394

Kader M.A, Singha A, Begum M.A, Jewel A, Khan F.H and Khan N.I. 2019. Mulching as water-saving technique in dryland agriculture. Bulletin of the National Research Centre, 43(1): 1-6. http://dx.doi.org/10.1186/s42269-019-0186-7

Kakaeian A.M, Mohammadi G, Ghobadi M.E and Najaphy A. 2015. Effects of rye and common vetch cover crops as pure and mixed on soil physicochemical characteristics. Agricultural Science Sustainable Production, 25(2): 47-64. (In Persian with English Abstract).

Khojamli R, Siahmarguee A, Zeinali E and Soltani A. 2019. Effect of different winter cover crops on the dynamics of weed populations and corn growth (*Zea mays* L.) (Single 704). Journal of Agroecology, 11(2): 635-654. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.78205

Martínez J.M, Raquel Picornell Buendía A, Domínguez Padilla A and Arturo De Juan Valero J. 2020. Comparison of models for describing weed: crop competition. Food Science and Technology, 5: 67-71. https://doi.org/10.1590/fst.39619

Mehni J, Mahdavi B, Azari A, Afkar S and Hashemi E. 2020 Evaluation of yield and productivity indices of black cumin and fenugreek intercropping under weedy and weed-free conditions. Iranian Journal of Field Crop Science, 51(3): 73-87. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.253533.654452

Modhej A and Alikhani Galeh Z. 2014. Integrated weed control (chemical & mechanical) in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Shoushtar conditions. Iranian Journal of Pulses Reseach, 1: 22-32. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i1.26200

Mohammaddoust Chamanabad H.M, Rafeie S and Asgharii A. 2015. Effect of cover crops on weed density and weed biomass in tomato. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 10: 75-86.

Mohammadi G, Javanshir A, Khooie F.R, Mohammadi S.A and Zehtab Salmasi S. 2005. Critical period of weed interference in chickpea. Weed Research, 45(1): 57-63. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00431.x

Nandita R, Mamun S.M.A and Jahan M.S. 2009. Yield performance of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties at varying levels of row spacing. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 5(5): 823-827.

Najafi F, Ebadi M.T and Abbasian J. 2018. Harvesting, drying and processing processes of medicinal and aromatic plants. Publications of Shahid Beheshti University of Tehran.

Petrikovszki R, Zalai M, Tóthné Bogdányi F and Tóth F. 2020. The Effect of organic mulching and irrigation on the weed species composition and the soil weed seed bank of tomato. Plants, 9: 66-73. https://doi.org/10.3390%2Fplants9010066

Ranjbar M, Samedani B, Rahimian-Mashhadi H, Jahansoz M.R and Bihamta R. 2007. Influence of winter cover crops on weed control and tomato yield. Pajouhsh and Sazandegi, 74: 24-33. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.30495/jcep.2020.671644

Rao VS. 2015. Principles of weed science. Science Publication, USA.

Riemens M, Sønderskov M, Moonen A.C, Storkey J and Kudsk P. 2022. An integrated weed management framework: A pan-European perspective. European Journal of Agronomy, 133: 126443.

Saeli Z. 2015. Agricultural management of weeds and yield improvement by using mixed cultivation of safflower and canola. Master's thesis. Government - Ministry of Science, Research, and Technology - Tabriz University - Faculty of Agricultural Sciences. (In Persian with English Abstract).

Shafagh-Kolvanagh J, Alami-Milani M and Azadmard-TaleshMakaeel A. 2015. Critical period of weed control in Dragon's head (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25(1-2): 15-25. (In Persian with English Abstract).

Somerville G.J, Jørgensen R, Bojer O, Rydahl P, Dyrmann M, Andersen P, Jensen N.P and Green O. 2019. Utilise the potential herbicide savings using weed maps, when the sprayers have limited capabilities. Precision Agriculture, 19: 231-237. https://doi.org/10.3390/rs14153621

Sturm DJ, Peteinatos G and Gerhards R. 2018. Contribution of allelopathic effects to the overall weed suppression by different cover crops. Weed Research, 58(5): 331-337. https://doi.org/10.1111/wre.12316

Tan D, Fan Y, Liu J, Zhao J, Ma Y and Li Q. 2019. Winter wheat grain yield and quality response to straw mulching and planting pattern. Agricultural research, 8(4): 548-552. http://dx.doi.org/10.1007/s40003-019-00401-1

Theunissen J, Ndakidemi P.A and Laubscher C.P. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. International Journal of the Physical Sciences, 5: 1964-1973.

Tursun N, Işık D, Demir Z and Jabran K. 2018. Use of living, mowed, and soilincorporated cover crops for weed control in apricot orchards. Agronomy Journal, 8: 150-158. https://doi.org/10.3390/agronomy8080150

Uchino H, Iwama K, Jitsuyama Y, Ichiyama K, Sugiura E, Yudate T, Nakamura S and Gopal J. 2012. Effect of interseeding cover crops and fertilization on weed suppression under an organic and rotational cropping system. Field crops Res, 127: 9-16.

Vargas F, Gonzalez-Benecke C.A, Rubilar R and Sanchez-Olate M. 2018. Modelling the effect of weed competition on long-term volume yield of *Eucalyptus globulus* Labill. Plantations across an Environmental Gradient. Forests, 9(8): 480. https://doi.org/10.3390/f9080480

Xue L.L, Anjum S.A, Wang L.C, Saleem M.F, Liu X.J, Ijaz M.F and Bilal M.F. 2011. Influence of straw mulch on yield, chlorophyll contents, lipid peroxidation and antioxidant enzymes activities of soybean under drought stress. Journal of Food Agriculture and Environment, 9(2):699-704.

Yang Y, Liu X, Li W and Li C. 2006. Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilonggang region of North China. Journal of Zhejiang University Science, 7(11): 858-867. https://doi.org/10.1631%2Fjzus.2006.B0858

Yazdifar S, Amini I and Ramea V. 2010. Evaluation of row spacing and seed rates effects on yield, yield components and seed oil in spring canola (*Brassica napus* L.) cultivar. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 13: 58-65. (In Persian with English Abstract).

Zeidali E, Naseri R, Mirzaei A and Chit Band A. 2017. Ecophysiologic indices of wheat as influenced by plant density and application of herbicide. Crop Ecophysiology Journal, 10(4): 839-856. (In Persian with English Abstract).

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 167-181

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

Cultural Management of weeds and evaluation indices of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and Canola (*Brassica napus* L.) intercropping

Jalil Shafagh-Kolvanagh[1*], Fariborz Shekari[2], Abdullah Jawanmard[3], Mina Amani[4], Zohreh Saeli-Ashan[5], Mahnaz Sharifi[6]

Received: 12 September 2023	Accepted: 08 February 2024

1- Prof, of the Dept. of Plant Ecophysiology, Dept. of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Prof., of the Dept. of Plant Genetics and Production Engineering, Dept. of Crop Physiology, Maragheh University of Basic Sciences, Maragheh, Iran.
3- Assoc. Prof., Dept. of Production Engineering and Plant Genetics, Crop Ecology, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.
4- PhD Student in Production and Post-Harvest Physiology of Horticultural Plants, Dept. of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
5- Master of Physiology of Crop Plants, 6- Ph.D. student of Crop Physiology, Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: Shafagh.jalil@gmail.com

Abstract

Background & Objective: The objective of this research was to investigate the potential of weed control and to evaluate the index of intercropping safflower and canola.

Materials & Methods: The experiment was conducted as a factorial design within a randomized complete block design, comprising three replications. The first factor involved weed control at two levels: complete weed control and without weed control. The second factor consisted of different patterns of mixed cropping at four levels, including: mixed cropping of safflower and canola with replacement ratios of 1:1 and 2:1, as well as mixed cultivation of safflower and canola with ratios of 100:50 and 100:75. Additionally, pure cultivation of both safflower and canola was included in the study.

Results: In this research, it was observed that among the mixed cropping treatments, the 75:100 mixed cropping ratio was the most effective in terms of weed control. Among all the mixed cropping treatments, the highest mixed cropping evaluation index was recorded for the 1:1 replacement mixed cropping treatment with complete weed control, yielding a value of 1.71. Additionally, the highest relative value was associated with the 1:1 replacement mixed cropping treatment under complete weed control, which was 2.33. According to the results, among the various planting patterns, the highest seed yield was achieved with pure cultivation and complete weed control, showing no significant difference compared to the 1:1 replacement mixture (safflower-canola).

Conclusion: The evaluation of mixed cropping treatments using the land equivalent ratio (LER), relative yield total (RVT), and weed control efficiency indicated that mixed cropping patterns are superior to pure cultivation in terms of both production and economic value. Furthermore, the yield and yield components of safflower were significantly influenced by pure safflower cultivation and the weed control treatment.

Keywords: Dry weight of weeds, Economic value, Land equivalent ratio index, Pure cultivation, Relative value total

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, Email: shafagh.jalil@gmail.com
http://doi.org/10.22034/SAPS.2024.58399.3115

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۱۸۱-۱۶۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

مدیریت زراعی علف‌های‌هرز و بررسی شاخص های ارزیابی کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.)

جلیل شفق کلوانق[۱*]، فریبرز شکاری[۲]، عبدالله جوانمرد[۳]، مینا امانی[۴]، زهره سائلی‌اشان[۵]، مهناز شریفی[۶]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۶/۲۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

۱- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه علوم پایه مراغه، مراغه، ایران.
۳- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۴- دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغبانی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۵- کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۶- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

*مسئول مکاتبه: Email: Shafagh.jalil@gmail.com ،https://orcid.org/0000-0001-5849-7943

چکیده

مقدمه و اهداف: هدف از این پژوهش، بررسی پتانسیل کنترل علف‌های‌هرز و بررسی شاخص ارزیابی کشت مخلوط گلرنگ و کلزا بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل علف‌های‌هرز (با کنترل و بدون کنترل علف‌های‌هرز) و فاکتور دوم الگوهای مختلف کشت مخلوط در چهار سطح شامل کشت مخلوط جایگزینی گلرنگ و کلزا با نسبت‌های ۱:۱ و ۲:۱ و کشت مخلوط افزایشی گلرنگ و کلزا با نسبت‌های ۱۰۰:۵۰، ۱۰۰:۷۵ و کشت خالص گلرنگ و کلزا درنظرگرفته شد.

یافته‌ها: در این پژوهش مشاهده گردید که در میان تیمارهای کشت مخلوط، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۷۵ از نظر کنترل علف‌های‌هرز موفقتر بوده است. در بین کلیه تیمارهای کشت مخلوط بیشترین میزان شاخص ارزیابی کشت مخلوط به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ با کنترل کامل علف‌های‌هرز با مقدار ۱/۷۱ تعلق داشت. بیشترین ارزش نسبی به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ با کنترل کامل علف‌های‌هرز (۲/۳۳) تعلق داشت. باتوجه به نتایج، از بین الگوهای مختلف کاشت، بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص و کنترل کامل علف‌های‌هرز به‌دست آمد، به‌طوری که با سایر الگوهای کاشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ-کلزا) اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

نتیجه‌گیری: ارزیابی تیمارهای کشت مخلوط با استفاده از شاخص نسبت برابری زمین، مجموع ارزش نسبی و کارایی کنترل علف‌های‌هرز نشان داد که الگوهای کشت مخلوط ازنقطه نظر تولید و ارزش اقتصادی بر کشت خالص برتری دارند. همچنین عملکرد و اجزای عملکرد در گلرنگ تحت تأثیر کشت خالص گلرنگ و تیمار کنترل علف‌های‌هرز قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: ارزش اقتصادی، شاخص نسبت برابری زمین، کشت خالص، مجموع ارزش نسبی، وزن خشک علف‌های-هرز

مقدمه

روغن‌های گیاهی از مهمترین منابع تأمین انرژی برای انسان به‌شمار می‌روند. دانه‌های روغنی پس از غلات دومین منبع غذایی مردم جهان را تشکیل می‌دهند، در این میان گیاه کلزا (Canola) با نام علمی (*B. napus*) به‌عنوان یکی از مهمترین گیاهان روغنی در سطح جهان مطرح است که افزایش سطح کشت و تولید آن در ۲۰ سالهٔ اخیر قابل مقایسه با سایر گیاهان روغنی نمی‌باشد (نیکدل و همکاران ۲۰۲۳). گلرنگ با نام علمی (*C. tinctorius*) که با اهداف چندگانه برای روغن، دارو و مصارف صنعتی کشت و تولید می‌گردد (خان و همکاران ۲۰۰۳). امروزه مشکلات زیست محیطی ناشی از کاربرد بی‌رویه علفکش‌ها و مقاومت علف‌های‌هرز به آن‌ها در کشاورزی رایج، لزوم توسعه راهکارهای زراعی به‌عنوان یک روش ایمن‌تر و کم‌هزینه‌تر برای مدیریت علف‌های‌هرز قرار داده است (محمد دوست چمن آباد و بخشی ۲۰۱۶).

براین‌اساس یکی از تمهیدات مهم در کنترل علف‌های-هرز از دیدگاه کشاورزی پایدار، استفاده از کشت مخلوط محصولات زراعی مختلف با یکدیگر است. به‌طورکلی، بروز اثرات منفی ناشی از مصرف انواع نهاده‌های شیمیایی ازجمله علف‌کش‌ها بر کمیت و کیفیت ترکیبات مؤثره گیاهان، نیاز به بهره‌گیری از اصول اکولوژیک مانند کشت مخلوط در تولید پایدار این گیاهان امری ضروری به نظر می‌رسد (عباسی و نامداری ۲۰۲۲). کشت مخلوط یکی از مؤلفه‌های کشاورزی پایدار محسوب می‌شود و امروزه تمایل به کاربرد کشت مخلوط بیش از گذشته بوده و نتایج برخی از پژوهش‌ها نیز مزایا و اهمیت این شیوه کشت را آشکار می‌سازد. بشر تاکنون تدابیر گوناگونی اتخاذ کرده و با به‌کاربردن تکنولوژی، استفاده از ژنتیک، دادن کودهای شیمیایی فراوان، مصرف سموم گیاهی مختلف و غیره توانسته است بخشی از نیاز به مواد غذایی را به‌صورت منطقه‌ای برآورده کند. شیوه‌های رایج، تولید آینده را به قیمت افزایش تولید فعلی به خطر انداخته است (ربیعی و فرحدهر ۲۰۲۰)؛ بنابراین، علائم زوال و نابودی در گذر زمان، شرایط موردنیاز برای تولید پایدار را بیش‌ازپیش آشکار کرده است. باتوجه‌به مشکلات زیست‌محیطی ناشی از افزایش تولید، امروزه گرایش به سمت نظام‌های پایدار در کشاورزی اهمیت پیدا کرده است. مهمترین اصل در کشاورزی پایدار، وجود تنوع در آن است. چنانچه فعالیت‌های کشاورزی براساس اصول اکولوژیکی صورت گیرد، ضمن جلوگیری از تخریب اکوسیستم‌های طبیعی موضوع ثبات و پایداری نیز تحقق می‌یابد (حمزه‌ای و سیدی ۲۰۱۷)؛ بنابراین، باید به فکر تأمین مواد غذایی، بدون آلوده نمودن محیط زیست بود. کشت مخلوط الگوی اقتباس شده از سیستم‌های پایدار طبیعی گیاهان ازجمله مراتع و جنگل‌های بکر و دست‌نخورده می‌باشد که نشان می‌دهد همواره ترکیب گونه‌ها را بر حالت تک گونه‌ای ترجیح می‌دهد. این نوع کشت، به‌دلیل استفاده بهینه و حداکثر از منابع تولید، کاهش میزان آلودگی محیط زیست، حفاظت خاک، موازنه در امر تغذیه گیاهی و به‌دست‌آوردن حداکثر سود، اهداف مشترک اگرونومیست و اکولوژیست را که همانا توسعه پایدار است در برمی‌گیرد. کاهش وابستگی کشاورزان به آفتکش‌ها، به‌شرط حفظ کیفیت محصول و بازارپسندی آن، یکی از اهداف اصلی کشت مخلوط در کشاورزی پایدار است (حمزه‌ای و سیدی ۲۰۱۷). در این روش از منابع به‌طور کارآمدی استفاده می‌شود، خطرات عوامل محیطی و هزینه تولید کاهش می‌یابد و ثبات اقتصادی برای کشاورزان فراهم می‌شود. در تحقیقی با بررسی اثر الگوهای کشت مخلوط گل سرخارگل و لوبیا نشان داده شد که بهره‌گیری از کشت مخلوط موجب افزایش ماده خشک گل در گلدهی کامل سرخارگل‌های دوساله گردید و استفاده از کشت مخلوط در افزایش تولید ماده خشک اندام‌های گیاه موفقتر بود (اسدی و همکاران ۲۰۱۹). در تحقیق شفق و همکاران (۲۰۲۳) تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز در کشت خالص بالنگوی‌شهری بیشترین مقدار بود. نیکدل و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه خود نشان دادند که الگوی کشت مخلوط بالنگوی‌شهری و نخود در کشت انتظاری در شرایط آب و هوایی سقز مناسب بود و می‌تواند به‌عنوان الگوی کشت مخلوط مناسب پیشنهاد شود. براین اساس هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی امکان کشت مخلوط گلرنگ و کلزا در شرایط اقلیمی شهرستان مراغه و تعیین بهترین الگوی

کشت مخلوط از نظر عملکرد و درآمد اقتصادی و مهار علف‌های‌هرز در رابطه با این دو گیاه در منطقه موردکشت، ارزیابی سودمندی احتمالی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی این دو گیاه در حالت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص براساس شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط در شرایط اقلیمی شهرستان مراغه بود.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل و زمان اجرای آزمایش

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۴ در مزرعه‌ای در شهرستان مراغه اجرا شد. این منطقه در ارتفاع ۱۲۹۰ متری از سطح دریا با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴ دقیقهٔ شرقی قرار گرفته و میزان بارندگی سالیانهٔ آن ۲۴۳ میلی‌متر می‌باشد. میانگین دمای سالیانه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد، میانگین بیشینه دمای سالیانه ۲۰/۷ درجه سانتی‌گراد، میانگین کمینه دمای سالیانه ۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

طرح آزمایشی و بذور مورداستفاده

کشت مخلوط براساس سری‌های افزایشی و جایگزینی انجام گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۱۲ تیمار انجام شد. فاکتور اول شامل کنترل علف‌های‌هرز در دو سطح با کنترل و بدون کنترل کامل علف‌های‌هرز و فاکتور دوم شامل الگوهای مختلف کشت، کشت خالص کلزا و کشت خالص گلرنگ و همچنین الگوهای مختلف کشت مخلوط در چهار سطح به‌صورت سطوح کشت مخلوط افزایشی جزئی با نسبت‌های ۵۰ درصد کلزا و تراکم بهینه گلرنگ، ۷۵ درصد کلزا و تراکم بهینه گلرنگ و کشت مخلوط جایگزینی کلزا و گلرنگ با نسبت ۱:۱ و کشت مخلوط جایگزینی کلزا و گلرنگ با نسبت ۲:۱ در نظر گرفته شد.

عملیات تهیه زمین، کاشت و داشت

مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه، در اواخر مهرماه و تسطیح زمین و کرت‌بندی و تفکیک بلوک‌های آزمایش در فروردین ماه صورت پذیرفت. عملیات کاشت گلرنگ و کلزا به‌طور همزمان در اردیبهشت ماه و با دست انجام شد. رقم مورد استفاده برای گلرنگ، رقم گلستان بود و برای کلزا، رقم شیرعلی بود که از شهرستان کرمانشاه تهیه شدند. روش مورد استفاده در کشت مخلوط از نوع افزایشی و جایگزینی بود. کاشت به‌صورت کرتی با چهار ردیف کاشت و با فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بذور در روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر برای گلرنگ و برای کلزا با هشت ردیف کاشت و با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بذور در روی ردیف دو سانتی‌متر درنظر گرفته شد. هر کرت کاشت به ابعاد ۲/۴×۲ متر و مساحت ۴/۸ مترمربع بود. بذور گلرنگ در عمق حدود کمتر از سه سانتی‌متر و کلزا در عمق حدود کمتر از ۱/۵ سانتی‌متر از سطح خاک کاشته شدند. روی بذرهای کلزا باتوجه به ریزبودن بذرها با مقدار مناسب ماسه‌بادی پوشانده شد تا جوانه‌زنی آن‌ها به‌طور یکنواخت انجام گیرد. گلرنگ در کشت خالص با تراکم هفت بوته در مترمربع و کلزا در کشت خالص با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد که البته کلزا بسته به نسبت‌های کشت در کشت مخلوط افزایشی ۵۰:۱۰۰ (گلرنگ – کلزا) ۴۰ بذر در مترمربع بافاصله روی ردیف چهار سانتی‌متر و گلرنگ با تراکم بهینه و در کشت مخلوط افزایشی ۷۵:۱۰۰ (گلرنگ – کلزا) ۶۰ بذر در مترمربع با فاصله روی ردیف سه سانتی‌متر درنظر گرفته شد و برای کشت مخلوط جایگزینی در نسبت (۱:۱) یک ردیف گلرنگ و دو ردیف کلزا و در نسبت (۲:۱) دو ردیف گلرنگ و دو ردیف کلزا درنظر گرفته شد. پس از کاشت به‌منظور جلوگیری از خشک شدن خاک و اختلال در جوانه‌زنی، دو آبیاری اولیه هر چهار روز یکبار و پس از آن، آبیاری با دور هفت روز تا پایان فصل رشد انجام گرفت. در مرحلهٔ پنج‌برگی هر دو گیاه تنک شدند تا تراکم موردنظر حاصل گردد. در طول دوره رشد کود نیتروژن خالص در مرحله ساقه رفتن گیاهان به‌صورت سرک افزوده شد (۳۱ کیلوگرم در هکتار). کنترل علف‌های‌هرز در تیمارهای مربوط به وجین با دست، از تیرماه هر هفته در طول فصل رشد ادامه یافت. فهرست علف‌های‌هرز در تیمارهای بدون کنترل در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- فهرست علف‌های‌هرز در تیمارهای بدون کنترل گلرنگ – کلزا

نام فارسی	نام علمی	نام تیره
سلمه‌تره	*Chenopodium album* L.	Chenopodiaceae
یونجه	*Medicago sativa* L.	Fabaceae
بارهنگ	*Plantago major* L.	Plantagnaceae
هویج وحشی	*Daucus carota* L.	Apiaceae
شنگ معمولی	*Tragopogon collinus* L.	Asteraceae
شنگ اسبی	*Scorzonera* L.	Asteraceae
گاو چاق کن	*Lactuca serriola* L.	Asteraceae
کنگر صحرایی	*Cirsium arvensis scop* L.	Asteraceae
مرغ	*Cynodon dactylon* L.	Poaceae
چسبک	*Setaria viridis* L.	Poaceae
قیاق	*Sorghum halepense* L.	Poaceae
گاو پنبه	*Abutilon theophrasti medic* L.	Malvaceae
توق	*Xanthium strumarium* L.	Asteraceae
پیچک صحرایی	*Convolvulus arvensis* L.	Convolvulaceae
کاسنی	*Cichrorium intybus* L.	Asteraceae
ترشک	*Rumex alpinus* L.	Polygonaceae
جارو قزوینی	*Kochia scoparia* L.	Amaranthaceae
تاج‌خروس	*Amaranthus retroflous* L.	Amaranthaceae
قاصدک	*Taraxacum sect. Ruderalia* L.	Asteraceae
علف هفت‌بند	*Polygonum aviculare* L.	Polygonaceae
خرفه	*Portulaca oleracea* L.	Porthulacaceae
پاغازه	*Falcaria vulgaris*	Violaceae

به‌منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد دانه، برداشت نمونه‌های گلرنگ و کلزا به ابعاد یک مترمربع در هر کرت در هفته آخر مرداد ماه صورت گرفت. بدین صورت که در هر کرت پس از حذف ردیف‌های کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای کرت به‌عنوان حاشیه، یک مترمربع به‌عنوان سطح نمونه‌برداری برای صفات عملکردی در واحد سطح در نظر گرفته شدند. همچنین به تعداد پنج بوته از سطح باقیمانده نمونه‌برداری به‌طور تصادفی انجام شد.

صفات موردبررسی در طول دوره رشدی گیاه

صفاتی که در طول فصل رشد مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، ارتفاع، تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز بودند. جهت نمونه‌برداری از علف‌های‌هرز از داخل هر پلات به‌وسیله کوادرات یک مترمربع، کل علف‌های‌هرز موجود در تیمارهای بدون کنترل از سطح خاک بریده شده و برای اندازه‌گیری ارتفاع و تراکم علف‌های‌هرز، همه علف‌های‌هرز شمارش شده و ارتفاع آن‌ها یادداشت گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک علف‌های‌هرز، به مدت ۴۸ ساعت در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از طی این مدت از آون خارج نموده و سپس با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین و داده‌ها ثبت گردیدند.

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی تک بوته

برداشت نهایی در یک بوته انجام گردید. سپس وزن دانه و وزن خشک گیاه اندازه‌گیری شده و به‌عنوان عملکرد تک بوته ثبت شد.

شاخص برداشت

شاخص برداشت با استفاده از رابطه [۱] محاسبه شد:

(رابطه ۱)
$$\text{شاخص برداشت (HI)} = \frac{\text{عملکرد اقتصادی}}{\text{وزن خشک اندام هوایی + عملکرد اقتصادی}} \times ۱۰۰$$

شاخص ارزیابی کشت مخلوط

جهت ارزیابی سودمندی کشت مخلوط از شاخص نسبت برابری زمین (Land equivalent ratio: LER) بر مبنای عملکرد بیولوژیکی هر دو گیاه از رابطه [۲] [۳] [۴] استفاده شد (مائو و همکاران ۲۰۱۲):

$$LER (T) = LER (a) + LER (b) \quad [۲]$$

$$LER (a) = Yab / Yaa \quad [۳]$$

$$LER (b) = Yba + Ybb \quad [۴]$$

LER (T): نسبت برابری کل زمین، LER (a): نسبت برابری زمین گونه A، LER (b): نسبت برابری زمین گونه B. Yab: عملکرد گونه A در کشت مخلوط، Yaa: عملکرد گونه A در کشت خالص، Yba: عملکرد گونه B در کشت مخلوط، Ybb: عملکرد گونه B در کشت خالص.

برای محاسبهٔ مجموع ارزش نسبی (Relative value total (RVT از رابطه [۵] بهره‌گیری شد:

$$RVT=(aP_1+bP_2)/aM_1 \quad [۵]$$

دراین‌رابطه P_1 و P_2 به ترتیب عملکرد گونه‌های اول و دوم در کشت مخلوط و M_1 عملکرد گونه اول در کشت خالص و a و b به ترتیب قیمت گیاه اول و گیاه دوم می‌باشد.

اگر $RVT > 1$ باشد، کشت مخلوط بهتر است. درصورتی‌که $RVT < 1$ باشد، کشت خالص دارای مزیت اقتصادی خواهد بود و کشت خالص ترجیح داده می‌شود. البته باید توجه داشت که اگر $LER < 1$ باشد، محاسبه RVT ضرورتی ندارد (جوانشیر و همکاران ۲۰۰۰).

برای محاسبه کارایی کنترل علف‌های‌هرز (Weed control efficiency: WCE) توسط تیمارهای کشت مخلوط نیز از رابطه [۶] استفاده شد.

$$WCE= [(WDW_c - WDW_i) /WDW_c]\times 100 \quad [۶]$$

دراین‌رابطه نیز WDW_c و WDW_i به ترتیب بیوماس علف‌های‌هرز در تیمار کشت خالص گلرنگ بدون کنترل علف‌های‌هرز و بیوماس علف‌های‌هرز در تیمار کشت مخلوط می‌باشد (بانیک و همکاران ۲۰۰۶).

تجزیه آماری

یکنواختی واریانس‌ها و نرمال‌بودن داده‌های به‌دست آمده تست شدند و تجزیهٔ آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس به‌صورت فاکتوریل بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. از نرم‌افزارهای MSTAT-C، Spss16 و Excel برای انجام آزمون‌های آماری و رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر الگوی کاشت بر وزن خشک، ارتفاع و تراکم علف‌های‌هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

وزن خشک علف‌های‌هرز

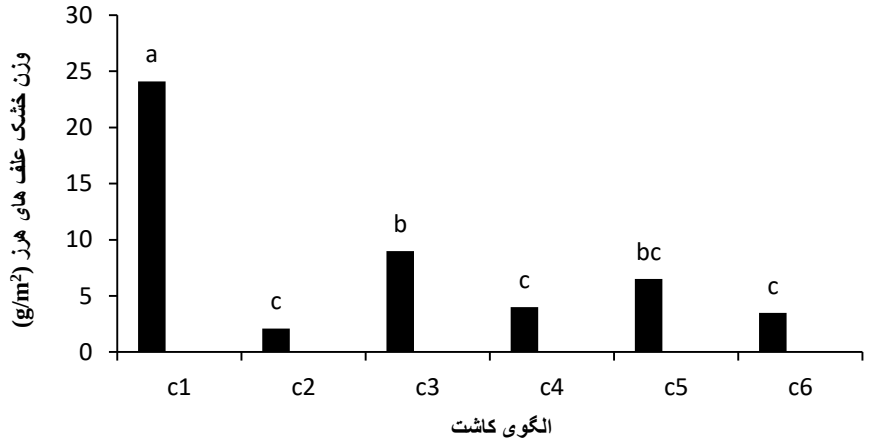
نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوی کشت بر وزن خشک علف‌های‌هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های الگوی کاشت بر وزن خشک علف‌های‌هرز نشان داد که تیمار کشت خالص گلرنگ با ۲۴/۲ گرم در مترمربع دارای بیشترین و تیمار کشت خالص کلزا با ۲/۱ گرم در مترمربع دارای کمترین وزن خشک علف‌های‌هرز می‌باشد (شکل ۱). در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۷۵ (گلرنگ – کلزا) نیز با ۳/۵ گرم در مترمربع و تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (گلرنگ – کلزا) با ۴ گرم در مترمربع نیز دارای کمترین وزن خشک می‌باشد. بیشترین وزن خشک در علف‌های‌هرز سلمه‌تره با ۲۱۶/۶ گرم در مترمربع مربوط به تیمار کشت خالص گلرنگ بود. در الگوی کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی کمترین وزن خشک جمعیت علف‌های‌هرز و بالاترین بهره‌وری در کنترل علف‌های‌هرز به‌دست آمد. همچنین نتایج این بررسی‌ها نشان داد که تغییر در ترکیب گونه‌های زراعی اثر معنی‌داری بر وزن خشک علف‌های-هرز داشت و با افزایش تنوع گیاهی، وزن خشک

علف‌های‌هرز کاهش یافت، به‌طوری که کمترین وزن خشک علف‌های‌هرز در ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط مشاهده شد (عزیزی ۲۰۰۹). با افزایش وزن خشک، سهم علف‌های‌هرز از عوامل محیطی مؤثر بر رشد افزایش می‌یابد و به همان نسبت سهم گیاه زراعی از آن‌ها کاهش می‌یابد. وزن خشک علف‌های‌هرز معیار مناسبتر و کاربردی‌تر نسبت به تعداد علف‌های‌هرز به شمار می‌رود (محمدی ۲۰۰۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر الگوی کاشت بر صفات موردبررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک علف‌های‌هرز	ارتفاع علف‌های‌هرز	تراکم علف‌های‌هرز
تکرار	۲	۱۱	۷۴/۶	۳/۵
الگوی کاشت	۵	۲۲۵**	۶۳/۲**	۷۲/۸**
خطا	۱۰	۵/۵	۱۴/۶	۲/۲
ضریب تغییرات(٪)	-	۲۷/۸	۱۵/۵	۱۶/۶

**، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌داراست.



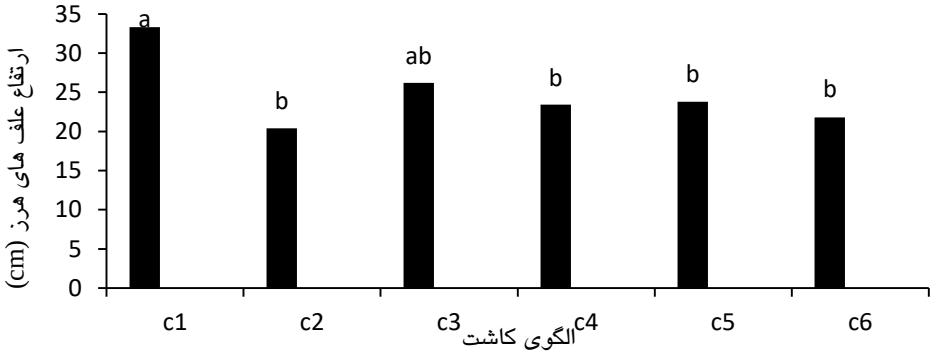
شکل ۱- اثر الگوهای کشت بر میانگین وزن خشک علف‌های‌هرز

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

c_1: خالص گلرنگ، c_2: خالص کلزا، c_3: مخلوط جایگزینی ۱:۱، c_4: مخلوط جایگزینی ۲:۱، c_5: تراکم بهینه گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم بهینه کلزا، c_6: تراکم بهینه گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم بهینه کلزا.

ارتفاع علف‌های‌هرز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوی کشت بر ارتفاع علف‌های‌هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های الگوی کاشت بر ارتفاع علف‌های‌هرز نشان داد که تیمار کشت خالص گلرنگ با ۳۳/۳ سانتی‌متر دارای بیشترین و تیمار کشت خالص کلزا با ۲۰/۴ سانتی‌متر دارای کمترین ارتفاع می‌باشد (شکل ۲). تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۷۵ (گلرنگ - کلزا) نیز با ۲۱/۸ سانتی‌متر باعث کاهش معنی‌دار در ارتفاع علف‌های‌هرز گردید. بیشترین ارتفاع علف‌های‌هرز با ۷۳ سانتی‌متر علف‌های‌هرز گاوپنبه از گونه‌های مختلف، مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ - کلزا) بود که در میان آن‌ها هم ارتفاع علف‌های‌هرز جارو قزوینی هم ۶۶/۶ سانتی‌متر بود و بقیه به سایر علف‌های‌هرز اختصاص پیدا کرد. طبق پژوهش‌های انجام شده، کشت مخلوط با سایه‌اندازی و خفه کردن علف‌های‌هرز و در برخی موارد با ویژگی آللوپاتیک گیاهان زراعی، از رشد و گسترش علف‌های‌هرز جلوگیری می‌کند (لیبمن و دایک ۱۹۹۳).



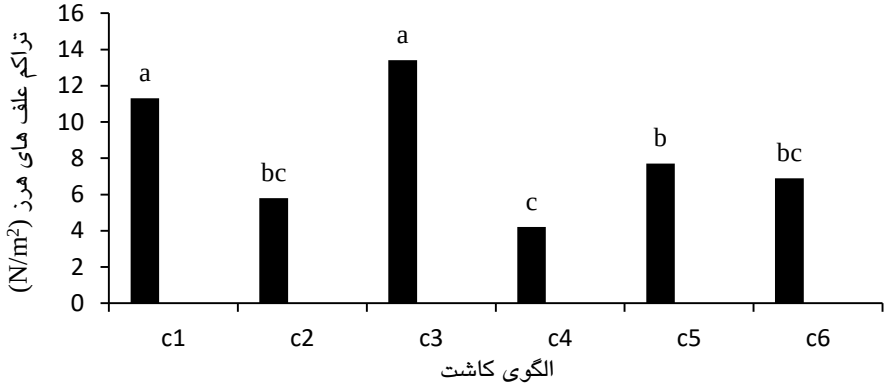
شکل ۲- اثر الگوهای کشت بر میانگین ارتفاع علف‌های‌هرز

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال **پنج** درصد می‌باشد.

c_1: خالص گلرنگ، c_2: خالص کلزا، c_3: مخلوط جایگزینی ۱:۱، c_4: مخلوط جایگزینی ۲:۱، c_5: تراکم بهینه گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم بهینه کلزا، c_6: تراکم بهینه گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم بهینه کلزا.

تراکم علف‌های‌هرز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوی کشت بر تراکم علف‌های‌هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های الگوی کاشت بر تراکم علف‌های‌هرز نشان داد که تیمار کشت خالص گلرنگ با میانگین ۱۱/۳ دارای بیشترین و تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (گلرنگ – کلزا) با میانگین ۴/۲ دارای کمترین تراکم می‌باشد (شکل ۳). بالاترین تراکم علف‌های‌هرز با ۱۴۰/۶۶ علف‌های‌هرز سلمه‌تره از گونه‌های مختلف، مربوط به تیمار کشت مخلوط ۱:۱ (گلرنگ – کلزا) بود که در بین آن‌ها تراکم علف‌های‌هرز قیاق با ۷۱/۳ در مترمربع بود و بقیه به سایر علف‌های‌هرز اختصاص پیدا کرد. بررسی اثر کشت مخلوط این دو گیاه به دلیل پوشش بهتر و متراکم‌تر بر سطح زمین باعث افزایش قدرت رقابت گیاهان زراعی برای استفاده از نور، آب و سایر منابع محیطی در مقایسه با کشت خالص شده که درنهایت، باعث کاهش تنوع و تراکم علف‌های‌هرز در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص شد (گومز و گورویچ ۲۰۰۵). در کشت ارزن به‌عنوان گیاه همراه با سویا گزارش کردند که ارزن به سبب قدرت پنجه‌زنی بالا قادر است از رشد علف‌های هرز به طور چشمگیری جلوگیری به عمل آورد و در کاهش جمعیت آن‌ها مؤثر باشد (ساماراجیوا و همکاران ۲۰۰۶).



شکل ۳- میانگین تراکم علف‌های‌هرز تحت تأثیر تیمار الگوهای مختلف کشت

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

c_1: خالص گلرنگ، c_2: خالص کلزا، c_3: مخلوط جایگزینی ۱:۱، c_4: مخلوط جایگزینی ۲:۱، c_5: تراکم بهینه گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم بهینه کلزا، c_6: تراکم بهینه گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم بهینه کلزا.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر الگوهای مختلف کشت و کنترل علف‌های‌هرز بر صفات اندازه‌گیری شده در گلرنگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		عملکرد بیولوژیکی تک بوته	عملکرد دانه تک بوته	شاخص برداشت
تکرار	۲	۱۱/۱	۳/۴	۱/۸۱
کنترل علف هرز (A)	۱	۳۱۱۰/۶**	۷۰۹**	۷/۸۳ns
الگوی کشت (B)	۴	۴۲۹/۳**	۸۹/۸۸**	۹/۷*
A*B	۴	۲۱۹/۳**	۸۲/۲**	۰/۹۵ns
خطا	۱۸	۲/۵	۰/۹	۲/۴
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۳	۱۴/۲	۸

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار است.

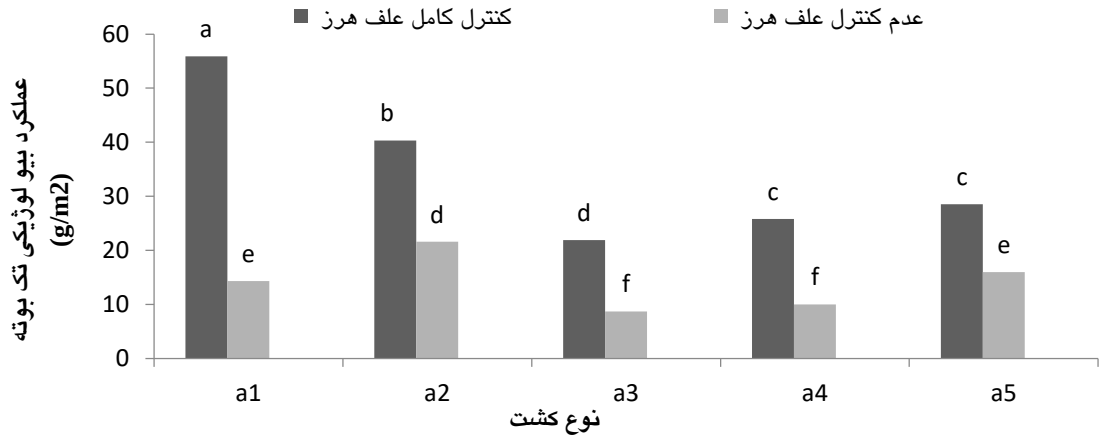
عملکرد بیولوژیکی تک بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوهای کاشت و کنترل علف‌های‌هرز و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد بیولوژیکی تک بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل کنترل علف‌های‌هرز در الگوی کاشت نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد که بیشترین عملکرد بیولوژیکی تک‌بوته مربوط به ترکیب تیماری کشت خالص گلرنگ با کنترل کامل علف‌های‌هرز با ۵۵/۹ گرم و همچنین کمترین عملکرد مربوط به کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (گلرنگ – کلزا) با عدم کنترل علف‌های‌هرز با ۸/۷ گرم بود (شکل ۴). تونا و اورکا (۲۰۰۷) در کشت مخلوط ماشک با یولاف گزارش کرده‌اند که عملکرد بیولوژیکی هر یک از گیاهان کشت شده در کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری درمقایسه با کشت خالص آن‌ها کاهش یافته است. در بررسی کشت مخلوط باقلا و جو، افزایش عملکرد بیولوژیکی در شرایط کنترل علف‌های‌هرز نسبت به شرایط عدم کنترل علف‌های‌هرز بیشتر بود (آقیقنهو و همکاران ۲۰۰۶). در یک بررسی دیگر نشان داده شد که کشت خالص شنبلیله در بین الگوهای مختلف کاشت مخلوط زیره سبز و شنبلیله، دارای بالاترین عملکرد بیولوژیکی بود (رضوانی مقدم و مرادی ۲۰۱۱). نتایج مطالعه دیگری روی عملکرد و اجزای عملکرد کنجد و نخود در کشت مخلوط سری‌های جایگزینی مشخص نمود که کشت مخلوط کنجد نسبت به کشت خالص آن دارای عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه کمتری بود، همچنین با کاهش تراکم کنجد در کشت مخلوط از عملکرد بیولوژیکی و دانه آن به میزان بیشتری کاسته شد (پورامیر و همکاران ۲۰۱۰).

عملکرد دانه تک بوته

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوهای کاشت و کنترل علف‌های‌هرز و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه تک بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل کنترل علف‌های‌هرز در الگوی کاشت نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری که بیشترین و کمترین عملکرد دانه تک بوته گلرنگ به‌ترتیب مربوط به ترکیب تیماری کشت خالص با کنترل کامل علف‌های‌هرز با ۲۴/۹ گرم و کشت مخلوط افزایشی ۵۰:۱۰۰ (گلرنگ – کلزا) با عدم کنترل علف‌های‌هرز با ۱/۴ گرم است (شکل ۵). به‌نظر می‌رسد که دلیل بیشتربودن عملکرد دانه در کشت خالص و کنترل علف‌های‌هرز در اختیاربودن فضای بیشتر برای گلرنگ نسبت به کشت مخلوط و عدم حضور علف‌های‌هرز به‌عنوان عوامل رقابت‌کننده برای گلرنگ در بهره‌گیری از فضا و منابع موجود می‌باشد. در

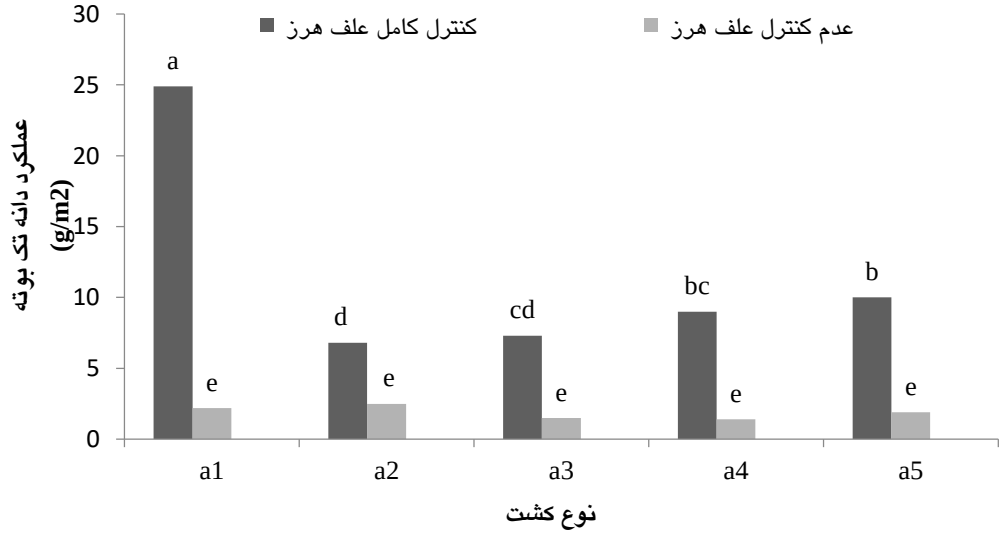
تحقیقی دیگر، عملکرد جو به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط با ماشک گل‌خوشه‌ای قرار گرفت، به‌طوری که افزایش درصد ماشک از ۲۰ درصد در کشت مخلوط درهم به ۱۰۰ درصد در کشت خالص موجب کاهش ۵۴ درصدی عملکرد دانه جو گردید (اسدی و خرمدل ۲۰۱۳). در یک مطالعه نیز نشان داده شد که کشت خالص لوبیا در بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط و خالص لوبیا و ریحان بذری، دارای بالاترین عملکرد دانه بود (علیزاده و همکاران ۲۰۰۹).



شکل ۴- تأثیر برهمکنش الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های‌هرز بر عملکرد بیولوژیکی تک بوته گلرنگ

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

a_1: کشت خالص گلرنگ، a_2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a_3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a_4: تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا، a_5: تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا.



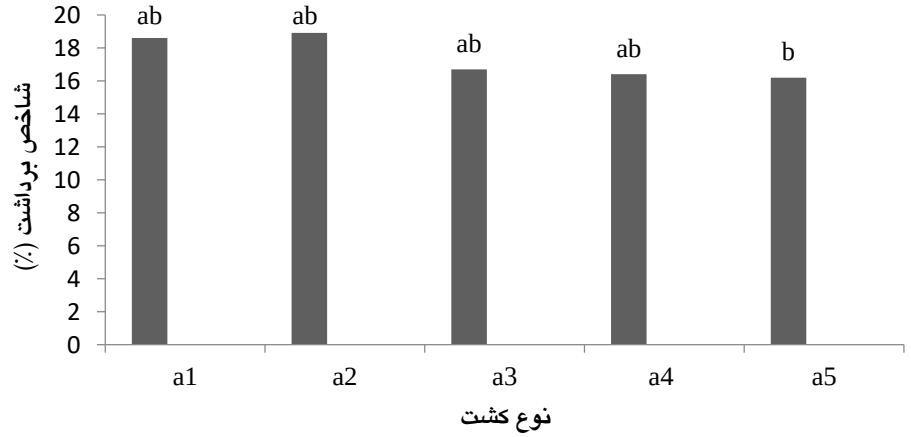
شکل ۵- تأثیر برهمکنش الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های‌هرز بر عملکرد دانه تک بوته گلرنگ

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

a_1: کشت خالص گلرنگ، a_2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a_3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a_4: تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا، a_5: تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر الگوهای مختلف کشت بر شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثرهای کنترل علف‌های‌هرز و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که تیمار کنترل کامل علف‌های‌هرز با ۱۷/۹ درصد بیشترین و تیمار عدم کنترل علف‌های‌هرز با ۱۶/۸ درصد کمترین شاخص برداشت را دارا می‌باشند. همچنین مقایسه میانگین‌های الگوی کاشت بر شاخص برداشت نشان داد که تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ – کلزا) با ۱۸/۹ درصد بیشترین شاخص برداشت را دارد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار کشت خالص نداشت. همچنین تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۷۵ (گلرنگ – کلزا) با ۱۶/۲ درصد کمترین شاخص برداشت را دارا بود (شکل ۶). شاخص برداشت دلالت بر میزان زیست توده گیاهی تخصیص یافته به دانه دارد؛ بنابراین معیار مناسبی برای میزان تقسیم ذخایر بین ساختار رویشی و زایشی است. افزایش شاخص برداشت گیاهان زراعی در سیستم‌های کشت مخلوط، اغلب از طریق بهبود ظرفیت گونه‌های مخلوط برای افزایش جذب و مصرف فیزیولوژیکی منابع توسط آن‌ها حاصل می‌شود. خان و عبدالخالق (۲۰۰۴) در بررسی الگوهای کشت خالص و مخلوط روی ماش که بیشترین شاخص برداشت را برای کشت خالص ماش و کمترین شاخص برداشت ماش را در الگوهای مختلف کشت مخلوط گزارش کردند. اختلاف در شاخص برداشت را می‌توان به تفاوت در اجزای عملکرد و یا افزایش عملکرد بیولوژیکی نسبت داد. شاخص برداشت بالاتر در تیمارهای کشت مخلوط می‌تواند نشان‌دهنده برتری این نوع کشت نسبت به کشت خالص باشد. میرشکاری (۲۰۱۰) نیز بیان کردند، که شاخص برداشت زنیان در تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. این محققین کمترین مقدار شاخص برداشت را در کشت خالص گزارش کردند.



شکل ۹- تأثیر الگوهای مختلف کشت بر شاخص برداشت

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

a_1: کشت خالص گلرنگ، a_2: کشت مخلوط جایگزینی۱:۱ گلرنگ و کلزا، a_3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a_4: تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا، a_5: تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا.

معیارهای ارزیابی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین

معیاری که اغلب جهت داوری در مزیت کشت مخلوط مورداستفاده قرار می‌گیرد نسبت برابری زمین می‌باشد. این نسبت میزان سطح زمین لازم در تک‌کشتی را برای تولید مساوی با کشت مخلوط توصیف می‌کند (جدول ۴). نسبت برابری زمین را در تیمارهای مختلف کشت مخلوط نشان می‌دهد. کلیه تیمارهای کشت مخلوط، نسبت

برابری زمین بالاتری نسبت به کشت خالص هر دو گیاه داشتند به‌جز تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ – کلزا) که کمتر از یک بود. بیشترین میزان نسبت برابری زمین به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ – کلزا) با کنترل کامل علف‌های‌هرز با مقدار ۱/۷۱ تعلق داشت. به این معنی که برای دستیابی به همین مقدار عملکرد از کشت خالص این دو گیاه به ۱/۷۱ هکتار زمین نیاز است و ۰/۷۱ هکتار زمین صرفه‌جویی شده است. کمترین نسبت برابری زمین نیز در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ – کلزا) با کنترل کامل علف‌های‌هرز با مقدار ۰/۸۷ مشاهده شد که این امر از رقابت گلرنگ و کلزا در استفاده از نور و منابع موجود ناشی شد. کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد دانه مخلوط، بیشتر از حداکثر محصول تک کشتی باشد. اضافه عملکرد به‌دست آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلاف مورفولوژیکی بین آن‌ها و کمتر بودن علف‌های‌هرز در الگوی کاشت مخلوط نسبت داد (حمایتی و همکاران ۲۰۰۲). در این تحقیق هر دو گونه به طور جزئی تح تأثیر منفی کشت مخلوط قرار گرفتند، با وجود این دو محصول توانستند کاهش عملکرد یکدیگر را جبران کنند و بدین سبب نسبت برابری زمین به‌غیراز تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ – کلزا) در تمامی تیمارها بیشتر از یک بود که نشاندهندهٔ برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. کاهش دفعات وجین علف‌های‌هرز در کشت مخلوط گندم و نخود (بانیک و همکاران ۲۰۰۶) گزارش شده است. کشت مخلوط ذرت با سبزیجات موجب تولید نسبت برابری زمین به میزان ۱/۷۷ می‌شود و به دلیل پوشش بهتر زمین علف‌های‌هرز بهتر کنترل می‌شود (ماکینده و همکاران ۲۰۰۹).

مجموع ارزش نسبی

در دنیای امروز تعیین الگوی کشت گیاهان زراعی، بیشتر از عملکرد بر اساس عوامل اقتصادی انجام می‌پذیرد؛ بنابراین در صورت مواجه شدن تولیدکننده با مشکلات مالی کشت مخلوط باید با مطلوب‌ترین شرایط تک‌کشتی دو گیاه زراعی قابل رقابت باشد. مجموع ارزش نسبی، کشت مخلوط را از نظر ارزش مالی مورد ارزیابی قرار می‌دهد. کلیه تیمارهای کشت مخلوط مجموع ارزش نسبی، بیشتر از یک داشتند که نشان‌دهنده سودمندی اقتصادی این نسبت‌های کاشت درمقایسه با کشت خالص است. بالاترین مجموع ارزش نسبی به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ – کلزا) با کنترل کامل علف‌های - هرز با مقدار ۲/۳۳ تعلق داشت و کمترین مقدار آن در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ – کلزا) با کنترل کامل علف‌های‌هرز با مقدار ۱/۰۹ به‌دست آمد (جدول ۴).

کارایی کنترل علف‌های‌هرز

باتوجه‌به جدول ۴ مشاهده می‌شود که تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی (گلرنگ – کلزا) با نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۲ و تیمارهای کشت مخلوط افزایشی (گلرنگ – کلزا) با نسبت‌های ۱۰۰:۵۰ و ۱۰۰:۷۵ دارای شاخص کارایی کنترل علف هرز به ترتیب ۶۳/۷، ۸۳/۴، ۷۳ و ۸۵/۴ بودند. به نظر می‌رسد که اجرای کشت مخلوط کلزا با گلرنگ، توان این گیاهان در رقابت با علف‌های‌هرز را افزایش داده و ضمن مهار مطلوب علف‌های‌هرز، کارایی سیستم زراعی در استفاده از منابع افزایش یافته و درنتیجه عملکرد کل سیستم نسبت به تیمار عدم کنترل علف‌های- هرز افزایش یافته است. در واقع، با افزایش تراکم گیاه کلزا در مزرعه گلرنگ، سطح زمین سریع‌تر توسط گیاهان زراعی پوشیده شد و از دسترسی علف‌های‌هرز به نور عبور کرده از لابه‌لای شاخ‌وبرگ کانوپی گلرنگ به سمت زمین، جلوگیری شد. اجرای کشت مخلوط جو و نخودفرنگی، گزارش شد که با افزایش تراکم گیاه همراه در مزرعه گیاه اصلی، تراکم و بیوماس علف‌های‌هرز به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. علت کاهش بیوماس و تراکم علف‌های‌هرز در کشت مخلوط، به افزایش توان رقابتی گیاهان زراعی با علف‌های‌هرز نسبت‌داده‌شده است (هاگارد و همکاران ۲۰۰۶). در بررسی کشت مخلوط نخود و غلات بهاره، گزارش شد که تراکم و بیوماس علف هرز با اجرای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی به طور قابل توجهی کاهش یافت. آن‌ها علت این امر را اثر مکملی گیاهان زراعی در کشت مخلوط دانستند که باعث افزایش توان رقابتی گیاهان زراعی با علف‌های- هرز می‌شود. همچنین، در مقایسه شاخص کارایی کنترل

علف‌های‌هرز مشخص گردید که تیمار کشت مخلوط افزایشی ۷۵:۱۰۰ (گلرنگ – کلزا) با ۸۵/۴ درصد، بیشترین کارایی را در کنترل علف‌های‌هرز دارد، به‌طوری‌که در مقایسه با تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ – کلزا) از ۲۳ درصد برتری برخوردار بود (دیویکایت و همکاران ۲۰۰۹).

جدول ۳- مقادیر LER، RVT و WCE

تیمارها		معیار ارزیابی کشت مخلوط				
کنترل علف‌های هرز	الگوی کاشت	عملکرد نسبی گلرنگ	عملکرد نسبی کلزا	شاخص نسبت برابری زمین (LER)	مجموع ارزش نسبی (RVT)	کارایی کنترل علف هرز (WCE)
کنترل علف‌های‌هرز	b_1	۰/۹۵	۰/۷۶	۱/۷۱	۲/۳۳	–
	b_2	۰/۸۱	۰/۴۵	۱/۲۶	۱/۶۳	–
	b_3	۰/۵۹	۰/۲۸	۰/۸۷	۱/۰۹	–
	b_4	۰/۶۹	۰/۳۷	۱/۰۶	۱/۳۶	–
عدم کنترل علف‌های‌هرز	b_1	۰/۹۳	۰/۶۹	۱/۶۲	۲/۰۱	۶۲/۷
	b_2	۰/۷۸	۰/۵	۱/۲۸	۱/۵۶	۸۳/۴
	b_3	۰/۶۵	۰/۳۲	۰/۹۷	۱/۱۵	۷۳
	b_4	۰/۷۴	۰/۴۲	۱/۱۶	۱/۴۱	۸۵/۴

b_1: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، b_2: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، b_3: تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا، b_4: تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا.

سپاسگزاری

لازم است از دانشگاه تبریز که در فراهم‌آوردن امکانات لازم جهت اجرای این تحقیق همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی گردد.

منابع مورد استفاده

Abbasi R and Namdari M. 2022. Study of soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and chia (*Salvia hispanica* L.) competition in the different intercropping ratios based on replacement method. Plant Production, 45(1): 1-14. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22055/ppd.2022.37720.1986

Agegnehu G, Ghizaw A, and Sinebo W. 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. European Journal of Agronomy, 25: 202-207. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002

Alizadeh Y, Koucheki A, and Nasiri Mahallati M. 2009. Effect yield, and potential yield components and weed control two plant in intercropping bean (*Phaseolus vulgaris*) seed basil (*Ocimum basilicum*). Iranian Journal of Field Crops Research, 7: 533-541. (In Persian with English Abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20081472.1388.7.2.21.1

Asadi GA, and Khorramdel1 S. 2013. Effects of different ratio of barley and hairy vetch intercropping on yield, plant nitrogen content, weed population and diversity. Crop Production, 7: 131-156. (In Persian with English abstract)

Asadi-Sanam S, Zavareh M, Pirdashti H, Sefidkon F and Nematzadeh GA. 2019. Evaluation of phytochemical properties of purple coneflower [*Echinacea purpurea* (L.) Moench] flowers in intercropping with green beans and different summer time planting dates. Iranian Journal of Horticultural Science, 50: 61-76.

Azizi G. 2009. Evaluation of nutrient resource and crop diversity interaction on agrobiodiversity in different mixed cropping systems. PhD Thesis, faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract).

Banik P, Midya A, Sarkar BK and Ghose SS. 2006. Wheat and chick ped intercropping systems in additive series experiment: advantages and smothering. European Journal Agronomy, 24: 324-332. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010

Deveikyte I, Kadziuliene Z and Sarunait L. 2009. Weed suppression ability of spring cereal crops and peas in pure and mixed stands. Agronomy Research, 7: 239-244.

Gomez P and Gurevitch J. 2005. Weed community responses in a corn- soybeen intercrop. Opulus Press, 1: 281-288. http://dx.doi.org/10.2307/1478958

Hamzei J and Seyedi M. 2017. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Yield performance under additive intercropping with Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and different tillage systems. Journal of Agroecology, 10(2): 416-429. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.54047

Hauggaard-Nielsen H, Andersen MARK, Bjornsgaard B and Jensen ES. 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea-barley intercrops. Field Crops Research, 95: 256-267. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.03.003

Hemayati S, Siadat A and Sadeghzadeh F. 2002. Evaluation of intercropping of two corn hybrids in different densities. Iranian Journal of Agriculture Sciences, 25: 73-87. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2015.56805

Javanshir A, Dabagh Mohammadi Nasab A, Hamidi A and Qolipour M. 2000. Ecology of mixed cropping (translation). Jihad University Press, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Abstract).

Khan MA, witzk-Eberechts Maass BL and Beeker HC. 2003. Evaluation of a world wide collection of safflowers for morphological diversity and Fatty acid composition. Technological and Institutional in novations for sustainnable. rural development. Deutscher tropentage, Gottingen.

Liebman M and Dyck E. 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. Journal of applied Ecology, 3: 92-122. https://doi.org/10.2307/1941795

Makinde EA, Ayoola OT and Makinde EA. 2009. Intercropping leafy greens and maize onweed infestation, crop development, and yield. International Journal Vegetable Science, 15: 402-411. https://doi.org/10.1080/19315260903047371

Mao L, Zhang, L, Li W, Werf WVD, Sun J, Spiertz H and Li L. 2012. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. Field Crops Research, 138: 11-20. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.019

Mirshekari B. 2010. Yield and harvest index of sunflower (Helianthus annus) grown by a monocultur system in competition with redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). Agro ecology Journal, 6(8), 73-88. (In Persian with English abstract)

Mohammaddoust Chamanabad HR and Bakhshi M. 2016. Study of effective morpho-physiological characteristics on wheat competitive ability against weeds. Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 26(1): 57-66. (In Persian with English Abstract).

Mohammadi H. 2002. The effect of plant density on physiological characteristics, yield and yield components of chickpea cultivars (*cicer arietinum* L.). M.S.c Thesis, University of Tehran, Karaj – Iran.

Nikdel H, Shafagh J, Nasrollahzadeh S, Raee Y, and Kanouni H. 2023. Evaluation of performance and ecological indicators of intercropping of chickpeas with urban chickpeas in the dry conditions of Saqez city. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 33(3): 303-321. https://doi.org/10.22034/saps.2023.56348.3033

Pouramir F, Koocheki A, Nasiri Mahallati M, and Ghorbani R. 2010. Evaluating yield and yield components of sesame and pea intercropping replacement series. Iranian Journal of Agricultural Research, 8(5): 747-757. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i2.30942

Rabiee M and Farahdahr F. 2020. Evaluation of yield and advantages of *Forage legumes* with cereals intercropping as second crop in paddy fields. Plant Production, 43(3): 363-374. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22055/ppd.2019.27838.1689

Rezvani Moghadam P, and Moradi RA. 2011. Effects planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil content of cumin and fenugreek. Iranian Journal of Field Crop Science, 43: 217-230. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2012.28484

Shafagh-Kolvanagh J, Mokhtariyan R, Amani and Nasrollahzade S. 2023. Effect of weed control methods on seed yield and yield components of dragon's head (*Lallemantia iberica* F. & C.M.). Iranian Journal of Crop Sciences, 25(1): 88-100. (In Pe rsian with English Abstract).

Samarajeewa KBDP, Takatsugu H and Shinyo O. 2006. Finger millet (*Eleucine crocanal* L. *Gearth*) as a cover crop on weed control, growth and yield of soybean under different tillage systems. Soil and Tillage Research, 90: 93-99. https://doi.org/10.1016/j.still.2005.08.018

Tuna C, and Orak A, 2007. The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Viciasativa* L.) /Oat (*Avena sativa* L.) cultivated in pure stand and mixtures. Journal of Agricultural and Biological Science, 2: 14-19.

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 183-193

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

Effects of Foliar Spraying with different Concentration of kaolin on Flowering and Fruit Set of six Commercial Olive Cultivars under Warm Climatic Conditions

Rahmatallah Gholami[1*], Abuzar Hashempour[2], Isa Arji[3] and Hajiamiri, Abolmohsen[4]

Received: 19 April 2023	Accepted: 09 November 2023

1-Assoc. Prof., Crop and Horticultural Science Research Dept,, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.
2-Assist. Prof., Dept. of Post-harvest Physiology and Technology, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran.
3-Assoc. Prof., Dept., of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
4-Research, Crop and Horticultural Science Research Dept, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.
*Corresponding Author Email: gholami.rahmat@yahoo.com

Abstract

Background and Objectives: The warm and dry conditions of the olive growing areas in Kermanshah province have nterruptionsthe biology of olive cultivars in these areas, reducing the percentage of fruit formation and yield of olive cultivars in these areas. Therefore, the aim of this experiment was to investigate the effects of kaolin foliar application on flower characteristics and fruit formation of six commercial olive cultivars under field conditions.

Materials and Methods: This experiment was performed during 2017 and 2019 in the Dalaho Olive Research Station of kermashah province as a factorial experiment based on completely randomized block design with three replications. The first factor was kaolin as foliar spraying at three levels (kaolin in concentrations of zero as control, 2 and 4%, in mid-July and August (due to warm and dry weather during this period). The second factor was six Cultivar of olive cultivars, including Amphisis, Seville, Roughani, Manzanillo, Konservolia and Zard .

Results: The results showed that the reaction of studied olive cultivars to foliar spraying of different levels of kaolin was different, so that the highest percentage of fruit formation was obtained in Konservolia and Zard cultivars with foliar spraying of 4% kaolin, and the lowest percentage of fruit formation was obtained in Roughani varieties and It was obtained without spraying kaolin.

Conclusion. In all studied cultivars, kaolin foliar application improved the measured traits. Therefore, by using kaolin foliar spray, due to the property of reflecting light and reducing the temperature load of trees and maintaining freshness and humidity of olive trees, in two stages of fruit growth, it is possible to improve the state of flowering and fruit formation in different olive cultivars in the regions. Warm and semi-warm.

Keywords: *Olea europaea* L., Varieties, Kaolin, Warm Climate

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Rahmatallah Gholami, Email: gholami.rahmat@yahoo.com
http://doi.org/10.22034/saps.2023.56257.3027

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۱۹۳-۱۸۳

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثرات محلول‌پاشی برگی با غلظت‌های مختلف کائولین بر ویژگی‌های گل و تشکیل میوه شش رقم تجاری زیتون در شرایط گرم

رحمت اله غلامی[۱*]، ابوذر هاشم پور[۲]، عیسی ارجی[۳]، ابوالمحسن حاجی امیری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۸

۱-دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه ایران.
۲- استادیار گروه فیزیولوژی و فناوری پس از برداشت، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴- مربی بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: gholami.rahmat@yahoo.com

چکیده

مقدمه و اهداف: وجود شرایط گرم و خشک مناطق پرورش زیتون در استان کرمانشاه باعث شده که در بیولوژی ارقام زیتون موجود در این مناطق اخلال ایجاد شده و باعث کاهش میزان درصد تشکیل میوه و عملکرد ارقام زیتون در این مناطق گردد. بنابراین هدف این آزمایش بررسی اثرات محلول‌پاشی کائولین بر ویژگی‌های گل و تشکیل میوه شش رقم تجاری زیتون در شرایط مزرعه بود.

مواد و روش ها: پژوهش حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار وسه فاکتور (سال، غلظت‌های کائولین و ارقام زیتون) در سال ۱۳۹۶ به مدت سه سال در شرایط مزرعه اجرا گردید که در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ ویژگی‌های گل و تشکیل میوه ثبت گردید. دو مرحله محلول‌پاشی کامل درختان زیتون با کائولین در اواسط تیر و مرداد (با توجه به هوای گرم و خشک در این مدت)، در غلظت‌های صفر به عنوان شاهد (محلول‌پاشی با آب) و ۲ و ۴ درصد انجام گرفت. مواد آزمایشی این تحقیق درختان بالغ شش رقم از ارقام زیتون شامل آمفی‌سیس، سویلانا، روغنی، مانزانیلا، کنسروالیا و زرد بودند. هر واحد آزمایشی شامل دو درخت بود.

نتایج: نتایج نشان داد که واکنش ارقام زیتون مورد مطالعه به محلول‌پاشی سطوح مختلف کائولین، متفاوت بود، به‌طوری‌که بیشترین درصد تشکیل میوه درارقام کنسروالیا و زرد همراه محلول‌پاشی۴ درصد کائولین حاصل شد و کمترین درصد تشکیل میوه در رقم روغنی و بدون محلول‌پاشی کائولین حاصل شد. در تمامی ارقام مورد مطالعه محلول‌پاشی کائولین باعث بهبود صفات اندازه‌گیری شده، گردید

نتیجه گیری: با استفاده از محلول‌پاشی کائولین با توجه به خاصیت انعکاس نور و کاهش بار دمایی درختان و حفظ شادابی و رطوبت درختان زیتون، در دو مرحله رشدی میوه می‌توان باعث بهبود وضعیت گل‌دهی و تشکیل میوه در ارقام مختلف زیتون در مناطق گرم و نیمه گرم کشورگردید.

واژه های کلیدی: ارقام، زیتون، کائولین، کلیمای گرم

مقدمه

زیتون (*Olea europaea* L.) درختی همیشه سبز و بومی شرایط آب و هوایی مدیترانه در نواحی نیمه خشک می‌باشد. زیتون یکی از مهمترین محصولات دنیا است که تقریبا با ۱۰/۲ میلیون هکتار در ۴۷ کشور دنیا گسترده شده است (فائو ۲۰۲۰). در ایران، سطح زیر کشت زیتون، ۷۸ هزار هکتار است که از این باغات، ۲ درصد، باغات با تراکم بالا؛ ۶ درصد، باغات سنتی؛ ۴۲ درصد باغات متراکم و ۵۰ درصد باغات سطح شیب‌دار هستند (بی نام ۲۰۲۰). شرایط آب و هوایی مدیترانه با بارندگی کم، گرمای زیاد و میزان تشعشعات بالا در طول فصل رشد مشخص می‌شود. شرایط محیطی اثر معنی‌داری بر میزان رشد، فیزیولوژی و عملکرد گیاهان دارد (روسوس و همکاران ۲۰۱۰) .

وجود شرایط گرم و خشک در مناطق پرورش زیتون کشور باعث شده که در بیولوژی ارقام زیتون موجود در این مناطق اخلال ایجاد شده و باعث کاهش میزان درصد روغن و عملکرد ارقام زیتون گردد. دمای بالا در طی مراحل رشد میوه باعث شده که رشد میوه‌ها به حداکثر مقدار خود نرسد و از طرفی تجمع روغن ارقام زیتون در این مناطق پایین باشد. مقدار تجمع روغن در میوه زیتون تا حد زیادی تحت تاثیر نوسانات دمایی است و افزایش دما از ۱۶ تا ۳۲ درجه سانتیگراد سبب کاهش مقدار روغن می‌گردد (بورگس و همکاران ۲۰۱۷). دماهای بیش از ۲۵ درجه سانتیگراد باعث کاهش معنی‌دار وزن تر میوه و مقدار روغن زیتون خواهند شد (گارسیا–اینزا و همکاران ۲۰۱۸).

میزان دما در طی ماه‌های تابستان از اواخر خرداد ماه تا اواخر شهریور ماه به بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و میزان حداقل رطوبت در همان زمان‌ها بین ۱۰ تا ۱۵ درصد، می‌رسد؛ در چنین شرایطی تنها برخی ارقام کنسروی تا حدی سازگاری دارند. از طرفی با توجه به احداث باغات زیتون و پایین‌بودن میزان عملکرد برخی ارقام کشت‌شده در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری و نیز پایین‌بودن درصد روغن در ارقام روغنی و با توجه به اینکه تغییر ارقام و یا حذف درختان زیتون برای باغداران منطقه هزینه بر و زمان بر می‌باشد لذا این تحقیق به‌منظور استفاده از مزایای کائولین در شرایط مزرعه در شش رقم زیتون صورت گرفت (برمه و همکاران ۲۰۱۱).

در درختان زیتون کائولین با کاهش اثرات نامطلوب نور شدید مستقیم بر اندام‌های گیاهی و دمایی از طریق انعکاس تشعشعات نوری و پایین آوردن دمای برگ اثر مثبتی بر روابط آبی و رفتار روزنه‌ای درختان می‌گذارد. ارقام زیتون کایلیته و بلیدی در مقایسه با میشن و کنسروالیا در شرایط استفاده از کائولین، ویژگی‌های فیزیولوژیکی بهتری داشتند (برمه و همکاران ۲۰۱۱). کاربرد کائولین در زیتون به شکل معنی‌داری اثرات مضر تنش‌های محیطی را کاهش می‌دهد و سبب بالارفتن میزان عملکرد می‌شود (بریتو و همکاران ۲۰۱۸). عملکرد فیزیولوژیکی و متابولیکی و ایجاد تحمل نسبت به تنش سبب می‌گردد تا کائولین عملکرد محصول و عملکرد روغن و ثبات اکسیداتیو را افزایش و شاخص پراکسید را کاهش بدهد (بریتو و همکاران ۲۰۲۱).

از آنجای‌که چندین فاکتور محیطی مانند خشکی، شوری، دمای زیاد و تشعشعات بالا اثرات متنوعی بر رشد و نمو گیاهان دارند، مواد مختلفی به صورت مصرف خارجی به منظور کاهش اثرات منفی آنها به کار برده می‌شود. ترکیبی که عموماً استفاده می‌شود، رس کائولین می‌باشد که دمای تاج درختان را کاهش و در پی آن تنش دمایی و خسارات آفتاب سوختگی را کاهش می‌دهد. همچنین کائولین به‌عنوان حشره‌کش بیولوژیکی با نتیجه خوبی بر علیه مگس میوه زیتون و سایر آفات به کار برده می‌شود (دناکس و همکاران ۲۰۱۲).

کائولین، باعث افزایش در انعکاس شدت نور رسیده به سطح برگ شده و بدین طریق بار گرمایی درخت را کاهش داده، و میزان عملکرد درخت را افزایش می‌دهد (گلن و پتروکا ۲۰۰۵). در پژوهش فرازمند و همکاران (۲۰۱۵) به‌منظور کاهش مصرف سموم شیمیایی در باغات پسته، کارآئی کائولین فرآوری شده بر درختان پسته در چهار استان خراسان رضوی، خراسان جنوبی، سمنان و قم مورد بررسی قرار گرفت.

سه مرحله محلول پاشی کامل درختان پسته با کائولین، غلظت‌های ۳ و ۵ درصد، از اواسط اردیبهشت تا تیر با فواصل یک ماه، انجام گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده، میزان آلودگی پوره پسیل پسته، پس از سه مرحله محلول‌پاشی، در درختان محلول پاشی شده با کائولین ۵ درصد کاهش یافت.

نشان داده شده است که استفاده از کائولین باعث کاهش صدمات ناشی از دمای بالا، آفتاب سوختگی و آفات در برخی از ارقام زیتون (خالقی و همکاران ۲۰۱۵)، انار (ورکودی و همکاران ۲۰۱۰)، سیب (گلن ۲۰۱۰)، انگور (فیسال و همکاران ۲۰۱۱)، گردو و بادام (روستایی و همکاران ۲۰۰۶) شده و باعث بهبود رنگ میوه، افزایش بازارپسندی و کیفیت این میوه‌ها می‌گردد.

با توجه به لزوم بهبود وضعیت گلدهی و تشکیل میوه ارقام مختلف زیتون و نظر به نقش محلول‌پاشی کائولین در انعکاس نور خورشید و کاهش بار حرارتی درخت و در نتیجه فراهم نمودن امکان کاهش مصرف آب، این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی کائولین بر بهبود خصوصیات گل و تشکیل میوه ارقام زیتون در شرایط مزرعه در ایستگاه تحقیقات زیتون دالاهو شهرستان سرپل‌ذهاب، با توجه به شرایط دمای بالا و از طرفی رطوبت پایین هوا که در بیولوژی گل ارقام زیتون موجود در این مناطق اخلال ایجاد کرده و باعث کاهش رشد میوه‌ها خواهد شد، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از خردادماه سال ۱۳۹۶ به مدت سه سال به صورت آزمایش فاکتوریل (سال، ارقام زیتون و غلظت‌های کائولین) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد که در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ ویژگی‌های گل و تشکیل میوه ثبت گردید. فاصله کشت درختان ۶×۶ متر و هر واحد آزمایشی شامل دو درخت بود. مواد آزمایشی این تحقیق درختان بالغ شش رقم زیتون شامل ارقام آمفی‌سیس، سویلانا، روغنی، مانزانیلا، کنسروالیا و زرد بودند. دو مرحله محلول-پاشی کامل درختان زیتون در غلظت‌های صفر به عنوان شاهد و ۲ و ۴ درصد، در اواسط تیر و مرداد (با توجه به هوای گرم و خشک در این مدت)، با کائولین درغلظت‌های ذکرشده همراه با توئین۲۰ با غلظت نیم در هزار انجام شد (کاوند و همکاران ۲۰۱۶؛ قنبر پور و همکاران ۲۰۱۹) و اثرات آن بر خصوصیات گل و تشکیل میوه ارقام زیتون موردآزمایش در یک دوره سه‌ساله که در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ ویژگی‌های گل و تشکیل میوه مورد ارزیابی قرار گرفت. اقلیم منطقه، گرمسیری با حداکثر مطلق دمای ۴۷/۲۳ درجه سانتی-گراد، و متوسط دمای سالیانه ۲۱/۱ درجه سانتی‌گراد و نیز متوسط بارندگی ۵۷۸/۱۶ میلی‌متر بود. مبارزه با علف‌های هرز به صورت مکانیکی و شیمیایی صورت گرفت. طوری‌که بین ردیف‌ها با تراکتور شخم زده شد و روی ردیف‌ها با علف‌کش گراماکسون (پاراکوات) با غلظت ۲ در هزار سم‌پاشی شد. کلیه مراقبت‌های زراعی شامل آبیاری، وجین، کوددهی به‌طور یکنواخت در مورد همه درختان اجرا شد. کیفیت خاک و آب آبیاری به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. شکل ۱ محلول‌پاشی ارقام زیتون را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در ایستگاه دالاهو(آزمایشگاه خاک‌شناسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه)

عمق خاک (cm)	درصد سیلت (%)	درصد شن (%)	پتاسیم قابل‌جذب (ppm)	فسفر قابل‌جذب (ppm)	ازت کل (%)	کربن آلی (%)	کربنات کلسیم (%)	اسیدیته خاک
۳۰-۰	۴۴	۲۴	۳۲۲	۱۱/۸۲	۰/۱۸	۱/۹۴	۳۳	۷/۳۱
۶۰-۳۰	۳۷	۲۷	۱۰۱	۶/۳	۰/۰۶	۱/۲۱	۳۵	۷/۴۹

شکل ۱- محلول‌پاشی ارقام زیتون در ایستگاه تحقیقات زیتون دالاهو شهرستان سرپل‌ذهاب

جدول ۲- مشخصات آب محل آزمایش (آزمایشگاه خاک‌شناسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه).

کربنات	بیکربنات	کلر	سولفات	کلسیم	سدیم	اسیدیته آب
		(mEq/L)				
۰/۰	۴/۵۹	۰/۳۱	۱/۸۹	۶/۶۱	۰/۱۹	۷/۲۹

جهت بررسی وضعیت گلدهی ارقام زیتون مورد مطالعه در شرایط مزرعه، تعداد پنج شاخه در جهت‌های مختلف درخت در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انتخاب و بر این اساس تعداد گل‌آذین در شاخه، تعداد گل در گل‌آذین، طول گل‌آذین، تعداد گل کامل در گل-آذین، طول شاخه گلدهنده، تعداد میوه در شاخه، تعداد گل کامل در شاخه و درصد تشکیل میوه (یک ماه قبل از برداشت محصول) بر اساس گل کامل در شاخه محاسبه گردید (شورای بین مللی زیتون ۲۰۰۲).

سپس عملیات آماری تجزیه واریانس با نرم افزار Mstatc و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که اثر رقم وغلظت کائولین بر صفات تعداد گل‌آذین در شاخه، تعداد گل در گل‌آذین، طول گل‌آذین، تعداد گل کامل در گل‌آذین، طول شاخه گلدهنده، تعداد میوه در شاخه، تعداد گل کامل در شاخه و درصد تشکیل میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید.

تعداد گل‌آذین در شاخه

تعداد گل‌آذین در شاخه تحت تاثیر رقم و غلظت کائولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در ارقام زیتون مورد مطالعه، از نظر تعدادگل‌آذین در شاخه، بیشترین مقدار مربوط به رقم کنسروالیا با ۵۲/۶۵ تعداد و کمترین مقدار مربوط به رقم روغنی با ۳/۴۳ تعداد گل‌آذین در شاخه بود. با افزایش غلظت کائولین، تعدادگل‌آذین در شاخه نیز افزایش یافت (جدول۳).

تعداد گل در گل‌آذین

تعداد گل در گل‌آذین تحت تاثیر رقم و غلظت کائولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. تعداد گل در گل‌آذین در ارقام کنسروالیا، زرد، مانزانیلا و سویلانا بیشتر از ارقام روغنی و آمفی‌سیس بود(جدول۳). بین غلظت‌های مختلف کائولین از نظر تعداد گل درگل‌آذین تفاوت معنی‌دار وجود داشت به-طوری‌که، تیمار۴ درصد محلول‌پاشی کائولین باعث افزایش تعداد گل در گل‌آذین گردید (جدول۳).

طول گل‌آذین

طول گل‌آذین تحت تاثیر رقم و غلظت کائولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید.. مقایسه میانگین‌های صفت فوق نشان داد، بیشترین مقدار طول

گل‌آذین در رقم کنسروالیا با۷۴ /۱۴ سانتی‌متر و تیمار ۴ درصد محلول‌پاشی کائولین حاصل شد و کمترین مقدار طول گل‌آذین با ۰/۹۶ سانتی‌متر در رقم روغنی مشاهد شد. محلول‌پاشی کائولین باعث افزایش طول گل‌آذین در ارقام مورد مطالعه گردید. بین غلظت‌های مختلف کائولین، بیشترین مقدار طول گل‌آذین مربوط به تیمار۴ درصد محلول‌پاشی کائولین بود و تیمار شاهد و ۲ درصد محلول‌پاشی کائولین دارای کمترین مقدار طول گل‌آذین بودند (جدول۳).

جدول۳- مقایسه میانگین اثر سال، رقم و غلظت کائولین بر وضعیت گلدهی ارقام زیتون مورد پژوهش

تیمار	تعداد گل‌آذین در شاخه	تعداد گل در گل آذین	طول گل-آذین (cm)	تعداد گل کامل در گل‌آذین	طول شاخه گلدهنده (cm)
سال					
۱۳۹۷	۲۱/۹۲^{a}	۱۲/۹۹^{a}	۶/۱۳^{a}	۳/۲۹^{a}	۱۴/۱۴^{b}
۱۳۹۸	۲۲/۳۵^{a}	۱۳/۲۴^{a}	۶/۲۵^{a}	۳/۴۱^{a}	۱۴/۹۷^{a}
ارقام زیتون					
آمفی‌سیس	۱۲/۹۵^{d}	۸/۱۸^{b}	۳/۶۲^{d}	۱/۸۴^{d}	۱۰/۰۰^{b}
سویلانا	۲۰/۹۸^{bc}	۱۵/۵۰^{a}	۵/۸۷^{bc}	۲/۹۳^{bc}	۱۶/۷۵^{a}
روغنی	۳/۴۳^{e}	۷/۰۸^{c}	۰/۹۶^{e}	۲/۰۳^{d}	۸/۸۳^{b}
مانزانیلا	۲۳/۳۳^{b}	۱۵/۸۷^{a}	۶/۵۳^{b}	۳/۱۹^{b}	۱۷/۱۵^{a}
کنسروالیا	۵۲/۶۵^{a}	۱۶/۱۳^{a}	۱۴/۷۴^{a}	۷/۳۹^{a}	۱۷/۴۲^{a}
زرد	۱۹/۴۵^{c}	۱۵/۹۲^{a}	۵/۴۴^{c}	۲/۷۲^{c}	۱۷/۲۰^{a}
غلظت کائولین					
صفر	۱۹/۰۳^{b}	۱۱/۷۹^{c}	۵/۳۳^{b}	۲/۸۰^{c}	۱۳/۱۳^{c}
۲ درصد	۲۱/۵۳^{b}	۱۳/۲۷^{b}	۶/۰۲^{b}	۳/۳۰^{b}	۱۴/۶۶^{b}
۴ درصد	۲۵/۸۴^{a}	۱۴/۲۸^{a}	۷/۲۳^{a}	۳/۹۶^{a}	۱۵/۸۷^{a}

میانگین‌های دارای حروف یکسان در سطوح هر فاکتور برای هر صفت، در سطح احتمال یک درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

تعداد گل کامل در گل‌آذین

تعداد گل کامل در گل‌آذین تحت تاثیر رقم وغلظت کائولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در رقم کنسروالیا تعداد گل کامل در گل‌آذین به تعداد ۷/۳۹ بیشتر از بقیه ارقام مورد مطالعه در این پژوهش بود. بین غلظت‌های مختلف کائولین از نظر تعداد گل کامل در گل‌آذین تفاوت معنی‌دار وجود داشت به‌طوری‌که، تیمار۴ درصد محلول‌پاشی کائولین باعث افزایش تعداد گل کامل در گل‌آذین ارقام زیتون مورد پژوهش گردید (جدول۳).

طول شاخه گلدهنده

طول شاخه گلدهنده تحت تاثیر سال، رقم و غلظت کائولین در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل سال در رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. طول شاخه گلدهنده در ارقام کنسروالیا، زرد، مانزانیلا و سویلانا بیشتر از ارقام روغنی و آمفی‌سیس بود. در ارقام مورد مطالعه با افزایش میزان غلظت کائولین، طول شاخه گلدهنده نیز افزایش یافت (جدول۳). از طرفی کمترین طول شاخه گلدهنده در سال اول اجرای آزمایش و در رقم روغنی به مقدار ۷/۳۵ سانتی-متر مشاهده گردید (جدول۵).

تعداد میوه در شاخه

تعداد میوه در شاخه تحت تاثیر رقم و غلظت کائولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. بین

غظت صفر و ۲ درصد محلول‌پاشی کائولین از نظر تعداد میوه در شاخه اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول۴). از نظر صفت تعداد میوه در شاخه بیشترین مقدار در رقم کنسروالیا به تعداد ۶۶/۳۸ میوه در شاخه بود و بقیه ارقام در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول۴).

تعداد گل کامل در شاخه

تعداد گل کامل در شاخه تحت تاثیر رقم و غلظت کائولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. با افزایش غلظت کائولین، تعداد گل کامل در شاخه افزایش یافت هر چند اختلاف معنی‌دار بین غظت صفر و ۲ درصد محلول‌پاشی کائولین از نظر تعداد گل کامل در شاخه وجود نداشت (جدول۴).

درصد تشکیل میوه

درصد تشکیل میوه تحت تاثیر رقم و غلظت کائولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. از نظر درصد تشکیل میوه، اختلاف معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه وجود داشت به‌طوری‌که بیشترین درصد تشکیل میوه در رقم کنسروالیا به مقدار ۱۵/۹۴ و زرد به مقدار۱۷/۹۲درصد و کمتری درصد تشکیل میوه در رقم روغنی به مقدار ۵/۹۷ مشاهد گردید (جدول۴). درارقام مورد مطالعه، با افزایش غلظت کائولین درصد تشکیل میوه افزایش یافت (جدول۴).

جدول۴- مقایسه میانگین دو ساله اثر سال، رقم و غلظت کائولین بر صفات تعداد میوه در شاخه، تعداد گل کامل در شاخه و درصد تشکیل میوه ارقام زیتون مورد پژوهش

تیمار	تعداد میوه در شاخه	تعداد گل کامل در شاخه	درصد تشکیل میوه
سال			
۱۳۹۷	۱۶/۴۹^{a}	۱۰۵/۳۷^{a}	۱۰/۸۴^{a}
۱۳۹۸	۱۴/۸۸^{a}	۱۰۵/۹۸^{a}	۱۱/۹۷^{a}
ارقام زیتون			
آمفی‌سیس	۲/۳۴^{b}	۲۶/۲۱^{cd}	۷/۷۸^{bc}
سویلانا	۷/۰۹ ^{b}	۶۳/۵۰^{bc}	۱۰/۸۳^{b}
روغنی	۰/۶۵ ^{b}	۸/۵۵^{d}	۵/۹۷^{c}
مانزانیلا	۷/۶۱ ^{b}	۷۵/۸۸ ^{b}	۹/۹۸^{b}
کنسروالیا	۶۶/۳۸^{a}	۳۹۷/۶۵^{a}	۱۵/۹۴^{a}
زرد	۱۰/۰۳ ^{b}	۶۲/۲۶^{bc}	۱۷/۹۲^{a}
غلظت کائولین			
صفر	۷/۷۱ ^{b}	۸۳/۵۶^{b}	۶/۴۲^{c}
۲ درصد	۱۴/۸۷^{b}	۱۰۰/۷۸^{b}	۱۲/۶۳^{b}
۴ درصد	۲۴/۴۹^{a}	۱۳۲/۶۸^{a}	۱۵/۱۷^{a}

میانگین‌های دارای حروف یکسان در سطوح هر فاکتور برای هر صفت، در سطح احتمال یک درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

جدول ۵- مقایسه میانگین دو ساله اثر متقابل سال و رقم بر طول شاخه گلدهنده

سال	رقم	طول شاخه گلدهنده (cm)
۱۳۹۷	آمفی‌سیس	۸/۷۷^{bc}
	سویلانا	۱۷/۱۰^{a}
	روغنی	۷/۳۵^{c}
	مانزانیلا	۱۷/۰۰^{a}
	کنسروالیا	۱۷/۵۵^{a}
	زرد	۱۷/۱۰^{a}
۱۳۹۸	آمفی‌سیس	۱۱/۲۲^{b}
	سویلانا	۱۶/۴۰^{a}
	روغنی	۱۰/۳۲^{bc}
	مانزانیلا	۱۷/۳۰^{a}
	کنسروالیا	۱۷/۳۰^{a}
	زرد	۱۷/۳۰^{a}

میانگین‌های دارای حروف یکسان در سطوح هر فاکتور برای هر صفت، در سطح احتمال یک درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

گل‌انگیزی در زیتون بستگی به عوامل درونی و بیرونی دارد. مطالعات نشان می‌دهد که گل انگیزی در زیتون در خرداد - تیر ماه قبل از شروع سخت شدن هسته می‌باشد. تشکیل و رشد نمو گل ابتدا با مرحله گل‌انگیزی است که یک نوع تغییر در بیان ژن‌های موجود در جوانه برای تشکیل ساختار جوانه زایشی می‌باشد. مرحله بعد گل‌آغازی است زمانی که ساختار جوانه زایشی را می‌توان با میکروسکوپ مشاهده کردکه این مرحله در پاییز صورت می‌گیرد. در نهایت مرحله تمایز که در آن جوانه برای تشکیل اندام‌های گل رشد می‌نماید که این مرحله در اواخر زمستان صورت خواهد گرفت (راپوپرت و همکاران ۲۰۱۲).

با افزایش تشعشعات خورشیدی، پتانسیل تبخیر به دلیل ایجاد تفاوت فشار بخار بین برگ و هوا بالا رفته و اسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن کم می‌شود. کائولین با افزایش میزان انعکاس تشعشع اضافه (فرابنفش، مرئی و فروسرخ) در گرما خطر آسیب برگی و میوه را کم می‌کند (گلن و همکاران ۲۰۰۵). کائولین با انعکاس نور خورشید از سطح برگ، دمای برگ و میزان تبخیر و تعرق را از برگ و میوه کاهش می‌دهد (جفون و سیفوستن ۲۰۰۳). با کاهش میزان تبخیر و تعرق و حفظ آب در میوه و برگ، زمینه رشد فراهم می‌شود. علاوه بر حفظ تورژسانس سلولی، کائولین دمای برگ را کاهش می‌دهد. این کاهش دمای برگ هم باعث کاهش اثر تنش اکسیداتیو و جلوگیری از نابودی مولکول‌های آلی مهم همچون کلروفیل توسط اکسیژن‌های فعال شده و هم زمینه را برای فتوسنتزی کارامد فراهم می‌کند. زیرا جلوگیری از بالارفتن درجه حرارت در برگ‌ها نقشی حیاتی برای حفاظت از فعالیت تثبیت کربن دارد (کریمی و همکاران ۲۰۱۵). آنزیم روبیسکو با ترکیب‌شدن با اکسیژن و دی‌اکسیدکربن به ترتیب سبب آغاز فرایندهای تنفس نوری و فتوسنتز می‌شود. گرچه سرعت واکنش آنزیم با افزایش دما بیشتر می‌شود اما افزایش دما سبب کاهش میل ترکیبی آنزیم روبیسکو با دی‌اکسیدکربن و کاهش حلالیت دی‌اکسیدکربن شده و زمینه را برای آغاز فرایند تنفس نوری فراهم می‌کند (میشل و همکاران ۲۰۰۴).

درجه حرارت اثر بسیار مهمی بر وضعیت گلدهی درخت زیتون دارد. بهترین دمای گرده‌افشانی و تلقیح ۲۰ تا۲۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود(مالیک و همکاران۲۰۱۱). طول دوره گلدهی به درجه حرارت محیط بستگی تام دارد. به‌طوری‌که در آب و هوای گرم به‌ویژه در مناطقی که شب‌های گرم دارند. باز شدن گل-ها سریعتر انجام می‌شود. گل‌دهی در طول ۲ تا ۴ روز

کامل می‌شود. اما درآب و هوای خنک گل‌دهی ممکن است ۲ تا ۳ هفته به‌طول انجامد. یکی از مهمترین عوامل محدود کننده خود سازگاری ارقام درجه حرارت بالا می‌باشد. خود عقیمی و نیاز به دگرگرده افشانی در بیشتر ارقام زیتون به مقدار زیادی به درجه حرارت محیط رشد آنها بستگی دارد. هرگاه دمای محیط در زمان گل دهی از ۲۴ درجه سانتی گراد فراتر رود. به علت کوتاه شدن طول دوره گل‌دهی و طول دوره موثر گرده‌افشانی بسیاری از گل‌ها قبل از لقاح خواهند ریخت و میوه‌های زیادی تشکیل نخواهد شد. هوای گرم و دمای بالا بر خصوصیات فنولوژی گل در درخت زیتون تاثیر دارد(مالیک و همکاران۲۰۱۱).

بنابراین کائولین با کاهش دمای برگ به طور غیرمستقیم سبب افزایش فتوسنتز می‌شود. ماده خشک تولید شده در فتوسنتز در طی زمان علاوه بر این که به مصرف رشد گیاه می‌رسد به میوه‌ها جهت ذخیره‌شدن انتقال یافته و در آن‌جا ذخیره می‌شود. افزایش نسبت گوشت به هسته هم به تأثیرات آب و هوا و هم به خصوصیات ژنتیکی رقم بستگی دارد (برمه و همکاران ۲۰۱۳).

با توجه به اینکه در این پژوهش در سال دوم و سوم اجرای آن اقدام به ثبت اطلاعات مربوط به ویژگی-های گل گردید و چون گل‌انگیزی در سال قبل یا سال اول آزمایش همزمان با محلول‌پاشی کائولین و در نتیجه حفظ رطوبت و شادابی درختان از طریق محلول-پاشی کائولین صورت گرفته است پس در سال دوم و سوم ویژگی‌های گل تحت تاثیر حفظ رطوبت درخت در اثر محلول‌پاشی کائولین قرار گرفته است. از آنجائی‌که میزان حفظ آب در تشکیل گل و گل‌آذین تاثیر گذار است لذا در صفات مربوط به گل مانند تعداد گل‌آذین در شاخه، تعداد گل در گل‌آذین، طول گل‌آذین، تعداد گل کامل در گل‌آذین، طول شاخه گلدهنده، تعداد میوه در شاخه، تعداد گل کامل در شاخه و درصد تشکیل میوه در این پژوهش افزایش معنی‌دار در مقایسه با شاهد مشاهده گردید.

مزگانی و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که میزان آب آبیاری به طور قابل توجهی روی گلدهی و تشکیل میوه اثر گذاشت. مورینو و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که در مرحله گلدهی و تشکیل میوه به علت بالا بودن تقسیم سلولی، مراحل فنولوژیکی بسیار حساس به تنش خشکی می باشد. زمان‌های مختلف کمبود آب اثرات متفاوتی بر روی صفات اندازه‌گیری شده، داشتند. به‌طوری‌که کمبود آب در زمان توسعه گل و گل‌آذین، پارامترهای گلدهی از جمله تعداد گل و گل‌آذین، درصد گل کامل و توسعه تخمک را تحت تاثیر قرار داد و باعث عدم تشکیل گل‌آذین، کاهش تعداد گل در گل‌آذین و کاهش تعداد گل کامل گردید. با توجه به نتایج بدست آمده مقادیر صفات گل اندازه‌گیری شده در شش رقم زیتون بسته به نوع رقم با یکدیگر متفاوت بودند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که رقم کنسروالیا از نظر میزان گلدهی و تشکیل میوه وضعیت مناسبی داشت. همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که خصوصیات اندازه‌گیری شده ارقام زیتون تیمار شده با کائولین نسبت به ارقام تیمار نشده از مقادیر بالاتری برخوردار بود. همچنین مشخص شد که غلظت۴ درصد محلول‌پاشی کائولین در دو مرحله رشدی میوه ارقام زیتون سبب بهبود و افزایش پارامترهای گل و تشکیل میوه گردید، لذا پیشنهاد می گردد که به منظور تعدیل اثرات گرما و حفظ رطوبت درختان در مناطق گرم و نیمه گرم کشور در ارقام زیتون از کائولین با غلظت ۴ درصد استفاده گردد.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب پروژه تحقیقاتی به شماره مصوب ۹۶۱۰۱-۳۳-۵۵-۲ با استفاده از اعتبارات پژوهشی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی انجام شده و نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مسئولان و همکاران ایستگاه تحقیقات زیتون دالاهو شهرستان سرپل‌ذهاب به ویژه آقایان مهندس نجفی و پیرمرادی به خاطر کمک در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورداستفاده

Abdel Ghani NA, Ghalal MA, El Sayed ME, Samia M, El Marsafawy and Omran MA. 2013. Effect of spraying kaolin and calcium carbonate on the productivity of Aggizi and Pacual olive cvs. Journal of Plant Production, 4(7): 1035-1050. DOI:10.21608/jpp.2013.73713.

Anonymous. 2020. Olive Office of the Deputy Minister of Horticulture, Ministry of Jihad Agriculture.

Borges TH, Pereira JA, Cabrera-Vique C, Lara L, Oliveira AF and Seiquer I. 2017. Characterization of Arbequina virgin olive oils produced in different regions of Brazil and Spain: Physicochemical properties, oxidative stability and fatty acid profile. Food Chemistry, 215: 454-462. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.162.

Brito C, Dinis LT, Silva E, Goncalves A, Matos C, Rodrigues MA and Correia C. 2018. Kaolin and salicylic acid foliar application modulate yield, quality and phytochemical composition of olive pulp and oil from rainfed trees. Scientia Horticulturae, 237: 176-183. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.019.

Brito C, Dinis LT, Meijon M, Ferreira H, Pinto G, Moutinho-Pereira J and Correia C. 2018. Salicylic acid modulates olive tree physiological and growth responses to drought and rewatering events in a dose dependent manner. Journal of Plant Physiology, 230: 21-32. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.08.004.

Brito C, Goncalves A, Silva E, Martins S, Pinto L, Rocha L, Arrobas M, Rodrigues MA, Moutinho-Pereira J, Correia CM. 2021. Kaolin foliar spray improves olive tree performance and yield under sustained deficit irrigation. Scientia Horticulturae, 277, 109795. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109795.

Burme L, Moallemi N and Mortazavi SMH. 2011. Anti-transpiration effect of kaolin on some physiological traits of four olive cultivars. Journal of Crop Production and Processing, 1(1): 11-23. 20.1001.1.22518517.1390.1.1.6.9.

Burme L, Moallemi N and Mortazavi SMH. 2013. Effects of foliar application of kaolin on some qualitative and quantitative fruit features of four varieties of olive. Iranian Journal of Horticultural Science, 44(2): 161-168.

Denaxa NK, Roussos PA, Damvakaris T and Stournaras V. 2012. Comparative effects of exogenous glycine betaine, kaolin clay particles and Ambiol on photosynthesis, leaf sclerophylly indexes and heat load of olive cv. Chondrolia Chalkidikis under drought. Scientia Horticulturae, 137: 87-94. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.012.

Faissal FA, Mokhtar MS and Ahmed MK. 2011. Protecting crimson seedless grapevines growing in hot climates from sunburn. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 7 (1): 135-141.

FAO. 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division. Available at http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E.

Farazmand H, Hassanzadeh H, Sirjani M, Mohammadpour K, Moshiri A, Valizadeh SH and Jafari-Nodooshan A. 2015. Effect of kaolin clay (WP 95%) on oviposition deterrency of pistachio psylla, Agonoscena pistaciae Burckharat and Lauterer. Applied Entomology and Phytopathology Journal, 82(2): 137-146 (In Persian with English Abstract). 10.22092/jaep.2015.100700.

Garcia-Inza GP, Hall AJ and Rousseaux MC. 2018. Proportion of oleic acid in olive oil as influenced by the dimensions of the daily temperature oscillation. Scientia Horticulturae, 227: 305-312. DOI:10.1016/j.scienta.2017.09.030.

Ghanbarpour E, Rezaei M and Lawson SS. 2019. Reduction of cracking in pomegranate fruit after foliar application of humic acid, calcium-boron and kaolin during water stress. Erwerbs-Obstbau, 61:29-37. DOI:10.1007/s10341-018-0386-6.

Gleen DM. 2012. The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. HortScience, 47(6): 710-711. DOI:10.21273/HORTSCI.47.6.710.

Glenn DM and Puterka GJ. 2005. Particle films: A new technology for agriculture. Horticultural Reviews. 31: 1-44. DOI:10.1002/9780470650882.ch1.

Glenn DM, Drake S, Abbott JA, Puterka GJ and Gundrum P. 2005. Season and cultivar influence the fruit quality response of apple cultivars to particle film treatments. HortTechnology, 15(2): 249-253. DOI:10.21273/HORTTECH.15.2.0249.

I.O.C. 2002. Methodology for the secondary characterization (agronomic, phonological, pomological and oil quality) of olive varieties held in collection. Project on conservation, characterization, collection of genetic resources in olive. International Olive Oil Council. 23p.

Jifon JL and Syvertsen JP. 2003. Kaoline particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of 'Ruby Red' grapefruit leaves. Journal of American Society for Horticultural Science, 128(1): 107-112. DOI:10.21273/JASHS.128.1.0107.

Karimi S, Yadollahi A, Arzani K, Imani A and Aghaalikhani M. 2015. Gas-exchange response of almond genotypes to water stress. Photosynthetica, 53(1):29-34. DOI: 10.1007/s11099-015-0070-0.

Kavand M, Arzani K, Barzegar M and Mirlatifi M. 2016. Effects of sunscreen, kaolin application, fruit thinning and supplementary irrigation on the aril browning disorder of Pomegranate cv. "Malase Torshe Saveh". Journal of seed and seedling Improvement, 33(1): 85-112 (In Persian with English Abstract). 10.22092/sppj.2017.113760.

Khaleghi E, Arzani K, Moallemi N and Barzegar M. 2015. The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv 'Zard'grown under warm and semi-arid region of Iran. Food Chemistry, 166: 35-41. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.06.006.

Ma YH, Ma FW, Zhang JK, Li MJ, Wang YH and Liang D. 2008. Effects of high temperature on activities and gene expression of enzymes involved in ascorbate–glutathione cycle in apple leaves. Plant Science, 175(6): 761-766. DOI:10.1016/j.plantsci.2008.07.010.

Mezghani MA, Charfi CM, Gouiaa M and Labidi F. 2012. Vegetative and reproductive behavior of some olive tree varieties (*Olea europaea* L.) under deficit irrigation regimes in semi-arid conditions of Central Tunisia. Scientia Horticulturae, 146: 143-152. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.030.

Michael E, Salvucci and Steven J, Crafts-Brandner. 2004. Inhinition of photosynthesis by heat stress: the activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis. Physiological Plantarum, 120(2) 179-186. DOI: 10.1111/j.0031-9317.2004.0173.

Malik, N.S.A. and Prez,J.L. 2011. The effect of high temperature interruptions during inductive period on the extent of flowering and on metabolic responses in olives (Olea europaea L.). Scientia Horticulturae, 129(2): 207-212. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.028.

Rapoport HF and Gucc R. 2004. The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis. Journal of the American Society for Horticultural Science, 129(1): 121-127. DOI:10.21273/JASHS.129.1.0121.

Rosati A, Metcalf SG, Buchner RP, Fulton AE and Lampinen BD. 2007. Effects of kaolin application on light adsorption and distribution, radiation use efficiency and photosynthesis of almond and walnut canopies. Annals of Botany, 99(2): 255-263. https://doi.org/10.1093/aob/mcl252.

Saour G. 2005. Morphological assessment of olive seedlings treated with kaolin-based particle film and biostimulant. Advances in Horticultural Science, 19(4): 193-197.

Saour G and Makee H. 2003. Effects of kaolin particle film on olive fruit yield, oil content and quality. Advances in Horticultural Science, 17(4): 204-206. https://doi.org/10.1400/14249.

Scopel E, Da Silva FAM, Corbeels M, Affholder F and Maraux F. 2004. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. Agronomie, 24(6): 383-395. DOI:10.1051/agro:2004029.

Shahriari S. 2011. The study on the effect of irrigation levels and mulch application on growth indices and essential oil content of peppermint (*Mentha piperita* L.). Planta Medica, 77(12). DOI: 10.1055/s-0031-1282331.

Singer CK and Martin CA. 2009. Effect of landscape mulches and drip irrigation on transplant establishment and growth of three North American desert native plants. Journal of Environmental and Horticulture, 27(3): 166-170.

Steinmetz Z, Wollmann C, Schaefer M, Buchmann C, David J, Troger J, Munoz K, Fror O and Schaumann GL. 2016. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? Science of the Total Environment, 550: 690-705. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.153.

Strain HH and Svec WA. 1966. Extraction, separation, estimation, and isolation of the chlorophylls. Chlorophylls, 21-66. https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-3289-8.50008-4.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 195-212

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

Efficacy of Reduced Rates of Herbicide Integrated with Straw Mulch and Hand Weeding in Weed Management of Borage (*Borago officinalis* L.)

Sediqe Sarencheh[1], Rouhollah Amini[2*], Ali Reza Yousefi[3]

Received: 13 September 2024	Accepted: 28 November 2024

1- MSc in Weed Science, Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
2- Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
3- Prof., Dept. of Plant Production & Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran.
*Corresponding Author Email: r_amini@tabrizu.ac.ir, ramini58@gmail.com

Abstract

Background and Objective: In integrated weed management of medicinal plants, the use of reduced rates of herbicides in integration with non-chemical methods such as straw mulching and hand weeding reduces the cost of herbicide application and environmental pollution. So, this experiment was conducted in order to evaluate the effect of integrated weed management methods on growth characteristics and yield of borage (*Borago officinalis* L.).

Material and Methods: The experiment was arranged as factorial based on randomized complete block design with three replications at the Research Farm of Medicinal Crops of University of Zanjan in 2016. The first factor was weed control treatment with 14 levels including pendimethalin (50% of recommended dose), trifluralin at 50 and 100 % of recommended dose alone and with wheat straw mulch and weed-infested treatment and the second factor was supplementary control (without and with one hand weeding 50 days after planting). Also, the weed free treatment was considered in the experiment.

Results: Results indicated that weed density and biomass and borage yield significantly affected by weed control treatment and hand weeding. The lowest weed biomass was observed in trifluralin 100% + mulch (99.5 $g.m^{-2}$) that was not significantly different with trifluralin 100%. Application of soil applied herbicides reduced weed biomass but without hand weeding was unable to control weeds during growth season. Reduced rates of herbicides could be more effective if combined with hand weeding compared with their application alone. The highest borage yield loss observed in weed infested treatment that was not significantly different with pendimethalin (50% of recommended dose) and trifluralin at 100% of recommended dose alone.

Conclusion: Generally, the treatment of trifluralin 50% + one hand weeding had the highest borage flower yield (43.6 $g.m^{-2}$) and reduction in weed biomass and this treatment could be introduced as sustainable weed management method in borage.

Keywords: Flower Yield, Hand Weeding, Integrated Weed Management, Straw Mulch, Trifluralin, Weed Biomass,

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

Copyright@ 2025 Rouhollah Amini, Email: r_amini@tabrizu.ac.ir, ramini58@gmail.com

http://doi.org/10.22034/saps.2024.63502.3278

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۲۱۲-۱۹۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

کارایی مقادیر کاهش یافته علف‌کش‌در تلفیق با مالچ کلش و وجین‌دستی در مدیریت علف‌های‌هرز گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.)

صدیقه سارنچه[۱]، روح اله امینی[۲*]، علیرضا یوسفی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۳	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۸

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته شناسایی و مبارزه با علف‌های‌هرز گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۲- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۳- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان
* مسئول مکاتبه: E-mail: r_amini@tabrizu.ac.ir, ramini58@gmail.com

چکیده

مقدمه و اهداف: در مدیریت تلفیقی علف‌های‌هرز گیاهان دارویی، استفاده از مقادیر کاهش یافته علفکش‌ها در تلفیق با روش-های غیر شیمیایی مثل مالچ کلش و وجین دستی باعث کاهش هزینه کاربرد علفکش‌ها و آلودگی زیست محیطی می‌شود . لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر روش تلفیقی کنترل علف‌های هرز بر صفات رشدی و عملکرد گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی گیاهان دارویی دانشگاه زنجان در بهار سال ۱۳۹۵ انجام شد. فاکتور اول کنترل علف‌های هرز در ۱۴ سطح شامل کاربرد علف‌کش پندیمتالین (۵۰ درصد دز توصیه شده)، تریفلورالین در دزهای (۵۰ و ۱۰۰ درصد دز توصیه شده) به تنهایی و در تلفیق با مالچ کلش‌گندم و تیمار آلوده به علف‌های هرز و فاکتور دوم وجین دستی در دو سطح (بدون وجین دستی و یک‌بار وجین دستی ۵۰ روز پس از کشت) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در واحد سطح به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار مدیریت و وجین دستی قرار گرفتند و اثر متقابل مدیریت × وجین دستی بر تراکم علف هرز معنی دار بود. کمترین تراکم (۲۳/۷ بوته در متر مربع) و کمترین زیست‌توده علف های هرز (۹۹/۵ گرم در متر مربع) در تیمار تریفلورالین ۱۰۰ درصد+ مالچ مشاهده شد. اثر تیمار مدیریت علف‌هرز بر ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و تعداد گل در بوته گاوزبان اروپایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل مدیریت علف هرز × وجین دستی بر عملکرد گل در واحد سطح معنی دار بود. بیشترین عملکرد گل گاوزبان (۴۳/۶ گرم در متر مربع) در تیمار تریفلورالین ۵۰٪ +مالچ به همراه یک بار وجین دستی حاصل شد و کمترین عملکرد در تیمارهای تریفلورالین ۱۰۰٪ و پندیمتالین ۵۰٪ مشاهده شد. در تیمارهای تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ و مالچ، یک بار وجین دستی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گل در مقایسه با تیمار عدم وجین دستی شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی تیمار تریفلورالین ۵۰٪ +مالچ به همراه یک بار وجین دستی بیشترین عملکرد گل در واحد سطح را داشت و می تواند به عنوان بهترین روش مدیریت علف‌های‌هرز گاوزبان اروپایی در سیستم های تولید پایدار، معرفی شود.

واژه های کلیدی: تریفلورالین، وجین دستی، زیست توده علف هرز، عملکرد گل، مدیریت تلفیقی، مالچ کلش

مقدمه

گاوزبان‌اروپایی (*Borago officinalis* L.) گیاهی است یک ساله از خانواده گاوزبان (Boraginaceae) که ارتفاع آن از ۳۵ تا ۱۱۰ سانتی‌متر است. گاوزبان اروپایی در گذشته به عنوان یگ گیاه عسل‌آور و همچنین گیاهی زینتی استفاده می‌شده‌است. در طب سنتی بعضی کشورها از برگ‌ها و گل‌های خشک این گیاه معالجه یرقان، سرفه ، تب، بعضی بیماری‌های پوستی و همچنین برای مداوای بیماری‌های مربوط به سنگ کلیه استفاده می‌شده است (احمدی و همکاران ۲۰۰۹). در مراجع علمی از گاوزبان اروپایی به عنوان یک گیاه دارویی نام برده شده است. دانه، روغن و اندام رویشی این گیاه حاوی مواد مؤثره ارزشمندی است که از آن ها به عنوان آنتی‌اکسیدان، کاهش هنده کلسترول خون و تنظیم کننده گردش خون استفاده می‌شود. از روغن دانه این گیاه برای درمان اگزما و تیلب شرائین و از مواد مؤثره آن در صنایع آرایشی استفاده می‌شود. گاوزبان اروپایی در اکثر نقاط جهان در سطوح مختلفی کشت می شود (امید بیگی ۲۰۱۵). آمار دقیقی از سطح زیر کشت این گیاه دارویی در دنیا وجود ندارد ولی تولید دانه آن در سطح جهانی بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ تن برآورد می‌شود (سیف زاده و همکاران ۲۰۲۰).

علف‌های هرز یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد و افزایش هزینه تولید (هزینه کارگر) هستند (گیری و همکاران ۲۰۱۶) و تحقیقات اندکی در مورد مدیریت علف-هرز گاوزبان‌اروپایی انجام شده و علف کش انتخابی برای این گیاه دارویی به ثبت نرسیده است. بوروی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که از علفکش فلوآزیفوپ پی بوتیل می توان برای کنترل علف ها هرز باریک برگ گاوزبان اروپایی استفاده نمود. همچنین از روش‌های غیر شیمیایی هم برای کنترل علف‌های هرز این گیاه دارویی استفاده شده است. شیرزادی مرگاوی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که با استفاده از گیاه پوششی ماش (*Vigna radiata* L.) می‌توان تراکم و زیست‌توده علف-های هرز را در گاوزبان اروپایی بین ۵۰ تا۱۰۰ درصد کاهش داد. همچنین از کنجاله دانه خردل (*Sinapis alba* L.) جهت کنترل علف‌های هرز در اوایل دوره رشد در گاوزبان اروپایی می توان استفاده نمود (بوروی و همکاران ۲۰۲۰).

تریفلورالین به طور گسترده‌ای به صورت قبل از کشت برای کنترل علف‌های هرز باریک برگ و پهن برگ در بسیاری از گیاهان زراعی و دارویی استفاده می‌شود (امینی و یوسفی ۲۰۱۴؛ امینی و همکاران a ۲۰۲۳). نحوه عمل این علفکش، جلوگیری از تشکیل واحدهای توبولین در میکروتوبول‌ها و در نهایت جلوگیری از تقسیم میتوز می‌باشد (امینی و همکاران b۲۰۲۰). تریفلورالین در مدیریت علف‌هرز گیاهان دارویی مثل بادرشبو *Dracocephalum moldavica* L.(امینی و همکاران b۲۰۲۰)، شوید *Anethum graveolens* L. (امینی و همکاران a۲۰۲۳)، زیره سبز *Cuminum cyminum* L. (احمدی کاکاوندی و همکاران ۲۰۲۲)، بابونه آلمانی *Matricaria chamomilla* L. (فریدی ۲۰۲۰)، گشنیز *Coriandrum sativum* L.(محمداوغلی ۲۰۲۲) و ریحان (احمدیان و همکاران ۲۰۲۴) استفاده شده است. پندیمتالین علف‌کشی انتخابی از گروه دی‌نیتروآنیلین‌ها بوده و از طریق ریشه و برگ‌ها جذب شده و سبب مرگ گیاه در مدت زمان کوتاهی پس از جوانه‌زنی و یا سبز شدن می‌شود. این علف‌کش معمولا به صورت پیش کاشت یا پیش‌رویشی و آمیخته با خاک برای کنترل علف-های‌هرز سبزیجات و صیفی‌جات، دانه‌های روغنی، حبوبات و گیاهان دارویی استفاده می شود (امینی و همکاران b ۲۰۲۰). همچنین پندیمتالین برای کنترل علف-های هرز سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) (خدادادی و همکاران ۲۰۲۰) بادرشبو (امینی و همکاران b ۲۰۲۰) استفاده شده است.

در مدیریت تلفیقی علف‌های هرز همراه با کاربرد علف‌کش، استفاده از روش‌های غیرشیمیایی مثل کنترل مکانیکی و فیزیکی (امینی و همکاران a,b۲۰۲۳)، روش-های زراعی مثل استفاده از ارقام با خاصیت آللوپاتیک (کیسلی و همکاران ۲۰۰۳؛ امینی و نامداری ۲۰۱۳) استفاده از ارقام با توان رقابت بالا (امینی و همکاران ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) و کشت مخلوط (امینی و همکاران a ۲۰۲۰) بسیار موثر می‌باشند. با توجه به بروز مشکل مقاومت علف‌های هرز به علف کش‌ها و اثرات مخرب

کاربرد آن‌ها بر محیط زیست، استفاده از تلفیق دز کاهش یافته علفکش‌ها با روشهای غیرشیمیایی کنترل علف هرز مثل کاربرد انواع مالچ کلش و زنده و وجین دستی به عنوان گزینه های کم هزینه و سازگار با طبیعت برای مدیریت علف های هرز در جهت کاهش مصرف علفکش-ها، از اولویت‌های کشاورزی پایدار می‌باشد (امینی و همکاران a,b ۲۰۲۳؛ احمدیان و همکاران ۲۰۲۴).

مالچ کلشی شامل بقایا و کاه و کلش گیاهان زراعی می‌باشد که برای پوشاندن سطح خاک استفاده می‌شود به طوری که مانع از رسیدن نور به سطح خاک و جلوگیری از جوانه‌زنی بذور و رویش گیاهچه‌های علف-هرز می‌شود (امینی و همکاران c۲۰۲۰). مالچ کاه و کلش گندم در خاک می‌تواند بانک بذر علف‌های هرز در خاک را کاهش دهد (گیبسین و همکاران ۲۰۱۱). با کاربرد مالچ کلش گندم در ترکیب با دز کاهش یافته پیریدیت در نخود (*Cicer arietinum* L.)، زیست توده علف‌هرز کاهش و عملکرد دانه افزایش یافت (نصرتی و همکاران ۲۰۱۷). در ارزیابی اثر تلفیق مقادیر مختلف تریفلورالین با کاربرد مالچ کلش در کنجد (*Sesamum indicum* L.) گزارش شد که درصد کاهش زیست توده علف های هرز در تیمار کاربرد مالچ کلش در مقایسه با مالچ زنده بیشتر بود (حسین قلی زاده و همکاران ۲۰۲۲). همچنین عباس زاده و همکاران (۲۰۲۲) در ارزیابی اثر مالچ کلش در تلفیق با علفکش تریفلورالین بر مدیریت علف هرز شوید مشاهده کردند که درصد کاهش زیست توده علف های هرز در تیمار کاربرد مالچ کلشی در مقایسه با مالچ زنده بیشتر بود. در مزارعی که امکان استفاده از نیروی کارگری برای وجین دستی وجود دارد، این روش می تواند به تنهایی و یا در ترکیب با دزهای کاهش یافته علفکش، به طور موثری در مدیریت پایدار علف های هرز استفاده شود (امینی و همکاران a,b ۲۰۲۳). از وجین دستی در مدیریت علف های هرز لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (امینی و همکاران b۲۰۲۳)، کنجد (عظیمی و همکاران ۲۰۲۳)، شوید (امینی و همکاران a۲۰۲۳) و ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (احمدیان و همکاران ۲۰۲۴) به تنهایی و در ترکیب با علفکش استفاده شده است.

با توجه به اهمیت مدیریت پایدار علف های هرز در گیاهان دارویی و تاکید بر استفاده از روش های دوستار محیط زیست به دلیل تولید محصولات سالم‌تر و همچنین کاهش هزینه کنترل شیمیایی و اثرات منفی آن ها را در اکوسیستم های زراعی، استفاده از روش های مدیریت تلفیقی علف های هرز ضروری به نظر می‌رسد. لذا هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر دز کاهش یافته علفکش پندیمتالین و تریفلورالین در تلفیق با مالچ کلش و وجین دستی بر کارایی کنترل علف‌های هرز، صفات رشدی و عملکرد گاوزبان اروپایی می باشد.

مواد و روش ها

آزمایش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی گیاهان دارویی پژوهشکده فناوری‌های نوین زیستی دانشگاه زنجان واقع در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه‌ی شمالی و طول ۴۷ درجه و ۱ دقیقه‌ی شرقی و در ارتفاع ۱۶۳۴ متر از سطح دریا، انجام شد. شهرستان زنجان دارای آب و هوای مدیترانه‌ای با زمستان سرد و تابستان ملایم تا گرم با بارندگی متوسط سالانه ۳۱۱ میلیمتر می‌باشد. مشخصات خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول۱- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

بافت	پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	نیتروژن (٪)	ماده آلی (٪)	اسیدیته (pH)
لومی- رسی	۱۱۲	۱۰/۲	۰/۰۴	۱/۱۸	۸/۲۸

به منظور ارزیابی اثر دز ۵۰ درصد علف‌کش‌های پندیمتالین و مقادیر مختلف تریفلورالین در ترکیب با کاربرد مالچ کلش در ترکیب با وجین دستی بر علف‌های‌هرز و عملکرد گاوزبان اروپایی، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۴ تیمار در دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتور اول، تیمارهای تلفیقی مقادیر علف کش و مالچ کلش گندم (۵ تن در هکتار) شامل:

۱- علف‌کش تریفلورالین به‌مقدار ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده (۱۴۴۰ گرم ماده موثره در هکتار)
۲- علف‌کش تریفلورالین به‌مقدار۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم (۵ تن در هکتار)
۳- علف‌کش تریفلورالین به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده (۷۲۰ گرم ماده موثره در هکتار)
۴- علف‌کش تریفلورالین به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم (۵ تن در هکتار)
۵- علف‌کش پندیمتالین به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده (۶۶۰ گرم ماده موثره در هکتار)
۶- مالچ کلش گندم (۵ تن در هکتار)
۷- تیمار آلوده به علف هرز در کل دوره رشد (شاهد بدون کنترل)

فاکتور دوم شامل دو تیمار وجین دستی شامل یک بار وجین‌دستی در ۵۰ روز پس از کشت و بدون وجین در طول رشد بود.

در پاییز ۱۳۹۴ زمین آزمایش با گاو آهن برگردان دار شخم عمیق زده شد. در اواخر اسفند ۱۳۹۴ عملیات دیسک و کولتیواتور زنی به منظور آماده سازی زمین انجام شد. پس از تهیه زمین قطعه آزمایش به سه بلوک (هر کدام با ۱۴ کرت) تقسیم شد. هر کرت به مساحت ۶ مترمربع با ۲ متر عرض (۴ ردیف با فاصله ۵۰ سانتیمتر) و ۳ متر طول در نظر گرفته شد. تیمارعلف‌کش تریفلورالین (ترفلان با فرمولاسیون ۴۸ ٪EC شرکت آریا شیمی) به‌صورت مخلوط با خاک به عمق ۱۰ سانتی‌متر قبل از کاشت گاوزبان اروپایی (طبق تیمارهای آزمایشی) توسط سم‌پاش ماهتابی ساخت شرکت گویزپر اسپانیا از نوع پشتی لانس‌دار شارژی و نازل شره‌ای با فشار ۲۱۰ کیلوپاسکال و باحجم ۲۳۰ لیتر در هکتار درتاریخ ۲۸ فروردین ۱۳۹۵ به خاک اسپری و با خاک بصورت دستی با شن‌کش مخلوط گردید. کشت بذر گاوزبان اروپایی در تاریخ ۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۵ با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ۱۰ بوته در مترمربع با عمق کشت ۳ سانتی‌متر انجام‌شد. تیمار علف‌کش پندیمتالین (استامپ با فرمولاسیون ۳۳ ٪EC شرکت آریا شیمی) به صورت پیش‌رویشی بعد از کشت گاوزبان اروپایی (طبق تیمارهای آزمایشی) قبل از آبیاری توسط سم‌پاش ماهتابی در تاریخ ۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۵ در سطح خاک استفاده شد. مزرعه پس از پاشش علف کش توسط نوارهای آبیاری قطره ای از نوع درزدار (زیپی) با فاصله قطره چکان ۲۰ سانتی متر و قطر خارجی ۱۶/۵ میلی‌متر، کرت‌ها آبیاری شدند. آبدهی قطره چکان در هر ساعت در فشار ۱ بار ۱/۳ لیتر بوده است. جهت اعمال تیمار مالچ، کلش‌گندم با مقدار ۵ تن در هکتار که از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان تهیه شده بود، بلافاصله پس از آبیاری در تاریخ ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۵ روی نوارهای آبیاری قرار گرفتند و برای جلوگیری از بادبردگی، مالچ کلش‌گندم روی کرت‌ها توسط تور پلاستیکی پوشانده شد. آبیاری مزرعه، در ابتدا هر سه روز یکبار و بعد از استقرار گیاهچه‌ها هر هفت روز یکبار انجام شد. برای رسیدن به تراکم مطلوب بوته در واحد سطح (۱۰ بوته در مترمربع) عملیات تنک بعد از شمارش بوته ها در مرحله ۳ تا ۴ برگی گاوزبان اروپایی انجام شد.

جهت اندازه گیری زیست توده و تراکم علف‌های هرز در مرحله گلدهی گاوزبان (۲۲ تیرماه ۱۳۹۵)، نمونه برداری از هر کرت با کادر ۱×۱ انجام شده و گونه‌های مختلف علف‌هرز کف‌بر شده و پس از شناسایی، شمارش شده (تراکم) و جهت اندازه‌گیری زیست توده در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و پس از خشک شدن با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۱ توزین شد. درصد فراوانی گونه‌های مختلف علفهای-هرزدر مزرعه ازمایشی با فرمول زیر محاسبه شد:

$$Fk = \frac{\sum Yi}{n} \times 10 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

F_k درصد فراوانی گونه مورد نظر، Y_i تعداد کرت‌های که گونه مورد نظر در آن وجود دارد و n تعداد کل کرت‌ها می باشد (ابراهیمی و همکاران ۲۰۱۹).

برای گاوزبان اروپایی در مرحله گلدهی، صفات ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ (LAI)، شاخص کلروفیل برگ (CCM)، تعداد گل در بوته و عملکرد گل در واحد سطح اندازه گیری شدند. جهت اندازه گیری ارتفاع بوته ۱۰ بوته به طور تصادفی از هرکرت انتخاب شد و ارتفاع آن‌ها به سانتی متر اندازه گیری و میانگین ۱۰ بوته به عنوان ارتفاع بوته در نظر گرفته شد. در مرحله گلدهی پس از نمونه گیری بوته های گاوزبان از سطح مشخصی از پلات‌ها و جداسازی برگ‌ها و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (leaf area meter, Delta-T Devices, Cambridge, UK) سطح برگ گاوزبان اروپایی به‌دست آمد. شاخص سطح برگ (LAI) از تقسیم سطح برگ بر سطح زمین اشغال شده توسط آن به‌دست آمد. جهت اندازه گیری شاخص کلروفیل برگ ، ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب شده و در هر بوته از سه برگ کامل بالایی، میانی و پایینی شاخص کلروفیل توسط دستگاه کلروفیل متر (CCM 200 plus, ADC BioScientific Ltd, UK) ثبت گردید (امیریان چلان و همکاران ۲۰۲۴) و میانگین اعداد در هر کرت جهت تجزیه واریانس استفاده شد. در مرحله گل دهی ۱۰ بوته به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و تعداد گل در بوته گاوزبان اروپایی شمارش شد. جهت اندازه گیری عملکرد گل، در هر کرت یک متر مربع برداشت شده و عملکرد گل در واحد سطح محاسبه شد. پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها داده های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار SPSS ver. 16 و MSTATC مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

ترکیب و فراوانی گونه ها

گونه‌های شناسایی شده در مزرعه و درصد فراوانی آنها (جدول ۲) نشان می‌دهد که گونه‌های علف‌هرز شامل ۱۳ گونه بودند که بیشترین فراوانی به ترتیب مربوط به پیچک صحرایی، سلمه تره، تاج‌خروس رونده، تاج خروس ریشه قرمز، سوروف و شیرتیغی بود و کمترین فراوانی به گونه های پنیرک، ناخنک و سس اختصاص داشت.

جدول ۲ - اسامی علمی، نام تیره، نام فارسی و درصد فراوانی گونه های علف‌هرز شناسایی شده در مزرعه

ردیف	نام فارسی	فراوانی(%)	نام علمی	نام تیره	فرم رویشی
۱	پیچک صحرایی	۸۶	*Convolvulus arvensis*	Convolvulaceae	دولپه
۲	سلمه‌تره	۶۵	*Chenopodium album* L.	Chenopodiaceae	دولپه
۳	تاج‌خروس رونده	۶۲	*Amaranthus blitoides*Wats	Amaranthaceae	دولپه
۴	تاج خروس ریشه قرمز	۵۸	*Amaranthus retroflexus*	Amaranthaceae	دولپه
۵	سوروف	۴۲	*Echinocloa crus-gali*	Poaceae	تک لپه
۶	شیرتیغی	۳۷	*Sonchus oleraceus* L.	Asteraceae	دولپه
۷	گوش‌فیلی	۳۰	*Conringia orientalis*	Brassicaceae	دولپه
۸	چسبک	۱۸	*Setaria viridis*	Poaceae	تک لپه
۹	علف‌شور	۲۳	*Salsola kali* L.	Chenopodiaceae	دولپه
۱۰	تاجریزی سیاه	۹	*Solanum nigrum* L.	Solanaceae	دولپه
۱۱	پنیرک	۵	*Malva neglecta* Wallr	Malvaceae	دولپه
۱۲	ناخنک	۲	*Goldbachia laevigata*	Brassicaceae	دولپه
۱۳	سس	۲	*Cuscuta campestris*	Cuscutaceae	دولپه

تراکم علف‌های هرز

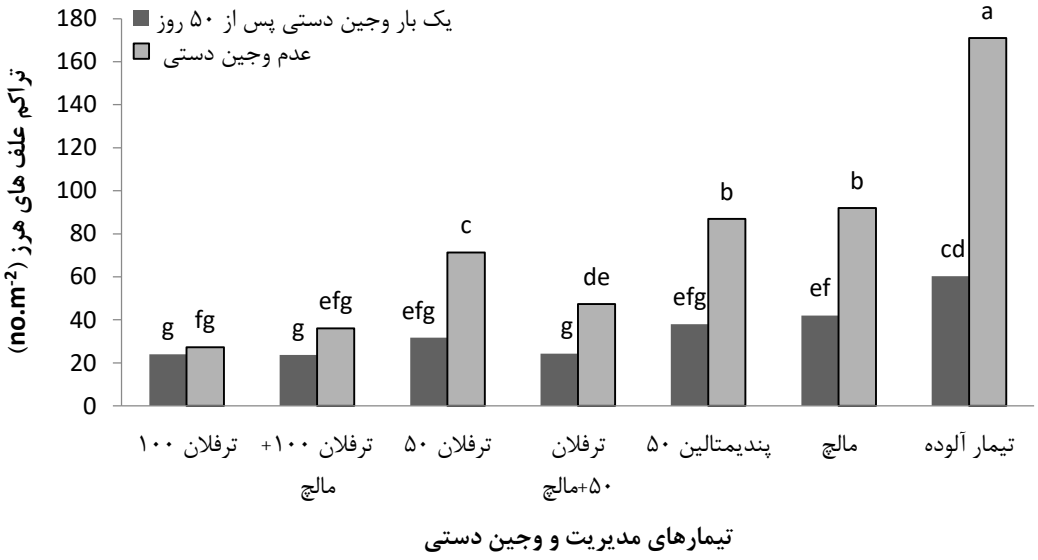
نتایج تجزیه واریانس (جدول۳) نشان داد اثر مدیریت علف هرز، وجین دستی و اثر متقابل مدیریت علف‌های هرز × وجین‌دستی بر تراکم علف‌های هرز گاوزبان اروپایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین ثر متقابل مدیریت علف‌های هرز × وجین‌دستی نشان داد، تیمار میزان توصیه شده تریفلورالین (ترفلان ۱۰۰) بیشترین کارایی را در کاهش تراکم علف های هرز همراه با وجین دستی داشت (شکل ۱). حداکثر تراکم علف‌های هرز در تیمار آلوده به علف‌های هرز بدون وجین (۱۷۱ بوته در مترمربع) مشاهده شد. در تیمار آلوده به علف هرز، بیشترین تفاوت تراکم علف هرز بین وجین دستی و بدون وجین دستی مشاهده شد. تراکم علف‌های هرز در تیمارهای تریفلورالین (ترفلان ۱۰۰ و ترفلان ۵۰ درصد) با وجین دستی و بدون وجین دستی، ترفلان ۵۰ درصد و ترفلان ۵۰ درصد+ مالچ با وجین دستی و پندیمتالین ۵۰ درصد با وجین دستی، تفاوت معنی‌داری نداشتند که بیانگر این می‌باشد که کاربرد مالچ کلش می‌تواند تا حدودی جایگزین ۵۰ درصد علفکش به منظور کاهش استقرار علف‌های هرز شود.

جدول۳- تجزیه واریانس اثر مدیریت کنترل علف‌های هرز و وجین دستی بر زیست توده و تراکم علف‌های هرز

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)	
		زیست توده علف‌های هرز	تراکم علف‌های هرز
بلوک	۲	۱۱۹۲/۵۴۲ ns	۱۶۰/۷۸۶ ns
مدیریت	۶	۷۰۸۰۵/۳۵۵**	۵۷۵۲/۸۲۵**
وجین دستی	۱	۹۳۴۶۵/۴۷۴**	۱۷۷۷۳/۷۱۴**
مدیریت × وجین	۶	۱۸۷۸/۴۸۸ ns	۱۸۹۱/۱۵۹**
خطا	۲۶	۱۶۱۸/۴۹۹	۸۱/۶۹
ضریب تغییرات (٪)		۱۹/۸۴	۱۶/۳۳

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

عظیمی و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش کردند که درصد کاهش تراکم علف های هرز کنجد در تیمار کاربرد ترفلان ۱۰۰ ٪ در مقایسه با کاربرد مالچ کلش گندم، بیشتر بود. حسین‌قلی زاده و همکاران (۲۰۲۲) نیز در مطالعه مدیریت علف های هرز کنجد گزارش کردند که تیمار یک بار وجین دستی کمترین تراکم علف‌های هرز را در بین تیمارهای مدیریت داشت. عباس زاده و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که تراکم علف های هرز در تیمار یک بار وجین دستی تفاوت معنی داری با کاربرد مالچ کلش نداشت و تراکم علف‌هرز در این دو تیمار کمتر از کاربرد مالچ زنده شنبلیله و گاودانه بود. تیمار مالچ کلش به دلیل سایه‌اندازی و ایجاد مانع فیزیکی از جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه‌های علف‌هرز جلوگیری می‌کند (امینی و همکاران ۲۰۲۰c، امینی و همکاران ۲۰۲۴). احمدیان و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که کمترین تراکم علف-های هرز ریحان مربوط به تیمار کاربرد تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی بود که با تیمارهای یک بار وجین‌دستی و کاربرد تریفلورالین ۱۰۰٪ تفاوت معنی-داری نداشت.



شکل۱- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری مدیریت و وجین دستی بر تراکم علف های هرز

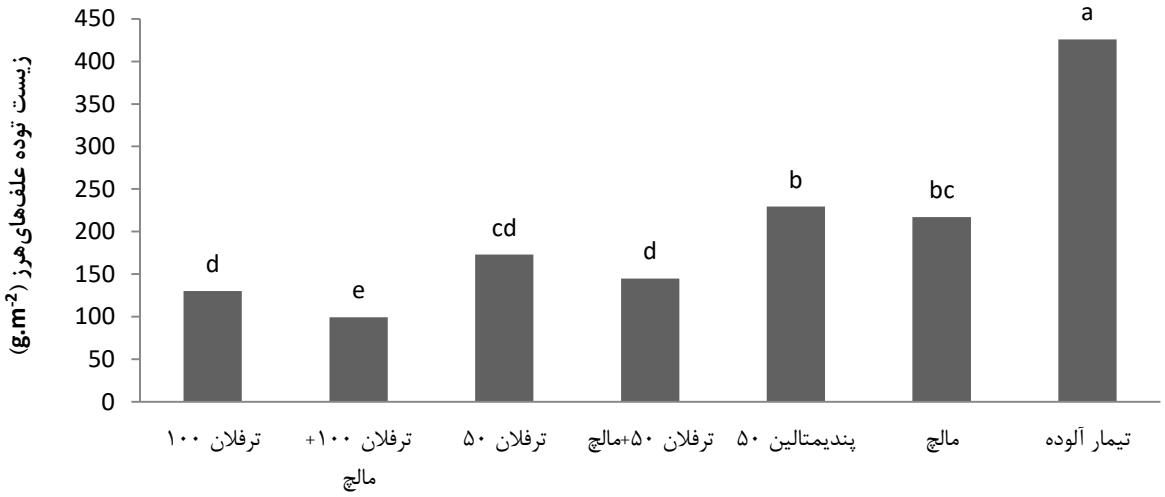
(ستون های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند. ترفلان ۱۰۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۱۰۰ + مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ ترفلان ۵۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۵۰+ مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ پندیمتالین ۵۰: کاربرد پندیمتالین به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ مالچ: کاربرد مالچ کلش گندم و تیمار آلوده: تیمار آلوده به علف هرز در کل دوره رشد می باشند)

زیست‌توده علف‌های هرز

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر تیمار مدیریت علف‌هرز و وجین دستی بر زیست توده علف های هرز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر تیمار وجین دستی بر زیست‌توده علف‌های هرز (شکل ۲) نشان داد که یک بار وجین دستی علف‌های هرز در ۵۰ روز پس از کشت تا ۳۸٪ ، زیست توده علف‌های هرز را در گاوزبان اروپایی کاهش داد. به‌طور کلی کاربرد علف‌کش‌های مورد استفاده در این آزمایش به همراه یک‌بار وجین دستی، نتایج بهتری در مقایسه با کاربرد علف‌کش‌ها به همراه مالچ کلش گندم داشت. مقایسه میانگین زیست توده علف‌های هرز تحت تأثیر تیمارهای مدیریت علف‌های هرز (شکل ۳) نشان داد که زیست توده علف‌هرز در تیمارهای ترفلان ۵۰٪ و پندیمتالین ۵۰ ٪، تفاوت معنی‌داری با زیست‌توده علف-هرز در تیمار کاربرد مالچ کلش نداشت. همچنین زیست توده علف‌هرز در تیمارهای ترفلان ۱۰۰٪ ، تفاوت معنی داری با تیمار ترفلان ۵۰ ٪ نداشت. به بیان دیگر، کاهش مقدار کاربرد ترفلان تا ۵۰٪، تاثیر معنی داری بر کارایی کنترل علف‌هرز گاوزبان اروپایی نداشت. در مقایسه با تیمار آلوده به علف هرز، درصد کاهش زیست توده علف‌هرز در تیمار مالچ کلش گندم (۴۹٪)، در مقایسه با ترفلان ۱۰۰٪ (۶۹٪) کمتر بود. یوردانووا و شبان (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که مالچ کلش گندم به تنهایی نتوانست به خوبی علف‌های هرز کلم بروکلی (*Brassica oleracea*) را کنترل کند. این نتایج نشان می‌دهد کاربرد مالچ به تنهایی و بدون استفاده از علف‌کش‌ها نمی‌تواند کارایی بالایی در کنترل علف‌های هرز گاوزبان اروپایی فراهم کند. برعکس تعدادی از محققان گزارش کرده‌اند که مالچ کلش گندم به‌تنهایی و بدون تلفیق با علف‌کش‌ها می تواند کنترل مطلوبی بر علف‌های هرز فراهم کند (راولی و همکاران ۲۰۱۱؛ راماکریشنا و همکاران ۲۰۰۶).

شکل ۲-اثر تیمار وجین دستی بر زیست توده علف‌های هرز گاوزبان اروپایی

(ستون های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.)



شکل۳- مقایسه میانگین اثر تیمار مدیریت بر زیست توده علف‌های هرز

(ستون های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند. ترفلان ۱۰۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۱۰۰ + مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ ترفلان ۵۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۵۰+ مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ پندیمتالین ۵۰: کاربرد پندیمتالین به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ مالچ: کاربرد مالچ کلش گندم و تیمار آلوده: تیمار آلوده به علف هرز در کل دوره رشد می باشند)

تیمار ۱۰۰٪ ترفلان + مالچ کلش گندم، کمترین زیست توده علف های هرز (٪ ۷۶ کاهش در زیست توده علف هرز در مقایسه با تیمار آلوده به علف هرز) را در بین تیمارهای مدیریت علف‌هرز داشت و در مقایسه با تیمار کاربرد ترفلان ۱۰۰٪، باعث کاهش زیست توده علف‌هرز شد. مالچ کلش با ایجاد یک لایه‌ی خفه‌کننده باعث کاهش فتوسنتز و توقف رشد گیاهچه‌های علف‌هرز می‌شود (رحمان و همکاران ۲۰۰۵؛ امینی و همکاران c ۲۰۲۰). نتایج پژوهش‌های قبلی نیز نشان می‌دهد که تلفیق روش-های مدیریتی مثل مالچ کلش و کاربرد علف‌کش می‌تواند

در کاهش زیست توده علف‌هرز بسیار موثر باشد (ابراهیمی و همکاران ۲۰۱۹؛ احمدی کاکاوندی و همکاران ۲۰۲۲؛ امینی و همکاران b ۲۰۲۰).

ارتفاع بوته

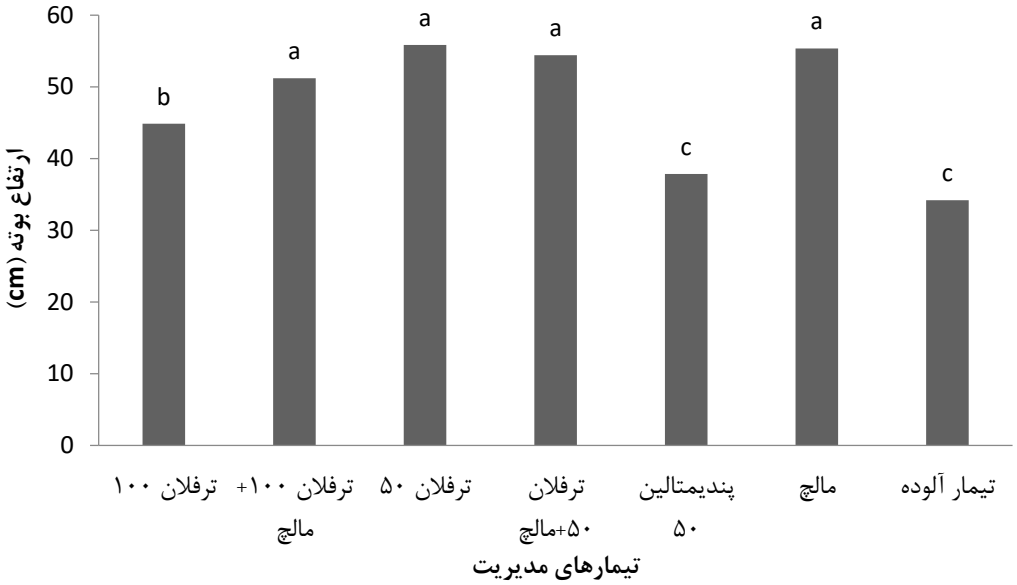
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که اثر تیمارهای مدیریتی کنترل علف‌های هرز بر ارتفاع بوته گاوزبان اروپایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود ولی اثر وجین دستی و اثر متقابل مدیریت × وجین دستی بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مدیریت علف‌های هرز بر ارتفاع بوته گاوزبان اروپایی (شکل ۴) نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ترفلان ۵۰٪ مشاهده شد که تفاوت معنی داری با ارتفاع بوته در تیمارهای ترفلان۱۰۰٪ + مالچ، ترفلان۵۰٪ + مالچ و تیمار مالچ نداشت. کمترین ارتفاع بوته در تیمار پندیمتالین ۵۰٪ مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار آلوده به علف هرز نداشت. در تیمار ترفلان۱۰۰٪ + مالچ، کاربرد مالچ باعث افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار ترفلان۱۰۰٪ شد.

جدول ۴-نتایج تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی تحت تاثیر تیمار مدیریت علف هرز و وجین دستی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)			
		ارتفاع بوته	شاخص سطح برگ	تعداد گل در بوته	عملکرد گل در واحد سطح
بلوک	۲	۵/۱۶۷ ns	۰/۰۵۲ ns	۱۳۸۲/۸۹ ns	۱۶/۶۴ ns
مدیریت	۶	۴۷۰/۲۶**	۶/۲۸**	۱۳۱۶۶۱/۷**	۹۰۷/۱**
وجین دستی	۱	۹۶/۰۰۶ ns	۱۱/۵۸**	۶۱۱۸۱/۲**	۳۴۴/۷۵**
مدیریت × وجین	۶	۰/۷۶ ns	۰/۴۷**	۱۰۹۲/۸۵ ns	۱۸/۴۴*
خطا	۲۶	۱۶/۰۵	۰/۱۰۸	۱۲۸۰/۱	۶/۶۷
ضریب تغییرات (٪)		۸/۴۱	۱۲/۳۰	۱۴/۵۹	۱۲/۵۱

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

ارتفاع بوته گیاه زراعی از صفاتی است که به طور معنی دار تحت تاثیر رقابت علف هرز قرار می گیرد (امینی و همکاران ۲۰۱۳؛ نصرتی و همکاران ۲۰۱۷؛ احمدیان و همکاران ۲۰۲۴). احمدی کاکاوندی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که در تیمار کاربرد دز ۱۰۰ درصد تریفلورالین + مالچ کلشی، ارتفاع بوته زیره سبز بیشتر از سایر تیمارهای مدیریتی بود. همچنین در مطالعه مدیریت علف هرز شوید مشاهده شد که ارتفاع بوته در تیمار کاربرد مالچ کلش گندم بیشتر از مقدار آن در تیمار کاربرد یک بار وجین دستی بود که عمدتا به افزایش رطوبت قابل دسترس گیاه در تیمار مالچ کلش نسبت داده شد (امینی و همکاران a۲۰۲۳). ایزدی دربندی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش نمودند که رقابت علف‌های هرز با زیره سبز باعث کاهش ارتفاع بوته شد. به‌علاوه علف‌های هرز در استفاده از منابع غذایی، آب و نور با گاوزبان اروپایی رقابت نموده و با بهره‌گیری بیشتر از منابع، رشد بهتری داشته و در نتیجه موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه دارویی شده است. همچنین افزایش نسبت نور مادون قرمز به نور قرمز به‌علت سایه اندازی علف‌های هرز، دلیل افزایش ارتفاع گیاه زراعی در اثر رقابت بیان شده است (روهریگ و استوتزل ۲۰۰۱).



شکل۴-اثر تیمارهای مدیریتی علف‌های هرز بر ارتفاع بوته گاوزبان اروپایی

(ستون های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند. ترفلان ۱۰۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۱۰۰ + مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ ترفلان ۵۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۵۰+ مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ پندیمتالین ۵۰: کاربرد پندیمتالین به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ مالچ: کاربرد مالچ کلش گندم و تیمار آلوده: تیمار آلوده به علف هرز در کل دوره رشد می باشند)

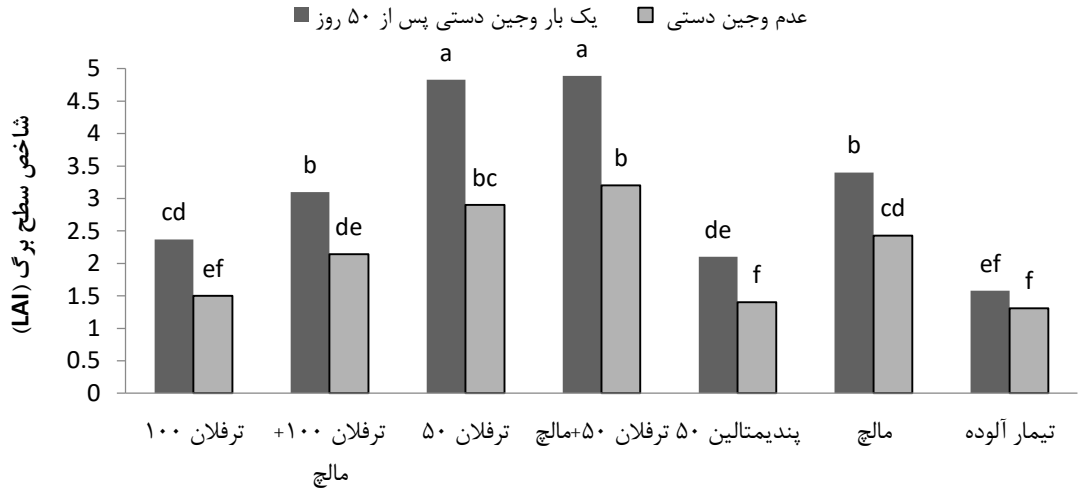
شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۴) نشان داد که اثر تیمار مدیریت، وجین دستی و اثر متقابل تیمار مدیریت × وجین دستی بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار مدیریت × وجین دستی (شکل ۵) نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ در تیمارهای ترفلان ۵۰٪ و ترفلان ۵۰٪+ مالچ به همراه یک بار وجین دستی حاصل شد. کمترین شاخص سطح برگ در تیمارهای ترفلان ۱۰۰٪ و پندیمتالین ۵۰٪ و عدم وجین دستی مشاهده شد که تفاوت معنی داری با تیمار آلوده به علف هرز نداشتند. کاهش شاخص سطح برک در تیمار ترفلان ۱۰۰٪ در مقایسه با تیمار ترفلان ۵۰٪ را می توان به اثر منفی غلظت علفکش بر رشد و توسعه سطح برگ گاوزبان اروپایی نسبت داد. همچنین شاخص سطح برگ در تیمار ترفلان ۱۰۰٪ + مالچ به همراه یک بار وجین دستی در مقایسه با ترفلان ۱۰۰٪ افزایش یافت که نشان دهنده کاهش اثر منفی ترفلان در اثر کاربرد مالچ کلش به دلیل (احتمالا) افزایش رطوبت خاک و کاهش غلظت علفکش در خاک می باشد (امینی و همکاران b ۲۰۲۰). در همه تیمارهای مدیریتی به غیر از تیمار آلوده به علف‌هرز، اعمال یک بار وجین دستی به طور معنی‌داری باعث افزایش شاخص سطح برگ گاوزبان اروپایی در مقایسه با عدم وجین دستی گردید (شکل ۵). در بین ویژگی‌های فیزیولوژیک، شاخص سطح برگ در افزایش قدرت رقابت گیاهان زراعی در برابر علف های هرز مؤثر است و این صفت روی میزان نفوذ نور به کانوپی و دسترسی علف‌های هرز به نور تأثیر می‌گذارد (امینی و همکاران ۲۰۱۴). شاخص سطح برگ بهترین معیار در مورد ظرفیت یک گیاه زراعی برای تولید زیست توده و رقابت با علف‌های هرز است (امینی و همکاران a,b ۲۰۲۳).

تعداد گل در بوته

نتایج تجزیه واریانس (جدول۴) نشان داد که اثر تیمار مدیریت و وجین دستی بر تعداد گل در بوته در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود. مقایسه میانگین اثر تیمار

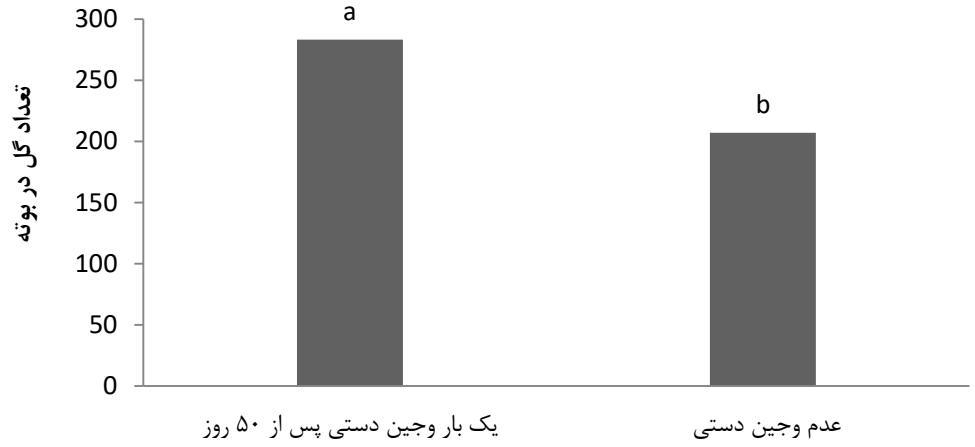
وجین دستی (شکل ۶) بر تعداد گل در بوته نشان داد که اعمال یک بار وجین دستی باعث افزایش معنی‌دار تعداد گل در بوته در مقایسه با تیمار عدم وجین دستی شد. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مدیریت بر تعداد گل در بوته (شکل ۷) نشان داد که بیشترین تعداد گل در بوته (۴۷۷ گل) در تیمار ترفلان ۵۰٪ + مالچ حاصل شد و بقیه‌ی تیمارهای مدیریت دارای علفکش، تعداد گل در بوته کمتری داشتند. تیمارهای ترفلان ۱۰۰٪ و ترفلان ۱۰۰٪ + مالچ، کاهش شدید در تعداد گل در بوته را در مقایسه با تیمار ترفلان ۵۰٪+ مالچ نشان دادند که احتمالا به دلیل اثرات منفی میزان بالای کاربرد ترفلان بر گاوزبان اروپایی می باشد. تعداد گل در بوته در تیمارهای ترفلان ۱۰۰٪ و پندیمتالین ۵۰٪، تفاوت معنی داری با تعداد آن در تیمار آلوده به علف هرز نداشتند. همچنین تیمار ترفلان ۵۰٪ + مالچ باعث افزایش تعداد گل در بوته در مقایسه با تیمار ترفلان ۵۰٪ شد که نشان می دهد تیمار مالچ یاعث افزایش رشد و تعداد گل در بوته گاوزبان اروپایی شده است.



شکل ۵- تیمارهای ترکیبی مدیریت ووجین دستی بر شاخص سطح برگ گاوزبان‌اروپایی

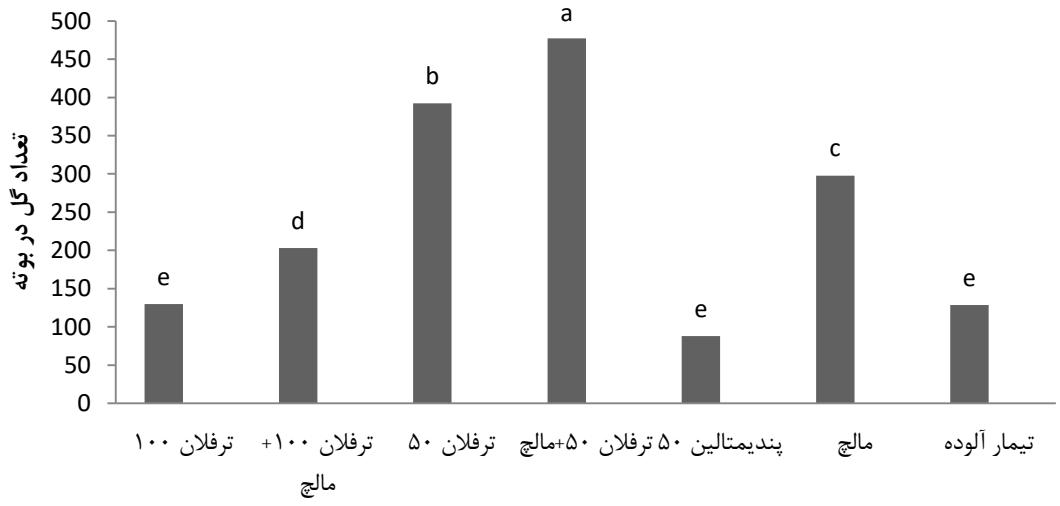
(ستون های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند. ترفلان ۱۰۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۱۰۰ + مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ ترفلان ۵۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۵۰+ مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ پندیمتالین ۵۰: کاربرد پندیمتالین به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ مالچ: کاربرد مالچ کلش گندم و تیمار آلوده: تیمار آلوده به علف هرز در کل دوره رشد می باشند)

تعداد گل در بوته گاوزبان اروپایی به مقدار زیادی به عواملی که برای رشد سریع گیاه مناسب است به‌خصوص عناصر غذایی و رطوبت کافی وابسته است. با افزایش تداخل علف های هرز این عوامل (عناصر غذایی و رطوبت) و همچنین دریافت نور به طور معنی داری کاهش می یابد. از طرفی این محدودیت‌ها درمراحل زایشی گیاه می‌تواند از طریق کاهش فتوسنتز جاری و سنتز مواد پرورده موجب کاهش توان گیاه در اختصاص مواد فتوسنتزی به تولید واحدهای زایشی شده و در نهایت منجر به کاهش تعداد گل در بوته گاوزبان اروپایی می‌شود (بوروی و کاپلان ۲۰۲۰).



شکل۶-تأثیر وجین دستی بر تعداد گل در بوته گاوزبان اروپایی

(ستون های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.)



شکل ۷-اثر تیمارهای مدیریت علف‌های هرز بر تعداد گل در بوته گاوزبان اروپایی

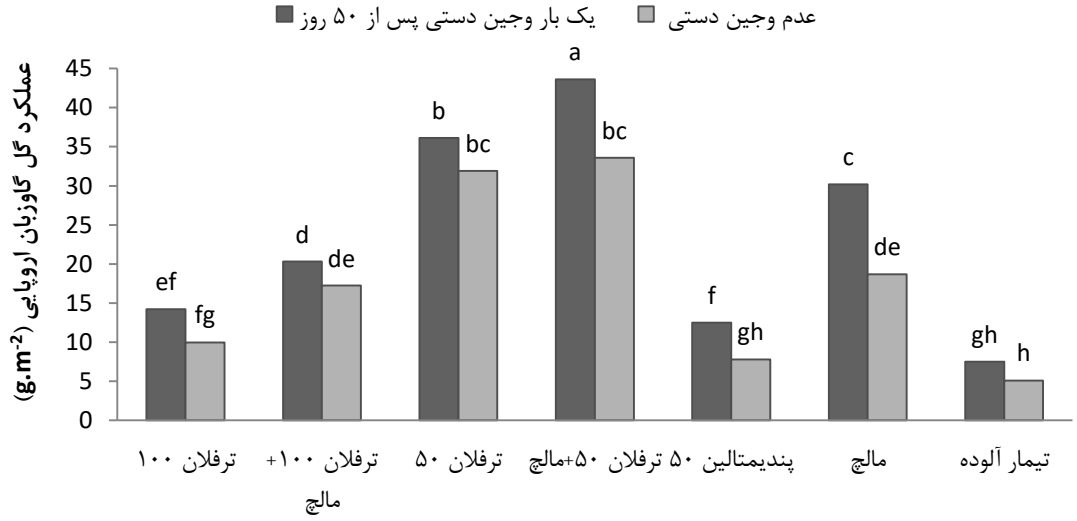
(ستون های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند. ترفلان ۱۰۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۱۰۰ + مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ ترفلان ۵۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۵۰+ مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ پندیمتالین ۵۰: کاربرد پندیمتالین به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ مالچ: کاربرد مالچ کلش گندم و تیمار آلوده: تیمار آلوده به علف هرز در کل دوره رشد می باشند)

عملکرد

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر تیمار مدیریت و وجین دستی در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل تیمار مدیریت × وجین دستی در سطح احتمال ۵٪ بر عملکرد گل معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۸) نشان داد که در تیمارهای ترفلان ۵۰٪+مالچ، پندیمتالین ۵۰٪ و مالچ، تیمار یک بار وجین دستی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گل در مقایسه با تیمار عدم وجین دستی شد ولی در بقیه تیمارها، بین تیمارهای عدم وجین دستی و یک بار وجین دستی، تفاوت معنی‌داری مشاهد نشد. در مدیریت علف‌های هرز شوید (امینی و همکاران ۲۰۲۳a) و لوبیا (امینی و همکاران ۲۰۲۳b)

مشاهده شد که در بین مدیریت های غیرشیمیایی در حالت تلفیق با دز کاهش یافته علفکش، کارایی یک بار وجین دستی بیشتر از کاربرد مالچ کلش بود. تیمار کاربرد ترفلان ۵۰٪ به همراه با مالچ کلش گندم تا ۸۴٪ نسبت به تیمار آلوده به علف‌های هرز باعث افزایش عملکرد گل گردید. استفاده از تیمارهای مالچ باعث کاهش تلفات رطوبتی شده و افزایش کارایی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ساقه به گل ها را در پی داشته و در نهایت به افزایش عملکرد محصول کمک می‌کند (امینی و همکاران ۲۰۲۰b). بنا به اظهار محققان تیمار ترکیبی علف‌کش ترفلان همراه با مالچ کلش گندم، بیشترین عملکرد سرشاخه گل دار و اسانس را در بادرشبو به خود اختصاص داد (امینی و همکاران ۲۰۲۰b). کاربرد مالچ کلش می‌تواند تاثیر علفکش را در کنترل علف هرز افزایش دهد (مونن و باربری ۲۰۰۶؛ امینی و همکاران ۲۰۲۳a,b).

محمداوغلی (۲۰۲۲) نیز مشاهده نمود که بیشترین عملکرد اندام هوایی گشنیز در تیمار مدیریتی ترفلان ۵۰٪ + مالچ کلش گندم حاصل شد. فریدی (۲۰۲۰) نیز مشاهده نمود که بیشترین عملکرد بیولوژیکی بابونه آلمانی در تیمار تریفلورالین ۱۰۰٪ + مالچ کلش گندم حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کاربرد تریفلورالین ۷۵٪ + مالچ کلش گندم نداشت. امینی و همکاران (۲۰۲۰b) افزایش عملکرد بیولوژیکی بادرشبو را تحت تیمار تلفیقی مالچ کلش با دزهای ۵۰ و ۱۰۰٪ تریفلورالین گزارش کردند. همچنین احمدی کاکاوندی و همکاران (۲۰۲۲) مشاهده کردند کاربرد مالچ کلشی در تلفیق با علفکش تریفلورالین باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیکی زیره‌سبز شد و بیشترین عملکرد بیولوژیکی در تیمار تریفلورالین ۱۰۰٪+ مالچ کلشی حاصل شد.



شکل ۸- عملکرد گل گاوزبان‌اروپایی در ترکیبات تیماری مدیریت و وجین دستی

(ستون های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند. ترفلان ۱۰۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۱۰۰ + مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ ترفلان ۵۰: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ ترفلان ۵۰+ مالچ: کاربرد ترفلان به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده + مالچ‌کلش‌گندم؛ پندیمتالین ۵۰: کاربرد پندیمتالین به‌مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده؛ مالچ: کاربرد مالچ کلش گندم و تیمار آلوده: تیمار آلوده به علف هرز در کل دوره رشد می باشند)

تیمار کاربرد ترفلان ۱۰۰٪ هرچند بیشترین کاهش در زیست توده علف‌های هرز (کارایی کنترل علف‌هرز) را داشت (شکل ۳) ولی عملکرد گل در این تیمار تفاوت معنی‌داری با تیمار آلوده به علف هرز نداشت (شکل ۸).

این نتایج می‌تواند احتمالا به دلیل اثرات منفی مصرف میزان ۱۰۰٪ ترفلان بر رشد و عملکرد گاوزبان اروپایی باشد. احمدیان و همکاران (۲۰۲۴) نیز گزارش نمودند که تیمار کاربرد ترفلان ۱۰۰٪ باعث کاهش معنی دار وزن خشک ریحان در این تیمار در مقایسه با ترفلان۵۰٪ + مالچ و وجین دستی شد؛ در صورتی که عظیمی و همکاران (۲۰۲۳) در مدیریت علف‌هرز کنجد مشاهده نمودند که عملکرد دانه در تیمار کاربرد ترفلان ۱۰۰٪ و مالچ کلش گندم، تفاوت معنی داری نداشت.

نتیجه گیری کلی

بیشترین کاهش تراکم و زیست توده علف‌های هرز در تیمارهای ترفلان ۱۰۰٪، ترفلان ۱۰۰٪+ مالچ و ترفلان ۵۰٪+ مالچ مشاهده شد و همچنین تیمار یک بار وجین دستی باعث کاهش تراکم و زیست توده علف های هرز در مقایسه با تیمار عدم وجین دستی گردید. در تیمارهای ترفلان ۵۰٪ + مالچ کلش، پندیمتالین ۵۰٪ و مالچ کلش، اعمال یک بار وجین دستی باعث افزایش عملکرد گل گردید و ببیشترین عملکرد گل گاوزبان اروپایی در تیمار کاربرد ترفلان ۵۰٪ + مالچ کلش گندم به همراه یک بار وجین دستی حاصل شد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در سیستم‌های تولید پایدار که محدودیت استفاده از کارگر وجود نداشته باشد، کاربرد مالچ کلش به همراه یک بار وجین دستی، عملکردی معادل با کاربرد ترفلان ۵۰٪ خواهد داشت و بهترین روش برای مدیریت علف هرز گاوزبان اروپایی خواهد بود. در سیستم های رایج کشاورزی، کاربرد ترفلان ۵۰٪ + مالچ کلش به همراه یک بار وجین دستی به عنوان یک روش مدیریت تلفیقی علف هرز به کشاورزان پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دست اندرکاران مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان به جهت همکاری و مساعدت در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می شود.

منابع مورد استفاده

Abbaszadeh M, Amini R, and Dabbagh Mohammadi Nassab A. 2022. Effect of non-chemical methods integrated with reduced rates of trifluralin on weeds and yield of dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32, 245–259. (In Persian with English Abstract). . https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.45251.2663

Ahmadian N, Amini R, and Dabbagh Mohammadi Nassab A. 2024. Effect of non-chemical methods in integration with trifluralin on weeds and yield of basil (*Ocimum bacilicum* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 34, In Press. (In Persian with English Abstract). . https://doi.org/10.22034/SAPS.2023.56391.3037

Ahmadi-Kakavandi R, Amini R, Shakiba MR, and Nosratti I. 2022. Effect of mulch application in integration with reduced rates of trifluralin on weeds and essential oil yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32, 161–179. (In Persian with English Abstract). . https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.45892.2678

Amini R, and Namdari T. 2013. Inhibitory effects of prostrate amaranth (*Amaranthus blitoides* S. Wats) on common bean cultivars. Allelopathy Journal. 32 (2): 63-76.

Amini R, Abbaszadeh M, and Khoshmaram L. 2023a. Performance of integrating reduced trifluralin doses with nonchemical treatments on weed management and dill (*Anethum graveolens* L.) yield. Crop Protection, 168, 106233. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106233

Amini R, Alizadeh H, and Yousefi AR. 2014. Interference between red kidneybean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). European Journal of Agronomy, 60, 13–21. https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.07.002

Amini R, and Yousefi A. 2014. Using reduced rates of trifluralin and hand weeding in sustainable weed management of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Journal of Agriculture Science and Sustainable Production, 24 (2): 95-105. (In Persian with English Abstract). .

Amini R, Behgam M, and Dabbagh Mohammadi Nasab A. 2023b. Using non-chemical options in integration with reduced rates of imazethapyr in weed management of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Weed Research, 63 (6): 361-370. https://doi.org/10.1111/wre.12599

Amini R, Choubforoush Khoei B, Dabbagh Mohammadi Nasab A, and Raei Y. 2020a. Effects of intercropping sugar beet (*Beta vulgaris* L.) with millet, soybean and Moldavian balm on yield and quality in an organic production system. Biological Agriculture and Horticulture, 36, 141–155. https://doi.org/10.1080/01448765.2020.1739556

Amini R, Ebrahimi A, and Dabbagh Mohammadi Nasab A. 2020b. Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) essential oil content and composition as affected by sustainable weed management treatments. Industrial Crops & Products, 150: 112416. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112416

Amini R, Hasanfard A, Ahmadian N, and Zarei Yuzband F. 2024. Effect of environmental, seed burial depth, and straw mulch on germination and seedling emergence in *Cichorium glandulosum*. Weed Science, 72:164–171. https://doi.org/10.1017/wsc.2023.78

Amini R, Mobli A, and Dabbagh Mohammadi Nasab A. 2020c. Response of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) emergence and competition with corn (*Zea mays* L.) to seed burial depth and mulch. Archives of Agronomy and Soil Science, 66 (5): 679–693. https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1632438

Amini R, Pezhgan H, and Dabbagh Mohammadi Nasab A. 2013. Effect of weeds competition on some growth parameters of red, white and pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 3(5): 86-93.

Amiriyan Chelan Z, Amini R, and Dabbagh Mohammadi Nasab A. 2024. Optimizing fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) oil yield and compositions in intercropping through growth promoting bacteria and mycorrhiza. Frontiers in Agronomy. 6: 1422236. https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1422236

Azimi S, Amini R, and Hosseingolizadeh M. 2023. Suppression of weed and insect populations by living and straw mulches in sesame (*Sesamum indicum* L.). Scientific Reports, 13: 21586. https://doi.org/10.1038/s41598-023-48978-6

Borowy A, and Kapłan M. 2020. Evaluating mustard seed meal for weed suppression in borage (*Borago officinalis* L.) cultivation. Acta Agrobotanica, 73(2): 7328. https://doi.org/10.5586/aa.7328

Borowy A, Kiczorowski P, and Wójcik I. 2016. Evaluation of fluazifop-P-butyl and napropamide usefulness for weed control in borage (*Borago officinalis* L.) cultivation. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio EEE: Horticultura, 26 (1): 1-12.

Ebrahimi A, Amini R, and Dabbagh Mohammadi Nasab A. 2019. Integrated weed control of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) using reduced rates of herbicides and straw mulch. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(4): 129-144. (In Persian with English Abstract). .

Faridi Sh. 2020. Effect of different herbicide doses integrated with straw mulch in weed control of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). M.Sc. Thesis. Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. Iran. (In Persian with English Abstract). .

Gibson KD, Mc Milan J, Hallett SG, Jordan T, and Weller SC. 2011. Effect of a living mulch on weed seed banks in tomato. Weed Technology, 25(2): 245-251. https://doi.org/10.1614/WT-D-10-00101.1

Giri P, Pandey ST, Roy S and Behera B. 2016. Weed dynamics, herbage and oil yield of sweet basil (*Ocimum basilicum*) under various weed management practices. Journal of Crop and Weed, 12(1):145-149.

Hosseingolizadeh M, Amini R, and Dabbagh Mohammadi Nassab A. 2022. Effect of reduced rates of trifluralin in integration with living and straw mulch on weeds and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal

of Agricultural Science and Sustainable Production, 32, 181–196. (In Persian with English Abstract). . https://doi.org/20.1001.1.24764310.1401.32.2.12.9

Izadi-Darbandi E, Bege-Pouramrai M, and Barmak H. 2015. Evaluation of different herbicides efficacy in cumin (*Cuminum cyminum* L.) weed control. Weed Research Journal, 7: 21-34.

Khodadadi V, Yousefi AR, and Shahbazi, S. 2020. Evaluation the possibility of chemical weed control in black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Weed Science, 16: 15-26. https://doi.org/10.22092/IJWS.2020.1601.1306

Mohammad Oghli Sh. 2022. Application of living and straw mulches in integration with trifluralin in weed management of coriander (*Coriandrum sativum* L.). M.Sc. Thesis. Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. Iran. (In Persian with English Abstract). .

Moonen AC, and Barberi P. 2006. An ecological approach to study the physical and chemical effects of rye cover residues on *Amaranthus retroflexus, Echinocholoa crus-galli* and maize. Annals of Applied Biology, 148: 73-88. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00038.x

Nosrati I, Dabbagh Mohammadi Nassab A, Shakiba MR, and Amini R. 2017. Evaluating the cultural and physical methods and reduced doses of herbicide in integrated weed management of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(3): 78-110. (In Persian with English Abstract). .

Omidbeigi R. 2015. Production and Processing of Medicinal Plants, vol. 2. Astane Ghods Razavi, Mashhad. Iran.

Rahman AM, Chikushi J, Saifizzaman M, and Lauren JG. 2005. Rice straw mulching and nitrogen of no-till wheat following rice in Bangladesh. Field Crops Research. 91:71-81. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.06.010

Ramakrishna A, Tam HM, Wani SP, and Long TD. 2006. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. Field Crops Research. 95(2-3): 115-125. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.030

Rohrig M, and Stutzel H. 2001.Canopy development of *Chenopodium album* in pure and mixed stands. Weed Research, 41: 111-228. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00221.x

Rowley MA, Ransom CV, Reeve JR, and Black BL. 2011. Mulch and organic herbicide combinations for in-row orchard weed suppression. International Journal Fruit Science. 11: 316-331. https://doi.org/10.1080/15538362.2011.630295

Seifzadeh AR, Khaledian MR, Zavareh M, Shahinrokhsar P, and Damalas CA. 2020. European borage (*Borago officinalis* L.) yield and profitability under different irrigation systems. Agriculture, 10(4), 136. https://doi.org/10.3390/agriculture10040136

Shirzadi Margavi Z, Zaefarian F, and Bagheri Shirvan M. 2018. Response of sweet basil and borage to weeds and mung bean and Persian clover cover crops. Journal of Agroecology, 8 (2), 29-46.

Yordanova M, and Shaban N. 2007. Effect of mulching on weeds of fall broccoli. Buletinul USAMV-CN: 1454-2382.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 213-224

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

Effect of using Seaweed on Yield Components, Seed and Oil Yields of Safflower Genotypes in Saline Soils of the Tabriz plain

Bahman Pasban Eslam[1]

Received: 7 May 2024	Accepted: 12 December 2024

1-Assoc. Prof., of Crop and Horticultural Science Research Dept, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: b_pasbaneslam@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: Today, the usage of seaweed extracts is increasing in order to decrease the effects of environmental stresses in plants. The research aimed to study effects of seaweed on yield components, seed and oil yields of fall promising safflower, and select high-yielding genotypes to cultivate in saline and marginal soils of Tabriz plain.

Methods and Materials: An experiment was conducted as a split plot based on a randomized complete blocks design with three replications in East Azarbaijan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center during 2022-23. The experimental factors were foliar application of seaweed extract including control and spraying during flowering stage (4 ml m^{-2}), and second factor included 14 safflower genotypes.

Results: The effect of seaweed on safflower led to a significant increase in plant height, capitula per plant, 1000-seeds weight and seed and oil yields. The effect of seaweed on genotypes was significantly different. The correlation between capitula per plant and 1000-seeds weight with seed and oil yields were positively significant. The genotypes having higher capitula per plant and 1000-seeds weight indicated higher seed yield. The correlations among plant height and seed and oil yields were significantly positive.

Conclusion: The seed and oil yields of PI560166 genotype increased 1463 and 493 Kg h^{-1} respectively by seaweed extracts treatment. The genotypes PI426521, PI250204, PI752444, PI572441, PI259994, and PI525458 were indicated in the next steps respectively. Cultivating them and foliar spraying of seaweed extracts on plants during the flowering stage will lead to an economically acceptable yield. Therefore, expanding safflower production in the saline and marginal areas of Tabriz plain and regions with similar climates is possible.

Keywords: Biological Fertilizer, Economical Yield, Marginal Areas, Oilseeds, Sustainable Development

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Bahman Pasban Eslam, Email: b_pasbaneslam@yahoo.com

http://doi.org/ 10.22034/saps.2024.63691.3284

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۲۲۴-۲۱۳

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر کاربرد جلبک دریایی روی اجزای عملکرد، عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه در خاک‌های شور دشت تبریز

بهمن پاسبان اسلام[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۳	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۲

۱- دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
Email: b_pasbaneslam@yahoo.com

چکیده

مقدمه و اهداف: **امروزه** کاربرد عصاره جلبک دریایی برای کاهش اثرات تنش‌های محیطی در گیاهان رو به گسترش است. پژوهش به‌منظور بررسی اثرات جلبک دریایی بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ‌های امید بخش گلرنگ پاییزه و گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول برای کشت در خاک‌های شور و کم‌بازده دشت تبریز اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی طی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا شد. کرت اصلی شامل محلول پاشی عصاره جلبک دریایی (شاهد و تیمار در مرحله گل‌دهی به‌مقدار ۴ میلی لیتر در متر مربع) و کرت فرعی ۱۴ ژنوتیپ گلرنگ بودند.

یافته‌ها: محلول پاشی گلرنگ با عصاره جلبک دریایی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه، درصد روغن، عملکرد دانه و روغن گردید. اثر جلبک دریایی روی ژنوتیپ‌ها به‌طور معنی‌داری متفاوت بود. همبستگی بین تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه با عملکرد دانه و روغن مثبت و معنی‌دار شد. ژنوتیپ‌های با تعداد طبق و وزن هزار دانه بیشتر عملکرد دانه بالاتری کسب کردند. همبستگی بین ارتفاع بوته و عملکرد دانه (۰/۷۱) و روغن (۰/۶۸) مثبت و معنی‌دار دیده شد.

نتیجه‌گیری: ژنوتیپ PI560166 در اثر تیمار جلبک دریایی به‌ترتیب ۱۴۶۳ و ۴۹۳ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد دانه و روغن نشان داد. ژنوتیپ‌های PI426521، PI250204، PI752444، PI572441، PI259994 و PI525458 به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی بودند. کشت ژنوتیپ‌های مذکور به‌همراه محلول پاشی عصاره جلبک دریایی در اراضی شور و کم‌بازده دشت تبریز و اقلیم‌های مشابه امکان توسعه کشت گلرنگ را فراهم خواهد آورد.

واژه‌های کلیدی: اراضی کم‌بازده، توسعه پایدار، دانه‌های روغنی، عملکرد اقتصادی، کود بیولوژیک

مقدمه

بخش اعظم روغن خوراکی مورد استفاده در کشور از طریق واردات تامین می‌شود. بنابراین تولید دانه‌های روغنی از اهمیت زیادی برخوردار است. گلرنگ

(*Carthamus tinctorius* L.) یک دانه روغنی متحمل به تنش‌های غیر زیستی از جمله شوری و خشکی (باسیل و کافکا ۲۰۰۲) بوده و زراعت مناسبی برای کشت در اراضی کم‌بازده به‌شمار می‌رود (پاسبان اسلام ۲۰۰۴). در حال حاضر بیش از ۷۲۵ کیلومتر مربع اراضی زراعی شور (با شوری بین ۴ تا ۹ دسی زیمنس بر متر) در دشت تبریز وجود دارد (فرجنیا ۲۰۱۹). با کاهش آب رودخانه‌های فصلی و چاه‌ها و همچنین خشک شدن دریاچه ارومیه (حسین‌زاده و همکاران ۲۰۱۲ ، حسین-پور و همکاران ۲۰۲۲) و عدم امکان کشت محصولاتی مانند صیفی‌جات، کشت گلرنگ در منطقه درحال توسعه است. بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار با منطقه و بهبود عملکرد دانه و روغن آنها باعث افزایش ارزش اقتصادی زراعت گلرنگ در منطقه شده و نقش اساسی در ممانعت از بایر شدن این اراضی خواهد داشت.

بررسی ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ در دشت تبریز نشان داد که ژنوتیپ‌های KW5، KW8 و پدیده بیشترین عملکرد دانه را در منطقه کسب کردند (پاسبان اسلام ۲۰۱۲). از بین اجزای عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه در تعیین عملکرد دانه گلرنگ نقش برجسته‌تری داشته‌اند (کوتروباس و همکاران ۲۰۰۴). پاسبان اسلام (۲۰۰۴) با مطالعه ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه در دشت تبریز طی تاریخ‌های کاشت مختلف نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بین آنها وجود دارد.

در سال‌های اخیر استفاده از عصاره جلبک دریایی به‌خصوص در کشاورزی ارگانیک گسترش یافته است (روس و گوینه ۲۰۰۴). نشان داده شده است که این عصاره‌ها بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه در تمام مراحل تا زمان برداشت و حتی پس از برداشت تأثیر مثبت دارند. نشان داده شده است که محصولات جلبک دریایی باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی شده و با افزایش اندازه و تراکم ریشه، افزایش قابل توجهی در بنیه گیاهچه ایجاد می‌کند (رایوراس و همکاران ۲۰۰۸). بتائین‌های موجود در عصاره جلبک دریایی باعث جلوگیری از تخریب کلروفیل در گیاهان می‌شوند (بلوندن و همکاران ۱۹۹۷). گلایسین بتائین، جزئی از عصاره جلبک دریایی است که از سلول‌ها در برابر عوامل تنش‌زای غیرزیست مختلف موثر ببر تعادل اسمزی، محافظت می‌کند. این امر از طریق محافظت از پروتئین‌های پیچیده، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کمپلکس فتوسیستم II به دست می‌آید (تیان و همکاران ۲۰۱۷). اثرات محلول پاشی عصاره جلبک دریایی روی گیاهان می‌تواند به‌علت وجود ترکیبات متعدد موثر بر رشد گیاه شامل: اسیدهای آمینه، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، محافظ‌های اسمزی و هورمون‌ها می‌باشد. همچنین این مواد بر خلاف کودهای شیمیایی باعث آلودگی محیط زیست نشده و برای انسان و حیوانات غیرسمی هستند (دلپوسو و همکاران ۲۰۰۷). کاربرد عصاره جلبک دریایی روی گیاهان باعث افزایش تحمل به تنش‌های خشکی و شوری می‌گردد که از علل اصلی آن وجود مواد معدنی همچون پتاسیم و مواد آلی مانند بتائین و گلایسین است. پتاسیم و اسید-های آمینه مذکور باعث بهبود تنظیم اسمزی داخل سلول‌های گیاهی می‌گردند (جاکوماسی و همکاران ۲۰۲۲ ؛ استریک و همکاران ۲۰۲۰). عصاره جلبک دریایی دارای مواد محرک رشد مانند فیتوهورمون‌ها (اکسین‌ها، اسید جیبرلیک، سیتوکینین‌ها و غیره)، عناصر معدنی (کلسیم، منیزیم، پتاسیم، روی، آهن، مس و غیره)، اسیدهای آمینه و ویتامین‌ها می‌باشد (لاتیک و همکاران ۲۰۱۷). بهبود رشد محصول و عملکرد دانه به-ویژه در شرایط دشوار محیطی مانند تنش خشکی و شوری از دیگر اثرات مفید استفاده از عصاره جلبک دریایی به‌عنوان تنظیم کننده طبیعی رشد گیاه می‌باشد. آذرمهر و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی در گیاه کلزا باعث افزایش تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین در شاخه، درصد روغن و عملکرد دانه می‌شود. راتوره و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی به‌طور قابل توجهی پارامترهای عملکرد گیاه سویا را افزایش می‌دهد و بیشترین عملکرد دانه با کاربرد ۱۵ درصد عصاره جلبک دریایی با ۵۷ درصد افزایش در عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد به‌دست آمد. در رتبه بعدی کاربرد ۱۲/۵ درصد عصاره جلبک دریایی قرار داشت که باعث افزایش ۴۶ درصدی

عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد. در همین مطالعه بهبود جذب عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد) از خاک در اثر استفاده از جلبک دریایی روی گیاه سویا نیز گزارشد شده است (راتوره و همکاران ۲۰۰۹). پژوهشگران دریافتند که کاربرد کود جلبک دریایی به‌صورت پیش تیمار بذری و محلول‌پاشی برگی سبب افزایش میزان کلروفیل در سویا می‌گردد (جوشی پانری و همکاران ۲۰۲۰). نتایج مطالعات کومار و ساهو (۲۰۱۱) روشن ساخت که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۲۰ درصد روی بوته‌های گندم باعث افزایش ۱۱ درصدی در عملکرد دانه نسبت به شاهد می‌شود. در تحقیقی نشان داده شده است که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی روی گیاهان گندم در مرحله گل‌دهی باعث افزایش معنی‌دار وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در واحد سطح گردید (زوداپه و همکاران ۲۰۱۱). همچنین کاربرد عصاره جلبک دریایی روی گیاهان کلزای در معرض تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، پرولین، وزن خشک بوته، ارتفاع بوته، غلظت کلروفیل، اجزای عملکرد دانه و عملکرد دانه گردید (شهریاری و همکاران ۲۰۲۱). با کاربرد جلبک دریایی، میزان پرولین در سلول‌های گیاهی بالا رفته و از طریق ایجاد تنظیم اسمزی، افزایش وزن خشک ریشه، کاهش تجزیه کلروفیل و کاهش نشت غشا، باعث بهبود رشد و عملکرد می‌شود. همچنین عصاره جلبک دریایی با افزایش ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب برگ، مقدار کلروفیل برگ، پایداری غشای سلولی و محتوای کاراتنوئید باعث افزایش فتوسنتز خالص شده و در نهایت به افزایش عملکرد دانه منجر می‌گردد (احمد پور و همکاران ۲۰۲۰؛ محمدپور و همکاران ۲۰۲۲).

اهداف مطالعه بررسی اثرات محلول پاشی جلبک دریایی بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و روغن ژنوتیپ‌های امید بخش گلرنگ پاییزه و گزینش ژنوتیپ-های پرمحصول برای کشت در خاک‌های شور و کم-بازده دشت تبریز و اراضی با شرایط اقلیمی مشابه بود.

مواد و روش ها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه خسروشاه (۴۶ درجه و ۲ دقیقه شرقی، ۳۷ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی) مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا شد. شرایط اقلیمی ایستگاه در سیستم اقلیم‌بندی کوپن سرد و نیمه خشک بوده (علیخانی ۲۰۱۳) و دارای اراضی کم‌بازده و لب شور است. ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ آمده است. همچنین شرایط آب و هوایی ایستگاه نیز در جدول ۲ ارایه شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کاشت در ۲۰ شهریور ماه انجام گردید. فاکتورهای آزمایش شامل عصاره جلبک دریایی (گونه به‌کار رفته *Ecklonia maxima* بود) به‌عنوان کرت اصلی با دو سطح: بدون تیمار و محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و کرت فرعی ۱۴ ژنوتیپ امید بخش گلرنگ شامل: PI250204، PI259994، PI426521، PI560185، PI426521، PI525458، PI537698، PI537694، PI525457، PI572444، L1، PI572441، PI560166 و Padideh بودند. محلول پاشی در دو نوبت صورت گرفت. نوبت اول در زمان شروع مرحله گل‌دهی و نوبت دوم اواسط مرحله گل‌دهی انجام شد. مقدار کل عصاره مورد استفاده برای محلول پاشی ۰/۴ میلی لیتر در هر متر مربع بود (معادل ۴ لیتر در هکتار). عصاره شامل: ۰/۱۲۶ درصد پتاسیم محلول در آب، ۹/۰۶ درصد ماده آلی و ۵ درصد کربن آلی بود. عصاره جلبک دریایی با نام تجاری اگری کلپ ۱۰۰ اکسترا (Agriclp 100 Extra) تولید شرکت آگچم رالفز (Agchem Rulfes) کشور آفریقای جنوبی به‌کار رفت. هر کرت آزمایشی از ۶ ردیف به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و طول پنج متر شکل گرفت. فاصله بوته‌ها روی ردیف در هفت سانتی‌متر تثبیت شدند. کاشت بذر برپایه ۲۰ کیلوگرم برای هر هکتار بود. برای آبیاری از آب چاه با شوری ۴/۵ دسی زیمنس بر متر استفاده شد. کوددهی مزرعه با استفاده از اوره به‌مقدار۲۲۲ کیلوگرم (در سه قسط شامل: زمان کاشت، شروع رشد بهاره و گل‌دهی)، سولفات پتاسیم

۸۰ کیلوگرم و سوپر فسفات تریپل ۱۵۰ کیلوگرم (هر دو به‌هنگام کاشت) به ازای هر هکتار محاسبه و انجام گرفت. در زمان غنچه‌دهی بوته‌ها، برای مبارزه با آفت مگس گلرنگ مزرعه با سم دیازینون به غلظت یک و نیم در هزار سمپاشی شد.

برای تعیین ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق در زمان رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌ها از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع آنها بر حسب سانتی‌متر، تعداد طبق‌ها در هر بوته و تعداد دانه‌ها در هر طبق شمارش شده و میانگین آنها برای هر کرت تعیین شد. در زمان رسیدگی محصول (۹ مرداد ماه) پس از حذف حاشیه‌ها، کرت‌ها برداشت و عملکرد دانه، وزن هزار دانه و درصد روغن دانه‌ها تعیین شدند. روغن دانه‌ها به‌روش استخراج پیوسته سوکسله استخراج شد (میر نظامی ضیابری و صانعی شریعت پناه ۱۹۹۴). تجزیه داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با نرم افزار آماری MSTATC صورت گرفت. برای مقایسه میانگین صفات از آزمون توکی استفاده شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	پتاسیم ($mg\ Kg^{-1}$)	فسفر ($mg\ Kg^{-1}$)	نیتروژن (٪)	کربن آلی (٪)	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	واکنش خاک
۶۸	۲۰	۱۲	۲۰۸	۱۲	۰/۰۴	۰/۳۸	۶/۱	۸/۳

جدول ۲- ویژگی‌های آب و هوایی ایستگاه خسروشاه در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

سال	ماه‌های سال	میانگین دمای حداقل (°C)	میانگین دمای حداکثر (°C)	میانگین کل دما (°C)	مجموع بارندگی (mm)
۱۴۰۱	شهریور	۱۶/۱	۳۲/۹	۲۴/۵	۰/۵
	مهر	۱۱/۴	۲۶/۷	۱۹/۰	۶/۰
	آبان	۳/۹	۱۵/۸	۹/۸	۱۲/۸
	آذر	۰/۸	۹/۶	۵/۲	۱۲/۹
	دی	-۴/۸	۴/۸	۰/۰	۵/۲
	بهمن	-۵/۲	۴/۰	-۰/۶	۹/۷
	اسفند	۲/۱	۱۴/۷	۸/۴	۱۵/۹
۱۴۰۲	فروردین	۶/۸	۱۸/۱	۱۲/۴	۲۲/۵
	اردیبهشت	۹/۵	۲۳/۰	۱۶/۳	۳۸/۲
	خرداد	۱۵/۱	۲۵/۵	۲۲/۳	۴/۳
	تیر	۱۹/۰	۳۲/۲	۱۶/۱	۰/۰

- داده‌ها از ایستگاه سینوپتیک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌شرقی (خسروشاه) اخذ شده است

نتایج و بحث

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد آزمایش نشان داد که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی اثر معنی‌داری روی ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن دانه و عملکرد روغن داشت. علاوه بر آن بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در ارتفاع بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن دیده شد. اثر متقابل فاکتورهای مورد آزمایش روی ارتفاع بوته، عملکرد دانه و روغن معنی‌دار بود (جدول ۳). محلول پاشی عصاره جلبک دریایی روی بوته‌های گلرنگ باعث افزایش معنی‌دار به‌طور میانگین ۴/۳ طبق در بوته، ۴/۷

گرم وزن هزار دانه و یک درصد روغن (جدول ۴) و همچنین افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و روغن گردید (جدول ۶). ژنوتیپ‌های PI560166، پدیده، PI259994 و PI537698، PI537694 ، LT، PI250204 و PI572441 به‌ترتیب بیشترین تعداد دانه در طبق را نشان دادند(جدول ۴). همچنین بیشترین وزن هزار دانه به‌ترتیب به PI525458، PI426521، PI560166، PI537698، PI259994، PI752444، LI و PI572441 تعلق گرفت (جدول ۵). همواره محلول پاشی عصاره جلبک دریایی روی بوته‌های گلرنگ باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و روغن شد (به‌جز دو ژنوتیپ LI و PI426521) ولی مقدار این افزایش بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه متفاوت بود (جدول ۶). گزارش شده است از بین اجزای عملکرد، تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه در تعیین عملکرد دانه گلرنگ نقش برجسته‌تری داشته‌اند (کوتروباس و همکاران ۲۰۰۴).

جدول ۳- واریانس صفات اندازه‌گیری شده روی ژنوتیپ‌های گلرنگ در دو سطح تیمار جلبک دریایی طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع بوته	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درصد روغن دانه	عملکرد روغن
تکرار	۲	۸۵/۰۳۳	۱۸/۹۷۸*	۱۹/۱۴۴	۱/۴۳۳	۲۸۹۲/۵۷۸	۲/۶۳۳	۲۶۸۵/۷۷۹
تیمار جلبک دریایی	۱	۲۰۵۴/۴۴۴*	۴۲۲/۵۰۰**	۳/۶۰۰	۴۹۴/۶۷۸*	۵۱۸۷۳۶۰/۵۴۴**	۲۱/۵۱۱*	۷۰۴۵۱۳/۰۹۸**
خطای صلی	۲	۵۳/۵۴۴۴	۰/۵۳۳	۸/۲۳۲	۱۴/۱۴۴	۲۵۲۲/۷۱۱	۰/۶۷۸	۱۱۹۰/۷۹۵
ژنوتیپ	۱۳	۱۲۵۰/۱۷۱**	۵/۲۳۵	۲۹/۹۴۹**	۱۴/۳۱۴*	۵۴۹۱۰۲/۶۵۹**	۱/۸۱۴	۵۶۰۳۰/۹۳۳**
تیمار جلبک × ژنوتیپ	۱۳	۳۰۷/۸۷۳**	۸/۶۱۹	۱۱/۷۴۳	۱۰/۷۹۷	۳۲۶۸۱۷/۰۲۱**	۱/۲۹۷	۳۰۳۹۱/۶۱۰**
خطای فرعی	۵۲	۱۲۵/۲۱۷	۵/۵۲۹	۶/۵۲۲	۷/۴۹۱	۹۳۹۱۹/۶۲۱	۱/۷۶۳	۱۰۴۰۴/۲۳۵
ضریب تغییرات (٪)		۷/۹۴	۱۲/۴۷	۶/۰۴	۷/۴۰	۱۱/۱۱	۴/۲۶	۱۱/۸۵

*و ** به‌ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴- میانگین صفات اندازه‌گیری شده روی گلرنگ در دوسطح تیمار جلبک دریایی طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

تیمار جلبک دریایی	تعداد طبق در بوته	وزن هزار دانه (g)	درصد روغن دانه
بدون تیمار	۱۶/۷	۳۴/۶	۳۰/۷
با تیمار جلبک دریایی	۲۱/۰	۳۹/۳	۳۱/۷

معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد برای ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و درصد روغن دانه و یک درصد برای سایر صفات با آزمون f می‌باشد

بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه PI560166 با داشتن بیشترین تعداد دانه در طبق و ارتفاع بوته ۱۵۹ سانتی‌متر بالاترین عملکرد دانه به‌مقدار ۴۰۰۹ کیلوگرم در هکتار را در شرایط محلول پاشی نشان داد. این ژنوتیپ با ۱۴۶۳ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد دانه ناشی از محلول پاشی عصاره جلبک دریایی، بیشترین تاثیر پذیری از کود مذکور را داشت. رتبه‌های بعدی افزایش عملکرد دانه ناشی از اثرات محلول پاشی به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های PI426521، PI250204، PI752444، PI572441 و PI259994 تعلق گرفتند (جدول ۶). این مقدار افزایش‌ها برای محصولی مانند گلرنگ در اراضی شور و کم‌بازده می‌تواند نقش موثری در دستیابی به محصول قابل قبول اقتصادی داشته باشد. ژنوتیپ‌های LI،

PI259994، PI752444، PI560166 و پدیده به‌ترتیب بیشترین ارتفاع بوته را کسب کردند (جدول ۶). بالا بودن ارتفاع بوته در گلرنگ قابلیت برداشت مکانیزه آن را بخصوص در ارضی شور و کم‌بازده که گیاه با محدودیت رشد مواجه است، افزایش می‌دهد. بنابراین بالاتر بودن ارتفاع بوته در گزینش ژنوتیپ‌ها برای کشت در اراضی شور یک مزیت محسوب می‌گردد. نتایج تحقیقی نشان داد که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی روی بوته‌های گلرنگ در مراحل رشد رویشی و زایشی به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک کل بوته و عملکرد دانه گردید (سیبی و همکاران ۲۰۱۶). نتایج تحقیق مذکور نشان داد که اثر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی در مرحله زایشی گلرنگ روی عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری بیشتر از محلول پاشی در مرحله رویشی بوده است. یعقوب نژاد و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند محلول پاشی عصاره جلبک دریایی روی بوته‌های گلرنگ در مرحله گل‌دهی باعث افزایش تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه می‌گردد.

جدول ۵- میانگین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های گلرنگ طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

ژنوتیپ	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه (g)
PI250204	۴۲/۷ a-f	۳۷/۷ a-d
PI259994	۴۴/۸ a-c	۳۷/۸ a-d
PI426521	۴۲/۳ a-f	۳۸/۸ ab
PI560185	۴۲/۳ a-f	۳۵/۳ b-d
PI426521	۳۹/۵ d-f	۳۵/۲ b-d
PI525458	۴۱/۲ b-f	۳۹/۷ a
PI537698	۴۴/۰ a-d	۳۸/۰ a-c
PI537694	۴۳/۲ a-e	۳۴/۲ d
PI525457	۳۹/۳ ef	۳۶/۲ a-d
PI572444	۳۸/۲ f	۳۷/۲ a-d
L1	۴۲/۸ a-e	۳۷/۰ a-d
PI572441	۴۲/۵ a-f	۳۵/۰ cd
PI560166	۴۵/۸ a	۳۸/۲ a-c
Padideh	۴۵/۳ ab	۳۷/۷ a-d

حروف مشابه در هر ستون نشان‌گر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با آزمون توکی می‌باشد

در مجموع نتایج به‌دست آمده نشان‌گر آن است که بین ژنوتیپ‌های گلرنگ مورد مطالعه در اراضی شور و کم‌بازده دشت تبریز، تنوع معنی‌داری از نظر تاثیر پذیری عملکرد دانه و روغن از عصاره جلبک دریایی به‌عنوان ماده غذایی مکمل و محرک رشد وجود دارد. همچنین ژنوتیپ‌های امید بخش با محصول اقتصادی قابل قبول در اراضی شور دشت تبریز گزینش شدند. این امر امکان توسعه کشت گلرنگ در این اراضی که سطحی بالغ بر ۷۲۵ کیلومتر مربع را به‌خود اختصاص داده است، فراهم می‌نماید. در اراضی مذکور به‌علت شور شدن فزاینده خاک و آب امکان کشت سایر محصولات رایج مانند پیاز و صیفی‌جات از بین رفته است (فرجنیا ۲۰۱۹). نشان داده شده است که کاربرد عصاره جلبک دریایی روی گیاهان کلزای در معرض تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز، پرولین، وزن خشک بوته، ارتفاع بوته، غلظت کلروفیل، اجزای عملکرد دانه و عملکرد دانه گردید (شهریاری و همکاران ۲۰۲۱). تنوع ژنتیکی معنی-داری از نظر عملکرد دانه و سازگاری با شرایط اقلیمی متفاوت در ژرم پلاسم گلرنگ به‌دست آمده است که

امکان گزینش ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط اقلیمی گوناگون بخصوص اراضی شور را فراهم می‌سازد (بورتوهیرو و سیلوا ۲۰۱۷). نتایج یک آزمایش روی ارقام گلرنگ درحوزه دریاچه ارومیه نشان داد که همواره رقم پدیده بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص می‌دهد (حق‌شناس و همکاران ۲۰۲۱). گزارش شده است گلرنگ پاییزه رقم پدیده در دشت تبریز با تولید عملکرد دانه و روغن به‌ترتیب ۴۴۲۰ و ۱۳۶۹ کیلوگرم در هکتار رقم برتر بود (پاسبان اسلام ۲۰۱۵). همچنین ژنوتیپ‌هایی که در شرایط عادی عملکرد دانه بالاتری داشتند، در شرایط کمبود آب نیز عملکرد دانه بیشتری کسب کردند (صفوی و همکاران ۲۰۱۳). پاسبان اسلام (۲۰۰۴) با مطالعه ژنوتیپ های گلرنگ پاییزه در خسروشاه نشان داد که تفاوت معنی-داری از نظر ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بین آنها وجود دارد. نتایج حاصل از بررسی سازگاری ۱۰ لاین گلرنگ در کرج، اصفهان و داراب فارس طی سه سال زراعی، نشان داد که بین لاین‌های مورد ارزیابی تنوع قابل توجهی از نظر عملکرد دانه و روغن در این محیط‌ها وجود دارد (امیدی تبریزی، ۲۰۰۶).

جدول ۶- میانگین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های گلرنگ در دوسطح بدون تیمار و تیمار عصاره جلبک دریایی طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

تیمار جلبک دریایی	ژنوتیپ	ارتفاع بوته (cm)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد روغن ($kg.ha^{-1}$)
بدون تیمار	PI250204	۱۲۰ i-m	۲۲۷۵ i-m	۶۹۷ j-m
	PI259994	۱۵۱ a-g	۲۳۹۰ h-m	۷۴۱ h-m
	PI426521	۱۴۹ b-h	۲۷۲۶ c-l	۸۰۸ e-l
	PI560185	۱۳۵ e-j	۲۵۸۷ d-l	۷۷۶ f-l
	PI426521	۱۰۹ lm	۱۸۳۹ m	۵۷۶ m
	PI525458	۱۰۲ m	۲۲۲۱ j-m	۶۸۰ lm
	PI537698	۱۳۱ g-k	۲۶۸۲ l	۸۳۲ d-l
	PI537694	۱۴۷ a-h	۲۷۹۵ k	۸۸۵ b-k
	PI525457	۱۱۳ k-m	۲۱۲۳ lm	۶۸۶ k-m
	PI752444	۱۲۷ h-l	۲۲۰۰ k-m	۶۸۲ lm
	L1	۱۶۲ a-c	۲۵۰۲ f-l	۷۵۱ g-m
	PI572441	۱۳۶ e-j	۲۴۴۰ g-l	۷۲۴ i-m
	PI560166	۱۴۱ c-i	۲۵۴۶ e-l	۷۶۴ f-m
	Padideh	۱۵۶ a-e	۳۰۲۰ b-g	۹۰۶ b-i
تیمار جلبک دریایی	PI250204	۱۴۸ a-h	۳۱۵۷ b-d	۱۰۰۰ b-e
	PI259994	۱۵۹ a-d	۲۹۶۳ b-h	۹۴۸ b-g
	PI426521	۱۴۳ b-h	۲۶۵۵ c-l	۸۲۱ d-l
	PI560185	۱۴۴ b-h	۲۸۱۳ c-j	۹۱۸ b-i
	PI426521	۱۳۷ d-j	۲۷۳۱ c-k	۸۳۲ d-l
	PI525458	۱۳۲ f-k	۲۸۳۷ b-i	۸۹۶ b-j
	PI537698	۱۴۵ b-h	۳۲۵۱ bc	۱۰۵۳ bc
	PI537694	۱۴۶ b-h	۲۹۴۳ b-h	۹۳۱ b-h
	PI525457	۱۱۷ j-m	۲۷۱۵ c-l	۸۷۹ c-l
	PI572444	۱۵۴ a-f	۳۰۶۸ b-f	۹۶۲ b-f
	L1	۱۴۴ b-h	۲۳۲۴ i-m	۷۴۵ h-m
	PI572441	۱۴۰c-i	۳۱۲۶ b-e	۹۵۶ b-f
	PI560166	۱۵۹ a-d	۴۰۰۹ a	۱۲۵۷ a
	Padideh	۱۵۳ a-j	۳۱۸۶ b-d	۱۰۳۴ bc

حروف مشابه در هر ستون نشان‌گر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با آزمون توکی می‌باشد

ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های گلرنگ نشان داد که بین ارتفاع بوته با تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق عملکرد دانه و روغن همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (جدول ۷). با توجه به اینکه بالاتر بودن ارتفاع بوته در گلرنگ یک مزیت بوده و امکان برداشت مکانیزه با کمباین گندم را تسهیل می‌کند، همبستگی مثبت این صفت با عملکرد دانه و روغن یک مزیت در گزینش ژنوتیپ‌های سازگار و با عملکرد دانه قابل قبول برای منطقه آزمایش خواهد بود. همبستگی بین تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه با یکدیگر و با عملکرد دانه و روغن مثبت و معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۷). در این آزمایش بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز ژنوتیپ‌های با تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه بیشتر عملکرد دانه بالاتری داشتند (جدول ۶). مثبت و معنی‌دار بودن همبستگی بین عملکرد دانه و روغن در مطالعه حاضر نشان دهنده نقش برجسته عملکرد دانه در تعیین عملکرد روغن می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد از بین اجزای عملکرد، تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه روی عملکرد دانه گلرنگ نقش برجسته‌تری داشته‌اند (کوتروباس و همکاران ۲۰۰۴).

جدول ۷- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های گلرنگ طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

صفات	ارتفاع بوته	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن
ارتفاع بوته							
تعداد طبق در بوته	۰/۵۶**						
تعداد دانه در خورجین	۰/۴۴*	۰/۱۰					
وزن هزار دانه	۰/۲۲	۰/۶۷**	۰/۲۰				
عملکرد دانه	۰/۷۱**	۰/۷۸**	۰/۳۵	۰/۵۲**			
درصد روغن	۰/۰۳	۰/۵۱**	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۲۴		
عملکرد روغن	۰/۶۸**	۰/۸۲**	۰/۳۱	۰/۵۴**	۰/۹۹**	۰/۳۹*	

*و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان دادند که محلول پاشی ژنوتیپ-های گلرنگ با عصاره جلبک دریایی در شروع و اواسط مرحله گل‌دهی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه، درصد روغن دانه، عملکرد دانه و روغن گردید. این بهبود عملکرد محصول می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در توسعه کشت گلرنگ و دستیابی به محصول قابل قبول به‌ویژه در اراضی شور و کم‌بازده دشت تبریز و مناطقی با اقلیم مشابه داشته باشد. اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تاثیر پذیری از محلول پاشی جلبک دریایی دیده شد. ژنوتیپ‌های PI560166، PI426521، PI250204، PI752444، PI572441، PI259994 و PI525458 به‌ترتیب بیشترین عملکرد دانه و روغن را به خود اختصاص دادند. به‌نظر می‌رسد کشت ژنوتیپ‌های مذکور به‌همراه محلول پاشی عصاره جلبک دریایی در مرحله گل‌دهی در اراضی شور و کم‌بازده دشت تبریز و مناطقی با شرایط اقلیمی مشابه ضمن تولید محصول قابل قبول اقتصادی امکان توسعه کشت گلرنگ را فراهم آورد. همبستگی بین تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه با یکدیگر و با عملکرد دانه و روغن مثبت و معنی-دار به‌دست آمد. بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز ژنوتیپ‌های با تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه بیشتر عملکرد دانه بالاتری داشتند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته با عملکرد دانه و روغن دیده شد. چون بالاتر بودن ارتفاع بوته در گلرنگ برای تسهیل برداشت مکانیزه یک صفت مطلوب است، بنابراین گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالاتر برای منطقه آزمایش با فنوتیپ بوته سازگار با برداشت مکانیزه همراه خواهد بود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری مدیریت مزرعه و پرسنل محتـرم ایسـتگاه خسروشـاه مرکـز تحقیقـات و آمـوزش کشـاورزی و منـابع طبیعـی آذربایجـان شرقی تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Alikhani B. 2013. Climatology of Iran (geography branch). Peyameh Nour University Publication. 236 p. (In Persian with English Abstract).

Ahmadpour R, Salimi A, Zaidi A and Armand N. 2020. Use of seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract in mitigating the negative effects of water deficit stress in chickpea by evaluating morpho-physiological indicators. Iranian Journal of Pulses Research, 12(2): 199-213. (In Persian with English Abstract). doi 10.22067/ijpr.v12i2.89194

Azarmehr A, Baghi M and Ziaie-Nasab M. 2017. Effect of seaweed extract (Basfoliar Kelp sl) and sulphate (K-leaf) on yield and some yield components of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) var. Nataly. Agronomy Researches Near Kavir, 14 (3):155-165. (In Persian with English Abstract).

Bassil BS, and Kaffka SR. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation. II Crop response to salinity. Agricultural Water Management, 54: 81-92.

Blunden G, Jenkins T and Liu YW. 1996. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. Journal of Applied Physiology, 8: 535–543.

Bortolheiro FPAP and Silva MA. 2017. Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. Annuals of the Brazilian Academy of Science, 89: 3051-3066. https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170475

Del Poso A, Perez P, Gutierrez D, Alonso A, Morcuende R and Martinez-Carrasco R. 2007. Gas exchange acclimation to elevated CO2 in upper-sunlit and lower-shaded canopy leaves in relation to nitrogen acquisition and partitioning in wheat grown in field chambers. Environmental and Experimental Botany, 53: 371–380. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.04.009

Farajnia A. 2019. Land suitability evaluation for field and orchard crops in East Azarbaijan province. Final report of the research project. No. 57199. Date: 14 Mar. 2019. Water and Soil Research Institute. Karaj.157p. (In Persian with English Abstract).

Haghshenas R, Sharafi S and Gholinezhad E. 2021. Effect of different levels of drought stress and mycorrhiza on yield of safflower cultivars. Agriculture Science and Sustainable Production Journal, 20(2): 91-109. Doi20.1001.1.24764310.1399.30.2.6.9

Hosseinpour A, Mohammad Akhond-Ali A, Sharifi MR and Kalantari Oskouei A. 2022. Investigating the causes of rivers discharge reduction to Lake Urmia (Case study: rivers of the south and west of Lake Urmia). Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 46(2): 52-70. (In Persian with English Abstract). doi 10.22125/iwe.2021.142024

Hosseinzad J, Kazemiyeh F, Javadi A and Ghafouri H. 2012. Agricultural water management basis and mechanisms in Tabriz plain. Water and Soil Journal, 22(2): 85-98. (In Persian with English Abstract).

Jacomassi LM, Oliveira Viveiros J, De O, Oliveira MP, Momesso L, Siqueira GF and Crusciol CAC. 2022. A seaweed extract-based bio-stimulant mitigate drought stress in sugarcane. Frontiers in Plant Science, 13: 865291. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.865291

Joshi-Paneri J, Chamberland G and Donnelly D. 2020. Effects of *Chelidonium majus* and *Ascophyllum nodosum* extracts on growth and photosynthesis of soybean, Acta Agro-botany, 73: 1 -6.

Koutroubas SD, Papakosta DK and Doitsinis A. 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. Field Crops Research, 90: 263-274. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.03.009

Kumar G and Sahoo D. 2011. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. Journal of Applied Phycology, 23: 251-255. https://doi.org/10.1007/s10811-011-9660-9

Latique S, Mohamed Aymen E, Halima C, Chérif H and Mimoun EK. 2017. Alleviation of salt stress in durum wheat (*Triticum durum* L.) seedlings through the application of liquid seaweed extracts of Fucus spiralis. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 48(21): 2582-2593. https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1416136

Mirnezami-Ziabari SH and Sanei-Shariatpanah M. 1994. Usual methods in fats and oils analysis. Mashhad Astaneh Gods, 274p. (In Persian with English Abstract).

Mohamadpour G, Farzaneh S, Khomari S, Sayyed-Sharifi R and Esmaielpour B. 2022. Effect of humic-acid and seaweed extract on growth and yield of quinoa under drought stress, Journal of Crops Improvement, 24(3): 869-885. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2021.312419.2469

Omidi Tabrizi AH. 2006. Stability and adaptability estimates of some safflower cultivars and lines in different environmental conditions. Journal of Agriculture Science and Technology, 8: 141-151. http://hdl.handle.net/123456789/4167

Pasban Eslam B. 2015. Effects of row spacing and seeding rate on seed yield and its components in safflower Padideh cv. in Tabriz region. Seed and Plant Improvement Journal, 30 (2): 223-236. (In Persian with English Abstract). URL: http://sppj.spii.ir/browse.php?a_id=446&sid=1&slc_lang=en

Pasban Eslam B. 2012. Effect of drought stress on seed and oil yields of safflower fall genotypes. Iranian Agronomy Science Journal, 42: 275-283. (In Persian with English Abstract).

Pasban Eslam B. 2004. Evaluation yield and yield components in new spineless safflower genotypes. Iranian Agriculture Science Journal, 35: 869-874. (In Persian with English Abstract).

Rathore SS, Chaudhary DR, Boricha GN, Ghosh A, Bhatt BP, Zodape ST, and Patolia JS. 2009. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rain-fed conditions. South African Journal of Botany, 75(2): 351-355. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.10.009

Rayorath P, Khan W, Palanisamy R, Mackinnon SL, Stefanova R, Hankins SD, Critchley AT and Prithiviraj B. 2008. Extracts of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* induce gibberellic acid (GA3)-independent amylase activity in barley. Journal of Plant Growth Regulators, 32: 123–128.

Roth G and Goyne P. 2004. Measuring plant water status. Section 3: Irrigation management of cotton 164 pp.

Safavi SM, Pourdad SS and Safavi SA. 2013. Evaluation of drought tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under non stress and drought stress conditions. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1(9): 1086-1093.

Shahriari AG, Mohkami A, Niazi A, Parizipour MHG and Habibi-Pirkoohi M. 2021. Application of brown alga (*Sargassum angustifolium* L.) extract for improvement of drought tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Biotechnology, 19(1): 22-29. (In Persian with English Abstract). doi: 10.30498/IJB.2021.2775

Sibi M, Nezami A and Khazaie, HR. 2016. The effect of concentration, time and applying instruction of seaweed extract on some morphological characteristics of root and shoot of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Crop Physiology Journal, 8(29): 5-21.

Stirk WA, Rengasamy KRR, Kulkarni MG and Van Staden J. 2020. Plant bio-stimulant by seaweed: An overview. the Chemical Biology of Plant Bio-stimulant, 18: 33-55.

Tian F, Wang W, Liang C, Wang X, Wang G and Wang W. 2017. Over-accumulation of glycine betaine makes the function of the thylakoid membrane better in wheat under salt stress. The Crop Journal, 5: 73–82. Doi: 10.1016/j.cj.2016.05.008

Yaghobnezhad A, talebi R and Pasari B. 2023. The effect of foliar application yeast and seaweed extract on the yield and quality of safflower seed (*carthamus tinctorius* L.) under drought stress condition. Iranian Journal of Plant and Biotechnology, 18(1): 47-58. (In Persian with English Abstract).

Zodape ST, Gupta A, Bhandari SC, Rawat US, Chaudhary DR, Eswaran K and Chikara J. 2011. Foliar application of seaweed sap as bio-stimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Solanum Lycopersicum* L.). Journal of Scientific and Industrial Research, 70: 215-219.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 225-235

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

The effect of Hoagland Nutrient Solution and Triacontanol on the Yield and Photosynthetic Pigments of basil (*Ocimum basilicum* L.)

Saeideh Alizadeh Salteh[*1], Fatemeh Hashemi[2], Saheb-Ali Bolandnazhar[1], Alireza Motallebi-Azar[1], Mina Amani[3]

Received: 27 February 2024	Accepted: 04 July 2024

1- Assoc. Prof., and Prof., Dept. of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2-Graduated from Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, and Tabriz, Iran.
3-Ph.D. student of the Physiology of Production and Post-harvest of Horticultural Plants, Dept. of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
[*]Corresponding Author Email: s.a.salte@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1166-9581

Abstract

Background & Objective: This research was carried out in order to investigate the effect of triacanthanol growth regulator concentration in two concentrations of Hoagland nutrient solution including Hoagland half and full Hoagland on growth traits and photosynthetic pigments of basil (*Ocimum basilicum* L.).

Materials & Methods: The experiment was carried out as a factorial experiment in a completely randomized design, with the first factor being nutrient solution concentration at two levels: half-strength Hoagland and full-strength Hoagland, and the second factor being triacontanol at three concentrations: 0, 5, and 10 $mg.l^{-1}$, with three replications on basil plants during the agricultural year 2018-2019 in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture at the University of Tabriz, focusing on growth traits and photosynthetic pigments.

Results: According to the results, the use of full-strength Hoagland nutrient solution led to an increase in growth traits. With an increase in triacontanol concentration to 10 mg/L, the number of lateral branches decreased in both nutrient solutions, which had a negative effect on the number of lateral branches. An increase in triacontanol concentration to 5 $mg.l^{-1}$ compared to the control had the highest growth traits, whereas a concentration of 10 $mg.l^{-1}$ triacontanol led to a decrease in the average growth traits under study. The total chlorophyll level in full-strength Hoagland nutrient solution showed a 10% increase compared to half-strength Hoagland solution.

Conclusion: Therefore, based on the experimental results, it can be claimed that the use of full-strength Hoagland nutrient solution leads to an increase in growth traits and photosynthetic pigments in basil plants, which can make this medicinal plant economically and medicinally justifiable.

Keywords: Carotenoid, Chlorophyll, Growth regulators, Growth traits, Plant hormones

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Saeedeh Alizadeh Salteh, Email: s.a.salte@gmail.com

http://doi.org/ 10.22034/saps.2024.60746.3189

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۲۳۵-۲۲۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تأثیر محلول غذایی هوگلند و تریاکانتانول بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)

سعیده علیزاده سالطه[۱*]، فاطمه هاشمی[۲]، صاحبعلی بلندنظر[۱]، علیرضا مطلبی‌آذر[۱]، مینا امانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۴

۱- دانشیار و استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- دانش آموخته گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳- دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغبانی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
*مسئول مکاتبه: Email: s.a.salte@gmail.com

چکیده

مقدمه و اهداف: این پژوهش به منظور بررسی تأثیر غلظت تنظیم‌کننده رشد تریاکانتانول در دو غلظت از محلول غذایی هوگلند شامل یک‌دوم هوگلند و هوگلند کامل بر روی عملکرد اقتصادی (صفات رشدی) و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی که فاکتور اول شامل غلظت محلول غذایی با دو سطح یک‌دوم هوگلند و هوگلند کامل و فاکتور دوم شامل تریاکانتانول در سه غلظت صفر، پنج و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر با سه تکرار روی گیاه ریحان در سال زراعی ۱۳۹۸ – ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، بر روی صفات رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی انجام گرفت.

یافته‌ها: با افزایش غلظت تریاکانتانول به میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر تعداد شاخه‌های جانبی در هر دو محلول غذایی کاهش یافت که تأثیر منفی بر تعداد شاخه‌های جانبی داشت. افزایش غلظت تریاکانتانول به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با شاهد بیشترین میزان صفات رشدی را دربرداشته است، در صورتی که غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر تریاکانتانول منجر به کاهش میانگین صفات رشدی مورد بررسی شده است. سطح کلروفیل کل در محلول غذایی هوگلند کامل به میزان ۱۰ درصد نسبت به محلول غذایی یک‌دوم هوگلند افزایش نشان داد.

نتیجه‌گیری: بنابراین براساس نتایج آزمایش می‌توان ادعا نمود که استفاده از محلول غذایی هوگلند کامل منجر به افزایش عملکرد اقتصادی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه ریحان می‌گردد که می‌تواند این گیاه دارویی از نظر اقتصادی و دارویی قابل توجیه باشد.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده‌های رشد، صفات رشدی، کاروتنوئید، کلروفیل، هورمون‌های گیاهی

مقدمه

استفاده از گیاهان دارویی به منظور درمان با تاریخ زندگی انسان همزمان بوده است. امروزه در جوامع صنعتی و بسیاری از کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، استفاده از طب سنتی و گیاهان دارویی برای حفظ سلامتی، به دلیل افزایش اعتماد مردم به استفاده از

این گیاهان، بسیار چشمگیر بوده است، تقریبا ۳۰ درصد داروهای تهیه شده دنیا دارای منشأ گیاهی هستند که یا مستقیم از گیاهان عصاره‌گیری شده‌اند و یا براساس ترکیبات گیاهی، تهیه و سنتز شده‌اند (فاکناز و همکاران ۲۰۱۰). گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاهی علفی، یکساله، معطر و یک گیاه دارویی مهم از تیره نعناعیان (Lamiaceae) است که در درمان بسیاری از بیماری‌ها مورد توجه می‌باشد. ریحان دارای ساقه‌های منشعب از قاعده و به ارتفاع ۱۵ تا ۴۵ سانتی‌متر و ریشه‌های مستقیم و مخروطی با انشعابات فراوان شکل به طول ۱۰ تا ۱۶ سانتی‌متر می‌باشد. برگ‌های متقابل، بیضی نوک‌تیز نیز با کناره‌های دندانه‌دار و گل‌های معطر به رنگ‌های سفید و گاهی بنفش و مجتمع به صورت دسته‌های چهار تا شش تایی در طول قسمت انتهایی ساقه دارد. ریحان به‌عنوان یک منبع غنی از ترکیبات فنولیک[1] (به خصوص اسید رزمانیک[2] و اسید کافئیک[3]) و فلاونوئیدها[4] شناخته می‌شود (جولیانی و سیمون ۲۰۰۲). اسید رزمانیک در سرشاخه‌ها و برگ‌ها تولید می‌شود، اما تجمع آن در ریشه نیز گزارش شده است. بذر آن حاوی موسیلاژ بوده و پیکر رویشی ریحان حاوی اسانس است. مقدار اسانس ریحان باتوجه به شرایط اقلیمی محیط کشت، بین ۰/۵ تا ۱/۵ درصد متغیر است. ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس بسیار متفاوت هستند، ولی به‌طورکلی لینالول[5]، متیل کاویکول[6]، سیترال[7]، اوژنول[8]، سینئول[9]، ژرانیول[10]، کامفور[11] و متیل سینامات[12] از اجزای مهم اسانس بوده و در بازارهای جهانی به صورت عطر، دارو و صنایع غذایی مبادله می‌شوند. براساس ترکیبات معطر تشکیل‌دهنده اسانس، تیپ‌های شیمیایی متعددی از ریحان شناسایی و معمولاً براساس ناحیه جغرافیایی نامگذاری شده‌اند. مقدار اسانس بافت‌های مختلف بسته به اندام، مرحله نمو و روش استخراج متغیر است. اسانسی که از گل‌ها به دست می‌آید از نظر کیفیت، بهتر از اسانسی است که از کل پیکر رویشی گیاه استخراج می‌شود. برای تولید اسانس با کیفیت و کمیت بالا توصیه می‌شود که پیکر رویشی گیاه ریحان در مرحله تمام گل برداشت گردد. اسانس از پیکر رویشی (برگ‌ها، سرشاخه‌ها و گل‌های تازه یا خشک شده) به دو روش معمول تقطیر با آب یا تقطیر با بخار آب استخراج می‌شود. اسانس ریحان سبک‌تر از آب بوده و جداسازی آن از مخلوط آب - اسانس به راحتی امکان‌پذیر است (امانی و همکاران ۲۰۲۳؛ شریفی و همکاران ۲۰۱۱؛ یوسف‌زایی و همکاران ۲۰۱۵).

تریاکانتانول (Tria) برای اولین بار در گیاه یونجه کشف شد. تریاکانتانول یک الکل نوع اول با زنجیره ۳۰ کربنه است و به طور طبیعی در موم اپی کوتیکول گیاه یافت می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد تریاکانتانول باعث افزایش وزن خشک گیاه و کاهش محتوای قند، آمینواسید و پروتئین می‌شود (تقی‌زاده باغچه باغ و همکاران ۲۰۲۳). به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد، فعالیت آنزیم‌های مسئول تنظیم رشد گیاه (چن و همکاران ۲۰۰۲) و فرایندهای متابولیکی گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (اسلام و همکاران ۲۰۲۰؛ اسلام و محمد ۲۰۲۰؛ مظفری ۲۰۱۷). تریاکانتانول یک هورمون گیاهی است که ممکن است تأثیرات متفاوتی روی گیاهان داشته باشد. برای مثال، یک مطالعه روی گیاه دارویی گل همیشه بهار نشان داد که محلول‌پاشی تریاکانتانول با غلظت پنج تا ۱۰ مولار منجر به افزایش عملکرد گل‌آذین، سطح برگ، وزن تر و خشک شد. همچنین، غلظت پنج تا ۱۰ مولار تریاکانتانول میزان درصد ماده خشک را نیز افزایش داد (تقی‌زاده باغچه‌بان و همکاران ۲۰۲۳). به‌طورکلی، استفاده از تریاکانتانول به‌صورت محلول‌پاشی برگی می‌تواند جهت افزایش عملکرد و خصوصیات فیتوشیمیایی تعدادی از محققان گزارش کرده‌اند که کاربرد تریاکانتانول رشد و عملکرد فتوسنتز، سنتز پروتئین، جذب آب و مواد غذایی، تثبیت نیتروژن، فعالیت آنزیم‌ها و محتویات اسیدآمینه‌های آزاد، کاهش قند،

[1] Phenolic
[2] Razmanic acid
[3] Caffeic acid
[4] Flavonoids
[5] Linalol
[6] Methyl cavicol
[7] Citral
[8] Eugenol
[9] Cineol
[10] Geraniol
[11] Camphor
[12] Methyl cinnamate

پروتئین‌های محلول و ترکیبات فعال اسانس را در محصولات مختلف بهبود می‌بخشید (نئیم و همکاران ۲۰۱۱). باتوجه به ارزش غذایی و دارویی گیاه ریحان و باتوجه به تأثیرات مثبت محلول غذایی هوگلند و غلظت-های متفاوت تریاکانتانول بر روی عملکرد و زیست توده گیاهان دارویی مختلف این تحقیق به منظور دستیابی به بیشترین زیست توده و عملکرد رشدی ریحان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر تریاکانتانول در دو غلظت محلول غذایی (هوگلند کامل و یک‌دوم هوگلند) بر برخی از خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه ریحان و رنگیزه‌های فتوسنتزی در سال زراعی ۱۳۹۸ – ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی، ۴۶ درجه و ۲۷ دقیقه طول شمالی و با ارتفاع ۱۵۷۶ متر از سطح دریا انجام گرفت. مطالعات آزمایشگاهی نیز در آزمایشگاه فیزیولوژی سبزی‌ها و گیاهان دارویی دانشکده کشاورزی انجام شد. در این پژوهش، بذرها از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی که فاکتور اول شامل هوگلند کامل (جدول ۱) و یک‌دوم هوگلند و فاکتور دوم تریاکانتانول در سه سطح صفر، پنج و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و سه تکرار و در هر تکرار چهار بوته از گیاه ریحان انجام گرفت. در هفته اول رویش تا استقرار کامل گیاه، آب و محلول غذایی یک‌دوم هوگلند اعمال شد. برای این منظور ابتدا بذرهای یکسان با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی شده و بذرها در سینی نشا کشت شده و بعد از رشد بذرها، زمانی که گیاه به اندازه چهار تا پنج برگی رسید، نشاهای آماده به گلدان‌هایی با شماره ۱۰ با حجم ۷/۵ لیتر و بستر کشت پرلایت با اندازه متوسط و کوکوپیت به نسبت سه به یک انتقال داده شدند. پس از انتقال نشا به گلدان‌ها، تیمارهای محلول غذایی اعمال شدند. نسبت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در محلول غذایی هوگلند کامل در جدول ۲ آورده شده است. محلول‌های غذایی با اضافه کردن نمک‌ها به مقدار تعیین شده به بشکه‌های ۲۰۰ لیتری تهیه شدند. محلول‌رسانی به گیاهان به‌صورت دستی و روزانه صورت پذیرفت. pH محلول غذایی با استفاده از اسید فسفریک و اسید نیتریک در محدوده شش نگهداری شد. EC محلول غذایی نیز به‌طور مداوم کنترل شده (جدول ۳) و هر هفت تا ۱۰ روز یکبار به منظور جلوگیری 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.

جدول ۱- غلظت عناصر در محلول‌های غذایی هوگلند کامل و یک‌دوم هوگلند ($mg.l^{-1}$)

عناصر غذایی	هوگلند کامل	یک‌دوم هوگلند
N	۲۳۲/۶	۱۱۶/۳
K	۲۳۰	۱۱۵
Ca	۱۷۹	۸۹/۵
P	۲۴	۱۲
S	۱۱۳	۵۶/۵
Mg	۴۹	۲۴/۵
Fe	۳/۰	۱/۵
Cl	۱/۸	۰/۹
B	۰/۳	۰/۱۵
Mn	۰/۱	۰/۰۵
Zn	۰/۰۱	۰/۰۵
Cu	۰/۰۳	۰/۰۱۵
Mo	۰/۰۳	۰/۰۱۵

جدول۲- مقادیر نمک‌های کودی تشکیل‌دهنده محلول غذایی هوگلند کامل

ترکیبات	غلظت محلول استوک ($mg.l^{-1}$)	مقدار نهایی ($mg.l^{-1}$)
عناصر غذایی پرمصرف		
KH_2PO_4	۱۳۵	۱
KNO_3	۱۰۱	۵
$Ca(NO_3)_2$	۲۳۶	۵
$MgSO_4$	۲۴۶	۲
عناصر غذایی کم‌مصرف		
HBO_3	۲/۸۶	
$MnCl_2$	۱/۸۶	
$ZnSO_4$	۰/۲۲	۱
$CuSO_4$	۰/۰۸	
H_2Mo_4	۰/۰۲	
کلات آهن	۵	۱

جدول ۳- میزان pH و EC ($dS.m^{-1}$) محلول غذایی استفاده شده در آزمایش

محلول غذایی	pH	EC
هوگلند کامل	۵/۹۹	۱/۷۸
یک‌دوم هوگلند	۵/۹۳	۱/۰۲

تعداد شاخه جانبی: برای این صفت، تعداد شاخه‌های جانبی شمارش شد.

ارتفاع بوته: در انتهای آزمایش یعنی در زمان قبل از گلدهی و قبل از برداشت گیاهان، ارتفاع هر نمونه در گلدان اندازه‌گیری شد، به این صورت که ارتفاع هر شاخه از سطح بستر (تقریباً یقه) تا جوانه انتهایی با خطکش اندازه‌گیری شد، اندازه‌گیری هر نمونه، چهار بار تکرار و میانگین چهار داده به‌عنوان ارتفاع نهایی شاخه در نظر گرفته شد.

وزن تر و خشک اندام هوایی

پس از برداشت قسمت رویشی در پایان آزمایش یعنی در زمان قبل از گلدهی، وزن تر اندام هوایی اندازه-گیری شد و سپس در شرایط سایه و در دمای اتاق (دمای تقریبی ۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت هفت روز نگهداری شد تا خشک شوند، سپس وزن هوا خشک آن‌ها اندازه-گیری شد.

در انتهای آزمایش و پس از برداشت گیاهان، میانگین طول ریشه در گلدان اندازه‌گیری شد، به این صورت که، ارتفاع هر ریشه از سطح بستر (تقریباً یقه) تا نوک ریشه با خطکش اندازه‌گیری شد، اندازه‌گیری هر نمونه چهار بار تکرار و میانگین چهار داده به‌عنوان طول نهایی ریشه درنظر گرفته شد.

کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید

میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید با استفاده از روش پورا (۲۰۰۲) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون ۸۰ درصد اندازه‌گیری شد. برای این کار، ابتدا حدود ۰/۲۵ گرم از نمونه برگی هر گلدان به‌صورت تصادفی جدا شد و در داخل فویل آلومینیومی پیچیده و پس از قراردادن بر روی یخ، به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس ۰/۲۵ گرم نمونه برگی را در هاون چینی با پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا به‌صورت محلول یکنواختی درآمد. نمونه‌ها به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل و به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. در مرحله بعد میزان جذب نور محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۲ نانومتر قرائت گردید. درنهایت مقدار جذب نمونه‌ها در

روابط جاگذاری و مقدار کلروفیل a (رابطه ۱)، کلروفیل b (رابطه ۲)، کل (رابطه ۳) و کاروتنوئید (رابطه ۴) محاسبه شد. گزارش نهایی مقادیر برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بیان شده است.

$$Chl_a\ (mg/g) = [(12.25 \times A_{662}) - (2.55 \times A_{645})] \times [V/W] \quad [۱]$$

$$Chl_b\ (mg/g) = [(20.31 \times A_{645}) - (4.91 \times A_{662})] \times [V/W] \quad [۲]$$

$$Chl_t(mg/g) = Chl_a + Chl_b \quad [۳]$$

$$Chl(x+c)(mg/g) = (1000\ A_{470} - 2.27\ C_a - 81.4\ C_b)/227 \quad [۴]$$

Chl_a: کلروفیل a، Chl_b: کلروفیل b، Chl_t: کلروفیل کل، $Chl_{(x+c)}$: کاروتنوئید (گزانتوفیل + کاروتن).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده‌ها و یکنواختی واریانس‌های درون تیماری انجام شده و مورد تأیید قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS (Ver. 20) و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

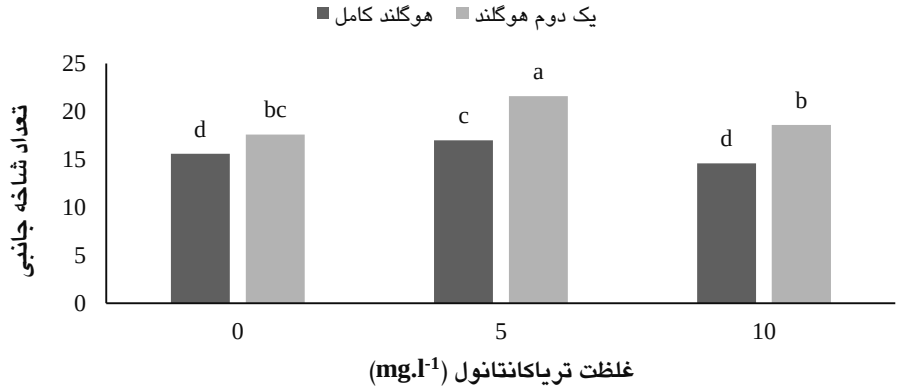
صفات رشدی

نتایج نشان داد که تعداد شاخه‌های جانبی تحت تأثیر اثر متقابل دو فاکتور محلول غذایی هوگلند و تریاکانتانول در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تعداد شاخه‌های جانبی در هر دو محلول غذایی هوگلند کامل و یک‌دوم هوگلند در غلظت پنج میلی‌گرم بر لیتر از تریاکانتانول افزایش نشان می‌دهد که از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند؛ لیکن با افزایش غلظت تریاکانتانول به میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر تعداد شاخه‌های جانبی در هر دو محلول غذایی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، میانگین تعداد شاخه‌های جانبی در محلول یک‌دوم هوگلند مقدار بیشتری را نسبت به محلول غذایی هوگلند کامل در غلظت پنج میلی‌گرم بر لیتر تریاکانتانول نشان می‌دهد (شکل ۱).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر محلول غذایی هوگلند و تریاکانتانول **بر صفات رشدی ریحان**

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تعداد شاخه جانبی	ارتفاع بوته	وزن تر گیاه	وزن خشک گیاه	سطح کل بوته
هوگلند	۱	۵۶/۸**	۳۴۴/۹**	۲۶۰۳/۲**	۹۹/۲**	۱۴۰۷۴۸/۷**
Tria	۲	۱۴/۲**	۷/۲ns	۱۹۲/۱ns	۴/۵*	۳۶۳۱۵/۱**
هوگلند * Tria	۲	۲/۸*	۱۱/۰۷ns	۱۴/۷ns	۱/۹ns	۶۱۲۲۶/۰۸**
خطای آزمایش	۱۲	۰/۴	۴/۸	۹۱/۲	۰/۸	۴۶۲۴/۲

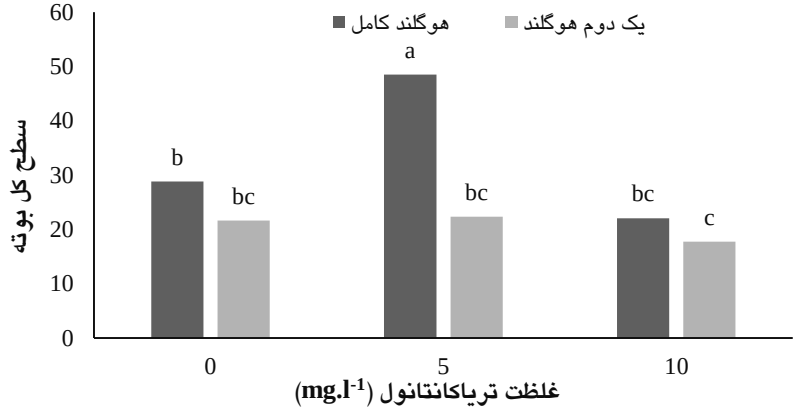
**، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار است.



شکل ۱- اثر دو فاکتور غلظت‌های مختلف تریاکانتانول در محلول غذایی هوگلند بر تعداد شاخه جانبی

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

براساس نتایج، تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل محلول غذایی هوگلند و تریاکانتانول بر صفت سطح کل بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴). براساس نتایج، مقایسه میانگین سطح کل بوته در محلول غذایی هوگلند کامل و یک‌دوم هوگلند نشان می‌دهد که حداکثر میانگین سطح کل بوته متعلق به محلول غذایی هوگلند کامل با غلظت پنج میلی‌گرم بر لیتر تریاکانتانول می‌باشد، به‌طوری که میزان سطح کل بوته در هر دو محلول غذایی اختلاف معنی‌داری نداشت. علاوه بر این، حداکثر میزان سطح کل بوته متعلق به تیمار تریاکانتانول با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که درمقایسه با محلول غذایی یک‌دوم هوگلند بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد (شکل ۲).

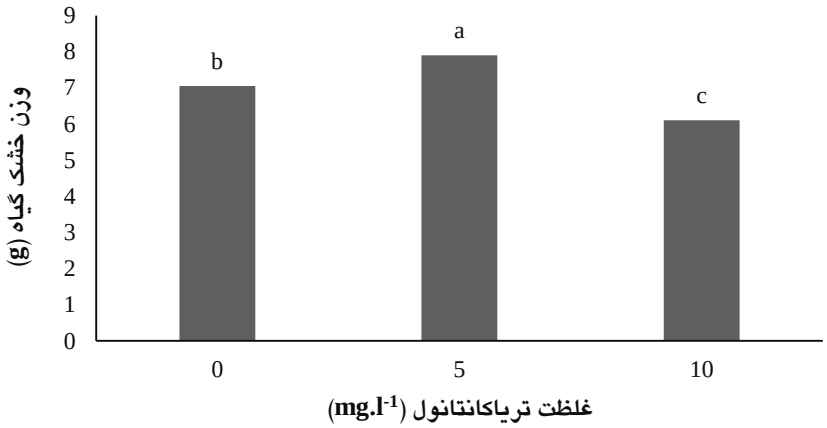


شکل ۲- اثر دو فاکتور غلظت‌های مختلف تریاکانتانول در محلول غذایی هوگلند بر سطح کل بوته

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

براساس نتایج، تجزیه واریانس داده‌ها اثر محلول غذایی هوگلند بر صفت طول ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴). در مورد صفت طول ساقه حداکثر میانگین متعلق به محلول غذایی هوگلند کامل می‌باشد که با تیمار یک‌دوم هوگلند اختلاف معنی-داری نشان داد (جدول ۵). براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر محلول غذایی هوگلند بر صفت وزن تر و خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار

می‌باشد. همچنین اثر فاکتور تریاکانتانول بر وزن تر و خشک بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در مورد صفت وزن تر و خشک حداکثر میانگین متعلق به محلول غذایی هوگلند کامل می‌باشد (جدول ۵). همچنین بیشترین میزان وزن خشک بوته در فاکتور تریاکانتانول مربوط به غلظت پنج میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف تریاکانتانول بر وزن خشک گیاه

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۵- میانگین صفات اندازه‌گیری شده در دو غلظت هوگلند

تیمار	غلظت محلول غذایی هوگلند	ارتفاع بوته (cm)	وزن تر گیاه (g)	وزن خشک گیاه (g)
۱	هوگلند کامل	۴۳/۴۵۰^{a}	۶۸/۶۳۲^{a}	۹/۳۹۱^{a}
۲	یک‌دوم هوگلند	۳۴/۶۹۴^{b}	۴۴/۵۸۰^{b}	۴/۶۹۴^{b}

براساس نتایج، استفاده از غلظت‌های نمکی هوگلند کامل تأثیر بسزایی در افزایش عملکرد رشدی، همچون افزایش وزن تر و خشک گیاه و ارتفاع بوته دارد. مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد تریاکانتانول در افزایش میزان وزن خشک گیاه (تقسی‌زاده و همکاران ۲۰۲۳) تأثیر دارد. طی گزارش‌های ارائه شده، تیمار خارجی با تریاکانتانول نقش مثبتی در افزایش رشد گیاه در *Erythrina variegata*، ریحان و عدسک آبی (کلیک و همکاران ۲۰۱۰) ایفا کرده است. تریاکانتانول بدلیل تنظیم بسیاری از ژن‌های مرتبط با فتوسنتز موجب بهبود رشد می‌شود (سینگ و همکاران ۲۰۱۲). اولین شرط لازم برای عملکرد بالای گیاهان، افزایش در بیوماس تولیدی از نظر ماده خشک است. تریاکانتانول مانند سایر تنظیم-کننده‌های رشد گیاهی، به‌عنوان یکی از مهمترین محرک-های رشد گیاهی شناخته شده است و بسیاری از فرایندهای رشدی گیاهان را تنظیم می‌کند (پروین و همکاران ۲۰۱۰). شدت فتوسنتز به میزان دی‌اکسید کربن هوا، دما و شدت نور بستگی دارد. یکی از مهمترین عوامل مؤثر در میزان و شدت فتوسنتز، مقدار گاز دی-اکسید کربن است. تریاکانتانول از طریق افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن و رونویسی بالاتر از ژن روبیسکو در انواع گونه‌های گیاهی باعث بهبود فتوسنتز و افزایش تجمع مواد فتوسنتزی و وزن گیاهان می‌شود (تقی‌زاده و همکاران ۲۰۲۳). محلول‌پاشی تریاکانتانول بدلیل

افزایش سرعت فتوسنتز باعث افزایش طول ساقه گیاه بادرشبویه گردید (عزیز و همکاران ۲۰۱۳).

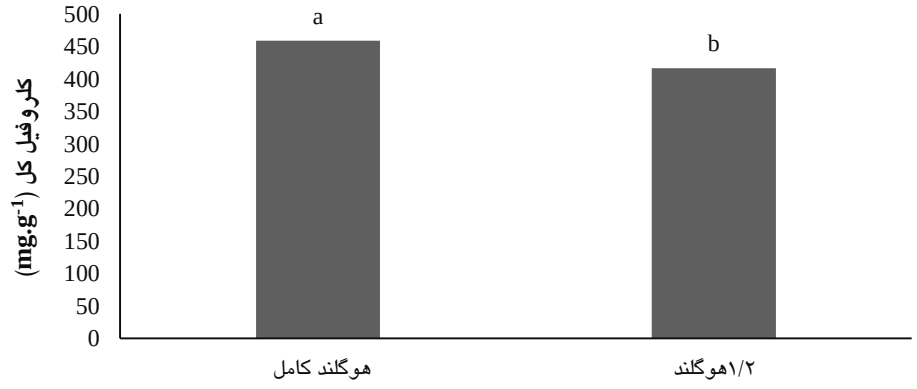
رنگیزه‌های فتوسنتزی

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها محلول غذایی هوگلند بر کلروفیل کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و اثر فاکتور هوگلند و تریاکانتانول بر سایر رنگیزه‌های گیاهی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۶). بیشترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار هوگلند کامل (۴۵۸/۶۱۱ میلی‌گرم بر گرم) بود که با تیمار یک‌دوم هوگلند اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۴). به عبارتی استفاده از هرکدام از ترکیبات هوگلند و تریاکانتانول به تنهایی بر صفات مورد بررسی اثر داشته است و اثر متقابل در بسیاری از صفات معنی‌دار نبود. استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی می‌تواند روی بیوسنتز و حتی تجزیه کلروفیل و درنتیجه به‌طور مستقیم روی فتوسنتز تأثیر بگذارد. رنگدانه‌های کاروتنوئید نیز با به دام انداختن طول‌موج‌های کوتاه با انرژی زیاد، می‌توانند اکسیژن تکی را به سه تایی تبدیل و با حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولیدشده، نقش پاک‌کنندگی نشان دهند (کردی و همکاران ۲۰۱۳). براساس مطالعات استفاده از محلول هوگلند به‌طور گسترده‌ای برای پرورش گیاهان مختلف در کشت هیدروپونیک استفاده می‌شود و برای رشد گیاهان بسیار مناسب است (شریفی و همکاران ۲۰۲۲). باتوجه به تحقیقات علمی، اثر متقابل محلول‌پاشی دو محلول غذایی بر روی گیاهان ممکن است به عوامل مختلفی بستگی داشته باشد. برخی از نکات عبارتند از: تفاوت‌های ژنتیکی در گیاهان، ترکیب محلول‌ها، غلظت محلول‌ها، نوع گیاه و متغیرهای محیطی که این عوامل ممکن است روی عدم معنی‌داری اثرات متقابل تأثیرگذار باشد (تقی‌زاده و همکاران ۲۰۲۳).

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر محلول غذایی هوگلند و تریاکانتانول بر صفات فیزیولوژیکی ریحان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
هوگلند	۱	۶۹/۲^{ns}	۱۱۱۸۶/۴^{ns}	۷۴۶۱/۴*	۸۱۶/۳^{ns}
Tria	۲	۲۲۰۱/۵^{ns}	۴۱۲۲/۶^{ns}	۴۷۷۳/۸^{ns}	۱۳۶۴/۲^{ns}
هوگلند * Tria	۲	۲۲۶/۹^{ns}	۳۵۹۷/۴^{ns}	۴۴۰۹/۵^{ns}	۸۴۵/۷^{ns}
خطای آزمایش	۱۲	۵۷۶۷/۱	۲۳۶۴/۴	۱۳۱۳	۳۳۷

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌داراست.



شکل ۴- میانگین اثر محلول غذایی هوگلند بر کلروفیل کل

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

نتیجه‌گیری

باتوجه به مطالعات انجام شده، استفاده صحیح از هورمون محرک رشد تریاکانتانول و محلول غذایی یکی از عوامل مهم و مؤثر برای حصول عملکرد بالا است. در پژوهش حاضر، در بیشتر صفات استفاده از هرکدام از ترکیبات هوگلند و تریاکانتانول به تنهایی بر صفات مورد بررسی اثر داشته است و اثر متقابل در بسیاری از صفات معنی‌دار نبود. از این رو، مصرف محلول غذایی هوگلند کامل و تریاکانتانول با غلظت پنج میلی‌گرم بر لیتر توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

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

منابع مورد استفاده

Amani M, Alizadeh-Salteh S, Sabzi-Nojadeh M and Younessi Hamzekhanlu M. 2023. The effect of Trichoderma harzianum on the antioxidative traits of *Ocimum basilicum* L. under different irrigation regimes. Journal of Crops Improvement, 25(3): 719-735. https://doi.org/10.22059/jci.2023.345935.2730

Aziz R, Shahbaz M Ashraf M. 2013. Influence of foliar application of triacontanol on growth attributes, gas exchange and chlorophyll fluorescence in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under saline stress. Pakistan Journal of Botany, 45(6): 1913-1918.

Chen X, Yuan H, Chen R, Zhu L, Du B, Weng Q and He G. 2002. Isolation and characterization of triacontanol regulated genes in rice (*Oryza sativa* L.): possible role of triacontanol as plant growth stimulator. Plant Cell Physiol, 43: 869-876. https://doi.org/10.1093/pcp/pcf100

Faknaz M, Heydari P and Mehrabi A. 2010. The effects of biotechnology to increase the productivity of medicinal plants, Regional conference food and biotechnology, Islamic Azad University, Kermanshah Branch.

Islam S and Mohammad F. 2020. Triacontanol as a dynamic growth regulator for plants under diverse environmental conditions. Physiology and Molecular Biology of Plants, 1: 1-13. https://doi.org/10.1007/s12298-020-00815-0

Islam S, Zaid A and Mohammad F. 2020. Role of triacontanol in counteracting the ill effects of salinity in plants: a review. Journal of Plant Growth Regulation, 1: 1-10. https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-020-10064-w

Juliani HR and Simon JE. 2002. Antioxidant activity of basil. Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, Vesicular-Mucorrizae, 9: 575-579.

Kilic NK, Duygu E and Donmez G. 2010. Triacontanol hormone stimulates population, growth and Brilliant Blue R dye removal by common duckweed from culture media. Journal of Hazardous Materials, 182: 525-530. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.063

Kordi S, Saidi M and Ghanbari F. 2013. Induction of drought tolerance in Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) by Salicylic Acid. International Journal of Agricultural and Food Research, 2: 18-26.

Mozafari H. 2017. Effect of interaction Triacontanol and arsenic on the growth and some biochemical and physiological properties of soybean (*Glycine max* L). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 30(3): 477-487.

Perveen S, Shahbaz M and Ashraf M. 2010. Regulation in gas exchange and quantum yield of photosystem II (PSII) in saltstressed and non-stressed wheat plants raised from seed treated with triacontanol, Pakistan Journal of Botany, 42(5): 3073-3081.

Porra RJ. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls and b. Photosynthesis Research, 73: 149-156. https://doi.org/10.1023/A:1020470224740

Sharifi M, Mohtashamian M, Riyahi H, Aghaee A and Alavi S. 2011. The effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus etunicatum* on growth and some physiological parameters of basil. Journal of Medicinal Plants, 2011; 10(38): 85-94. http://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2011.10.38.9.2

Sharifi A, Gord Noshahri N, Zare Mehrjerdi M, Ameri M, Seyedabadi M and Kharrazi M. 2022. Evaluation of using vinasse as fertigation on growth traits of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Journal of Vegetables Sciences, 6(1): 47-57. https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.547109.1191

Sharma MK, Joolka NK and Sharma N. 2002. Effect of triacontanol and paclobutrazol on photosynthetic efficiency, carbohydrate metabolism and leaf nutrients status of nonpareil almond. Progressive Horticulture, 1: 117-118. http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2018.711.373

Singh M, Khan MMA, Moinuddin and Naeem M. 2012. Augmentation of nutraceuticals, productivity and quality of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) through Triacontanol application, Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 146(1): 106-113. https://doi.org/10.1080/11263504.2011.575891

Taghizadeh Baghchejooghi H, Alizadeh Salteh S and Matloobi M. 2023. The effect of fulvic acid and triacantanol foliar application on some biochemical and physiological properties and active ingredients of *Calendula officinalis*. Journal of Horticultural Science, 37(1): 167-179. https://doi.org/10.22067/jhs.2022.74365.1119

Yosefzaei F, Poorakbar L and Farhadi K. 2015. The effect of silver nanoparticles on morphological and physiological indexes of *Ocimum basilicum* L. Physiology and Plant Biochemistry of Iran, 1(2): 63-73. http://ijppb.lu.ac.ir/article-1-44-en.html

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 237-253

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

Evaluating the Sustainability of the Mechanized and Traditional Agroecosystem of Damask Rose Production Based on Emergy Analysis in Nehbandan

Fatemeh Nakhaei[1], Ahmad Ghanbari[2], Mohamamd Reza Asgharipour[2]*, Esmaeel Seyedabadi[2]

Received: 25 May 2023	Accepted: 28 December 2023

1-PhD Candidate, Dept. of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
2-Prof., Dept., and Assist. Prof., Dept., of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
*Corresponding Author Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Using emergy analysis to assess agroecosystem sustainability helps implement management practices that improve production resilience. The Damask rose scientifically name as Rosa damascene Mill. from rose family, is cultivated in hot and arid regions of the nation, leading to the economic development of these areas. Thus, this plant must be grown in arid regions. This study examined Damask rose production's mechanized and traditional agroecosystems in Nehbandan, Iran, for sustainability.

Materials and Methods: The study was conducted in Nehbandan, situated in the South Khorasan province, to compare the mechanized and traditional methods of Damask rose production. The study analyzed the inputs' structure and emergy-based indicators in both mechanized and traditional rose production methods. Data were collected through questionnaires and field measurements of inputs and outputs in both systems. Emergy analysis was performed using standard transformity coefficients and computational software.

Results: The study computed the emergy input for the traditional and mechanized Damask rose systems as 7.17E+16 and 5.11E+16 sej/ha/yr, respectively. The emergy yield ratio (EYR), environmental load ratios (ELR & ELR*), and environmental sustainability indices (ESI & ESI*) indicate that the traditional ecosystem exhibits greater ecological efficiency and is more proximate to optimal conditions when compared to the mechanized ecosystem.

Conclusion: Practical solutions in comprehensive management, particularly in soil organic matter protection and loss prevention, can significantly impact the ecological sustainability of the mechanized Damask rose production system. To increase economic stability in the traditional production system, users should improve their technical skills. Environmental load, agricultural ecosystem, emergy analysis, thermodynamic laws, sustainable agriculture.

Keywords: Agroecosystem, Environmental Load, Emergy Analysis, Sustainable Agriculture, Thermodynamic Laws

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Mohamamd Reza Asgharipour, Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir
http://doi.org/10.22034/saps.2023.56810.3050

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۲۵۳-۲۳۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی پایداری بوم نظام مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی بر اساس تحلیل امرژی در شهرستان نهبندان

فاطمه نخعی[۱]، احمد قنبری[۲]، محمدرضا اصغری پور[۲*]، اسماعیل سیدآبادی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۷

۱-دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۲-استاد و استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
*مسئول مکاتبه Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: استفاده از رویکرد تحلیل امرژی در ارزیابی پایداری نظام‌های زراعی، منجر به اعمال مدیریت صحیح در راستای افزایش پایداری تولید در این نظام‌ها می‌شود. توسعه کشت گل محمدی با نام علمی *Rosa damascene Mill.* از خانواده *Rosaceae* در مناطق گرم خشک کشور باعث تحول اقتصادی این مناطق می‌گردد. به همین دلیل ضرورت تولید این گیاه در نظام‌های زراعی نواحی گرم و خشک کشور ایجاد شده است. این مطالعه با هدف تبیین وضعیت پایداری بوم‌نظام‌های مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی در نهبندان اجرا شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در سال ۱۴۰۱ در دو بوم‌نظام مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی در شهرستان نهبندان، استان خراسان جنوبی، بر اساس تحلیل ساختار ورودی‌ها و شاخص‌های مبتنی بر امرژی انجام گردید. برای جمع‌آوری داده‌ها، از پرسشنامه‌ها و اندازه‌گیری‌های میدانی نهاده‌ها و خروجی‌های تولیدی در هر دو نظام استفاده شد. همچنین، تحلیل امرژی با استفاده از ضرایب تبدیل استاندارد و نرم‌افزارهای محاسباتی انجام گرفت.

یافته‌ها: کل ورودی امرژی نظام مکانیزه و سنتی گل محمدی، در این مطالعه به‌ترتیب $۱۰^{۱۶} \times ۷/۱۷$ و $۱۰^{۱۶} \times ۵/۱۱$ امژول خورشیدی در هکتار در سال محاسبه شد. مقادیر شاخص‌های نسبت عملکرد امرژی (EYR) نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (ELR*) و شاخص پایداری محیطی استاندارد (ESI) و اصلاح شده (ESI*) نشان‌دهنده این است که بوم‌نظام سنتی در مقایسه با بوم نظام مکانیزه دارای راندمان اکولوژیکی بالاتر بوده و به شرایط بهینه نزدیک‌تر است

نتیجه‌گیری: در نظام مکانیزه تولید گل محمدی، توجه به راهکارهای عملی در مدیریت جامع بوم‌نظام تولیدی به ویژه حفاظت از مواد آلی خاک و جلوگیری از تلفات آن، می‌تواند در پایداری اکولوژیکی این نظام تاثیر چشمگیری داشته باشد. در نظام تولید سنتی، ارتقاء دانش فنی بهره‌بردار جهت بهبود پایداری اقتصادی در این نظام توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بار زیست‌محیطی، بوم‌نظام زراعی، تحلیل امرژی، قوانین ترمودینامیک، کشاورزی پایدار

مقدمه

گل محمدی یکی از مهمترین گیاهان دارویی و صنعتی کشور است که در مناطق گرم و خشک کشور کشت می شود. این گیاه علاوه بر ارزش اقتصادی بالا، دارای خواص دارویی و آرایشی متنوعی است و در تولید محصولات مختلفی مانند گلاب، عطر، اسانس، روغن، چای

و دارو استفاده می شود. با این حال، کشت و تولید گل محمدی با مشکلات و چالش هایی مانند کمبود آب، تخریب خاک، کاهش عملکرد، افزایش هزینه ها، کاهش کیفیت محصول و نبود مدیریت مناسب روبرو است. این مسائل نشان دهنده نیاز به ارزیابی پایداری بوم نظام های تولید گل محمدی است که بتوان با استفاده از شاخص های مناسب، نقاط ضعف و قوت این نظام ها را شناسایی و راهکارهای بهبودی را ارائه داد (خدایی و همکاران ۲۰۰۶). استان خراسان جنوبی چندین سال، با مشکل خشکسالی و کاهش نزولات جوی مواجه بوده است. کشت و توسعه گل محمدی در این استان به سبب کاهش مصرف آب و عدم نیاز به زمین مرغوب می‌تواند باعث بهبود وضعیت اقتصادی مردم مناطق روستایی شود. گل محمدی (Rosa × damascena) از مهم‌ترین گونه‌های معطر خانواده گل‌سرخیان می‌باشد (طبایی و همکاران ۲۰۰۷). مبدأ جغرافیایی و تاریخی گل محمدی، ایران بوده که در قرن چهاردهم میلادی، این گل به اروپا و شمال آفریقا رفته است (بیلز و همکاران ۱۹۹۸). سطح زیر کشت گل محمدی در ایران بیش از ۱۳۰۰۰ هکتار است که حدود ۸۰ درصد از این سطح را گیاهان بارور و ۲۰ درصد باقیمانده را باغ‌های جوان تشکیل می‌دهند (کاظمی نجف آبادی ۲۰۰۹). در چرخه تولید گل محمدی، برداشت این گیاه بیشترین هزینه را به تولیدکننده متحمل می‌کند چرا که برداشت آن در ساعات خنک روز و توسط کارگر انجام می‌شود (روستاپور و همکاران ۲۰۱۸). روستاپور و یونسی الموتی (۱۴۰۲) ماشین قابل حمل برداشت گل محمدی را طراحی و ارزیابی نمودند و بیان کردند با افزایش سرعت دورانی موتور علی رغم افزایش مصرف سوخت، زمان مفید برداشت کاهش یافت. همچنین کاهش زمان برداشت در حداکثر سرعت دورانی موتورنسبت به برداشت دستی مشاهده شد. اسانس این گل از گران‌بهاترین اسانس‌هاست. بسیاری از فعالان در عرصه صنایع عطرسازی این اسانس را مهم‌ترین ماده اولیه این صنایع می‌دانند و علی‌رغم مصرف بالای عطر و ادکلن و مواد آرایشی در ایران، تقریباً تمام نیاز کشور از طریق واردات تأمین می‌شود (ابراهیم آبادی ۲۰۱۴).

تامین امنیت غذایی برای جمعیت فزاینده جهان با حفظ منابع و حداقل اثرات زیست‌محیطی به یکی از چالش‌های اساسی در کشاورزی پایدار تبدیل شده است (محمدزاده و همکاران ۲۰۱۷). توسعه بخش کشاورزی در قرن بیستم با افزایش سطح زیر کشت مکانیزه همراه با استفاده گسترده از کودها و سموم دفع آفات رخ داده است که این امر باعث بروز موضوعات مختلف زیست-محیطی می‌شود (برِنتروپ و همکاران ۲۰۰۴). مشکلات زیست محیطی در ایران از جمله افزایش شوری و قلیایی خاک ناشی از استفاده بیش از حد از مواد شیمیایی می-باشد که نتیجه این تأثیرات در طولانی مدت باعث ناپایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی در ایران و سایر نقاط خواهد بود (پاپی‌زاده و میر ۲۰۱۴). بوم‌نظام‌های کشاورزی به نهاده‌های غیر رایگان مانند سوخت، برق، تجهیزات مکانیکی، کود، آفت‌کش‌ها و سایر محصولات صنعتی و ورودی‌های محیطی رایگان مانند نور خورشید، آب، خاک، باد و مواد آلی خاک وابسته می-باشند (چنگ و همکاران ۲۰۱۷، اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹). با این حال، رویکرد تحلیل سنتی نظام‌های کشاورزی به درستی ورودی‌های رایگان محیطی را در نظر نمی‌گیرد (دی باروس و همکاران ۲۰۰۹). گسترش روش‌های کشاورزی مرسوم، بحران زیست‌محیطی شدیدی را در سراسر جهان ایجاد کرده است. برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی بی سابقه ناشی از روش‌های فعلی تولید محصولات کشاورزی، دانشمندان به دنبال ارزیابی پایداری نظام‌های تولید کشاورزی و ایجاد سیاست‌های مدیریتی بهتر برای این بوم‌نظام‌ها هستند (آلتیری ۱۹۸۸).

تکنیک‌های مبتنی بر قوانین ترمودینامیکی، به عنوان مثال، تجزیه و تحلیل انرژی (اصغری پور و همکاران ۲۰۱۲)، حسابداری اگزرژی (چن و چن ۲۰۰۹)، تجزیه و تحلیل امرژی و ارزیابی چرخه حیات (میلا آی کانالس و همکاران ۲۰۰۶) سودمند هستند. زیرا آن‌ها تعیین‌کننده سهمی هستند که محصولات و خدمات زیست‌محیطی به نظام‌های تولید در واحدهای معادل با سایر ورودی‌ها وارد می‌کنند (اودوم ۱۹۸۶). یک راه حل برای تضمین توسعه کشاورزی و پایداری، ارزش گذاری دقیق تعامل بین انرژی و محیط زیست است. برای انجام این کار، یکی از روش‌های کامل‌تر تحلیل پایداری که مبتنی بر تخمین‌های کمی و کیفی انرژی موجود یا انرژی با

پتانسیل انجام کار می‌باشد، تحلیل امرژی است (اودوم ۱۹۹۶ و ۲۰۰۷). آنالیز امرژی به صورت موفقیت‌آمیز در تجزیه و تحلیل نظام‌های کشاورزی استفاده می‌شود (لو و کمپل ۲۰۰۹، جیانتی و همکاران ۲۰۱۱، ژانگ و همکاران ۲۰۱۰، جعفری و همکاران ۲۰۱۸).

امرژی، انرژی یا اگزرژی در دسترس خورشیدی است که به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم استفاده می‌شود تا به ارائه خدمات و یا محصول منجر گردد. به امرژی، انرژی مجسم یا "حافظه انرژی" نیز می‌گویند. امرژی میزان دردسترس بودن نوعی انرژی است که در طی تحولات به صورت مستقیم یا غیر مستقیم برای تولید محصول یا ارائه خدمات مورد استفاده قرار گرفته است برای مثال تشعشع خورشیدی، سوخت، برق و خدمات انسانی را می‌توان از طریق محاسبه امرژی خورشیدی مورد نیاز برای تولید هر کدام از آنها نشان داد. معمولا معادل انرژی خورشیدی اندازه‌گیری و با امژول خورشیدی بیان می‌شود (اودوم و همکاران ۲۰۰۰). در تحلیل امرژی، مقدار همه اشکال انرژی و جریان از طریق ضرب در ضرایب تبدیل به یک واحد معادل (امژول - خورشیدی) به‌دست می‌آید (کهن و همکاران ۲۰۰۶، وو و همکاران ۲۰۱۳). برای ارزیابی مسائل زیست‌محیطی و کارایی اقتصادی و نیز کمی‌سازی پایداری نظام‌های تولید از شاخص‌های مبتنی بر امرژی را می‌توان استفاده کرد (براون و همکاران ۲۰۰۰).

تحلیل امرژی همراه با شاخص‌های مربوطه به طور گسترده‌ای برای ارزیابی پایداری اکولوژیکی نظام‌های کشاورزی در مقیاس‌ها و انواع مختلف استفاده شده است. به عنوان مثال می‌توان به موز (دی باروس و همکاران ۲۰۰۹)، تناوب ذرت- گندم دیم (سینگ و همکاران ۲۰۱۶)، مقایسه نظام‌های تولید لوبیا (اصغری-پور و همکاران ۲۰۱۹)، نظام‌های تولید غلات در مزارع در مقیاس بزرگ (وانگ و همکاران ۲۰۱۴)، مقایسه نظام‌های تولید کلزا (امیری و همکاران ۲۰۱۹)، برنج (تینگ و پینگ ۲۰۱۶)، قهوه (جیانتی و همکاران ۲۰۱۱)، انگور (کوهکن و همکاران ۲۰۱۷) و خرما و پسته (جعفری و همکاران ۲۰۱۸) اشاره کرد. روش امرژی برای مقایسه نظام‌های مختلف تولید طبیعی و کشاورزی در رابطه با تأثیرات زیست‌محیطی، بهره‌وری و پایداری استفاده شده است (ژانگ و همکاران ۲۰۰۷، کمپل و همکاران ۲۰۰۹). روش امرژی نیز برای مقایسه نظام‌های تولید غلات در دشت شمالی چین بر اساس تحلیل چرخه حیات به کار گرفته شده است (وانگ و همکاران ۲۰۱۴).

نتایج این مطالعات نشان داده اند که تحلیل امرژی می تواند به عنوان یک ابزار مفید برای مقایسه و ارزیابی پایداری اکولوژیکی نظام های کشاورزی مختلف مورد استفاده قرار گیرد. برخی از این مطالعات نشان داده اند که نظام های تولید سنتی دارای کارایی و پایداری اکولوژیکی بالاتری نسبت به نظام های تولید مکانیزه هستند (دی باروس و همکاران ۲۰۰۹، اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹، جعفری و همکاران ۲۰۱۸)، در حالی که برخی دیگر نشان داده اند که نظام های تولید مکانیزه دارای کارایی و پایداری اکولوژیکی بالاتری نسبت به نظام های تولید سنتی هستند (سینگ و همکاران ۲۰۱۶، وانگ و همکاران ۲۰۱۴، امیری و همکاران ۲۰۱۹). نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعاتی که نظام های تولید سنتی را پایدارتر از نظام های تولید مکانیزه دانسته اند، همخوانی دارد.

تحلیل جامع از کشت گل محمدی بینش جدیدی در زمینه توسعه آن ارائه می‌دهد و باعث تحول در بخش اقتصادی مناطق خشک ایران که استعداد پرورش این گیاه ارزشمند را دارند می‌شود. یافته‌های چنین مطالعه‌ای می‌تواند پتانسیل پیشرفت به سمت پایداری محیط زیست را نشان دهد و اطلاعات تکمیلی را برای بهبود تولید گل محمدی ارائه دهد. در مطالعه حاضر، بر اساس یک پروژه تحقیقاتی یک ساله، از شاخص‌های امرژی برای ارزیابی پایداری، تأثیرات محیطی، بهره‌وری، کارایی استفاده از منابع دو نظام مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۴۰۱ نظام‌های تولید مکانیزه و سنتی گل محمدی که به ترتیب در ارتفاعات ۱۳۵۳ و ۱۳۵۷ متری از سطح دریا در شمال شهرستان نهبندان، استان خراسان جنوبی انجام شد. متوسط بارش سالیانه در شهرستان ۱۴۰ میلی‌متر و پتانسیل تبخیر سالیانه ۲۹۷۰ میلی‌متر است. بیشینه و کمینه دمای مطلق ثبت

شده در شهرستان ۴۵ و ۸/۲- درجه سانتی‌گراد است. میانگین حداکثر و حداقل دما در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به ترتیب ۳۶/۳ و ۲- درجه سانتی‌گراد بوده است. به‌طورکلی آب‌وهوای این منطقه گرم و خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد است. خاک نظام مکانیزه تولید گل محمدی دارای بافت لومی رسی و خاک بوم نظام سنتی بافت لومی شنی می‌باشد. قلیاییت خاک بوم نظام مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی به ترتیب ۸/۲ و ۸/۷ است. شوری خاک بوم نظام مکانیزه و سنتی به ترتیب ۳/۵۴ و ۳/۵۱ دسی زیمنس بر مترمی-باشد. نظام تولید مکانیزه گل محمدی به مساحت ۰/۳۵ هکتار با مختصات جغرافیایی N ۳۱.۹۸۲۴ و E ۶۰.۰۰۹۴ و نظام تولید سنتی به مساحت ۰/۲۵ هکتار در مختصات جغرافیایی N ۹۶۶۱. ۳۱ و E ۰۰۷۶. ۶۰ در روستای چاهدراز واقع شده است. آب مورد نیاز برای همه نظام‌های تولیدی از منابع زیرزمینی تامین می‌شود. در روش مکانیزه انتقال آب با لوله انجام می‌شود در حالی که در نظام سنتی به صورت جوی و پشته‌ای می‌باشد. برای سهولت در محاسبات، مقدار مصرف نهاده‌ها و خروجی‌های هر دو بوم‌نظام در مساحت یک هکتار در نظر گرفته شد.

روش تحلیل امرژی

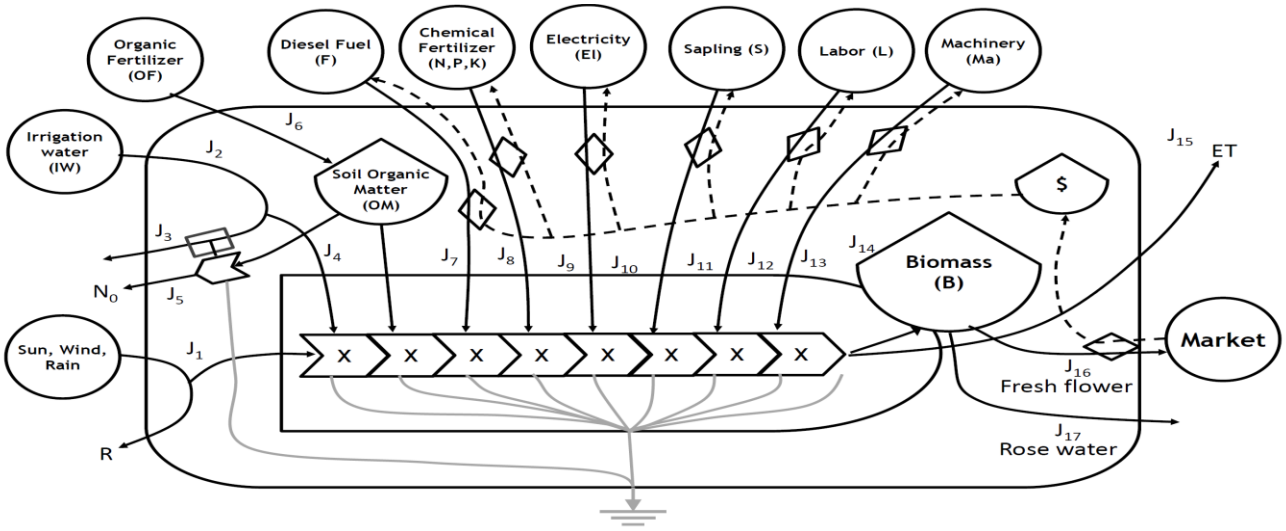
تحلیل امرژی از ابزارهای ترمودینامیکی جهت ارزیابی پایداری نظام‌های تولید است (کمپل ۲۰۰۸). اولین مرحله در تحلیل امرژی، ترسیم دیاگرام انرژی با استفاده از نمادهای جریان انرژی است (اودوم ۱۹۸۳). این دیاگرام‌ها مرزهای مکانی و زمانی نظام‌های مورد مطالعه، ارتباط بین آن‌ها و جریان‌های مواد و انرژی‌های تجدیدپذیر یا غیرقابل تجدید، محلی یا وارداتی را نشان می‌دهد. شکل ۱ نمودار زبان مفهومی نظام‌های انرژی در بوم‌نظام‌های مکانیزه و سنتی گل محمدی را نشان داده است. دومین گام برای تحلیل امرژی، ایجاد جداول ارزیابی امرژی است (جدول‌های ۱ و ۲). تمام جریان‌های ورودی (U) پس از تبدیل به یکی از سه واحد ژول، گرم و ریال با ضرب در ضرایب تبدیل مربوطه (مقدار امرژی واحد هر ورودی) که در مطالعات قبلی به دست آمده است، به واحد یکپارچه امژول خورشیدی در هکتار در سال تبدیل شده است.

برای تحلیل نظام‌های تولید، منابع به چهار دسته تقسیم می‌شوند (لو و همکاران ۲۰۱۰). برای انجام این مطالعه نیز کلیه نهاده‌های محیطی رایگان و نهاده‌های استحصال شده از اقتصاد انسانی غیررایگان اعم از تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در سال ۱۴۰۱ برای هر دو نظام سنتی و مکانیزه گل محمدی اندازه‌گیری و برآورد گردید. منابع محیطی تجدیدپذیر (R)، شامل: نورخورشید، باد و تبخیر و تعرق؛ منابع محیطی تجدیدناپذیر (N)، شامل آب-های زیرزمینی، فرسایش و تلفات مواد آلی خاک؛ تخمین تلفات خاک از طریق فرسایش با تخمین جابجایی سطح خاک در مزرعه بر اساس تکنیک معادله جهانی تلفات خاک (USLE[1]) انجام شد. این تلفات عموماً مربوط به خاک های سطحی است. کاهش ماده آلی از طریق نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری خاک و تعیین مقدار ماده آلی نمونه‌های جمع‌آوری شده قبل از کشت و پس از برداشت، به دست آمد. منابع خریداری شده تجدیدپدیر (F_R)، شامل: ۲۰ درصد نهال، ۷ درصد الکتریسته، ۲۰ درصد کود آلی و۱۰ درصد نیروی کارگری؛ منابع خریداری شده تجدیدناپذیر (F_N)، شامل ماشین آلات کشاورزی، کودهای شیمیایی، سوخت فسیلی، ۹۰ درصد نیروی کارگری، ۹۳ درصد اکتریسته، ۸۰ درصد کود آلی و ۸۰ درصد نهال در نظر گرفته شد (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰).

در تحلیل امرژی از شاخص‌های امرژی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده می-شود (لو و همکاران ۲۰۱۸). در این مطالعه از شاخص درصد تجدیدپذیری امرژی (R)، نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (*ELR)، شاخص پایداری محیط زیست استاندارد (ESI) و نسخه اصلاح شده (ESI^*) استفاده شد. مشخصات و روابط شاخص‌های امرژی مورد استفاده برای ارزیابی نظام‌های مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی در جدول ۳ آمده است.

[1] The Universal Soil Loss Equation

با توجه به درصد تجدیدپذیری متفاوت جریان‌های ورودی، می‌توان با محاسبه انواع نسبت‌های ورودی و خروجی‌های هر نظام، شاخص‌های مختلفی را برای ارزیابی زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و حتی کیفیت محصولات تولیدی بوم‌نظام‌ها به‌دست آورد و از این شاخص‌ها در تحلیل نظام‌ها بهره برد (اورتگا و همکاران ۲۰۰۲، لو و همکاران ۲۰۱۰، لو و همکاران ۲۰۱۸، جعفری و همکاران ۲۰۱۸، امیری و همکاران ۲۰۱۹).



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی در نظام‌های مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی در شهرستان نهبندان

نتایج و بحث

ساختار استفاده از امرژی

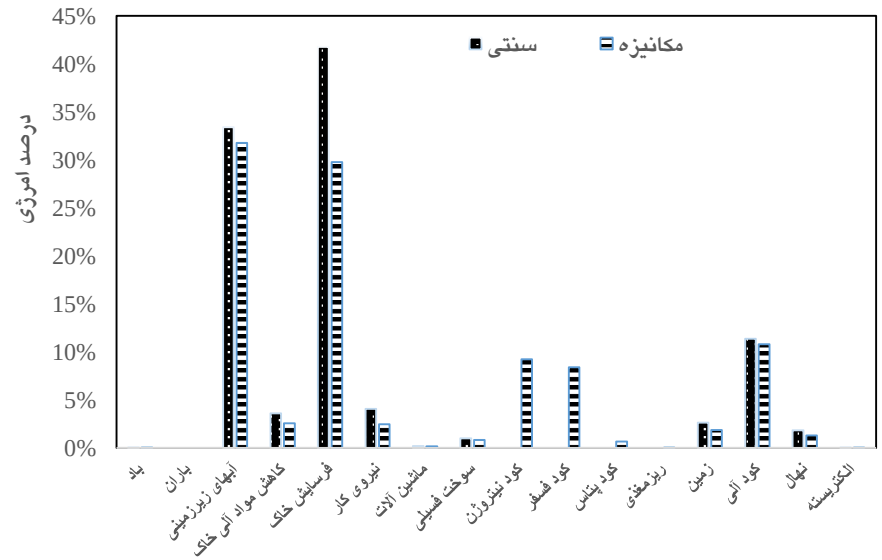
جریان ورودی‌های محیطی (رایگان)، خریداری شده و خروجی‌های نظام‌های مکانیزه و سنتی گل محمدی بر اساس واحدهای فیزیکی آنها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین شکل ۲ درصد ورودی‌های امرژی دو نظام مختلف تولید گل محمدی را نشان می‌دهد. ورودی امرژی کل نظام مکانیزه و سنتی گل محمدی، در این مطالعه به ترتیب $۷/۱۷ \times ۱۰^{۱۶}$ و $۵/۱۱ \times ۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال محاسبه شد. در مطالعه جیانتی و همکاران (۲۰۱۱) در نظام تولید قهوه در عرصه‌های طبیعی برزیل جریان ورودی به نظام تولید $۸/۲۵ \times ۱۰^{۱۵}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش گردید.

جریان‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

جریان‌های محیطی قابل تجدید شامل نورخورشید، و باد هستند (جدول‌های ۱ و۲). در دو نظام مورد مطالعه، انرژی نورخورشید بزرگ‌ترین آیتم در میان ورودی-های رایگان محیطی بود. جریان انرژی تجدید پذیر رایگان محیطی برای هردو نظام تولید مکانیزه و سنتی گل محمدی در این پژوهش $۴/۶۲ \times ۱۰^{۱۳}$ امژول خورشیدی تعیین شد. در حالت کلی جریان‌های محیطی قابل‌تجدید به‌طور مستقیم از انرژی‌های نورخورشید منشعب می-شوند. لذا به‌منظور اجتناب از شمارش مضاعف، مقدار حداکثر آنها به‌عنوان کل امرژی جریان‌های محیطی تجدیدپذیر در نظر گرفته می‌شود (اصغری‌پور و همکاران ۲۰۱۹). علت یکسان بودن امرژی ورودی محیطی در دو نظام تولید گل محمدی به دلیل قرار گرفتن در یک منطقه، عدم بهره‌مندی از بارش باران و طول دوره رشد یکسان می‌باشد.

جدول ۱- جریان‌های طبیعی و اقتصادی نظام‌های مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی در یک هکتار

ورودی	واحد	نشانه‌ها در نمودار	سنتی	مکانیزه
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر انرژی				
نور خورشید	J	J_1	$۳/۲۶ \times ۱۰^{۱۳}$	$۳/۲۶ \times ۱۰^{۱۳}$
باد، انرژی جنبشی	J	J_1	$۱/۱۰ \times ۱۰^{۱۰}$	$۱/۱۰ \times ۱۰^{۱۰}$
ورودی‌های محیطی تجدید ناپذیر آب زیرزمینی	J	J_2	$۸/۸۹ \times ۱۰^{۱۰}$	$۱/۱۹ \times ۱۰^{۱۱}$
کاهش ماده آلی خاک	J	J_2	$۱/۹۰ \times ۱۰^{۱۰}$	$۱/۹۰ \times ۱۰^{۱۰}$
فرسایش خاک	g	J_5	$۱/۶۸ \times ۱۰^{۷}$	$۱/۶۸ \times ۱۰^{۷}$
ورودی‌های خریداری شده نیروی کارگر	J	J_{12}	$۹/۳۷ \times ۱۰^{۸}$	$۷/۹۶ \times ۱۰^{۸}$
ماشین آلات	g	J_{13}	$۱/۰۴ \times ۱۰^{۴}$	$۱/۲۷ \times ۱۰^{۴}$
گازوئیل و روغن	g	J_7	$۵/۹۸ \times ۱۰^{۹}$	$۷/۰۵ \times ۱۰^{۹}$
کود نیتروژن	g	J_8	$۰/۰۰ \times ۱۰^{۰}$	$۲/۱۴ \times ۱۰^{۵}$
کود فسفر	g	J_8	$۰/۰۰ \times ۱۰^{۰}$	$۲/۱۴ \times ۱۰^{۵}$
کود پتاس	g	J_8	$۰/۰۰ \times ۱۰^{۰}$	$۲/۱۴ \times ۱۰^{۵}$
ریز مغذی	g	J_8	$۰/۰۰ \times ۱۰^{۰}$	$۳/۰۰ \times ۱۰^{۳}$
امرژیاجاره زمین	Rials		$۱/۳۵ \times ۱۰^{۱۵}$	$۱/۳۵ \times ۱۰^{۱۵}$
الکتریسیته	J	J_{10}	$۶/۵۶ \times ۱۰^{۹}$	$۴/۲۰ \times ۱۰^{۹}$
کود آلی	g	J_6	$۱/۰۵ \times ۱۰^{۶}$	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۶}$
نهال	Rials	J_{11}	$۱/۴۰ \times ۱۰^{۷}$	$۱/۴۰ \times ۱۰^{۷}$
خروجی عملکرد (گل خشک)	g	J_{16}	$۳/۰۰ \times ۱۰^{۵}$	$۳/۷۵ \times ۱۰^{۵}$
عملکرد (گل خشک)	J	J_{16}	$۲/۴۰ \times ۱۰^{۹}$	$۳/۰۰ \times ۱۰^{۹}$
عملکرد (گلاب)	g	J_{17}	$۵/۶۰ \times ۱۰^{۵}$	$۷/۰۰ \times ۱۰^{۵}$



شکل ۲- درصد امرژی ورودی‌ها برای نظام‌های مختلف تولید گل محمدی

جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)

جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر در این مطالعه شامل آب‌های زیرزمینی، تلفات مواد آلی خاک و فرسایش خاک می‌باشد (جدول ۲). اندازه‌گیری تلفات مواد آلی و فرسایش خاک، در تحلیل انرژی بوم‌نظام‌های کشاورزی به دلیل نقش خاک در پایداری نظام، اجزاء با اهمیتی به شمار می‌آیند (پلیکیاردی و همکاران ۲۰۱۴). بیشترین بخش جریان ورودی‌های محیطی تجدید ناپذیر در نظام مکانیزه به آب‌های زیرزمینی و در نظام سنتی مربوط به فرسایش خاک می‌باشد که به‌ترتیب $۱۰^{۱۶} \times ۲/۲۸$ و $۱۰^{۱۶} \times ۱۳/ ۲$ امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش شد. میرشکاری و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی پنج بوم‌نظام عمده محصولات کشاورزی خربزه، هندوانه، یونجه، جو و گندم در منطقه سیستان پرداختند. آنها بیان کردند میزان امرژی فرسایش خاک در بوم‌نظام‌های خربزه و هندوانه از سایر بوم‌نظام‌ها بیشتر است. همچنین در مطالعات امیری و همکاران (۲۰۱۹ و ۲۰۲۰) که پایداری کشت سنتی و مکانیزه کلزا را بررسی کردند کاهش ماده آلی خاک ناشی از خاکورزی گزارش شده است. محتوای مواد آلی خاک نتیجه تعادل بین مقدار مواد آلی خاک و مقدار مواد آلی است که در اثر فرسایش و شستشو و همچنین تجزیه و مصرف توسط میکروارگانیسم‌های خاک از بین می‌رود. حفظ و افزایش مواد آلی خاک دشوار است زیرا ۷۵ درصد از مواد آلی به تأمین انرژی برای میکروارگانیسم‌های خاک اختصاص می‌یابد و سپس به صورت CO_2 از خاک خارج می‌شود، در حالی که تنها ۲۵ درصد آن برای مدت محدودی به عنوان ماده آلی در خاک باقی می‌ماند (کنانت و همکاران ۲۰۱۱).

نهاده‌های ورودی خریداری شده (F_N و F_R)

ورودی‌های خریداری شده به دو دسته تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می‌شوند. در نظام مکانیزه تولید گل محمدی از کل امرژی ورودی‌های خریداری شده، $۱۰^{۱۵} \times ۱/۹۱$ امژول خورشیدی در هکتار در سال از منابع تجدیدپذیر و $۱۰^{۱۶} \times ۲/۳۸$ امژول خورشیدی در هکتار در سال از منابع تجدیدناپذیر تامین گردید. در نظام سنتی گل محمدی نیز $۱۰^{۱۵} \times ۱/۵۶$ امژول خورشیدی از منابع تجدیدپذیر و $۱۰^{۱۵} \times ۹/۲۴$ امژول خورشیدی در هکتار در سال از منابع تجدیدناپذیر گزارش شد. سهم بالایی از ورودی‌های نظام‌های مورد مطالعه مربوط به جریان های خریداری شده بود. در دو نظام مورد مطالعه بیشترین سهم نهاده‌های خریداری شده مربوط به‌هزینه خرید نهال بود. مقایسه مقادیر منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر هر کدام از نظام‌ها شدت وابستگی آن نظام به نوع منبع ورودی را نشان می‌دهد. از این رو وابستگی به منابع تجدیدناپذیر در نظام سنتی گل محمدی ۲/۵ برابر نظام مکانیزه تولید گل محمدی است.

شاخص‌های امرژی

ارزیابی با استفاده از شاخص‌های امرژی برای یافتن تفاوت‌های نظام‌های مکانیزه و سنتی گل محمدی در جنبه‌های مرتبط باویژگی‌های کارکردی شامل کارایی استفاده از منابع، اثرات زیست‌محیطی، پایداری اکولوژیکی، بهره‌وری اقتصادی و میزان رقابت‌پذیری موثر است. همچنین این مقایسه به شناسایی بهترین شیوه مدیریتی برای تولید گل محمدی جهت رسیدن به کشاورزی پایدار کمک می‌کند. مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

ضریب تبدیل (Tr)

ضریب تبدیل (Tr) برای بررسی بازده امرژی تولید محصولات مختلف استفاده شد (براون و اولگیاتی ۲۰۰۴). نظام بهینه با مقدار مشابه تولید محصول از امرژی ورودی کمتری استفاده می‌کند (اودوم ۱۹۹۶). هنگام مقایسه نظام‌های مختلف که محصول یکسانی را تولید می‌کنند، Tr کمتر، کارایی بالاتر را نشان می‌دهد (اودوم ۱۹۹۶، لو و همکاران ۲۰۱۰). مقدار Tr در نظام‌های تولید مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی به ترتیب $۱۰^{۷} \times ۲/۳۹$ و $۱۰^{۷} \times ۲/۱۳$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود (جدول ۴). دلیل اصلی راندمان امرژی ورودی بهتر نظام سنتی تولید گل محمدی، افزایش تولید در واحد سطح به

جدول ۲- تحلیل امرژی و ساختار ورودی نظام‌های مختلف تولید گل محمدی ($sej\ ha^{-1}$)

ورودی	امرژی/واحد	منبع	سنتی (امژول در هکتار در سال)	مکانیزه (امژول در هکتار در سال)
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر				
انرژی نورخورشید	۱	طبق تعریف	۳/۲۶ × ۱۰^۱۳	۳/۲۶ × ۱۰^۱۳
باد، انرژی جنبشی	۱/۲۴ × ۱۰^۳	(کمپل و اربان ۲۰۱۶)	۱/۳۶ × ۱۰^۱۳	۱/۳۶ × ۱۰^۱۳
مجموع			۴/۶۲ × ۱۰^۱۳	۴/۶۲ × ۱۰^۱۳
ورودی‌های محیطی تجدید ناپذیر محیطی				
آب زیرزمینی	۱/۹۲ × ۱۰^۵	(کوادرا و ریدبرگ ۲۰۰۶)	۱/۷۱ × ۱۰^۱۶	۲/۲۸ × ۱۰^۱۶
کاهش ماده آلی خاک	۹/۶۷ × ۱۰^۴	(برنت- ویلیامز ۲۰۰۲)	۱/۸۴ × ۱۰^۱۵	۱/۸۴ × ۱۰^۱۵
فرسایش خاک	۱/۲۷ × ۱۰^۹	(اودوم ۱۹۹۶)	۲/۱۳ × ۱۰^۱۶	۲/۱۳ × ۱۰^۱۶
مجموع			۴/۰۲ × ۱۰^۱۶	۴/۵۹ × ۱۰^۱۶
ورودی‌های خریداری شده				
نیروی کارگر	۲/۲۲ × ۱۰^۶	(لو و کمپل ۲۰۰۹)	۲/۰۸ × ۱۰^۱۵	۱/۷۷ × ۱۰^۱۵
ماشین آلات	۱/۰۱ × ۱۰^۱۰	(کمپل ۲۰۰۵)	۱/۰۵ × ۱۰^۱۴	۱/۲۸ × ۱۰^۱۴
گازوئیل و روغن	۸/۶۰ × ۱۰^۴	(اودوم ۱۹۹۶)	۵/۱۴ × ۱۰^۱۴	۶/۰۶ × ۱۰^۱۴
کود نیتروژن	۳/۰۹ × ۱۰^۱۰	(برنت –ویلیامز ۲۰۰۲)	۰/۰۰ ×۱۰^۰	۶/۶۱ × ۱۰^۵
کود فسفر	۲/۸۲ × ۱۰^۱۰	(برنت – ویلیامز ۲۰۰۲)	۰/۰۰ ×۱۰^۰	۶/۰۳ × ۱۰^۱۵
کود پتاس		(اودوم ۱۹۹۶)	۰/۰۰ ×۱۰^۰	۴/۷۷ × ۱۰^۱۵
ریز مغذی	۳/۹۰ × ۱۰^۹	(لن و همکاران ۲۰۰۲)	۰/۰۰ × ۱۰^۰	۱/۱۷ × ۱۰^۱۳
الکتریسیته	۳/۶۰ × ۱۰^۶	(اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹)	۴/۲۰× ۱۰^۹	۶/۵۶ × ۱۰^۹
کود آلی	۳/۸۷ × ۱۰^۹	(اودوم ۱۹۹۶)	۷,۷۴ × ۱۰^۱۵	۵/۸۱ × ۱۰^۱۵
نهال	۶/۷۶ × ۱۰^۷		۹/۴۶ × ۱۰^۱۴	۹/۴۶ × ۱۰^۱۴
F_R			۱/۵۶ × ۱۰^۱۵	۱/۹۱ × ۱۰^۱۵
F_N			۹/۲۴ × ۱۰^۱۵	۲/۳۸ × ۱۰^۱۶
Subtotal			۱/۰۸ × ۱۰^۱۶	۲/۵۷ × ۱۰^۱۶
مجموع			۵/۱۱ × ۱۰^۱۶	۷/۱۷ × ۱۰^۱۶

عنوان یک محصول اقتصادی نسبت به نظام مکانیزه تولید گل محمدی بود. در گزارش محققین مقایسه مقادیر Tr برای چهار نظام گلخانه مورد مطالعه در جیرفت نشان داد که راندمان امرژی ورودی نظام تولید خیار ۴۳، ۸۸ و ۷۳ درصد بیشتر از نظام‌های تولید گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان بود، دلیل اصلی افزایش راندمان امرژی ورودی نظام تولید خیار، عملکرد بیشتر خیار در واحد سطح به عنوان یک محصول اقتصادی نسبت به سه سبزی دیگر بود (اصغری پور و همکاران ۲۰۲۰). ضرایب تبدیل ۱/۱۶ × ۱۰^۶ و ۹/۹۷ × ۱۰^۵ به ترتیب برای محصولات پسته و خرما در ایران گزارش شد (جعفری و همکاران ۲۰۱۸). وانگ و همکاران (۲۰۱۴) Tr گندم ۱/۶۳ × ۱۰^۵ در شمال چین گزارش کردند، در حالی که قالی و پورتر (۲۰۱۳) Tr را برای ذرت ۱/۳۲ × ۱۰^۵ در مزارع دانمارک گزارش کردند. همچنین مقادیر Tr ۱/۷۱ × ۱۰^۵ و ۳/۰۲ × ۱۰^۵ در ایران برای تولید لوبیا

در سطوح مختلف مصرف نهاده گزارش شده است (اصغری پور و همکاران، ۲۰۱۹).

شاخص درصد تجدیدپذیری امرژی (R)

به نسبت ورودی‌های تجدیدپذیر به امرژی کل، درصد تجدیدپذیری امرژی می‌گویند (ژانگ و لانگ ۲۰۱۰). به طور کلی، نظام‌های تولیدی که بخش بیشتری از ورودی‌های امرژی خود را از منابع تجدیدپذیر تامین می‌کنند، به احتمال زیاد پایداری بالاتری خواهند داشت (لاروزا و همکاران ۲۰۰۸). در درازمدت، هرچه نظام در مقایسه با منابع تجدیدپذیر کمتر از منابع تجدیدناپذیر استفاده کند، در رقابت اقتصادی موفق‌تر خواهد بود (براون و اولیگیاتی ۲۰۰۴، لفروی و ریدبرگ ۲۰۰۳). در تحقیق حاضر، درصد تجدیدپذیری نظام‌های مکانیزه و سنتی گل محمدی به ترتیب ۲/۷۴ و ۳/۱۴ درصد محاسبه شد. کوچک بودن R

جدول ۳- مشخصات شاخص‌های امرژی مورد استفاده برای ارزیابی نظام‌های مکانیزه و سنتی تولید گل محمدی

شاخص‌های مبتنی بر امرژی	رابطه	خصوصیات	منبع	مقادیر	
				سنتی	مکانیزه
Transformity (sej J^{-1})	Tr = U / Output	مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک محصول بر حسب ژول، معیاری برای کارایی نظام	براون و اولگیاتی ۲۰۰۴	$۲/۱۳ \times ۱۰^{۷}$	$۲/۳۹ \times ۱۰^{۷}$
Specific emergy (sej g^{-1})	SE = U / Output	مقدارامرژی مورد نیاز برای تولید یک محصول به زیست توده است.		$۱/۷۰ \times ۱۰^{۱۱}$	$۱/۹۱ \times ۱۰^{۱۱}$
Emergy Renewability	%R = (R + F_R)/ U ×100	این شاخص میزان وابستگی نظام به انرژی‌های تجدید پذیر را بیان می‌کند	ژانگ و لانگ ۲۰۱۰	۳/۱۴	۲/۷۴
Emergy Yield Ratio	EYR = U / (F_N + F_R)	نسبت کل امرژی به امرژی خریداری شده را محاسبه می‌کند این نسبت میزان ورودی منابع مصرف شده (کل خروجی) در هر واحد سرمایه گذاری به عمل آمده توسط نظام را ارزیابی می‌کند	ژانگ و همکاران ۲۰۰۷	۴/۷۳۰	۲/۷۹۱
Standard Emergy Investment Ratio	EIR = (F_N + F_R) / (R +N_0)	نسبت منابع امرژی خریداری شده خارج از نظام به ورودی‌های تجدیدپذیر محیطی	وانگ و همکاران ۲۰۱۴	۰/۲۶۸	۰/۵۵۸
Modified Emergy Investment Ratio	EIR* = (F_N + F_R) / R	نسبت سرمایه گذاری اصلاح شده		۲۳۳/۶۲۲	۵۵۵/۳۵۸
Environmental Loading Ratio	ELR = (F_N + N_0 + F_R) / R	هر چقدر مقدار این شاخص بیشتر باشد فشار محیطی بر زمین کشت بیشتر و پایداری نظام ضعیف است. معکوس پایداری را نشان می‌دهد	اورتگا و همکاران ۲۰۰۲	۱۱۰۵/۰۹۰	۱۵۴۹/۱۷۳
Modified Environmental Loading Ratio	ELR* = (F_N + N_0) /(R + F_R)	نسبت بار زیست محیطی اصلاح شده	اورتگا و همکاران ۲۰۰۲	۳۰/۸۴۱	۳۵/۵۵۴
Standard Environmental Sustainability Index	ESI = EYR / ELR	شاخص پایداری محیط	اودوم ۱۹۹۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
Modified Environmental Sustainability Index	ESI* = EYR / ELR*	شاخص پایداری محیط اصلاح شده	اودوم ۱۹۹۶	۰/۱۵۳	۰/۰۷۹

در نظام مکانیزه گل محمدی به دلیل استفاده از کودهای شیمیایی می‌باشد و هشداری در جهت ناپایداری این نظام است. دربرخی پژوهش‌ها نیز سهم بالایی از امرژی تجدیدناپذیر در بوم‌نظام‌های کشاورزی و زراعی را به کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم مربوط می‌دانند (قالی و پرتر ۲۰۱۳). در یافته‌های محققین تلفات بالای مواد آلی خاک از منابع تجدیدناپذیر، در اثر خاکورزی و شیوه تولید در بوم‌نظام تجاری، عمده‌ترین دلیل پایین بودن درصد تجدیدپذیری امرژی در نظام تجاری معرفی گردید (امیری و همکاران ۲۰۲۰). اصغری پور و همکاران (۲۰۱۹)، گزارش کردند که تغییر در نوع ورودی‌های مصرفی نظام از مصرف زیاد ورودی‌های شیمیایی (با قابلیت تجدیدپذیری کم) به سمت افزایش مصرف ورودی‌های تجدیدپذیر، منجر به بالارفتن درصد تجدیدپذیری امرژی و بهبود پایداری نظام می‌شود. مطالعه‌ای در برزیل بر روی سه مزرعه (شامل محصولات زراعی و گونه‌های باغی)، یکی با مدیریت اکولوژیکی و دو مورد دیگر با دو سطح مختلف مدیریت متعارف مقایسه شد. نتایج نشان داد که میانگین درصد تجدیدپذیری در مزرعه اکولوژیکی ۵۹ درصد و در دو نظام دیگر ۲۷ درصد است. مهمترین منبع تجدیدناپذیری دراین نظام‌ها به ورودی سوخت فسیلی نسبت داده می‌شود. بنابراین، کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی در آینده می‌تواند عاملی حیاتی باشد که منجر به ناپایداری نظام‌های وابسته به این منابع تجدیدناپذیر می‌شود (آگوستینا و همکاران ۲۰۰۸).

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

نسبت بازده امرژی حاصل تقسیم امرژی خروجی بر امرژی ورودی خریداری شده است. EYR نشان دهنده اثربخشی نظام بزرگتر در بهره برداری از منابع رایگان نظام است (ژانگ و همکاران ۲۰۰۷). مقدار بالاتر این شاخص نشان‌دهنده مقدار بیشتری امرژی مصرف شده در هر واحد انرژی سرمایه‌گذاری شده است (چن و همکاران ۲۰۰۶). هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، وابستگی نظام به ورودی‌های محیطی در مقایسه با منابع خریداری شده بیشتر است. مقادیر EYR برای نظام‌های تولید گل محمدی مکانیزه و سنتی به ترتیب ۲/۷۹ و ۴/۷۳ بود. در تعداد زیادی از تحلیل‌های امرژی، EYR به عنوان یکی از شاخص‌های اصلی گزارش شده است. در یک مطالعه در چین، EYR محاسبه شده برای مزارع تولید سبزیجات و برنج به ترتیب ۱/۰۵ و ۱/۱۵ بود. EYR بالا نشان‌دهنده وابستگی بیشتر نظام به منابع محیطی در مقایسه با منابع خریداری شده است. EYR بیشتر از ۱۵ حاکی از پایداری بالا، ۱۵-۴ پایداری متوسط و EYR کمتر از ۴ پایداری کم نظام را نشان می‌دهد (ژان و همکاران ۲۰۲۰).

با ارائه اطلاعات ارزشمند، شاخص EYR به عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی تحلیل امرژی در چندین مطالعه تحقیقاتی شناسایی شده است. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که در نهبندان انجام شد، شاخص EYR نظام-های تولید پسته و خرما به ترتیب برابر با ۱۶/۰۳ و ۱۴/۳۹ بود که به وضوح وابستگی گسترده این دو نظام به منابع زیست محیطی رایگان را نشان می‌دهد (جعفری و همکاران ۲۰۱۸). مقادیر EYR برای نظام‌های تولید لوبیا اکولوژیک، یکپارچه، ورودی کم، متوسط و با نهاده بالا در ایران به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۱۷، ۱/۲۸، ۱/۲۰ و ۱/۱۷ برآورد شده است (اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹). مقادیر EYR به دست آمده برای سویا در جنوب توسکانی، ایتالیا از۱/۹۸ تا ۰/۳۲ بود (پانیزری و همکاران ۲۰۰۰). در نهایت، EYR محصولات ذرت در ایتالیا از ۱/۱۹ تا ۱/۵۳ متغیر بود (اولیگیاتی و همکاران ۱۹۹۴).

نسبت سرمایه‌گذاری استاندارد (EIR) و اصلاح شده (EIR^*)

شاخص EIR از طریق نسبت ورودی‌های خریداری شده به ورودی‌های رایگان به‌دست می‌آید (وانگ و همکاران ۲۰۱۴). شاخص EIR اطلاعاتی را در مورد کارایی نظام در هنگام استفاده از امرژی ناشی از منابع سرمایه‌گذاری شده نسبت به امرژی‌های رایگان محیطی ارائه می‌دهد (اودوم ۱۹۹۶، لان و همکاران ۲۰۰۲). مقدار کمتر این شاخص نشان‌دهنده وابستگی بیشتر نظام به

منابع محیطی است (وانگ و همکاران ۲۰۱۴). نسبت *EIR نسبت منابع خریداری شده به منابع زیست محیطی تجدیدپذیر است (امیری و همکاران ۲۰۱۹). مقدار شاخص EIR در نظام‌های مکانیزه و سنتی گل محمدی به ترتیب ۰/۵۶ و ۰/۲۷ گزارش شد. بزرگ بودن EIR بوم نظام مکانیزه گل محمدی در مقایسه با نظام سنتی، ناشی از امرژی ورودی بالای کود آلی می‌باشد (جدول ۴).

به گفته کمپل و لاهرر (۱۹۹۸)، این تصور درستی نیست که N را به عنوان ورودی رایگان در نظر بگیریم. از این رو، معادله $(F_N + F_R)/R$ به عنوان *EIR توسط امیری و همکاران (۲۰۱۹) تعریف شد. به دلیل حذف N از گروه ورودی رایگان در فرمول *EIR، تفاوت بین *EIR و EIR بسیار زیاد بود. با این حال، در مطالعاتی که در آنها N به دلیل شرایط محیطی غیرقابل کنترل در نظام تولید می‌باشد و همچنین زمانی که بخش بالایی از کل امرژی ورودی نظام است، شاخص*EIR جهت مقایسه پایداری نظام‌های تولید واقعی‌تر از شاخص EIR است. امیری و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند، تفاوت بین نظام‌های تولید کلزا تجاری و معیشتی بر اساس شاخص EIR حدود ۲/۵ برابر بود. با این حال، تفاوت کمی بین دو نظام بر اساس شاخص* EIR وجود دارد. از دست دادن و تخریب خاک سهم عمده ای در استفاده از منابع تجدید ناپذیر محلی N و N_0 در نظام‌های تولید کشاورزی در ایران و در بسیاری از نقاط جهان دارد. فرسایش خاک یک مشکل عمده در بسیاری از نظام‌های کشاورزی ایران است.

چنگ و همکاران (۲۰۱۷) سه نظام تولید محصول، پرورش ماهی و مرغ را مقایسه کرد و مقادیر متوسط EIR را به ترتیب ۳/۹۸ و ۵/۸۷ گزارش کرد که نشان‌دهنده درصد پایین‌تر سرمایه‌گذاری ورودی‌های رایگان در نظام‌های زراعی نسبت به نظام‌های تولید فشرده مرغ و ماهی است. اصغری پور و همکاران (۲۰۱۹) مقادیر EIR را به ترتیب ۳/۵۷ و ۶/۰۳ برای نظام‌های تولید لوبیا ارگانیک و با نهاده بالا در ایران گزارش کرد. برای نظام‌های تولید سویا در برزیل مقدارEIR، ۱/۲۵ گزارش شد (کاوالت و اورتگا، ۲۰۰۹).

نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (*ELR)

نسبت بار زیست‌محیطی(ELR) فشار اعمال شده یک نظام بر محیطزیست را تحلیل می‌کند. این شاخص برای اندازه گیری میزان استفاده‌ی نظام از خدمات محیط و فشار وارده به محیط، در جریان تولید استفاده می‌شود(آگوستینهو وهمکاران ۲۰۰۸). شاخص‌های نسبت بار محیط زیستی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط زیستی اصلاح شده (*ELR) معمولاً برای محاسبه میزان فشار وارد شده به محیط زیست استفاده می‌شود.

ELRاز طریق محاسبه نسبت ورودی‌های امرژی تجدیدناپذیرمحیطی و ورودی‌های خریداری شده بر نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر و *ELR از نسبت ورودی منابع تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر محاسبه می‌گردد (اورتگا و همکاران ۲۰۰۲). ELR با تقسیم نسبت‌های ورودی خریداری شده به اضافه ورودی‌های زیست محیطی تجدیدناپذیر بر ورودی‌های زیست محیطی تجدیدپذیر محاسبه می‌شود. *ELR، از سوی دیگر، به نسبت جریان‌های تجدیدناپذیر به تجدیدپذیر مربوط می‌شود (آرتوزو و همکاران ۲۰۲۱). افزایش مقادیر شاخص‌های ELR و*ELR فشارهای زیست محیطی جدی تری بر نظام‌های محلی وارد می‌کند که به دلیل استفاده از منابع تجدیدناپذیر است (اودوم ۱۹۹۶، لو و همکاران ۲۰۱۴). نسبت بالای این دو شاخص، به معنای اعمال فشار بالا بر محیط زیست است. مقادیر ELRدر مطالعه حاضر برای نظام تولید مکانیزه و سنتی گل محمدی به ترتیب $۱/۵ \times ۱۰^{۳}$ و $۱/۱ \times ۱۰^{۳}$ گزارش شد. همچنین *ELR برای نظام تولید مکانیزه و سنتی گل محمدی به ترتیب ۳۵/۵۵ و ۳۰/۸۴ بود. بر اساس مقادیر ELR و *ELR محاسبه شده در این مطالعه، فشار وارده بر محیط زیست از طرف نظام‌های مکانیزه و سنتی گل محمدی به‌ترتیب بیشترین وکمترین بود نظام تولید مکانیزه گل محمدی به‌دلیل استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفرو پتاس بیشترین فشار را بر محیط زیست اعمال کرد. به عنوان یک قاعده کلی، ELR کمتر از ۲ نشان دهنده بار محیطی نسبتاً کم، ELR برابر ۱۰

نشان‌دهنده بار محیطی متوسط و ELR بیش از ۱۰ نشان‌دهنده سطح بسیار بالای بار محیطی است (براون و اولیگیاتی ۲۰۰۴). سطوح شاخص ELR در نظام‌های گندم و ذرت جنوب برزیل بالاتر از ۱۰ گزارش شد که اثرات زیست‌محیطی چشمگیر این نظام‌ها را نشان می‌دهد (کاوالت و همکاران ۲۰۰۹). مقدار شاخص ELR گزارش شده برای نظام تولید ذرت در شمال شرقی چین ۱۰/۶۲ بود (وانگ و همکاران ۲۰۱۴). علاوه بر این، شاخص ELR نظام یکپارچه تولید غلات، خوک و ماهی در جنوب برزیل ۳/۱۳ بود (کاوالت و همکاران ۲۰۰۹). در بررسی سایت‌های تولید کلزا در ایران، مقادیر ELR و ELR^* به‌ترتیب در نظام تجاری ۱۹/۷۵ و ۱۷/۸۵ و در نظام معیشتی تولید کلزا ۱۲/۶۸ و ۴/۰۰ محاسبه و بر مبنای دو شاخص ELR و *ELR نظام تجاری ناپایدار معرفی شد (امیری و همکاران ۲۰۱۹).

شاخص پایداری محیط زیست استاندارد (ESI) و نسخه اصلاح شده (ESI^*)

دو شاخص پایداری ESI و*ESI در جستجوی فرآیندی است که ضمن بهره‌مندی حداکثری از ورودی-های رایگان محیطی توأم با حداقل فشار وارده بر محیط زیست باشد (اودوم ۱۹۹۶). این دو شاخص با در نظر گرفتن پایداری نظام، بیانگر اثربخشی اقتصادی فرآیند تولید هستند. هر چه نسبت ورودی‌های محیطی رایگان (R و N) به ورودی‌های خریداری شده بیشتر باشد، موجب افزایش شاخص پایداری محیط زیست خواهد شد (اولیگیاتی و براون ۱۹۹۸). در مطالعه حاضر، ESI برای نظام‌های تولید مکانیزه و سنتی گل محمدی به ترتیب ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۴ محاسبه شد. همچنین مقادیر *ESI برای نظام‌های تولید مکلنیزه و سنتی گل محمدی ۰/۰۷۹ و ۰/۱۵۳ بود.

مطالعات متعدد نشان می‌دهد که فشارهای زیادی بر محیط زیست توسط نظام‌های مختلف کشاورزی اعمال می‌شود. مقادیر ESI گزارش شده شامل ۰/۴۵ برای یک مزرعه ذرت چینی است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲). مقادیر شاخص ESI نظام‌های مکانیزه، سنتی، حفاظتی و طبیعی برای تولید موسیر در ایران به ترتیب ۰/۰۴۸، ۰/۰۴۱، ۰/۰۲۵ و ۰/۳۰۶ بوده که وضعیت ناپایدار هر چهار نظام را نشان می‌دهد. علاوه بر این، پس از تجزیه و تحلیل پایداری چنین نظام‌هایی از طریق شاخص *ESI، نتایج به دلیل استفاده از شاخص*ELR برای محاسبه، اندکی بهبود یافت. اینها نشان داد که نظام‌های سنتی و کشاورزی حفاظتی در مقایسه با نظام‌های مکانیزه پایدارتر هستند (امیری و همکاران ۲۰۲۱). در ارزیابی نظام‌های تولید خرما و پسته در شهرستان نهبندان، مقادیر ESI نزدیک به ۱ بود که نشان می‌دهد هر دو نظام دارای خروجی امرژی بالا و نیاز کم به منابع تجدیدناپذیر هستند (جعفری و همکاران ۲۰۱۸). در یک مطالعه انجام شده در ایران، مقادیر ESI و *ESI نظام‌های تولید غیر متراکم لوبیا ۰/۰۸ و ۱/۴۸ بود که بالاترین مقدار در مقایسه با سایر نظام‌های مورد مطالعه بود (اصغری پور و همکاران ۲۰۱۹). در گزارش دیگری، ارزش ESI یک مزرعه ذرت در چین ۰/۴۵ گزارش شده است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲). زمانی که نظام‌های کشاورزی فشرده از نهاده‌های غیر ارگانیک بیشتری استفاده می‌کنند با مقادیر کمتر F_R، N و R و همچنین تنوع کمتر، شاخص پایداری کمتری را نشان خواهد داد (گوپتا وچاندرا ۲۰۰۲).

نتیجه گیری و پیشنهادات

این تحقیق تلاشی برای یافتن، معرفی و ترویج نظامی از تولید با جستجو در میان نظام‌های موجود است که علاوه بر ملاحظات زیست محیطی، حداکثر سود اقتصادی را نیز به همراه داشته باشد. در ذیل خلاصه نتایج و پیشنهادات راهبردی جهت تحقق تولید پایدار، برای استفاده متخصصین کشاورزی، محیطزیست، کشاورزان و مصرف‌کنندگان ارائه می‌گردد:

- نتیجه تحلیل امرژی دو نظام موردمطالعه تولید گل محمدی، پایداری محیطزیست بالا، درصد تجدید پذیری بیشتر امرژی ورودی و بار زیست‌محیطی کمتر بر اساس شاخصهای*ESI، ELR، R% و ELR^* در نظام سنتی، حاکی از پایداری اکولوژیکی بیشتر این نظام می‌باشد و نسبت بالای سرمایه‌گذاری امرژی نظام مکانیزه در این مطالعه عمدتاً به دلیل افزایش

امرژی ورودی کودهای شیمیایی می‌باشد که استفاده از کودهای دامی به عنوان جایگزین توصیه می‌شود.

- از آنجایی که امرژی ورودی مربوط به آب‌های زیرزمینی و فرسایش خاک، سهم بالایی از ورودی منابع محیطی تجدیدناپذیر نظام‌های موردمطالعه این تحقیق را به خود اختصاص داده است؛ توصیه می‌شود با اعمال مدیریت صحیح مانند استفاده از نظام‌های نوین آبیاری و حفاظت از خاک، علاوه بر بهبود ویژگی-های خاک، امرژی ورودی تلفات ماده آلی و فرسایش خاک نیز، کمتر خواهد شد.
- با توجه به تحلیل جریانات امرژی در دو نظام مورد مطالعه، نظام سنتی تولید گل محمدی به عنوان نظام زراعی پایدارتر و کارآمدتر شناخته شد.
- استفاده از فناوری‌های بروز و سیاست گذاری مطابق با نهاده‌های موجود، جهت ایجاد انگیزه در کشاورزان برای استفاده کارآمدتر از منابع طبیعی ضروری است. تحقیقات آینده در مورد بهبود تولید مواد غذایی باید بر شناخت تنوع نظام‌های کشاورزی یکپارچه و اصلاح الگوی کشت استوار باشد. همچنین در مطالعات تحقیقاتی آینده باید ملاحظات مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را برای توسعه فناوری‌های مناسب، بهبود چرخه غذایی و افزایش بهره‌وری کشاورزی در نظر بگیرند. مشوق‌های اقتصادی (مانند یارانه‌ها) و سیاست‌هایی که بازار نهاده‌های ورودی را با عملکرد بهینه تنظیم می‌کنند، می‌توانند تأثیر زیادی بر تصمیمات کشاورزان در انتخاب از بین استراتژی‌های جایگزین برای محصولات کشاورزی داشته باشند.

سپاسگزاری

این مطالعه در قالب رساله دکتری و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با پژوهانه شماره IR-UOZ-GR-6673 انجام گردید. ازهمکاری باغداران گل محمدی شهرستان نهبندان در تکمیل پرسشنامه وکارکنان جهاد کشاورزی شهرستان در تهیه اطلاعات مورد نیاز کمال تشکر را داریم.

منابع مورد استفاده

Agostinho F, Diniz G, Siche R, and Ortega E. 2008. The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil. Ecological Modelling, 210: 37-57. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.07.007

Altieri MA. 1988. Beyond Agroecology: Making Sustainable Agriculture Part of a Political Agenda. American Journal o f Alternative Agriculture, 3:142- 143. DOI: 10.1017/S0889189300002340

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, 229: 1051–1066. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.091

Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE, and Sabaghi MA. 2020 b. 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. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120891

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: 1-19. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126008

Artuzo FD, Allegretti G, Santos OIB, da Silva LX and Talamini E. 2021. Emergy unsustainability index for agricultural systems assessment: a proposal based on the laws of thermodynamics. Sci Total Environ, 759:143524. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143524

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: 1-17. DOI: 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(1): 2. DOI: 10.1007/s10661-018-7129-8

Brandt-Williams SL. 2002. Handbook of Emergy Evaluation: Folio #4dEmergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA.

Brentrup F, Küsters J, Lammel J, Barraclough P and Kuhlmann H. 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. European Journal Agronomy, 20: 265–279. DOI: 10.1016/S1161-0301(03)00039-X

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

Brown MT, Brandt-Williams S, Tilley D and Ulgiati S. 2000. Emergy synthesis: an introduction, in: Brown, M.T. (Ed.), Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology. In: Proceedings from the First Biennial Emergy Analysis Research Conference. Centre for Environmental Policy. Gainesville, FL. pp: 1–14.

Campbell C and Laherrere J. 1998. The end of cheap oil. J. Sci. Am, 278 (3): 78–83. DOI: 10.1038/scientificamerican0398-78

Campbell DE and Erban L. 2017. A reexamination of the emergy input to a system from the wind. Emergy Synthesis 9: 13-20.

Campbell DE, Brandt-Williams SL and Meisch MEA. 2005. Environmental Accounting Using Emergy: Evaluation of the State of West Virginia. First Edition, USA: Washington, Office of Research and Development, Washington, DC, p: 116.

Campbell DE, Lu HF, Knox GA and Odum HT. 2009. Maximizing empower on a human-dominated planet: the role of exotic Spartina. Ecological Engineering, 35: 463–486. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2008.11.006

Campbell DE. 2008. Emergy and its Importance. Narragansett, Rhode Island. First Edition, USA: Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory. Atlantic Ecology Division, PP: 265-272.

Cavalett O and Ortega E .2009. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. Journal Cleaner Production, 17:762–771. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.11.022

Chen GQ and Chen B. 2009. Extended-exergy analysis of the Chinese society. Energy, 34: 1127–1144. DOI: 10.1016/j.energy.2009.04.030

Chen GQ, Jiang MM, Chen B, Yang ZF and Lin C. 2006. Emergy analysis of Chinese agriculture. Agriculture Ecosystems Environment, 115:161–173. DOI: 10.1016/j.agee.2006.01.005

Cheng H, Chen C, Wu S, Mirza ZA and Liu Z. 2017. Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of Three Gorges Reservoir of China. Journal of Cleaner Production, 144: 559-571. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.053

Cohen MJ, Brown MT and Shepherd KD. 2006. Estimating the environmental costs of soil erosion at multiple scales in Kenya using emergy synthesis. Agriculture, Ecosystems and Environment, 114(2–4): 249–269. DOI: 10.1016/j.agee.2005.10.021

Conant RT, Ryan MG, A˚gren GI, Birge HE, Davidson EA, Eliasson PE, Evans SE, Frey SD, Giardina CP, Hopkins FM and Hyvo¨nen R . 2011. Temperature and soil organic matter decomposition rates–synthesis of current knowledge and a way forward. Glob Change Biol, 17(11):3392–3404. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02496.x

Cuadra M and Rydberg T. 2006. Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. Ecological Modelling, 196: 421- 433. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2006.02.010

De Barros JM, Blazy GS, Rodrigues R and Tournebize JP. 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). Agriculture, Ecosystems and Environment, 129: 437–449. DOI: 10.1016/j.agee.2008.10.015

Ebrahimabadi, A. 2013. Production of rose oil in compliance with ISO 9842. Available at: WWW. Medplant.ir.

Ghaley BB and Porter JR. 2013. Emergy synthesis of a combined food and energy production system compared to a conventional wheat (*Triticum aestivum*) production system. Ecological Indicators, 24: 534-542. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.08.009

Giannetti BF, Ogura Y, Bonilla SH, Almeida CMVB. 2011. Emergy assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price. Agricultural Systems, 104: 679-688. DOI: 10.1016/j.agsy.2011.07.001

Gupta MJ and Chandra P. 2002. Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy for greenhouse environmental control. Energy, 27: 777–794. DOI: 10.1016/S0360-5442(02)00030-0

Jafari M, Asgharipour MR, Ramroudi M, Galavi M and Hadarbadi G. 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. Journal Cleaner Production, 193: 642-651. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.05.089

Kazemi NajafAbadi M. 2009. Feasibility study of olive cultivation in Isfahan province using GIS, M.S. Thesis, Tehran University. Faculty of Geography. Natural Geography Group. Natural geography and geomorphology, Iran.

Khodaeii MB, Samadi V, Selahshour H. 2006. Examining the products from the Iranian flower market in Asia. Scientific-research quarterly of medicinal and aromatic plants in Iran, 22(4): 385-373. (In Persian with English Abstract). .

Kohkan SA, Ghanbari A, Asgharipour MR and Fakheri B. 2017. Emergy evaluation of Yaghuti grape of Sistan. Arid Biome Scientific and Research Journal, 7: 73–84.

La Rosa AD, Siracusa G and Cavallaro R. 2008. Emergy evaluation of Sicilian red orange production. A comparison between organic and conventional farming. Journal of Cleaner Production, 16:1907–1914. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.02.003

Lan SF, Qin P and Lu HF. 2002. Emergy Assessment of Ecological Systems. Chemical Industry Press, Beijing, China, 76: 406–412.

Lefroy E and Rydberg T. 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. Ecological Modelling, 161: 195-211. DOI: 10.1016/S0304-3800(02)00341-1

Lu HF and Campbell D E. 2009. Ecological and economic dynamics of the Shunde agricultural system under China's small city development strategy. Journal of Environmental Management, 90: 2589-2600. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.02.006

Lu HF, 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, Cai CJ, Zeng XS, Campbell DE, Fan SH and Liu GL. 2018. Bamboo vs. crops: an integrated emergy and economic evaluation of using bamboo to replace crops in south Sichuan Province, China. Journal of Cleaner Production, 177: 464-473. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.193

Milà i Canals L, Burnip GM and Cowell SJ. 2006. Evaluation of the environmental impacts of apple production using life cycle assessment (LCA): case study in New Zealand. Agriculture, Ecosystems and Environment, 114: 226–238. DOI: 10.1016/j.agee.2005.10.023

Mohammadzadeh A, Damghani AM, Vafabakhsh J and Deihimfard R. 2017. Assessing energy efficiencies, economy, and global warming potential (GWP) effects of major crop production systems in Iran: a case study in East Azerbaijan province. Environmental Science and Pollution Research, 24: 16971-16984. DOI: 10.1007/s11356-017-9299-7

Odum HT, Brown MT and Brandt-Williams S. 2000. Introduction and Global Budget, Handbook of Emergy Evaluation. First Edition, USA: University of Florida, Gainesville Center for Environmental Policy, PP: 1-17.

Odum HT. 1983. Systems Ecology. Wiley, New York.

Odum HT. 1986. Emergy in ecosystems. In N. Polunin (Ed.), Ecosystem theory and application, pp: 142–194. New York: Wiley.

Odum HT. 1996. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. John Wiley & Sons, New York. USA.

Odum HT. 2007. Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century. The Hierarchy of Energy. Columbia University Press, New York.

Ortega E, Anami MH and Diniz G. 2002. Certification of food products using emergy analysis. In: Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies. Florida, USA. Citeseer, pp: 227-237.

Papizadeh A and Bosshaq MR. 2014. Identifying of effective factors on agricultural sustainability of growers maize in Doroud, Iran. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 3 (4): 55-59.

Pelliciardi V, Varvaro L and Maria Pulselli F. 2014. Emergy evaluation of a traditional farming system.Case study: Leh District (Ladakh - Indian Trans-Himalaya). European Journal of Sustainable Development, 3(4): 1- 16. DOI: 10.14207/ejsd.2014.v3n4p1

Singh RJ, Ghosh BN, Sharma NK, Patra S, Dadhwal KS and Mishra PK. 2016. Energy budgeting and emergy synthesis of rainfed maize–wheat rotation system with different soil amendment applications. Ecological Indicators, 61: 753–765. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.10.029

Snedecor GW and Cochran WG. 1980. Statistical Methods, seventh ed. Lowa State Unv. Press, Ames., Lowa, USA, p: 476.

Tabaei-Aghdaei SR, Babaei A, Khosh-Khui M, Jaimand K, Rezaee MB, Assareh MH and Naghavi MR .2007. Morphological and oil content variations amongst Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) landraces from different regions of Iran. Scientia Horticulturae, 113(1): 44-48. DOI: 10.1016/j.scienta.2007.01.010

Ting YI and Ping-an XIANG. 2016. Emergy analysis of paddy farming in Hunan Province, China: a new perspective on sustainable development of agriculture. Journal of Integrative Agriculture, 10: 2426–2436.

Ulgiati S and Brown MT. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. Ecological Modelling, 108(1-3): 23-36. DOI: 10.1016/S2095-3119(16)61379-9

Ulgiati S, Odum HT and Bastianoni S.1994. Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy. Ecological Modeling, 73:215–268. DOI: 10.1016/S0304-3800(98)00016-7

Wang X, Chen Y, Sui P, Gao W, Qin F, Wu X and Xiong J. 2014a. Efficiency and sustainability analysis of biogas and electricity production from a large-scale biogas project in China: an emergy evaluation based on LCA. Journal of Cleaner Production, 65: 234–245. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.09.001

Wu XH, Wu FQ, Tong XG and Jiang B. 2013. Emergybased sustainability assessment of an integrated production system of cattle, biogas, and greenhouse vegetables: insight into the comprehensive utilization of wastes on a large-scale farm in Northwest China. Ecological Engineering, 61: 335– 344. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.09.022

Zhan Ch, Zhao R and Hu Sh. 2020. Emergy-based sustainability assessment of forest ecosystem with the aid of mountain eco-hydrological model in Huanjiang County, China. Journal of Cleaner Production, 251: 119- 638. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119638

Zhang G and Long W. 2010. A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. Energy Policy, 29:4111–4129. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.03.051

Zhang LX, Song B, Chen B. 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. Journal of Cleaner Production, 28: 33-44. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.10.042

Zhang LX, Yang ZF and Chen GQ. (2007). Emergy analysis of cropping–grazing system in Inner Mongolia Autonomous Region, China. Energ Policy, 35: 3843–3855. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.12.009

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 255-265

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

Investigating the Trend of Consumption and Calculating Energy Efficiency Indicators in Cereals Production (wheat, barley, rice and corn) during 2000-2020

Rose Hashemi[1], Reza Moghaddasi[1*], Mehdi Kazemnejad[1], Amir Mohammadinejad[1]

Received: 06 October 2023	Accepted: 08 February 2024

Department of Agricultural Economics, Extension and Education, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
*Corresponding Author: r.moghaddasi@srbiau.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Energy is considered as one of the most important inputs in the Iran's economy. Government has been providing subsidy for energy consumption for decades, and it puts high pressure on the public budget. The purpose of this study is to investigate the energy consumption trend and calculate the energy efficiency indicators in the cereals production (wheat, barley, rice and corn) in Iran.

Materials and Methods: The data used in the research is related to the period of 2000-2020, which was prepared from the Ministry of Agricultural Jihad and the Statistics Center of Iran. In this research, four important cereals products including wheat, barley, corn and rice were considered, which in total include about 70% of the total area of agricultural lands in Iran.

Results: According to the results, the energy of all inputs except chemical poisons has increased in the mentioned period. Chemical fertilizer showed a decreasing trend during the period of 2000-2010, but increased again during the period of 2010-2020. Chemical fertilizer has taken the largest share of the total input energy, so that its growth rate was 28.3% in the period of 2000-2020.

Conclusion: The trend of energy ratio (output to input) in the production of major cereal products during the studied period had an increasing trend so that the average growth of the total energy ratio in the mentioned products was 1.87% in the period under review. The regression coefficient of indirect energy and non-renewable energy was significant and positive at the level of 5%, which shows that the grain yield increases with the increase in the consumption of this type of energy. The results of this study showed that the cereal energy efficiency increased over time.

Keywords: Cereals, Input, Energy Consumption Efficiency, Iran

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Reza Moghaddasi, Email: r.moghaddasi@srbiau.ac.ir
http://doi.org/10.22034/saps.2024.58735.3127

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۲۶۵-۲۵۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

بررسی روند مصرف و محاسبه شاخص‌های کارایی انرژی در تولید غلات آبی کشور (گندم، جو، برنج و ذرت) طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۹

رز هاشمی[۱]، رضا مقدسی[۱*]، مهدی کاظم نژاد[۱]، امیر محمدی نژاد[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۷

۱-گروه اقتصاد، ترویج و آموزش کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: r.moghaddasi@srbiau.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: انرژی از جمله مهمترین نهاده‌های تولیدی در اقتصاد ایران به شمار می‌رود. در طول دهه‌ها دولت برای مصرف این نهاده یارانه پرداخت نموده و این مساله فشار زیادی بر بودجه دولت وارد می‌آورد. هدف از این مطالعه بررسی روند مصرف و محاسبه شاخص‌های کارایی انرژی در تولید غلات آبی کشور (گندم، جو، برنج و ذرت) می‌باشد.

مواد و روش‌ها: داده های مورد استفاده در پژوهش مربوط به دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹ می باشد که از وزارت جهاد کشاورزی و مرکز آمار ایران تهیه شده است. در این تحقیق چهار محصول مهم غلات شامل گندم، جو، ذرت و برنج که در مجموع حدود ۷۰ درصد از مساحت کل اراضی زراعی ایران را شامل می شود، در نظر گرفته شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که انرژی تمامی نهاده‌ها به جز سموم شیمیایی در دوره مذکور افزایش یافته است. کود شیمیایی طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۷۹ روند کاهشی را نشان داد، اما در دوره ۱۳۹۹-۱۳۸۹ مجدداً روند افزایشی داشت. کود شیمیایی بیشترین سهم از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است به طوری که نرخ رشد آن در بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۳۸۴، ۲۸/۳ درصد بود.

نتیجه گیری: روند نسبت انرژی (ستاده به نهاده) در تولید محصولات عمده غلات طی دوره مورد مطالعه روند افزایشی داشت. به طوری که میانگین رشد نسبت کل انرژی در محصولات مذکور در دوره مورد بررسی ۱/۸۷ درصد بود. ضریب رگرسیون انرژی غیرمستقیم و انرژی تجدیدناپذیر در سطح ۵ درصد معنی‌دار و مثبت شد که نشان می‌دهد با افزایش مصرف این نوع انرژی عملکرد دانه افزایش می یابد. نتایج این مطالعه نشان می دهد که بازده انرژی غلات کشور در طول زمان افزایش یافت.

واژه های کلیدی: غلات، نهاده، کارایی مصرف انرژی، ایران

مقدمه

انرژی یکی از مهم ترین نهاده‌های توسعه و یکی از عوامل اصلی تولید است. در کشاورزی، انرژی یک نهاده مهم تولید است و از این رو تامین به موقع، مطمئن و ارزان انرژی مورد نیاز، اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید محصولات کشاورزی و افزایش صادرات غیرنفتی کشور دارد. مصرف انرژی در کشاورزی به دلیل پاسخ به تقاضای فزاینده جمعیت، عرضه محدود زمین‌های زراعی و وجود استانداردهای بالای زندگی در حال افزایش است. تقاضای مداوم برای مواد غذایی، استفاده زیاد از

کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، ماشین‌آلات و منابع طبیعی را افزایش می‌دهد که مشکلاتی را برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد می کند. در حالی که مصرف انرژی کارآمد در کشاورزی مشکلات زیست محیطی را کاهش می‌دهد، از هدر رفتن منابع زیست محیطی جلوگیری می‌کند و سیستم کشاورزی پایدار را به عنوان یک سیستم تولید اقتصادی ارتقا می‌دهد. کل مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران در سال ۲۰۱۸ بالغ بر ۴۵ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده است که نسبت به سال ۲۰۱۷ رشد ۴ درصدی را نشان می دهد (فائو ۲۰۱۹). اطلاعات در مورد چگونگی تجزیه و تحلیل انرژی این بخش و کمک به غنای روش و همچنین داده های مفید. گزارش‌های ارائه شده توسط بعضی محققین در ارتباط با استراتژی های توسعه ماشین آلات کشاورزی در زمینه بهبود کشاورزی و باغبانی و ابعاد مصرف انرژی ماشین آلات، افق جدیدی را در این زمینه گشوده است (یانگ و همکاران ۲۰۰۳). طی مطالعه‌ای به بررسی جریان انرژی در کشاورزی بنگلادش در دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۰ که انرژی مورد بررسی، انرژی انسانی و حیوانی، ماشین آلات، الکتریسیته، گازوییل، کود و سموم شیمیایی بود، پرداخته شد. نتایج مطالعه نشان داد که در طول دوره، نهاده و ستاده انرژی برای تولیدات کشاورزی به ترتیب از ۶/۴ به ۱۷/۳۲ گیگاژول بر هکتار و ۷۷/۲۲ به ۱۳۰/۵گیگاژول بر هکتار افزایش یافته است (عالم و همکاران ۲۰۰۵). نتایج مطالعه ترکمانی و ذوقی (۲۰۰۷) که الگوی مصرف انرژی و شاخص‌های کارایی انرژی را در طول دوره ۱۳۸۰-۱۳۵۰ در ۷۰ محصول کشاورزی و باغی و ۶ نهاده مهم مورد بررسی و تحلیل قرار داده است، نشان داد که کل نهاده انرژی از ۱۱۱/۵۰ مگاژول در سال ۵۰ به ۳۸۷/۵۰ مگاژول در سال ۸۰ و انرژی ستاده از ۱۲۲/۳۹ به ۴۱۵/۶۰ مگاژول افزایش یافته است. شاخص‌های کارایی انرژی شامل نسبت داده - ستاده انرژی، بهره وری انرژی و انرژی خالص در فاصله سال‌های میانی کاهش پیداکرده اند. محققینی شدت مصرف انرژی و کارایی انرژی در کشاورزی بنگلادش را بررسی کردند که البته هم انرژی مستقیم (انرژی تجاری) و هم انرژی غیرمستقیم (ظرفیت انسانی، حیوانی و کود) را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند (خسروزمان و همکاران ۲۰۱۰). بیان شده است که کل انرژی مورد نیاز برای تولید آفتابگردان در ترکیه ۱۸۹۳۱ مگاژول در هکتار است که بیشترین سهم را نهاده‌های کود شیمیایی (۵۱/۳ درصد) و سوخت‌های فسیلی (۲۸/۵ درصد) دارد (اوزونوز و همکاران ۲۰۰۸). مطالعه ای دیگر نشان داده است که کل انرژی مورد نیاز برای تولید آفتابگردان در یونان ۱۰۴۹۰ مگاژول در هکتار است که کودهای شیمیایی بیشترین سهم را دارند و بازده انرژی و انرژی خالص به ترتیب ۴/۵ درصد و ۳۶۸۷۰ مگاژول در هکتار محاسبه شده است (کالیوروسیس و همکاران ۲۰۰۲). دریک پژوهش رابطه بین انرژی ورودی و عملکرد محصول در تولید گوجه فرنگی گلخانه ای بررسی شد. این مطالعه به ارزیابی الگوهای مصرف انرژی و رابطه بین انرژی ورودی و عملکرد برای تولید گوجه فرنگی در آنتالیای ترکیه می‌پردازد. نتایج نشان داد که سوخت ۳۴/۳۵ درصد، کودهای شیمیایی ۲۷/۵۹ درصد، برق ۱۶/۰۱ درصد، سموم ۱۰/۱۹ درصد و نیروی انسانی ۸/۶۴ درصد بود (هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۶). محققین همچنین در ترکیه نشان دادند که تولید پنبه به طور کلی۴۹/۷۳ گیگ در هکتار انرژی مصرف می‌کند که۳۱/۱ درصد آن مربوط به مصرف گازوئیل و بقیه مربوط به استفاده از کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات است (ییلماز و همکاران ۲۰۰۵). در زمینه استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای بررسی کارایی واحدهای تولیدی، مطالعات زیادی انجام شده است. تمرکز داده‌ها معمولاً بر مصرف انرژی در کل بخش کشاورزی است و تفکیک دقیقی در مورد استفاده از انرژی در محصولات خاص یا بخش‌های کشاورزی به طور عمومی در دسترس نیست. علاوه بر این، این داده‌ها عموماً بر مصرف‌ها و نهاده‌های انرژی مستقیم در مزرعه متمرکز شده‌اند و شامل داده‌های ورودی انرژی غیرمستقیم نمی‌شوند. همزمان، یورواستات و آژانس‌های ملی تشخیص می‌دهند که داده‌های مصرف انرژی که وجود دارد، عموماً کیفیت پایین‌تری دارند و در مقایسه با سایر آمارهای بخش انرژی به دلیل خطاها و داده‌های ناقص، کمتر گزارش می‌شوند. به عنوان مثال، داده‌های مربوط به مصرف انرژی در بخش کشاورزی آلمان به دلیل داده های ناقص در آمار یورواستات گنجانده نشده است. مطالعاتی که بر انرژی مورد استفاده در تولید نهاده‌های کشاورزی غیرمستقیم تمرکز دارد نیز انجام شده است (روکیکی و همکاران ۲۰۲۱). مقاله آگویله‌را و همکاران، (۲۰۱۵) در مورد انرژی تجسم یافته در نهاده های کشاورزی یک نمای کلی از یافته های بسیاری از مطالعات ارائه می‌دهد. در حالی که تعدادی از مطالعات مصرف انرژی مورد نیاز

در فرآیندهای مختلف تولید کود را بررسی می‌کنند (دیمیتروژویچ و همکاران ۲۰۲۰)، نتایج ارائه شده در این یافته‌ها بسته به نوع کود و منشاء متفاوت است. بیان شده است که اثرات پویای استفاده و تولید آفت‌کش‌ها، عدم قطعیت نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های تولیدی کشاورزان دارد (اسکواس و همکاران ۲۰۱۲). مطالعه بکمن و همکاران (۲۰۱۳) در مورد مصرف انرژی در کشاورزی ایالات متحده تخمین می‌زند که مصرف مستقیم انرژی ۶۳ درصد از کل مصرف انرژی و مصرف غیرمستقیم انرژی ۳۷ درصد را تشکیل می دهد. انرژی بر تمام جنبه‌های اقتصاد توسعه و محیط‌ها مانند معیشت، دسترسی به آب و بهره وری کشاورزی تأثیر می‌گذارد (سانچز-اسکوبار و همکاران ۲۰۱۸). در نتیجه، چندین مطالعه اخیر استفاده از منابع انرژی سوخت ارزان‌تر و تجدیدپذیر را پیشنهاد کرده‌اند بروگادا و گود ۲۰۱۲ و یوسف و همکاران ۲۰۱۴) و همچنین سازگاری کودهای آلی یا تلفیق کودهای شیمیایی + آلی برای کاهش هزینه، حفظ بهره وری خاک و محیط زیست (کتکو و همکاران ۲۰۱۹ و گوئو و همکاران ۲۰۱۹ و کادام و همکاران ۲۰۲۰). محققان دریافتند که ورودی‌های کود و انرژی در مزارع یکپارچه ارگانیک ۳۴ تا ۵۳ درصد کمتر از مزارع معمولی در ۲۱ کشور اروپایی است (مادر و همکاران ۲۰۰۲). فرض بر این بود که انرژی فسیلی برای هدایت فعالیت‌هایی که شامل استفاده از ماشین آلات و حمل و نقل در مزارع ارگانیک است ضروری است به طوری که سرمایه‌گذاری هزینه کاهش می یابد در حالی که سود به طور پایدار افزایش می‌یابد (علی و همکاران ۲۰۱۹ و سانچز-اسکوبار و همکاران ۲۰۱۸ و گونزالس-گارسیا و همکاران ۲۰۱۰ و پروانکون و همکاران ۲۰۰۲). با این حال، در عوض، این تضمینی نیست، اکثر کشاورزان ارگانیک ممکن است هرگز شاهد صرفه جویی در هزینه‌ها در مقایسه با کشاورزان معمولی همسایه نباشند. پس از تولید، محصولات ارگانیک قیمت بیشتری دارند، با این حال، چنین بازارهایی در مراکز شهری وجود دارد. در این تحقیق به الگوی مصرف انرژی در محصولات مهم غلات در ایران پرداخته شده است و انرژی ورودی و خروجی محاسبه شد. انرژی خروجی انرژی خروجی محصولات مهم غلات (گندم، جو، برنج و ذرت) و انرژی ورودی انرژی ماشین، سوخت، نیروی کار، کود، آفت کش های شیمیایی، آبیاری و برق است.

مواد و روش‌ها

داده های مورد استفاده در پژوهش مربوط به دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹می‌باشد که از وزارت جهاد کشاورزی و مرکز آمار ایران تهیه شده است. در این تحقیق چهار محصول مهم غلات شامل گندم، جو، ذرت و برنج که در مجموع حدود ۷۰ درصد از مساحت کل اراضی زراعی ایران را شامل می شود، در نظر گرفته شد. نهاده های مهم در تولید محصولات مورد مطالعه شامل نیروی انسانی، انرژی مستقیم (برق، سوخت های فسیلی)، کودهای شیمیایی (شیمیایی و حیوانی)، بذر، آفت‌کش‌ها و آب بود. برای محاسبه انرژی ورودی معادل انرژی نیروی کار، برق، سوخت گازوئیل، بذر، آب و کود و سموم شیمیایی و برای محاسبه انرژی خروجی، میانگین عملکرد هر محصول در سال با توجه به معادل انرژی آنها در نظر گرفته شد. معادل انرژی مصرفی در محصولات طبق استاندارد ASAE گرفته شد. معادل انرژی ورودی و خروجی در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای محاسبه انرژی بذر، میانگین مصرف بذر در هکتار در انرژی معادل هر کیلوگرم بذر ضرب شده و انرژی ورودی به ازای هر کیلوگرم بذر مصرفی به دست آمد. برای اندازه گیری انرژی نیروی انسانی ابتدا داده‌ها از واحد در روز در هکتار به واحد در ساعت در هکتار (معادل ۸ ساعت کاری در روز) تبدیل شد. سپس با توجه به ارزش هر ساعت کار نیروی انسانی که به طور میانگین ۱/۹۶ مگاژول در ساعت بر ا ساس منابع موجود می‌باشد، مقدار انرژی نیروی انسانی در هر محصول به دست آمد. نیروی حیوانی به دلیل سهم اندک آن در کل حذف شد. انرژی ورودی درجه مکانیزاسیون عملیات های مختلف شامل خاک ورزی، کاشت، داشت و برداشت برای محصولات مختلف در سال های مورد مطالعه از آمار هزینه تولید وزارت جهاد کشاورزی استخراج شد. انرژی آب آبیاری مربوط به میزان انرژی مصرف شده برای پمپاژ آب و انتقال آن به محصول می باشد. با توجه به مقدار برق، به دلیل عدم وجود اطلاعات در مورد میزان برق مورد نیاز برای محصولات تولیدی، انرژی ورودی ناشی از مصرف برق از معادله زیر محاسبه شد (سینگ ۲۰۰۰).

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی

ورودی	واحد	معادل انرژی	ورودی	واحد	معادل انرژی
نیروی کار	اسب بخار	۱/۹۶	حشره‌کش	کیلوگرم	۵۸
سوخت فسیلی	لیتر	۴۷/۳	قارچ‌کش	کیلوگرم	۱۱۵
آب آبیاری	متر مکعب	۱/۰۲	علف‌کش	کیلوگرم	۲۹۵
کود نیتروژن	کیلوگرم	۶۰/۱	بذر	کیلوگرم	۲۵
کود فسفاته	کیلوگرم	۱۷/۴	خروجی		
کود پتاسیم	کیلوگرم	۱۳/۷	غلات	کیلوگرم	۱۴/۷
کود آلی	کیلوگرم	۰/۳			

کیتانی ۱۹۹۹

$$DE = \frac{\gamma g H Q}{\varepsilon_q}$$

DE: انرژی مستقیم ($gj\ ha^{-1}$)

γ: شدت مصرف آب ($1000\ kg\ m^{-3}$)

g: نیروی جاذبه زمین ($9.8\ m\ s^{-2}$)

H: میانگین عمق پمپاژ آب (بر اساس گزارش وزارت نیرو ۸۰ متر در نظر گرفته شد).

Q: آب خالص مورد نیاز گیاه ($m^3\ ha^{-1}$) برای بدست آوردن این پارامتر از برنامه Cropwat استفاده شد.

بدین منظور برای هر محصول در هر سال با درج میزان تبخیر و تعرق و بارندگی کل کشور در برنامه مذکور، میزان نیاز آب خالص محاسبه شد. پس از محاسبه انرژی مربوط به نهاده های موثر در کل انرژی ورودی محصولات مورد مطالعه، شاخص های بهره وری انرژی، بازده انرژی و انرژی خالص برای محصولات در هر سال با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد:

$$\text{کارایی انرژی} = \frac{\text{(گیگا ژول در هکتار) انرژی خروجی}}{\text{(گیگا ژول در هکتار) انرژی ورودی}}$$

$$\text{بهره وری انرژی} = \frac{\text{(کیلوگرم در هکتار) مقدار خروجی}}{\text{(مگا ژول در هکتر) انرژی ورودی}}$$

$$\text{انرژی خالص} = \text{انرژی خروجی} - \text{انرژی ورودی}$$

به منظور بررسی رابطه بین مصرف انرژی و عملکرد محصولات منتخب (گندم، جو، ذرت و برنج)، از تابع تولید کاب داگلاس استفاده شد (قاسمی مبتکر و همکاران ۲۰۱۰ و هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۶). شکل خطی این تابع به صورت زیر است:

$$\ln Yi = a0+\alpha1\ln X1+\alpha2\ln X2+\alpha3\ln X3+\alpha4\ln X4+\alpha5\ln X5+\alpha6\ln X6+\alpha7T+e$$

در این معادله، عملکرد محصولات مورد مطالعه تابعی از انرژی انسان(x1) ، سوخت(x2) ، کود(x3) ، سموم دفع آفات(x4) ، آبیاری آب(x5) ، بذر (x6) و انرژی T به عنوان متغیری که تغییرات تکنولوژی را در طول زمان نشان می دهد. همچنین تأثیر انرژی‌های مستقیم (DE) و غیرمستقیم(IDE) ، انرژی‌های تجدیدپذیر (RE) و انرژی‌های تجدیدناپذیر (NRE) بر تولید محصولات مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. انرژی های مستقیم شامل سوخت، نیروی انسانی، آب آبیاری و انرژی های غیرمستقیم شامل بذر، کود و آفت کش های شیمیایی است. همچنین انرژی های تجدیدپذیر شامل آب آبیاری، نیروی انسانی و بذر و انرژی های تجدید ناپذیر شامل سوخت، کود و سموم شیمیایی است. برای این منظور از تابع کاب داگلاس به صورت زیر استفاده شد:

$$\ln Yi = a0+\beta1\ln DEt+\beta2\ln IDEt+\beta3T+e$$

$$\ln Yi = a0+\gamma1\ln REt+\gamma2\ln NREt+\gamma3T+e$$

برای برآورد معادلات اقتصادسنجی از روش حداقل مربعات معمولی و نرم افزار SHAZAM 10 استفاده شد.

نتایج و بحث

آنالیز انرژی ورودی و خروجی بر اساس هکتار انجام می شود. بر این اساس، پس از بررسی روند نهاده های انرژی در تولید محصولات زراعی در دوره مورد مطالعه، شاخص های انرژی این محصولات بیان شده و سپس تحلیل اقتصادسنجی مصرف انرژی در تولید محصولات ارائه شده است.

بررسی روند انرژی نهاده ها در تولید غلات

میانگین انرژی کل نهاده‌ها در تولید محصولات مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۲، انرژی تمامی نهاده‌ها به جز سموم شیمیایی در دوره مذکور افزایش یافته است. کود شیمیایی طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۷۹ روند کاهشی را نشان داد، اما در دوره ۱۳۹۹-۱۳۸۹ مجدداً روند افزایشی داشت. کود شیمیایی بیشترین سهم از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است به طوری که نرخ رشد آن در بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹، ۲۸/۳ درصد بوده است. تأثیر کود شیمیایی بر افزایش عملکرد در واحد سطح یکی از مهمترین دلایل افزایش کل انرژی مصرفی در دوره مطالعه بوده است. میانگین انرژی کود شیمیایی گیاهان مورد مطالعه طی دوره مذکور ۱۷/۳۲ گیگ در هکتار بود که در مقایسه با میانگین انرژی کود شیمیایی در کشاورزی ایران با میانگین ۹/۸ گیگ در هکتار، بسیار بالاست (بهشتی تبار و همکاران ۲۰۱۰). این امر نشان دهنده مصرف زیاد کودهای شیمیایی به ویژه ازت در تولید غلات ایرانی است. پس از کود شیمیایی، انرژی سوخت بیشترین سهم را از کل انرژی ورودی دارد، به طوری که میانگین انرژی این نهاده در دوره مورد بررسی در تمامی محصولات زراعی ۸/۶۳ گیگا در هکتار برآورد شده است. لازم به ذکر است که عمده مصرف سوخت در محصولات گندم و جو مربوط به نیروی محرکه (انواع تراکتور) و ماشین های خودکششی (کمباین و ...) و در تولید برنج و ذرت مربوط به پمپاژ آب برای آبیاری است. کشت برنج در نقاط مختلف ایران به ویژه شمال کشور غرقابی است و نیاز به مصرف آب بالایی دارد و به همین دلیل برای پمپاژ آب برای تولید این محصول به انرژی بالایی نیاز دارد که منجر به افزایش مصرف سوخت می شود. از آنجایی که گیاه ذرت در اکثر نقاط کشور به ویژه خوزستان (با بیشترین سطح زیر کشت ذرت در کشور) در فصل تابستان کشت می شود، به آب آبیاری و سوخت زیادی نیاز دارد و در نتیجه مصرف سوخت بالایی در تولید این محصولات به دنبال دارد.

میانگین انرژی ورودی و خروجی (برحسب گیگاژول بر هکتار) محصولات مطالعه شده در دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹

ورودی	۱۳۷۹	۱۳۸۴	۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	میانگین مجموع
نیروی کار	۰/۸۱	۰/۷۲	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۸۶
سوخت فسیلی	۸/۲۳	۸/۳۵	۸/۷۸	۸/۸۸	۸/۹۵	۰/۶۳
اب آبیاری	۴/۲۲	۴/۳۱	۴/۷۴	۴/۸۰	۴/۹۵	۴/۶۳
کود	۱۸/۱۴	۱۴/۳۴	۱۷/۷۸	۱۷/۹۵	۱۸/۴۰	۱۷/۳۲
آفتکش	۰/۹۸	۰/۶۰	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۷۲
بذر	۳/۳۱	۳/۹۱	۴/۹۰	۴/۹۵	۴/۹۷	۴/۳۹
خروجی (عملکرد)	۶/۰۲	۶۶/۷۴	۷۰/۰۲	۷۰/۲۳	۷۳/۴۴	۶۸/۰۹

بررسی روند شاخص های انرژی در غلات

روند نسبت انرژی (ستاده به نهاده) در تولید محصولات عمده غلات طی دوره مورد مطالعه روند

افزایشی داشته است. به طوری که میانگین رشد نسبت کل انرژی در محصولات مذکور در دوره مورد بررسی ۱/۸۷ درصد بوده است (جدول ۳). به طور کلی میانگین نسبت انرژی در تولید این محصولات طی دوره مورد بررسی برابر با ۱/۸۷ می باشد (جدول ۳). بهشتی تبار و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی روند مصرف انرژی در محصولات کشاورزی ایران طی دوره ۱۳۸۵-۱۳۶۹ نشان داد که روند بهره وری انرژی در بخش کشاورزی ایران طی دوره زمانی افزایش یافته است. از سوی دیگر، عالم و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای در مورد جریان انرژی در کشاورزی بنگلادش، طی دوره ۲۰۰۰ - ۱۹۸۰ نشان داد که بازده انرژی، یعنی نسبت داده های ورودی به انرژی در دوره مذکور، ۲۸ درصد کاهش یافته است که نشان می دهد انرژی ورودی سریعتر از انرژی خروجی و در نتیجه بازده انرژی کاهش یافته است. به طور کلی می توان گفت که نتایج این مطالعه نشان داده است که افزایش بازده انرژی نشان دهنده روند رشد بیشتر انرژی خروجی (به دلیل رشد عملکرد بالاتر در واحد سطح) نسبت به رشد انرژی ورودی است. روند تغییرات بازده انرژی و شاخص‌های انرژی خالص در تولید محصولات مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ در جدول ۴ نشان داده شده است. میانگین راندمان انرژی ۰/۱۳۴ کیلوگرم Mj-1بود، به این معنی که به ازای هرMj ، بازده ۰/۱۳۴ کیلوگرم افزایش می یابد. بهره وری انرژی از ۰/۱۱۴ به ۰/۱۶۲ کیلوگرم MJ-1 در طول دوره مورد بررسی افزایش یافته است. همچنین انرژی خالص در دوره مذکور روند افزایشی را نشان داده است به طوری که میانگین رشد انرژی خالص در هر سال در دوره مورد بررسی، ۳۲/۲۷ درصد رشد داشته است. مطالعه ۱۰۴ محصول کشاورزی در ترکیه طی سال های ۲۰۰۰-۱۹۷۵ نشان داد که شاخص های بهره وری انرژی و انرژی خالص در طول زمان کاهش یافته است که نشان دهنده این واقعیت است که الگوی مصرف انرژی در کشاورزی ترکیه ناکارآمد است و می تواند منجر به مسائل زیست محیطی شود (هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۶). نتایج این مطالعه نشان دهنده مصرف بهتر منابع تولیدی در بخش کشاورزی ایران در تولید محصولات مورد مطالعه در طول زمان است. مقایسه نسبت‌های انرژی در بخش کشاورزی ایران و سایر کشورها مانند ترکیه نشان می‌دهد که نسبت انرژی در ایران پایین است که عمدتاً به دلیل راندمان پایین کودهای شیمیایی و نهاده‌های آب آبیاری است. میانگین نهاده های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و غیرقابل تجدید انرژی طی دوره مورد مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است. انرژی‌های تجدید ناپذیر با حدود ۷۵ درصد بیشترین سهم را در تولید محصول طی سال های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ داشته‌اند که نشان می دهد وابستگی کشاورزی ایران در تولید محصولات زراعی به انرژی های تجدید ناپذیر انرژی های تجدیدپذیر با مقدار تقریبی ۲۹ درصد کمترین سهم را در تولید محصولات زراعی طی سال های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ داشته‌اند. نتایج رگرسیونی اثر انرژی های نهاده های مختلف بر میانگین بازده محصولات در جدول ۵ نشان داده شده است. مقدار R برابر با ۰/۸۴ بود که نشان می دهد به طور متوسط ۸۴ درصد از تغییرات عملکرد محصول توسط متغیرهای موجود توجیه شده است. مدل. همچنین مقدار آزمون دوربین واتسون ۱/۹۹ است که نشان می دهد مشکل خودهمبستگی مولفه های اغتشاش در الگو وجود ندارد. ضریب متغیر انرژی مصرفی سموم شیمیایی و بذرها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی دار بود. نشان می دهد که افزایش مصرف این نوع انرژی باعث افزایش عملکرد محصولات غلات می شود. ضرایب رگرسیون آفت کش ها و انرژی بذر برای غلات در دوره مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۱/۱۵۷ و ۰/۰۹۵ می باشد. به این معنی که اولاً مصرف بذر و سموم دفع آفات در تولید محصولات باعث افزایش عملکرد آنها می شود و ثانیاً اگر مصرف سموم و بذر در تولید محصولات زراعی یک درصد افزایش یابد، تولید غلات به میزان ۱/۱۵۷ و ۰/۰۹۵ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین متغیر زمانی که بیانگر تغییرات تکنولوژیک در دوره مورد بررسی است، در سطح ۱ درصد معنادار بوده و تأثیر خود را بر بازدهی محصولات مورد بررسی نشان می دهد. محققان همچنین اثر قابل توجهی از آفت‌کش‌های شیمیایی بر عملکرد محصول در تجزیه و تحلیل اقتصاد سنجی انرژی بخش کشاورزی ترکیه گزارش کردند (هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۵ و یوناکیتان و همکاران ۲۰۱۰). جدول ۶ تأثیر انرژی های مستقیم و غیرمستقیم و همچنین انرژی های تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید بر میانگین عملکرد دانه را نشان می دهد. ضریب رگرسیون انرژی غیرمستقیم و انرژی تجدیدناپذیر در سطح ۵ درصد معنی دار شده است که نشان می دهد با

افزایش مصرف این نوع انرژی عملکرد دانه افزایش می یابد. محققین نشان دادند که افزایش مصرف انرژی های تجدید ناپذیر باعث افزایش تولید ۱۰۴ محصول کشاورزی در ترکیه می‌شود (هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۶).

جدول ۳. میانگین شاخص های انرژی کل در تولید محصولات مطالعه شده در طول سالهای ۱۳۹۹-۱۳۷۹

ورودی	۱۳۷۹	۱۳۸۴	۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	مجموع میانگین
انرژی ورودی (گیگاژول بر هکتار)	۳۵/۷۲	۳۲/۲۲	۳۷/۵۸	۳۸/۹۲	۳۹/۲۸	۳۶/۷۴
انرژی ورودی (گیگاژول بر هکتار)	۶۰/۰۲	۶۶/۷۴	۷۰/۱۸	۷۲/۲۸	۷۵/۰۸	۶۸/۸۶
نسبت انرژی	۱/۶۸	۲/۰۷	۱/۸۶	۱/۸۵	۱/۹۱	۱/۸۷
کارایی انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)	۰/۱۱۴	۰/۱۴	۰/۱۳۰	۰/۱۲۹	۰/۱۶۲	۰/۱۳۴
انرژی خالص (گیگاژول)	۲۴/۳	۳۴/۵۱	۳۳/۲۴	۳۲/۶۰	۳۶/۷۱	۳۲/۲۷

جدول ۴. انواع مختلف انرژی در تولید محصولات مورد مطالعه (میانگین کل دوره)

انواع انرژی	میانگین ($Gj.ha^{-1}$)	(٪)
[a] انرژی مستقیم	۱۴/۲۰	۳۹/۴۰
[b] انرژی غیرمستقیم	۲۵/۹۵	۶۰/۶۰
[c] انرژی تجدیدپذیر	۹/۳۵	۲۸/۷۰
[d] انرژی تجدیدناپذیر	۲۸/۱۵	۷۵/۱۰

[a]سوخت، نیروی انسانی، آب آبیاری، [b] بذور، کودهای شیمیایی و آفتکش‌ها [C] سوخت، کودهای شیمیایی و آفتکش‌ها، [d] آب آبیاری، نیروی انسانی و بذور.

جدول ۵- نتایج تخمین اثر انرژی‌های ورودی بر عملکرد دانه

متغیر	ضریب	آزمون t
$lnYi = a0+\alpha1ln\ X1+\alpha2ln\ X2+\alpha3ln\ X3+\alpha4ln\ X4+\alpha5ln\ X5+\alpha6ln+X6+\alpha7T + e$		
ضریب ثابت	۲/۸۳۴	۰/۲۳۸
سال	۰/۰۶۵	۲/۳۳**
نیروی انسانی	۱/۲۵۶	۰/۹۴۸
سوخت	-۰/۰۶۶	-۰/۲۰
کود	-۰/۰۲۸	۰/۴۵۰
آفتکشها	۱/۱۵۷	۱/۵۸*
آب آبیاری	۰/۰۰۰۰۶۹	۰/۵۳۴
بذر	۰/۰۹۵	۰/۴۶۰
آزمون دوربین-واتسون	۱/۹۹	
R^2	۰/۸۴	

** و * به ترتیب نشاندهنده معنی داری اثر در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد

جدول ۶- نتایج تخمین اثر انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر عملکرد دانه

متغیر	ضریب	آزمون t
$lnYi = a0+\beta1ln\ DEt +\beta2ln\ IDEt+\beta3T + e$		
ضریب ثابت	۰/۶۴۴	۰/۳۷۵
سال	۰/۰۳۹	۲/۱۸۵**
انرژی مستقیم	۰/۰۴	۰/۳۸۵

انرژی غیرمستقیم	۰/۰۴۵	۱/۴۸*
آزمون دوربین-واتسون	۱/۸۹	
R^2	۱/۸۲	
$lnYi = a0+\gamma1 ln\ REt + \gamma2 ln\ NREt + \gamma3T + e$		
بذر	۰/۴۵۷	۰/۴۱۵
آزمون دوربین-واتسون	۰/۰۴۴	۲/۰۴۴**
انرژی تجدیدپذیر	۰/۰۰۶	۱/۳۳۵*
انرژی تجدیدناپذیر	۰/۰۵۲	۰/۰۴۵
آزمون دوربین-واتسون	۱/۸۸	
R^2	۰/۸۴	

**** و * به ترتیب نشاندهنده معنی داری اثر در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد**

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می دهد که بازده انرژی غلات کشور در طول زمان افزایش یافته است و ذکر این نکته ضروری است که این افزایش راندمان با افزایش انرژی ورودی مانند کودها و سموم شیمیایی همراه بوده است که نشان دهنده وابستگی فزاینده است. اکوسیستم های موجود در منابع تجدید ناپذیر هستند. بهره وری انرژی در تولید محصولات مهم غلات در ایران کمتر از سایر کشورها بوده است که می توان به قیمت پایین سوخت، یارانه کودهای شیمیایی و نقش کم ترویج و آموزش کشاورزی در آموزش استفاده صحیح از منابع موجود اشاره کرد. از این رو، نیاز به تغییر اکوسیستم سیستم‌های کشاورزی به سمت کشاورزی پایدار برای استفاده بهینه از منابع تولید و کاهش نهاده های انرژی (به ویژه نهاده‌های پرمصرف مانند کودهای شیمیایی و سوخت) وجود دارد. بهره‌گیری از منابع تجدیدشونده برای‌کاهش مقدار استفاده از انرژی‌های صنعتی و استفاده از سیستم‌های آبیاری کارآمد از راههای عمده در تقلیل مصرف منابع تجدیدناپذیر و افزایش کارایی انرژی در تولید غلات در کشور می‌باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت محترم برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی و ریاست محترم موسسه تحقیقات غلات کشور به خاطر در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم، کمال سپاسگزاری به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Aguilera E, Guzmán GI, Infante-Amate J, Soto D, García-Ruiz R, Herrera A. 2015. Embodied energy in agricultural inputs. Incorporating a historical perspective. Bioscience, 63: 263-273.

Alam MS, Alam MR and Islam KK. 2005. Energy flow in agriculture: Bangladesh. American Journal of Environmental Science, 3: 213-220. https://doi.org/10.3844/ajessp.2005.213.220

Ali M, Geng Y, Robins D, Cooper D, Roberts W. 2019. Impact assessment of energy utilization in agriculture for India and Pakistan. Sci. Total Environment, 648: 1520–1526. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.265.

Beheshti Tabar I, Keyhani A and Rafiee S. 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990–2006). Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14:849– 55. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024.

Borugadda VB and Goud VV. 2012. Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities. Renew. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16: 4763–4784. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.010.

Dimitrijević A M, Gavrilović S, Ivanović Z, Mileusnić R, Miodragović S and Todorović S .2020. Energy use and economic analysis of fertilizer use in wheat and sugar beet production in Serbia. Energies, 13: 122-131. https://doi.org/10.3390/en13092361.

Food and Agriculture Organization. 2019. Biodiversity: Agricultural biodiversity in FAO. Retrieved January 12, 2005, from http://www.fao.org/biodiversity.

Ghasemi Mobtaker HG, Keyhani A, Mohammadi A, Rafiee S and Akram A. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. Agriculture Ecosystem Environment, 137: 367-372. https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.011.

González-García S, Gasol CM, Gabarrell X, Rieradevall J, Moreira MT and Feijoo G .2010. Environmental profile of ethanol from poplar biomass as a transport fuel in Southern Europe. Renew. Energy, 35, 1014–1023. https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.10.029.

Guo S, Lin L, Liu S, Wei Y, Xu D, Li Q and Su S. 2019. Interactions between sustainable livelihood of rural household and agricultural land transfer in the mountainous and hilly regions of Sichuan. China - Sustainable Development Report, 27, 725–742. DOI: 10.1002/sd.1937.

Hatirli SA, Ozkan B and Fert C. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable Energy, 31:427-438. https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.04.007.

Hatirli SA, Ozkan B and Fert C. 2005. An econometric analysis of energy input–output in Turkish agriculture. Renewable and Sustainable Energy Reviews 9: 608–623. https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.07.001.

Kadam AK, Keteku AK, Dana S, Blege PK. 2020. Influence of land configuration and fertilization techniques on soybean (*Glycine max* L. Merrill.) productivity, soil moisture and fertility. Acta agriculturae Slovenica, 11: 79–88. https://doi.org/10.14720/aas.2020.115.1.1220.

Kallivrousis L, Natsis A and Papadakis G. 2002. RD -Rural development the energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. Biosystem Engineering. 18, 347 -354. https://doi.org/10.1006/bioe.2001.0021.

Keteku AK, Intanon P, Terapongtanakorn S, Intanon R. 2019. Economic production of maize under chemical and granular organic fertilizer with hormone mixed formula, NPK and organic fertilizer. Indian J. Agric. Res. 53, 560–565. DOI:10.18805/IJARe.A-422.

Khosruzzaman S, Asgar MA, Karim N and Akbar S. 2010 Energy intensity and productivity in relation to agriculture– Bangladesh perspective, Journal of Agricultural Technology, 6 (4): 615-63. DOI:10.3329/jbas.v34i1.5492.

Kitani O. 1990. CIGR handbook of agricultural engineering. Energy and biomass engineering. ASAE Publication.

Mader P, Fliebbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming science. Science, 296: 1694–1697. DOI: 10.1126/science.1071148.

Pervanchon F, Bockstaller C, Girardin P. 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. Agric. Syst. 72: 149–172. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00073-7.

Rokicki T , Perkowska A, Klepacki B, Bórawski P, Bełdycka-Bórawska A and Michalski K. 2021. Changes in energy consumption in agriculture in the eu countries. Energies, 14: 440-445. **https://doi.org/10.3390/en14061570**.

Sánchez-Escobar F, Coq-Huelva D and Sanz-Cañada J. 2018. Measurement of sustainable intensification by the integrated analysis of the energy and economic flows: a Case study of the olive-oil agricultural system of Estepa. Spain. J. Cleaner Production, 201: 463–470. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.294.

Singh JM. 2000. On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. MSc. Thesis. International Institute of Management, University of Flensburg, Sustainable Energy Systems and Management, Germany.

Singh G, Singh S and Singh J. 2004. Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. Energy Conversation and Management, 45: 453–465. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00155-9.

Skevas T, Alfonos L, Spiro S. 2012. Measuring technical efficiency in the presence of pesticide spillovers and production uncertainty: The case of Dutch arable farms, European Journal of Operational Research, 223: 550–559. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.06.034.

Turkmani J, Zoghipoor A. 2007. Factors affecting the export of food products. Economics and Agriculture, 2 (1), 23-33. (In Persian with English Abstract).

Unakitan G, Hurma H and Yilmaz F. 2010. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. Journal of Energy, 35: 3623-3627. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.005.

Uzunoz M, Akcay Y and Esengun K . 2008. Energy input -output analysis of sunflower seed oil in Turkey. Energy Sources, 3: 215 – 223. DOI:10.15316/SJAFS.2020.188.

Yilmaz I, Akcaoz H and Ozkan B. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. Renewable Energy, 30: 145-155. https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.06.001.

Youssef M, Khoramivafa M and Mondani F. 2014. Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. Atmospheric Environment, 92: 501–505. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.050.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 267-281

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

The effect of Cold Stress on Chlorophyll Fluorescence parameters of Dryland wheat under Conservation Agriculture Conditions

Hadi Khorsandi[1*], Saeid Zehtab-Salmasi[2], Ramin Lotfi[3], Kazem Ghassemi-Golezani[4], Saber Golkari[5]

Received: 06 June 2023	Accepted: 28 December 2023

1-PhD Student, Dept. of Plant Eco Physiology, university of Tabriz, Iran.
2-Assoc. Prof., and Research Director, Sustainable Agriculture Science Center at Alcalde, Dept. of Plant and Environmental Sciences, New Mexico State University, Alcalde, N.M., U.S.A..
3-Assist. Prof., Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Maragheh, Iran.
4- Prof, Dept., of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Iran.
5-Faculty member, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.
*Corresponding Author Email: hkhorsandy@yahoo.com

Abstract:

Background and Objective: The effect of cold stress on plants is characterized by physiological and cytological changes. Investigation of chlorophyll fluorescence and performance of dryland wheat cultivars in cold climates was done to identify the effect of cold stress in conservation agriculture conditions and preservation of residues.

Materials and Methods: The experiment was carried out in the cropping years of 2017-2018 and 2018-2020 in the dryland Agriculture Research Institute on different varieties of dryland wheat. For this purpose, 6 varieties of wheat were sown on three different dates (late September, late october and late November) rotatoin with chickpeas in two conservation tillage and conventional tillage in the form of split-split plot based on randomized complete block design was cultivated in three replicates.

Results: The results showed that Sardari and Baran cultivars had the highest amount of chlorophyll. The amount of chlorophyll a and b in the no tillage treatment with 117.52 (mg.g-1 FW) and 57.59 (mg. g-1 FW) was higher than the conventional tillage treatment with the amount of chlorophyll a = 109.65 (mg.g-1 FW) and chlorophyll b = 55.64 (mg.g-1 FW). Chlorophyll fluorescence of Baran cultivar was better than other cultivars. The chlorophyll fluorescence of the no-tillage treatment was better than the conventional tillage treatment. The first planting date also had a better condition in terms of chlorophyll fluorescence than other planting dates.

Conclusion: Cultivars resistant to cold stress can maintain their level of photosynthesis and grain yield under conservation agriculture conditions. Adhering to the planting date of the late of september, in addition to the possibility of the plant using the autumn rains, makes the plants in a suitable development stage during the frost of the winter and increases the tolerance of the plants for the late spring cold.

Keywords: Conservation Agriculture, Dryland, Photosynthesis, Temperature Stress

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Hadi Khorsandi Email: hkhorsandy@yahoo.com
http://doi.org/10.22034/saps.2023.56999.3061

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۲۸۱-۲۶۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر تنش سرما بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل گندم دیم در شرایط کشاورزی حفاظتی

هادی خرسندی[۱*]، سعید زهتاب سلماسی[۲]، رامین لطفی[۳]، کاظم قاسمی گلعذانی[۴]، صابر گلکاری[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۱۶	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۷

۱- دانشجوی دکتری رشته اکوفیزیولوژی، دانشگاه تبریز، ایران
۲- دانشیار مرکز مطالعات کشاورزی پایدار، دانشکده علوم گیاهی ومحیطی، دانشگاه نیومکزیکو، آمریکا
۳- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
۴- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشگاه تبریز، ایران
۵- عضو هیئت علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: hkhorsandy@yahoo.com

چکیده:

مقدمه و اهداف: اثر تنش سرما در گیاهان با تغییرات فیزیولوژیکی و سیتولوژیکی مشخص می‌شود. این آزمایش به منظور بررسی فلورسانس کلروفیل و عملکرد ارقام گندم دیم در اقلیم سرد برای شناسایی اثر تنش سرما در شرایط کشاورزی حفاظتی و حفظ بقایا انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش در سالهای زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعهموسسه تحقیقات کشاورزی دیم روی ارقام مختلف گندم دیم با تیپهای رشد زمستانه و بینابین اجرا شد. برای این منظور شش رقم گندم در سه تاریخ متفاوت کاشت (آخر شهریور، آخر مهر و آخر آبان) در تناوب با نخود در دو خاکورزی حفاظتی (کشت مستقیم) و مرسوم (گاوآهن برگردان‌دار) در قالب آزمایش اسپلیت- اسپلیت پلات در سه تکرار کشت شدند.

یافته ها: نتایج نشان داد که ارقام سرداری و باران بیشترین میزان کلروفیل را دارا بودند میزان کلروفیل a و b در تیمار بدون خاکورزی به ترتیب با ۱۱۷/۵۲(mg g-1 FW) و ۵۷/۵۹(mg g-1 FW) بیشتر از تیمار خاکورزی مرسوم با میزان کلروفیل a = ۱۰۹/۶۵(mg g-1 FW) و کلروفیل b = ۵۵/۶۴(mg g-1 FW) بود. فلورسانس کلروفیل رقم باران بیشتر از سایر ارقام بود. فلورسانس کلروفیل تیمار بدون خاکورزی بیشتر از تیمار خاکورزی مرسوم بود. تاریخ کاشت اول نیز نسبت به سایر تاریخهای کاشت وضعیت مطلوبتری از نظر فلورسانس کلروفیل داشت.

نتیجه گیری: ارقام مقاوم به تنش سرما در شرایط کشاورزی حفاظتی میتوانند سطح فتوسنتز و عملکرد دانه خود را حفظ کنند. رعایت تاریخ کاشت اول مهر علاوه بر امکان استفاده گیاه از بارندگیهای پاییزه باعث میشود گیاهان در مواجهه با یخبندان زمستان در مرحله نموی مناسبی باشند تا تحمل گیاهان برای سرمای دیررس بهاره بیشتر شود.

واژه های کلیدی: دیم، فتوسنتز، کشاورزی حفاظتی، تنش دمایی

مقدمه

اثرات منفی ناشی از درجه حرارت پایین عمدتا به دلیل مهار رشد گیاه است که با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، کاهش آب بافت گیاهی و کاهش سرعت فتوسنتز در دمای پایین خود را نشان می‌دهد (لی و همکاران ۲۰۱۵). در گیاه، کلروفیل a انرژی دریافتی از فوتون

نوری را به مرکز واکنشی انتقال داده و این فعل و انفعالات سبب راه افتادن زنجیر انتقال الکترونی در کلروپلاست می‌گردد. در شرایط تنش‌های محیطی به دلیل مسدود شدن مسیر انتقال الکترونی، زنجیر متوقف می شود. در چنین شرایطی، یکی از راه‌هایی که کلروفیل a بر انگیخته برای برگشت به حالت پایدار در پیش می‌گیرد، فلورسانس است. بیساتی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که میزان فلورسانس کلروفیل در شرایط عادی حدود ۰/۳ تا ۳ درصد کل انرژی دریافتی است که این میزان در شرایط تنش افزایش می‌یابد. اندازه گیری کلروفیل فلورسانس وکارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) روشی مناسب برای تعیین اثر تنش‌های محیطی روی گیاهان است (زاغدادی و همکاران ۲۰۱۱). در واقع فلورسانس کلروفیل یک روش قابل اعتماد برای مشاهده میزان سازگاری گیاهان نسبت به محیط اطرافشان می‌باشد و از آنجا که روشی سریع، قابل اعتماد و غیرتخریبی است به عنوان ابزاری مناسب برای تحقیقات محیطی و اصلاحی مورد استفاده قرار می‌گیرد (ماکسول و جانسون ۲۰۰۰). به طورکلی هر فرآیند فیزیولوژیکی که بر روی عملکرد فتوسیستم II اثربگذارد، روی فلورسانس کلروفیل نیز موثر خواهد بود، زیرا سیگنال‌های فلورسانس کلروفیل از فتوسیستم IIمنشأ می‌گیرند. بر اثر تابش فوتون‌های نوری همه ناقل های دریافت کننده الکترون به شکل احیا در آمده و همه مراکز واکنشی بسته می‌شوند. در این زمان فلورسانس حداکثر اتفاق افتاده است فلورسانس کلروفیل a یک علامت چند مرحله‌ای است که منحنی O-J-I-P خوانده می شود (استراسر و همکاران، ۱۹۹۵). منحنی O-J-I-P احیا و اکسید متوالی خزانه انتقال الکترون را در فتوسیستم II نشان می‌دهد (گووینداج ۱۹۹۵). منحنی OJIP به دوفاز تقسیم می‌شود: الف: فاز فوتوشیمیایی OJ (حد فاصل ۰/۰۵ تا ۳ میلی‌ثانیه) و ب: فاز دمایی JIP (حد فاصل بین ۳ تا ۳۰۰ میلی‌ثانیه). این فازها نشان‌دهنده فرایند احیاء پذیرنده‌های الکترون در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی در سه مرحله است (استراسر و همکاران ۲۰۰۴). فاز OJ مرحله وابسته به نور است به‌طوری‌که اطلاعاتی در مورد اندازه آنتن‌های دریافت‌کننده نور و ارتباط بین مراکز واکنشی فتوسیستم II را نشان می‌دهد. فاز JIP نشان‌دهنده احیاء سایر پذیرنده‌های الکترون در زنجیره است (لطفی و همکاران ۲۰۲۲).

برای تولید گندم به عنوان یک محصول استراتژیک، کشاورزی حفاظتی توصیه‌هایی را مبنی بر کم‌خاک ورزی و باقی ماندن بقایای محصول در مزارع ارائه کرده است. تصور کشاورزان این است که خاک‌ورزی حفاظتی، به ویژه بدون خاک‌ورزی، منجر به کاهش دمای خاک می‌شود و آن مانع رشد گیاه و کاهش عملکرد محصول می‌شود (چن و همکاران ۲۰۱۱). بنابراین، بررسی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم تحت سیستم‌های متفاوت خاک‌ورزی در این مناطق برای تعیین اثرات سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه ضروری به نظر می رسد.

هدف از این تحقیق بررسی واکنش‌های ارقام مختلف گندم دیم به دماهای سرد در شرایط مزرعه در سیستم کشاورزی حفاظتی و مرسوم می‌باشد.

مواد و روش

آزمایشی به صورت اسپلیت- اسپلیت پلات در سه تکرار و ۳۶ تیمار در دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور در مراغه که از یک اقلیم نیمه خشک سرد هم‌مرز با فراسرد برخوردار است و دارای طول جغرافیایی ۱۵/۴۶ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵/۳۷ درجه شمالی بوده و ارتفاع از سطح دریای ۱۷۳۰ متر است، اجرا شد که در آن سه تاریخ کاشت آخر شهریور، آخر مهر و آخر آبان ماه، در کرت‌های اصلی، دو سیستم خاک ورزی شامل مرسوم (گاوآهن برگرداندار) و بدون خاک ورزی (کشت مستقیم) در کرت‌های فرعی و ارقام گندم نان سرداری (نیمه زمستانه)، باران (زمستانه)، ریژاو (بینابین) و گندم دوروم ساجی (بینابین متمایل به بهاره)، راسکون (بینابین) و گردیش (زمستانه/بینابین) در کرت‌های فرعی- فرعی در نظر گرفته شدند. کاشت ارقام گندم با تراکم ۳۸۰ دانه در متر مربع با دستگاه بذرکار کشت مستقیم آسکه مدل ۲۲۰۰ در عمق ۵-۴ سانتی متر انجام شد. هر کرت شامل ۱۳ ردیف به طول

۱۰ متر با فاصله ردیف ۱۷/۵ سانتی متر بود. پس از هر تاریخ کاشت آبیاری مزرعه (۵۰ میلی متر) به روش بارانی و با استفاده از کنتور تعیین میزان حجم آب، انجام گرفت تا از جوانه زنی اطمینان حاصل شود. کود نیتروژن و فسفر بر اساس نتایج آزمون خاک محاسبه و بر اساس دستورالعمل موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور از منبع اوره و سوپر فسفات تریپل تامین شد. برای کنترل علف های هرز از علفکش بروموسید ام آ به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار در مرحله پنجه زنی استفاده شد.

برای آزمون خاک از ۱۰ نقطه مزرعه نمونه‌های خاک از اعماق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر خاک تهیه شد. همه نمونه‌ها بعد از هوا خشک شدن، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند و سپس با الک ۲ میلی متری الک شد. نتایج خواص شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش طبق جدول ۱ می‌باشد.

مجموع بارندگی سال اول اجرای آزمایش (۹۸-۹۷) ۴۹۴/۶ میلی متر بود. در مهر ماه ۹/۷ میلی متر بارش اتفاق افتاد و بعد از آن نیز مصادف با روزهای سرد و دماهای پایین بود. همچنین در سال اول آزمایش دماهای فروردین و اردیبهشت ماه محدود کننده رشد گیاهان بود. مجموع بارندگی سال دوم اجرای آزمایش ۳۳۹/۸ میلی متر بود. مطابق با بررسی‌ها و تجارب گذشته علاوه بر بارش و توزیع آن، دما تعیین کننده رشد گیاهان در شرایط دیم می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

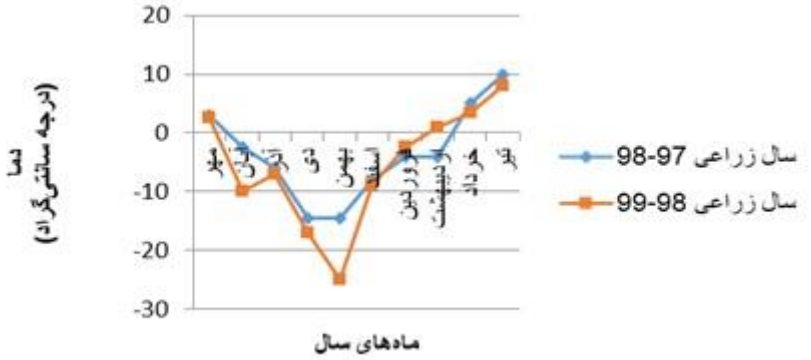
هدایت الکتریکی ($dS.\ m^{-1}$)	PH	فسفر	پتاسیم	نیتروژن کل	کربنات کلسیم	ماده آلی	شن	سیلت	رس
		$Mg.\ kg^{-1}$			درصد(٪)				
۰/۶۹	۷/۳۶	۱۷	۳۶۳/۴	۳/۵۰	۶/۲۵	۰/۶۶	۳۸	۳۶	۲۶

جدول ۲- خلاصه آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در سال های اجرای آزمایش

سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷									
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
مجموع بارندگی	۹/۷	۴۷	۹۱/۴	۴۰/۸	۸۶/۴	۵۵/۶	۱۱۶/۱	۴۳/۴	۴/۲	۰
سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸									
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
مجموع بارندگی	۲۱/۶	۴	۲۷/۸	۶۷/۶	۲۴/۹	۵۸/۶	۸۰/۱	۴۲	۰/۲	۱۳

کمینه دمای مطلق در آبان ماه در سال دوم اجرای آزمایش نسبت به سال اول کمتر بود. در حالی که کمینه دمای مطلق آبان ماه در سال دوم اجرای آزمایش ۱۰- درجه سانتی‌گراد را ثبت کرده بود، ولی در سال اول این دما از ۲/۵- درجه سانتی‌گراد کمتر نشد. بطور کلی در سال دوم زمستان سردتری نسبت به سال اول اتفاق افتاد و در تمام ماه‌های پاییز و زمستان سال دوم کمینه دمای مطلق پایین‌تری را نسبت به سال اول ثبت کرده بود. در فروردین و اردیبهشت سال اول کمینه دما نسبت به سال دوم بیشتر بود (شکل ۱).

صفات اندازه گیری شده در این آزمایش: شاخص و محتوای کلروفیل برگ، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و عملکرد دانه را شامل می‌شدند.



شکل ۱ – کمینه دمای مطلق محل اجرای آزمایش در سال‌های اجرای آزمایش

شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل

شاخص کلروفیل برگ قبل از گلدهی از سه قسمت برگ پرچم در دو گیاه از هر کرت با استفاده از یک دستگاه پرتابل کلروفیل سنج (اسپد) اندازه گیری شد. محتوای کلروفیل برگ (a و b) با روش اسپکتروفتومتری رنگدانه‌های شیمیایی استخراج شده تعیین شد. برای این منظور، در دماهای مختلف، نمونه‌ها جمع آوری شده بلافاصله در فویل آلومینیومی پیچیده و در ظرف حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۸۰- درجه سانتی نگهداری شدند تا تجزیه نهایی با استفاده از روش‌های آرنون (۱۹۴۹) و ولبورن (۱۹۹۴) انجام شود. به طور خلاصه، نمونه‌ها در نیتروژن مایع هضم شده و پس از سانتریفیوژ در اتانول ۸۰ درصد در دمای اتاق استخراج شد. جذب رنگدانه به روش اسپکتروفتومتری در ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر با استفاده از صفحه خوان Infinite M1000 PRO اندازه گیری شد و با استفاده از معادلات زیر محتویات رنگدانه محاسبه شد:

فتوسنتز و فعالیت فتوسیستم II

بعد ازمرحله گلدهی فلورسانس کلروفیل a با دستگاه پرتابل فلورومتر (Handy-PEA Portable fluorometer; Hansatech, UK) بر روی برگ پرچم در ساعات قبل از ظهر اندازه گیری شد (مرحله ۶۹ از مقیاس BBCH) (ویتزنبرگر و همکاران، ۱۹۸۹). پارامترهای اندازه گیری شده از این دستگاه شامل فلورسانس حداقل (F0)، فلورسانس حداکثر (Fm)، مساحت بخش بالایی منحنی بین فلورانس حداقل و حداکثر (Area)، زمان بین فلورسانس حداقل و حداکثر (Tfm) و شاخص عملکرد فتوسنتزی (PI) بوده و سایر پارامتر محاسبه گردید.

عملکرد دانه

در زمان برداشت، زمانی که دانه‌ها ۱۲ تا ۱۴ درصد رطوبت داشتند، ۵ ردیف در ۸ متر از هر کرت برداشت و عملکرد دانه تعیین شد.

تجزیه آماری و تحلیل نتایج

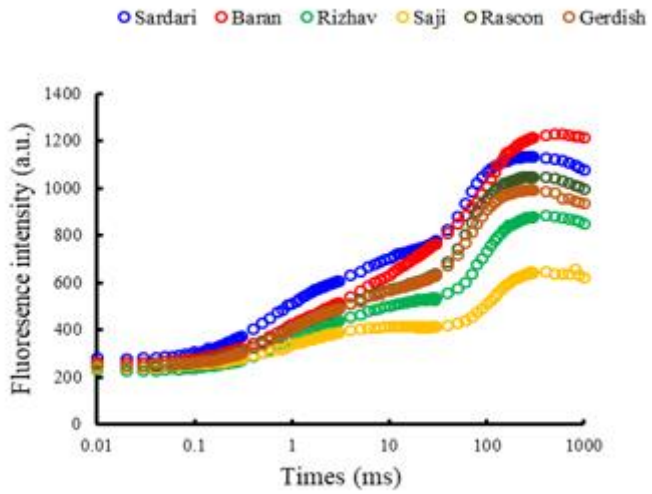
داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار آماری Genstat تجزیه و تحلیل شدند و برای رسم نمودارها از نرم افزار ایکسل استفاده شد.

نتایج و بحث:

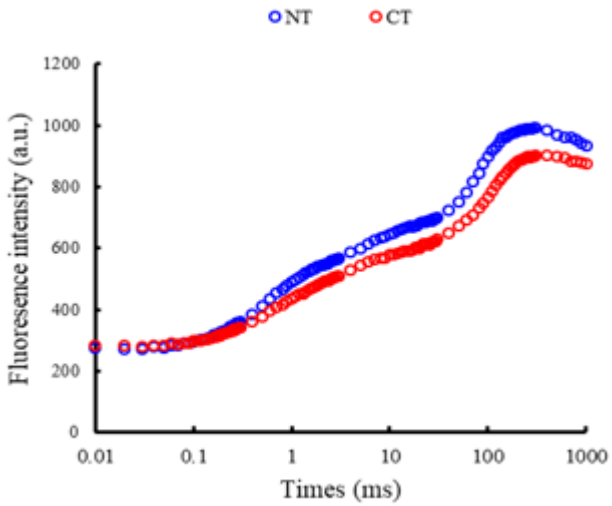
بررسی منحنی فلورسانس کلروفیل نشان دهنده افزایش نرمال (پلی فازی) نمودار در تمام ارقام است. در مرحله O تمام ارقام از نظر سطح فلورسانس کلروفیل در یک سطح بودند. افزایش قابل توجه در مراحل JIP در فلورسانس کلروفیل ارقام باران و سرداری و کاهش مشخص آن در ارقام ریژاو و به ویژه در رقم ساجی دیده شد. رقم باران در مرحله J نسبت به سرداری میزان فلورسانس کمتری داشت ولی در مرحله IP سطح فلورسانس در آن افزایش یافت (شکل ۲).

منحنی فلورسانس کلروفیل در هر سه تاریخ کاشت افزایش نرمال (پلی فازی) نشان داد. در مرحله O تاریخ کاشت سوم میزان فلورسانس بیشتری از دو تاریخ کاشت اول و دوم داشت. با این وجود، سطح مراحل JIP

در تاریخ کاشت اول و دوم بیشتر از تاریخ کاشت سوم بود. در مرحله P میزان فلورسانس کلروفیل تاریخ کاشت اول بیشترین و در سطح بعدی تاریخ کاشت دوم و سوم قرار داشتند (شکل ۳).

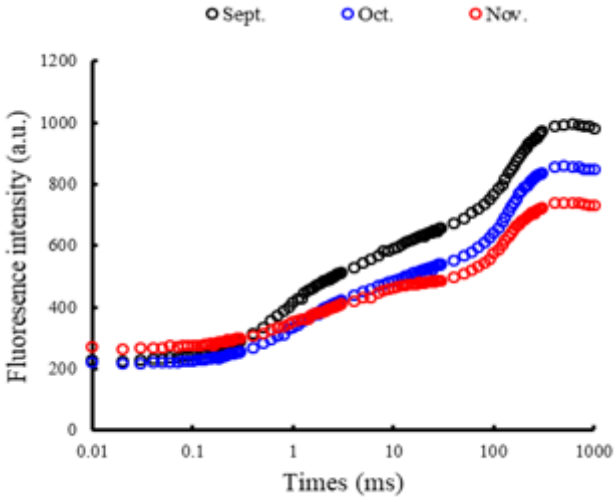


شکل ۲- نمودار منحنی‌های OJIP فلورسانس کلروفیل تحت تاثیر ارقام مختلف گندم



شکل ۳- نمودار منحنی‌های OJIP فلورسانس کلروفیل گندم در تاریخ های مختلف کاشت اواخر شهریور (Sept)، اواخر مهر (Oct) و اواخر آبان (Nov)

منحنی فلورسانس کلروفیل در سیستم خاکورزی مرسوم و حفاظتی نیز افزایش نرمال (پلی فازی) نشان داد. میزان فلورسانس کلروفیل در مرحله OJ برای هر دو سیستم خاکورزی مرسوم و حفاظتی مشابه بود. با این وجود گیاهان در تیمار بدون خاک‌ورزی (کشاورزی حفاظتی) بطور نسبی سطح بیشتری فلورسانس در مراحل JIP را نسبت به خاک‌ورزی مرسوم نشان دادند و این برتری در مراحل IP بیشتر مشخص بود(شکل ۴).

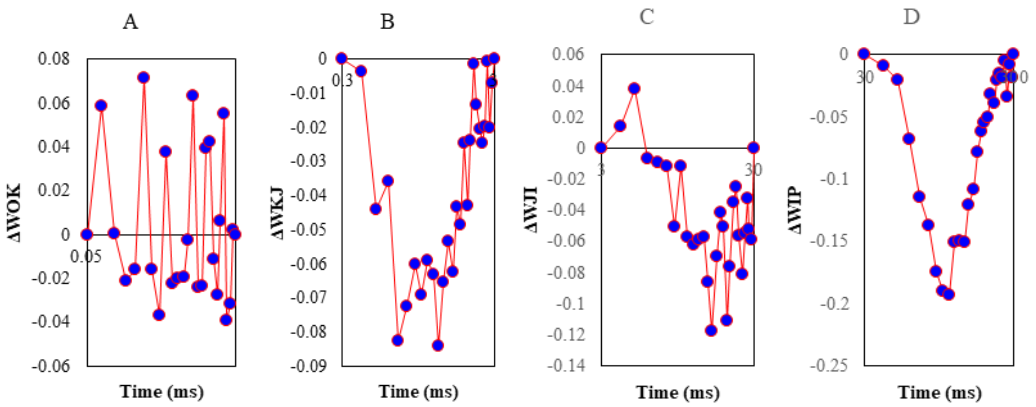


شکل ۴- نمودار منحنی‌های فلورسانس کلروفیل گندم در سیستم خاکورزی مرسوم (CT) و حفاظتی (NT)

برای آنالیز دقیق اثرات خاک‌ورزی حفاظتی (کشت مستقیم) روی کارایی انتقال الکترون ارقام گندم دیم، تغییرات منحنی فلورسانس کلروفیل در بازه بین مراحل O تا P شامل مراحل مختلف L، K، J، I و G ارزیابی شد. به این ترتیب نمودارهای ΔW_{KJ}، ΔW_{JI}، ΔW_{IP} ترسیم شدند. در این نمودارها مقدار مثبت نشان دهنده کارایی پایین انتقال الکترون در آن مرحله است و مقدار منفی نشان دهنده کارایی مثبت در انتقال الکترون می‌باشد. نتایج نشان داد که خاک‌ورزی حفاظتی روی فلورسانس کلروفیل در مرحله W_{OK} اثر معنی داری ندارد. اما گیاهان تحت شرایط خاک‌ورزی حفاظتی در مراحل W_{KJ} و W_{JI} و W_{IP} میزان فلورسانس کلروفیل بیشتری داشتند (شکل ۵). محاسبه فلورسانس کلروفیل متغیر نرمال شده بین مراحل مختلف فلورسانس کلروفیل اطلاعات مهمی از واکنش ارقام گندم به سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم نشان داد. در نمودارهای تغییرات فلورسانس (شکل ۵) مقدار مثبت ΔVt نشان دهنده کاهش کارایی انتقال الکترون فتوسنتزی است. مراحل KJ، JI و IP مراحل مهم متاثر از شرایط خاکورزی شناسایی شدند. پارامتر Fv/Fo بین دو سیستم خاک‌ورزی مشابه بود و بر اساس نمودارها نیز در مرحال OJ تغییرات محسوسی وجود ندارد. بنابراین می توان اذعان داشت که در هر دو سیستم خاک‌ورزی انتقال الکترون از کمپلکس تجزیه آب به فاز اکسیداسیون مرکز واکنشی کلروفیل بصورت طبیعی اتفاق افتاده است. مراحل JI و IP بیان کننده تغییرات اکسیداسیون و احیاء کیون آ و پلاستوکینون هستند (تسیمیلی میخائیل و استراسر ۲۰۱۳). سیستم بی خاک‌ورزی بطور معنی دار احیاء ناقل های کیون ب، پلاستوکینون، سیتکروم و پلاستوسیانین و انتقال الکترون به واحد پذیرنده فتوسیستم یک را بهبود داده است. بطوریکه مراحل IP نشان دهنده تغییرات مراکز واکنشی در فتوسیستم یک است (لطفی و همکاران، ۲۰۲۰).

تغییرات منحنی فلورسانس کلروفیل نرمال شده بین مراحل Fo و Fk بصورت W_{OK} ($W_{OK} = (Ft - Fo)/(Fk - Fo)$) و بین Fk و FJ بصورت W_{KJ} ($W_{kJ} = (Ft - Fk)/(FJ - Fk)$) و بین FJ و FI بصورت W_{JI} ($W_{JI} = (Ft - FJ)/(FI - FJ)$) و بین مراحل FI و FP بصورت W_{IP} ($W_{IP} = (Ft - FI)/(FP - FI)$) برازش شده است.

میزان جذب جریان نوری در مرکز واکنشی فعال (ABS/RC)، حداکثر جریان انتقال الکترون به ازای مراکز واکنشی (ETo/RC)، حداکثر عملکرد کوانتومی بر اساس انرژی هدر روی غیرفتوشیمیایی (Fo/Fm)، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، کارایی کمپلکس تجزیه آب در فتوسیستم II (Fv/F) بطور معنی داری تحت تاثیر تاریخ کشت و رقم قرار گرفت (جدول ۳).



شکل ۵- اثر خاکورزی حفاظتی روی نمودارهای نرمال شده فلورسانس کلروفیل گندم دیم

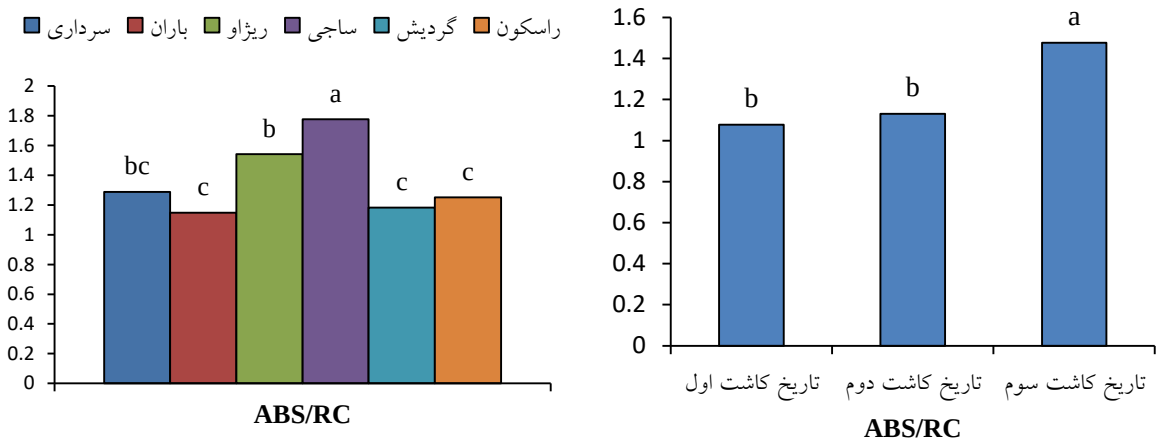
جدول ۳- تجزیه واریانس و میانگین پارامترهای فلورسانس کلروفیل ارقام گندم دیم در تیمارهای مختلف خاکورزی و تاریخ های متفاوت کاشت

منابع تغییر	درجه آزادی	ABS/RC	ETo/RC	Fo/Fm	Fv/Fm	Fv/Fo
		تاریخ کاشت				
تکرار	۲	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}
تیمار	۲	۰/۱۴۱**	۰/۰۶۷**	۱۷/۰**	۲/۴۶**	۲/۵۱۵**
اشتباه	۴	۰/۰۴۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۳۷	۰/۰۲۳
		خاکورزی				
تکرار	۲	۰/۲۴۶^{ns}	۰/۰۶۲^{ns}	۰/۱۹۸^{ns}	۰/۱۸۲^{ns}	۱/۶۷^{ns}
تیمار	۱	۱/۱۳۱^{ns}	۰/۱۷۵^{ns}	۵/۶۱۲^{ns}	۱۴/۸۰^{ns}	۲۲۲/۷۲^{ns}
اشتباه	۴	۰/۸۹۷	۰/۲۵۴	۰/۳۱۱	۱/۸۶۱	۳۶/۰۴
		رقم				
تکرار	۲	۰/۵۶	۳/۵۷	۰/۱۰۷	۰/۱۲۶	۰/۰۶۲
تیمار	۵	۱۸۰/۱۷ *	۸/۸۴ **	۸/۰۸۹ **	۱/۳۵ **	۱/۷۲۸ **
اشتباه	۴	۳۳/۷۵	۰/۷۵	۰/۲۹۱	۰/۰۹	۰/۰۷۰

ns ، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵% و معنی دار در سطح ۱٪.

بیشینه میزان جذب جریان نوری در مرکز واکنشی فعال (ABS/RC) در تاریخ کاشت سوم بیشتر از تاریخ های کاشت اول و دوم بود. از این نظر بین دو تاریخ کاشت اول و دوم اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۶). اثر ژنوتیپ روی پارامترهای فلورسانس کلروفیل معنی دار بود (جدول ۳). بیشینه میزان جذب جریان نوری در مرکز واکنشی فعال (ABS/RC) در ارقام ساجی و ریژاو بیشتر از سایر ارقام بود.

بیشینه جریان انتقال الکترون به ازای مراکز واکنشی (ETo/RC) در تاریخ کاشت اول بیشترین میزان خود را داشت و با تاخیر در کاشت کاهش یافت. بیشینه جریان انتقال الکترون به ازای مراکز واکنشی (ETo/RC) در رقم باران نسبت به سایر ارقام بیشتر بود. کمترین میزان این پارامتر در رقم ریژاو به ثبت رسید. بین ارقام مختلف سرداری، ساجی، راسکون و گردیش اختلاف معنی‌داری از این نظر وجود نداشت. (شکل ۷).

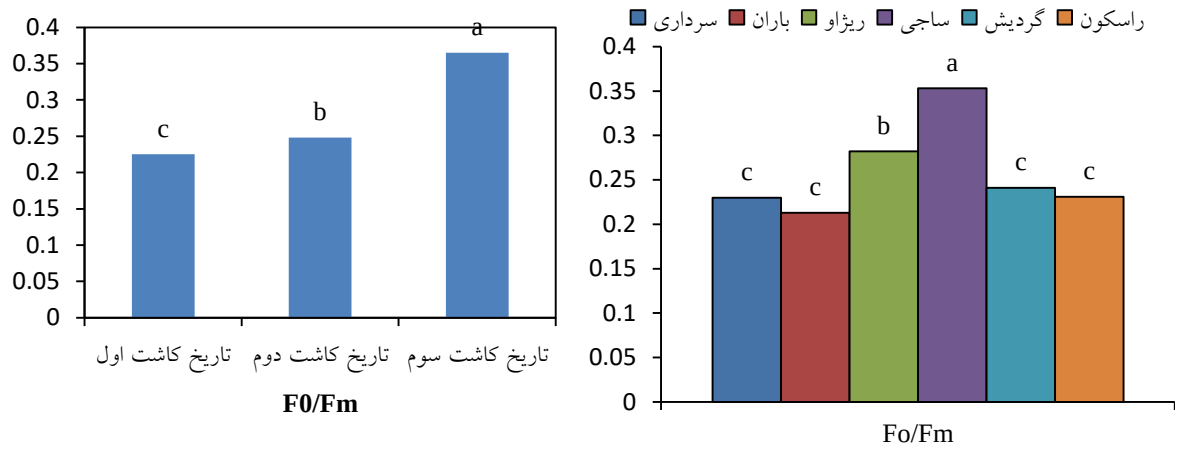


شکل ۶- اثر ارقام و تاریخ های کاشت روی حداکثر میزان جذب جریان نوری در مرکز واکنشی فعال

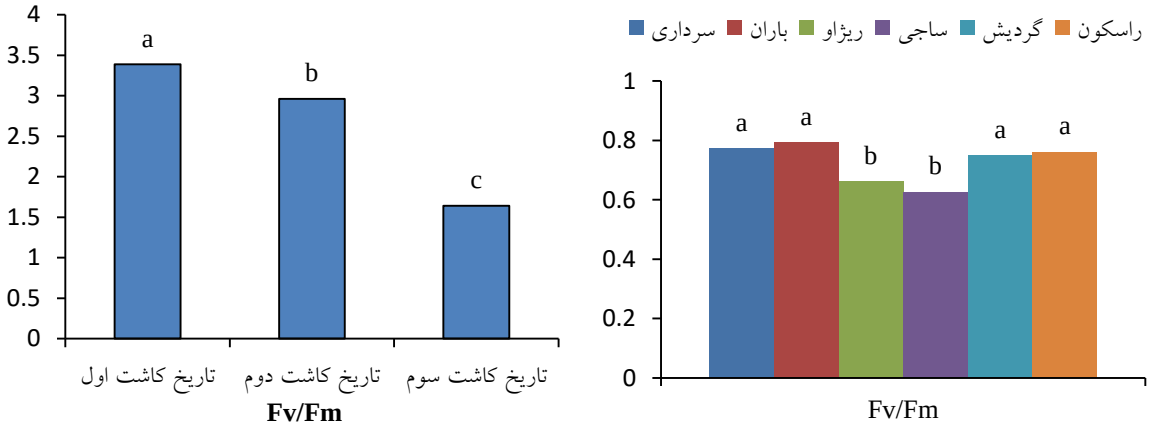
شکل ۷- اثر ارقام و تاریخ های مختلف کاشت روی حداکثر جریان انتقال الکترون به ازای مراکز واکنشی

بیشینه عملکرد کوانتومی بر اساس انرژی هدر روی غیرفتوشیمیایی (Fo/Fm) نیز همانند ABS/RC با تاخیر در کاشت سطح آن بیشتر شد و بیشینه میزان این پارامتر در تاریخ کاشت سوم به ثبت رسید. بیشینه عملکرد کوانتومی بر اساس انرژی هدر روی غیرفتوشیمیایی (Fo/Fm) نیز همانند ABS/RC در رقم ساجی بیشتر بود و در مرحله بعدی رقم ریزاو قرار داشت. بین سایر ارقام نیز از نظر Fo/Fm اختلاف معنی داری وجود نداشت.

بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) با تاخیر در کاشت به طور معنی داری افت پیدا کرد بیشینه میزان Fv/Fm در تاریخ کاشت اول بیشتر بود و میزان کاهش این پارامترها در تاریخ کاشت سوم بسیار چشم گیر بود. مقدار این پارامتر در ارقام سرداری، باران، راسکون و گردیش بطور معنی داری بیشتر از ساجی و ریزاو بود. تفاوت معنی داری در بین ارقام سرداری، باران، گردیش و راسکون از نظر بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II مشاهده نشد. با این حال مقدار این پارامتر در رقم باران نسبت به سایر ارقام بیشتر بود(شکل ۹).



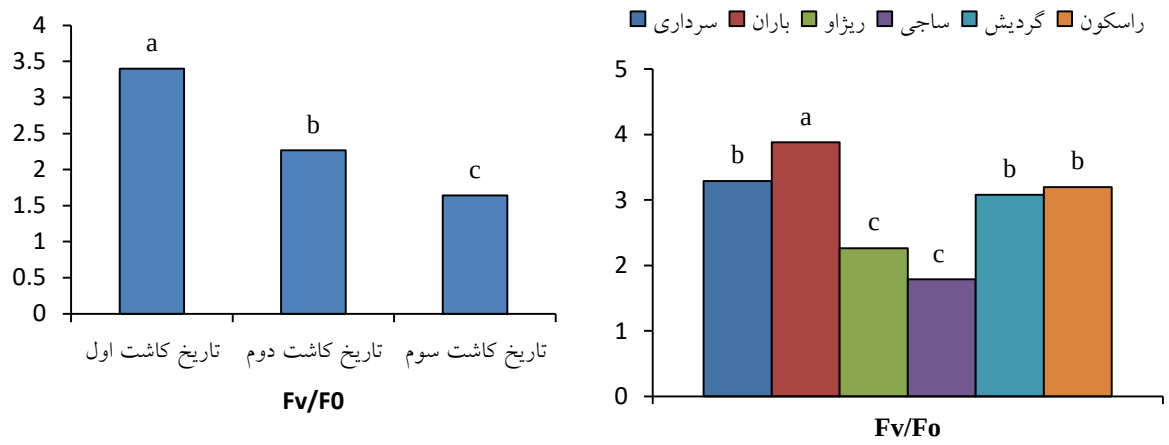
شکل ۸- اثر ارقام و تاریخ های کاشت روی حداکثر عملکرد کوانتومی بر اساس انرژی هدر روی غیرفتوشیمیایی



شکل ۹- اثر ارقام و تاریخ‌های کاشت روی بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II

کارایی کمپلکس تجزیه آب در فتوسیستم II (Fv/F0) با تاخیر در کاشت به طور معنی داری افت پیدا کرد. تفاوت ارقام از نظر کارایی کمپلکس تجزیه آب در فتوسیستم II (Fv/F0) بیشتر مشخص بود بطوریکه رقم باران بیشترین سطح آن را داشت. ارقام سرداری، راسکون و گردیش از این نظر در سطح بعدی و از نظر آماری مشابه بودند. کمترین کارایی کمپلکس تجزیه آب در فتوسیستم II در رقم ساجی دیده شد. با این وجود بین رقم ساجی و ریژاو اختلاف آماری معنی داری دیده نشد (شکل ۱۰).

کارایی فتوسنتزی با کاهش ABS/RC و Fo/Fm و افزایش Fv/Fm و ETo/RC در تاریخ کاشت اول تمام ارقام گندم نان و دوروم بهبود یافت. افزایش Fv/Fm نشان دهنده بهبود مراکز اکسیداسیون و احیاء (ردوکس) بعد از کینون آ و افزایش انتقال الکترون از کینون آ به کینون ب است (لطفی و همکاران ۲۰۲۰). این یافته با کاهش ABS/RC و افزایش ETo/RC تایید می گردد. پارامتر ABS/RC نشان دهنده تعداد فوتون های جذب شده توسط تمام مراکز واکنشی مولکول کلروفیل تقسیم بر مراکز واکنشی فعال است و بنابراین مقدار آن بر اساس تعداد مراکز واکنشی فعال و غیر فعال تغییر می یابد و با افزایش تعداد مراکز واکنشی فعال مقدار این پارامتر کاهش می یابد. افزایش ETo/RC نیز نشان دهنده باز اکسید شدن کینون آ با انتقال الکترون به ناقل بعدی است (ساکسینا و همکاران ۲۰۲۲).



شکل ۱۰- اثر ارقام و تاریخ های مختلف کاشت روی کارایی کمپلکس تجزیه آب در فتوسیستم II

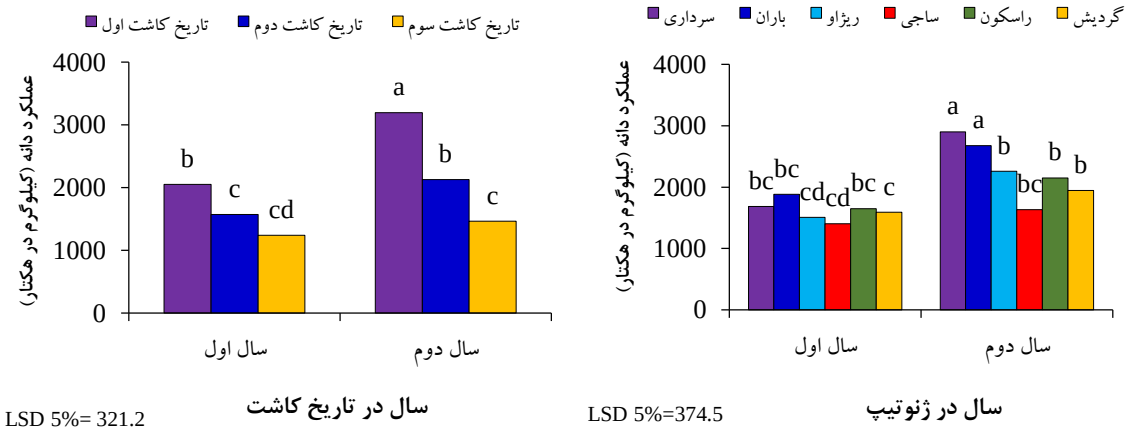
تجزیه واریانس مرکب صفات نشان داد که اثر سال بر روی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. اثر تاریخ کاشت روی صفات عملکرد دانه و کلروفیل a معنی دار بود. اثر متقابل سال × تاریخ کاشت روی صفت کلروفیل a در سطح احتمال ۵٪ و روی صفت عملکرد دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود. گیاهان حاصل از تاریخ کاشت شهریور ماه با توجه به زمان جوانه زنی و سبز شدن در دماهای بالا نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت، سیستم ریشه کارآمدتری را تولید کرده‌اند که توانسته از ذخایر رطوبتی خاک در شرایط بدون خاکورزی بیشتر استفاده کنند. اثر تیمار خاکورزی روی صفت کلروفیل a در سطح احتمال ۱٪ و روی صفت کلروفیل b در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بود. اثر خاکورزی بر روی عملکرد دانه غیر معنی دار بود. اثر رقم روی صفات عملکرد دانه، کلروفیل a و کلروفیل b معنی دار بود. کلروفیل a، کلروفیل b تحت تاثیر اثرات متقابل رقم × تاریخ کاشت معنی دار بودند (جدول ۴). خرسندی و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که خاکورزی تاثیر معنی داری بر روی عملکرد دانه ندارد. چنین استنباط می شود که کاشت در شرایط بدون خاکورزی علاوه بر حفظ مواد آلی خاک و بهبود وضعیت خاک به دلیل حفظ رطوبت بیشتر در خاک که در شرایط دیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است توانسته است شرایط را برای تولید عملکرد قابل قبول مناسب نماید.

عملکرد دانه در سال اول اجرای آزمایش در تمامی تاریخ های کاشت نسبت به سال دوم کمتر بود. با این وجود تفاوت معنی داری بین عملکرد دانه تاریخ کاشت سوم در سال اول و سال دوم وجود نداشت. حداکثر عملکرد دانه از تاریخ کاشت اول در سال دوم بدست آمد که نسبت به تاریخ های کاشت دوم و سوم همان سال به ترتیب حدود ۵۰ و ۱۱۸ درصد بیشتر بود. عملکرد دانه در سال اول در تاریخ کاشت اول نیز نسبت به تاریخ کاشت دوم و سوم به ترتیب حدود ۳۰ و ۶۵ درصد بیشتر بود (شکل ۱۱). داده های عملکرد دانه با داده‌های هواشناسی به ویژه بارش و دما (جدول ۲) قابل توجیه است.

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب خصوصیات بیوشیمیایی ارقام گندم در تاریخ کاشت متفاوت و خاکورزی های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		Chla	Chlb	عملکرد دانه
سال (A)	۱	۸۳۲۶۸**	۶۲۳۶۰**	۲۲۳۰۳۷۴۷**
خطای ۱	۴	۵۷	۵۱۷/۶	۶۵۵۶۲۶
تاریخ کاشت (B)	۲	۵۶۹۴**	۲۵۳^{ns}	۲۹۵۴۴۲۱۶**
A*B	۲	۲۴۸۲*	۶۶/۳۷^{ns}	۳۸۹۸۲۲۴**
خطای ۲	۸	۲۹۳/۷	۳۷۴/۵	۲۱۷۸۷۲
خاکورزی (C)	۱	۳۴۲۰**	۲۰۶/۱۷*	۴۹۳۷۳۶^{ns}
A*C	۱	۳۵۱/۵^{ns}	۶/۱۹^{ns}	۱۳۵۸۵^{ns}
B*C	۲	۱۷۲/۲^{ns}	۲۶/۱۳^{ns}	۴۶۱۲۶۰^{ns}
A*B*C	۲	۴۱۳^{ns}	۰/۳۸^{ns}	۱۱۹۸۶۸۴^{ns}
خطای ۳	۱۲	۱۶۵/۲	۳۰/۹۵	۵۸۵۹۰۹
ارقام (D)	۵	۱۲۸۷۰**	۳۸۳۸/۷**	۳۲۵۲۳۹۳**
A*D	۵	۳۷۸۷**	۱۰۲۸/۱**	۱۱۴۶۴۸۶**
B*D	۱۰	۵۳۶/۸**	۲۷۲/۰۴**	۲۸۴۶۵۷^{ns}
C*D	۵	۲۵۵/۲^{ns}	۷۵/۶۴^{ns}	۱۴۵۹۹۰^{ns}
A*B*D	۱۰	۴۹۵/۸**	۳۴۷/۳**	۱۵۳۸۹۰^{ns}
A*C*D	۵	۲۲۶/۷^{ns}	۶۵/۰۵	۳۳۳۸۶۶^{ns}
B*C*D	۱۰	۱۹۶/۶^{ns}	۴۸/۶۱	۹۳۹۴۴^{ns}
A*B*C*D	۱۰	۱۸۵/۵^{ns}	۲۹/۴۰^{ns}	۲۴۹۰۹۴^{ns}
خطای کل	۱۲۰	۱۱۵/۳	۹۸/۷۱	۲۲۹۱۷۳

ns ، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵% و معنی دار در سطح ۱٪ است،
chla(کلروفیل a)، chlb(کلروفیل b).



شکل ۱۱- عملکرد دانه ارقام مختلف و تاریخ های مختلف کاشت در دو سال زراعی

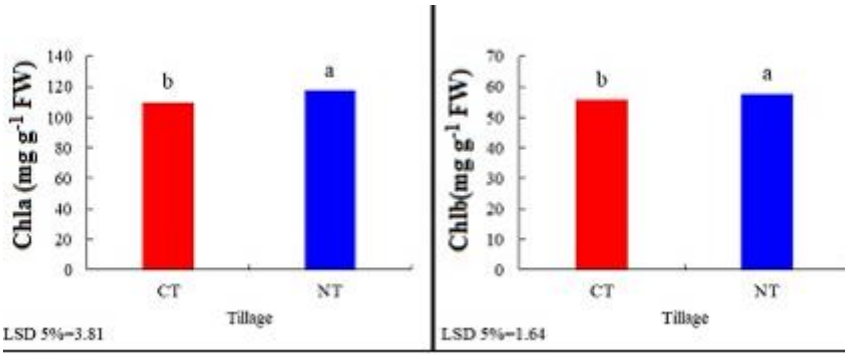
خرسندی و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که خاکورزی تاثیر معنی داری بر روی عملکرد دانه ندارد. چنین استنباط می شود که کاشت در شرایط بدون خاک ورزی علاوه بر حفظ مواد آلی خاک و بهبود وضعیت خاک به دلیل حفظ رطوبت بیشتر در خاک که در شرایط دیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است توانسته است

شـرایط را برای تولید عملکرد قابل قبول مناسـب نماید. در مجموع محتوای کلروفیـل a و b همه ارقام در سـال دوم بیشـتر از سـال اول بود. با این حال در هر دو سال بـا تاخیر در کاشـت میزان کلروفیل a و b کاهش یافت. محتوای کلروفیـل a و b در هر دو سـال برای ارقـام سرداری و باران نسبت به سایر ارقام بیشتر بود. مقدار کلروفیـل a ارقـام گندم دوروم راسـکون و گردیش در سـال اول نسبت به ارقام ساجی و ریژاو بیشتر بود ولی در سـال دوم برعکس آن اتفـاق افتاد. بطوریکه کمترین محتوای کلروفیل a در سـال اول مربوط به تاریخ کاشت سـوم رقم سـاجی و در سـال دوم مربوط تاریخ کاشت سوم رقم گردیش بود. محتوای کلروفیل b در طی هر دو سـال در ارقام سـرداری و باران بیشـتر از سـایر ارقام بود. با این وجود هر دو رقم دوروم گردیش و راسـکون از محتوای کلروفیل b بیشتری نسبت به ساجی و ریژاو برخوردار بودند (جدول ۵). ساسانی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردنـد که بین میزان نیاز بهاره‌سـازی ارقام با محتوای کلروفیل آنها همبسـتگی مسـتقیم و معنی‌داری وجود دارد، بـه طوریکه تحت تیمار بهاره‌سـازی، ارقام زمسـتانه، بینابین و بهاره ضـمن داشتن تفاوت معنی‌دار در محتوای کلروفیل، به ترتیب در رتبه‌های برتر تا پایین تر قرار داشـتند. لذا با توجه به اینکه انباشـت محتوای کلروفیل در همه ارقام حسـاس و متحمل به تنش سـرما در شـرایط دمای پایین محقق میگردد ولی ارقام متحمل در تاریخ کاشـت مناسـب و شـرایط بدون خاک ورزی انباشـت کلروفیل بیشـتری داشـتند. این یافته با نتایج تحقیق مطابقت دارد.

جدول ۵- مقایسه میانگین کلروفیل (a & b) در تاریخ کاشت های مختلف کاشت در دو سال اجرای آزمایش

	Chl a (mg g^{-1} FW) LSD 5%= 13.19	سرداری	باران	ریژاو	ساجی	راسکون	گردیش
سال اول	تاریخ کاشت اول	۱۲۱/۰۰c	۱۳۲/۵۰bc	۸۷/۸۳c	۶۸/۵۰c	۱۰۸/۳۳ab	۱۴۰/۰۰a
	تاریخ کاشت دوم	۱۱۰/۵۰cd	۱۲۲/۶۷c	۷۶/۱۷cd	۵۸/۶۷cd	۹۷/۱۷b	۹۲/۸۳c
	تاریخ کاشت سوم	۱۰۱/۸۳d	۱۱۳/۱۷c	۶۸/۰۰d	۵۰/۸۳d	۹۰/۰۰b	۸۶/۳۳c
سال دوم	تاریخ کاشت اول	۱۴۸/۲۸b	۱۴۵/۸۷b	۱۳۲/۵۷a	۱۳۱/۴۹a	۱۲۰/۹۶a	۱۱۷/۹۰b
	تاریخ کاشت دوم	۲۰۵/۴۰a	۱۶۴/۸۹a	۱۳۱/۲۶a	۱۳۴/۴۲a	۱۱۷/۸۸a	۱۱۷/۰۴b
	تاریخ کاشت سوم	۱۴۰/۱۲b	۱۴۰/۳۳b	۱۱۲/۴۹b	۱۱۷/۷۹b	۱۱۰/۳۷a	۱۰۸/۱۳b
	Chl b (mg g^{-1} FW) LSD 5%=14.33	سرداری	باران	ریژاو	ساجی	راسکون	گردیش
سال اول	تاریخ کاشت اول	۵۶/۷۱c	۵۸/۳۰c	۳۱/۰۱b	۲۶/۵۹b	۴۳/۸۵bc	۳۷/۲۸c
	تاریخ کاشت دوم	۵۸/۶۷c	۵۴/۰۸c	۲۸/۰۷b	۲۲/۹۶b	۴۱/۳۳c	۳۴/۴۷c
	تاریخ کاشت سوم	۵۲/۸۶c	۵۳/۱۵c	۲۴/۶۳b	۱۹/۶۵b	۳۸/۳۷c	۳۱/۲۵c
سال دوم	تاریخ کاشت اول	۹۲/۶۱a	۹۵/۶۲a	۶۳/۸۹a	۶۶/۸۰a	۷۲/۷۹a	۸۰/۶۲a
	تاریخ کاشت دوم	۷۳/۸۴b	۸۳/۹۲ab	۷۳/۰۳a	۸۱/۰۸a	۶۱/۳۳ab	۶۸/۱۲ab
	تاریخ کاشت سوم	۸۳/۴۴ab	۷۴/۰۲b	۶۳/۶۴a	۷۸/۷۶a	۵۶/۲۷b	۵۵/۱۲b

محتوای کلروفیـل a و b در شـرایط بـدون خاک‌ورزی بیشتر بود. این افزایش در شرایط بدون خاکورزی برای کلروفیـل a بیشـتر از کلروفیـل b بود (شـکل ۱۲). لذا فعـالیت های فیزیولوژیکی و بیوشـیمیایی در شـرایط کشـاورزی حفاظتی در سـطح مطلوبی بودند و از تولید گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری کرده و سطح فتوسنتز و عملکرد دانه گیاه حفظ شد.



شکل ۱۲- میزان کلروفیل a و b گندم تحت دو سیستم خاکورزی مرسوم (CT) و حفاظتی (NT)

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که ارقام گندم دیم مطالعه شده در سیستم کشاورزی حفاظتی تحت تأثیر اثرات منفی تنش سرما قرار نمی‌گیرند. می‌توان اذعان داشت که در هر دو سیستم خاک‌ورزی انتقال الکترون از کمپلکس تجزیه آب به فاز اکسیداسیون مرکز واکنشی کلروفیل بصورت طبیعی اتفاق افتاد. کارایی فتوسنتزی با کاهش ABS/RC و Fo/Fm و افزایش Fv/Fm و ETo/RC در تاریخ کاشت اول تمام ارقام گندم نان و دوروم بهبود یافت. اثر خاک‌ورزی بر روی عملکرد دانه غیر معنی دار بود. چنین استنباط می‌شود که کاشت در شرایط بدون خاک ورزی علاوه بر حفظ مواد آلی و بهبود وضعیت خاک به دلیل حفظ رطوبت بیشتر در خاک که در شرایط دیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردا است توانسته است عملکردی قابل قبول تولید نماید.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت‌های موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور و بخصوص بخش مدیریت منابع که در طول اجرای این پروژه همکاری نمودند قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in beta vulgaris. Plant Physiology. 24: 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Bissati KE, Delphin E, Murata N, Etienne AL and Kirilovsky D. 2000. Photosystem II fluorescence quenching in cyanobacterrium Synechocystis PCC6803: involvement of two different mechanisms. Biochimica et Biophysica Acta. 1457: 229-242. https://doi.org/10.1016/S0005-2728(00)00104-3

Chen Y, Liu S, Li H, Li XF, Sung CY, Cruse RM and Zang XY. 2011. Efects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China. Soil and Tillage Research. 115, 56–61. http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2011.06.007

Emami Bistgani Z and Bakhshaned AM. 1401. Physiology of environmental stress in medicinal plants. (In Persian with English Abstract). . https://agrilib.areeo.ac.ir/book_9560.pdf

Govindjee H. 1995. Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence. Australian journal of Plant Physiology, 22: 131-160. https://doi.org/10.1071/PP9950131

Hussain HA, Men S, Hussain S, Chen Y, Ali S, Zhang S, Zhang K, Li Y, Xu Q, Liao C and Wang L. 2019. Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. Scientific Reports. 9, 3890. https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7

Khorsandi H, Ferdosi R and Abdulahi A. 2020. Technical and economic evaluation of different tillage and nitrogen levels in dryland wheat.Iranian journal of Dryland Agriculture. 9(1): 91-135. (In Persian with English Abstract). . https://doi.org/10.22092/idaj.2020.341276.288

Li X, Cai J, Liu F, Zhou Q, Li X, Cao W and Jiang D. 2015. Wheat plants exposed to winter warming are more susceptible to low temperature stress in the spring. Plant Growth Regulation. 77, 11–19. https://doi.org/10.1007/s10725-015-0029-y

Lotfi R, Ghassemi-Golezani K and Pessarakl M. 2020. Salicylic acid regulates photosynthetic electron transfer and stomatal conductance of mung bean (*Vigna radiata L*.) under salinity stress. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 26. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101635

Maxwell K and Johnson GN. 2000. Chlorophyll fluorescence A paticle guide. Experimental Botany Journal. 51: 659-668. https://doi.org/10.1093/jxb/51.345.659

Sasani A, TAVAKKOL AFSHARI R and Mahfozi S. 2013. Low-temperature Acclimation and the Correlation of Vernalization Requirement with Accumulation of Some Compatible Solutes and Physiological Mechanisms in Bread Wheat. Iranian Journal of Field Crop Science. 24 (2): 327-345. (In Persian with English Abstract). . https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.35121

Strasser RJ, Srivastava A, and Govindjee H. 1995. Polyphasic chlorophyll a fluorescence transients in plants and cyanobacteria. Photochemistry and Photobiology, 61: 32–42. https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1995.tb09240.x

Swoczyna T, Kalaji HM, Bussotti F, Mojski J and Pollastrini M. 2022. Environmental stress - what can we learn from chlorophyll a fluorescence analysis in woody plants? A review. Frontiers in Plant Science, 13:1048582. doi: 10.3389/fpls.2022.1048582. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1048582

Tsimilli-Michael M and Strasser RJ. 2013. The energy flux theory 35 years later: Formulations and applications. Photosynthesis Research. 117, 289–320. https://doi.org/10.1007/s11120-013-9895-1

Wellburn AR. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal of Plant Physiology. 144(3): 307-313. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2

Witzenberger A, Hack H and Van Den Boom T. 1989. Erläuterungen zum BBCH-Dezimal-Code für die Entwicklungsstadien des Getreides - mit Abbildungen. Gesunde Pflanzen. 41: 384-388.

Zaghdoudi M, Msilini N, Govindachary S, Lachaal M, Ouerghi Z and Carpentier R. 2011. Inhibitation of photosystem I and II activites in salt stress-exposed Fenugreek (Trigonella foenum graecum). Journal of photochemistry and photobiology B: Biology. 105: 14-20. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2011.06.005

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 283-302

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

Developing a Sustainable Agricultural Planning to Reduce Greenhouse Gases and Environmental Pollutants in the Sistan Watershed

Hossein Badihbarzin[1], Seyed Mahdi Hoseini[2*], Mahmoud Hashemitabar[2], Mostafa Mardani Najafabadi[3]

Received: 17 October 2023	Accepted: 04 January 2024

1- Ph.D. Candidate of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran.
2- Assist. Prof., of Agricultural Economics Dept, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
3- Assoc. Prof., of Agricultural Economics, Dept, of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
*Corresponding Author Email: hosseini@eco.usb.ac.ir

Abstrsc

Background & Objective: The agricultural sector is an important source of CO_2 emission. In recent years, the increase in energy consumption of agricultural inputs has led to an increase in energy consumption and the CO_2 emission Therefore, optimizing energy consumption and thus reducing environmental pollutants in the form of considering water-energy and food nexues (WEFN) in an agricultural cycle can be of special importance. The goal of this study is to develop a sustainable agricultural program to reduce CO_2 emission and environmental pollutants in the Sistan watershed.

Materials & Methods: This study has determined the amount of energy consumption of agricultural inputs and the CO_2 emission in order to protect sustainable agriculture using a non-linear multi-objective planning model. The model is coded using GAMS software.

Results: The results of the proposed model showed that with the implementation of the WEFN nexues, in addition to reducing the energy consumption of inputs by 0.25%, the amount of CO_2 emission in the entire studied basin has decreased to 0.49%.

Conclusion: In the one-dimensional approach, due to the lack of political coherence and low productivity in the use of resources, nexus approach has become more prominent. The nexus approach can promote the comprehensive security of water, energy and food resources, which is combined with sustainable and equitable access to resources. Therefore, a comprehensive planning should be done in line with the sustainable development of agriculture, so that expert measures can be taken by changing the structure of the basin's cultivation pattern in order to reduce environmental pollutants.

Keywords: Agricultural Program, Water-Energy-Food Nexus, Sustainable Agriculture, Sistan Plain

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 : Seyed Mahdi Hoseini : Email: hosseini@eco.usb.ac.ir
http://doi.org/10.22034/SAPS.2024.58872.3133

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۳۰۲-۲۸۳

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تدوین برنامه زراعی پایدار جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های محیط‌زیست در حوضه آبریز سیستان

حسین بدیع برزین[۱]، سید مهدی حسینی[۲*]، محمود هاشمی تبار[۲]، مصطفی مردانی نجف آبادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۲۵	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۴

۱-دانشجوی دکتری دانشکده اقتصاد دانشگاه سیستان و بلوچستان
۲-استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان
۳-دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
*مسئول مکاتبه: Email: hosseini@eco.usb.ac.ir

چکیده

اهداف: بخش کشاورزی منبع مهم انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در سال های اخیر افزایش مصرف انرژی نهاده‌های کشاورزی منجر به افزایش انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 شده است. از این رو بهینه سازی انرژی مصرفی و در نتیجه کاهش آلاینده‌های محیط‌زیستی در قالب در نظر گرفتن پیوند آب-انرژی-غذا در یک چرخه کشاورزی می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.هدف این مطالعه تدوین برنامه زراعی پایدار جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های محیط‌زیست در حوضه آبریز سیستان هست.

مواد و روش‌ها: این مقاله در محدوده مطالعاتی دشت سیستان با استفاده از یک مدل برنامه ریزی چند هدفه غیرخطی به تعیین میزان مصرف انرژی نهاده‌های کشاورزی و انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 جهت حفاظت از کشاورزی پایدار پرداخته است. روش حل و کدنویسی مدل با استفاده از نرم افزار GAMS انجام شده است.

یافته‌ها: نتایج مدل پیشنهادی نشان داد که با اجرای پیوند WEFN علاوه بر کاهش میزان مصزف انرژی نهاده‌ها به میزان ۰/۲۵ درصد میزان انتشارگازهای گلخانه‌ای (CO2) در کل حوضه مورد بررسی به مقدار ۰/۴۹ درصد کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری: در رویکرد تک‌بعدی به دلیل عدم انسجام سیاسی و پایین بودن بهره‌وری در استفاده از منابع، باعث پررنگ‌تر شدن رویکرد پیوند شده است. رویکرد پیوند WEFN می‌تواند امنیت همه جانبه منابع آب- انرژی و غذا را که توأم با دسترسی پایدار و عادلانه منابع است را ارتقا بخشد. بنابراین بایستی یک برنامه‌ریزی جامع در راستای توسعه پایدار کشاورزی صورت گیرد، تا با تغییر ساختار الگوی کشت حوضه در جهت کاهش آلاینده‌های محیط‌زیستی اقداماتی کارشناسانه صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه زراعی، پیوند آب-انرژی-غذا، کشاورزی پایدار، دشت سیستان

مقدمه

امروزه جهان با مشکلات متعددی مواجه است که از مهمترین آنها می‌توان به نبود امنیت غذایی، کمبود آب، تخریب خاک، کمبود انرژی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2) و تغییر اقلیم اشاره کرد، ارتباط مستقیمی بین این مسائل و استفاده پایدار از منابع وجود دارد (لال، ۲۰۰۷). در دهه‌های اخیر، آلودگی به یکی از چالش‌های اصلی مدیریتی کشورها تبدیل شده است؛ به طوری که کشورها علاوه بر سیاست‌ها و اقدامات درون مرزهای خود، ساماندهی آلودگی را در حوزه بین‌المللی نیز دنبال می‌کنند. از میان مصادیق آلودگی، آلودگی‌های ناشی از گازهای گلخانه‌ای یکی از تهدیدهای جدی پیش روی بسیاری از کشورها می‌باشد. که با توجه به ماهیت آن شیوع بیشتری داشته و در اکثر مناطق جهان محسوس است (شجری و همکاران، ۲۰۲۱).

بر اساس گزارش هیئت میان دولتی تغییر اقلیم (IPCC)[1] در سال ۲۰۱۴، دی اکسید کربن ۷۶ درصد کل گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است. بر این اساس می‌توان عنوان کرد که کاهش انتشار دی اکسید کربن نقش مهمی در محافظت از محیط‌زیست و توسعه پایدار دارد (امری، ۲۰۱۳). تخمین‌ها حاکی از آن است که حدود 40 تا 50 درصد سطح زمین برای اهداف کشاورزی استفاده می‌شود از این رو تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر روی اقلیم از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است (رجینا و همکاران،۲۰۱۰). کشاورزی سهم قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (نواز و همکاران، ۲۰۱۷). در کشاورزی نوین، بین عملکرد محصولات کشاورزی و نهاده‌های مصرفی نظیر کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و بذور اصلاح شده پیوندگی فراوانی ایجاد گردیده که نتیجه‌ی آن، تغییرات چشمگیر در افزایش الگوی مصرف انرژی و متعاقباً کاهش منابع تجدیدناپذیر بوده است (پیشگار کومله و همکاران، ۲۰۱۲). از سوی دیگر افزایش مصرف نهاده‌های انرژی در تولیدات کشاورزی منجر به مشکلات متعدد محیط-زیستی همچون کاهش تنوع‌زیستی و آلودگی زیست‌گاه-های آبی شده است (موسوی اول و همکاران، ۲۰۱۱). در این بین سهم کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه ای حدود ۱۲٪ از کل انتشارات گازهای موجود در جهان هست (خوشنویسان و همکاران،۲۰۱۳). با توجه به این مهم در بسیاری از مطالعات داخلی و خارجی به شناسایی عوامل مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی پرداخته‌اند به طوری که با شناسایی این عوامل بتوان اقدامات لازم برای دستیابی به توسعه پایدار را فراهم کرد. برطبق نتایج صد سال گذشته، میانگین دمای کره زمین در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته است با توجه به منابع طبیعی محدود و اثرات نامناسب استفاده از منابع مختلف انرژی بر روی سلامتی انسان و محیط‌زیست ضرورت بررسی میزان مصرف انرژی نهاده ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در بخش کشاورزی بسیار حائز اهمیت هست (تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این، تغییرات گسترده احتمالی در بارش و شرایط شدید در حال اجرا، عدم اطمینان زیادی را در تأمین منابع آب ایجاد می کند و به محدودیت و تهدید اصلی برای توسعه اجتماعی تبدیل می شود (منعم و همکاران، ۲۰۲۰). در همین حال، به دلیل ماشین آلات پیشرفته کشاورزی، کوددهی با بازده بالا، و تکنیک‌های جدید فرآوری مواد غذایی، تقاضای انرژی و انتشارگازهای گلخانه‌ای مرتبط با بخش کشاورزی مدرن نیز برای دستیابی به توسعه پایدار در نظر گرفته خواهد شد (صفایی و همکاران، ۲۰۱۹).

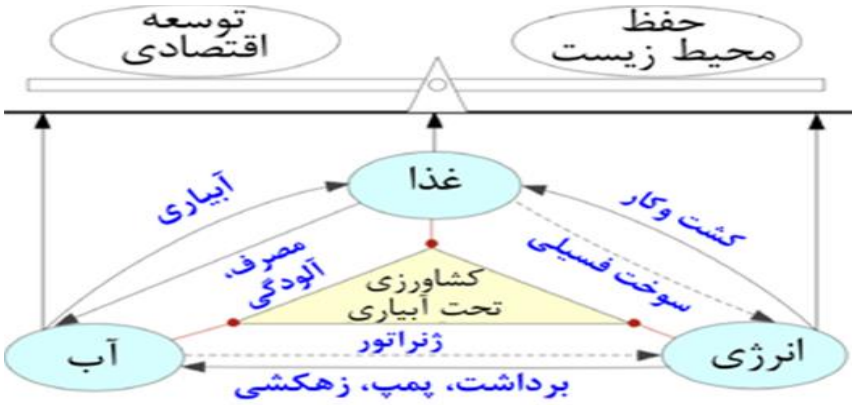
در منابع مختلف تعاریف متفاوتی از پیوند آب- انرژی- غذا (WEFN)[2] ارائه شده است که برخی از آن‌ها امنیت آب و انرژی و امنیت غذایی را تحت پوشش قرار داده‌اند. پیوند دستیابی به توسعه پایدار درازمدت جوامع انسانی با حفظ ذخایر طبیعی و جلوگیری از هرگونه خسارت به آن‌ها با تضمین فراهمی آب- غذا و انرژی به‌منظور پایداری منابع برای نسل‌های آینده است (کارابولوت و همکاران، ۲۰۱۸). بعبارتی همان تعریف

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change

[2] Water Food Energy Nexues

توسعه پایدار اطمینان از تأمین نیازهای اساسی جمعیت فعلی و آینده بشر از جمله تأمین غذا، انرژی و آب است (چایی و همکاران،۲۰۲۰). بطور کلی پیوند رویکرد جدیدی جهت ارزیابی ابعاد توسعه و سیاست است که با ایجاد سازگاری در بین بخش‌ها و ابعاد مختلف، انرژی و امنیت غذایی را در سطح جهانی و ملی توسعه می‌دهد و در راستای حمایت از اقتصادزیستی[1] که هدف آن بهره-وری منابع آب- انرژی - غذا به صورت پایدار است ایجاد شده است (ژانگ و واسیلینو،۲۰۱۷). همکاری ضعیف میان بخش‌های مختلف باعث بهره‌برداری ناپایدار از سایر منابع از جمله آب، انرژی، زمین شده است و در نتیجه تهدیدی برای امنیت آب و غذا و رسیدن به اهداف توسعه پایدار خواهد شد. توجه به یک چالش در مدیریت یکی از منابع، اغلب ایجاد چالش در مدیریت منابع دیگر را به دنبال دارد. بنابراین، برای افزایش کارایی استفاده از منابع و کاهش خطرات محیط‌زیستی و تخریب اکولوژیکی، باید مدیریت جامع و مشترک این منابع با یک رویکرد پیوند انجام شود(تیان و همکاران، ۲۰۱۸). در (شکل ۱) نحوه پیوند آب-انرژی-غذا در کشاورزی به تصویر کشیده شده است

.



شکل ۱. پیوند آب-انرژی-غذا در کشاورزی برای توسعه پایدار

یکی از موثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی افزایش راندمان آبیاری و مهم‌تر از آن بهبود بهره‌وری مصرف آب می باشد (میرزایی و همکاران، ۲۰۲۳). از این رو بهره‌وری مصرف آب کشاورزی یکی از مهمترین موضوعاتی است که در سال های اخیر مورد توجه مجامع علمی مرتبط با آبیاری و کشاورزی قرار گرفته است.عصاره اصلی و ساختار بنیادی مفهوم بهره‌وری آب کشاورزی استفاده صحیح از آب به همراه افزایش تولید محصولات کشاورزی است. بنابراین هدف اصلی بهره‌وری آب کشاورزی در جهان یعنی افزایش محصولات کشاورزی با میزان مصرف آب کمتر می باشد (غفاری مقدم و همکاران،۱۴۰۰). اهمیت روز افزون منابع انرژی در شکل‌گیری و رشد فرآیندهای اقتصادی و همچنین ضرورت بهره‌برداری از این منابع بر پایه ملاحظه‌های زیست‌محیطی و توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی، موضوع صرفه‌جویی در مصرف انرژی را به عنوان مساله مهم در همه‌ی زیرساخت‌های اقتصاد اعم از صنعت، خدمات و کشاورزی جهان مطرح می‌کند (رادمهر و همکاران،۲۰۲۱).در این میان بخش کشاورزی به عنوان مصرف کننده و تولید کننده انرژی دارای اهمیت ویژه‌ای می باشد (رادمهر و همکاران،۲۰۲۱). الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی با توجه به قابلیت منحصربه فردی که در مرتبط ساختن اجزاء اقتصادی با جنبه‌های بیوفیزیک و اکولوژی دارند امروزه یکی از ابزارهای رایج و کارآمد در تحلیل مسائل پیچیده اقتصاد کشاورزی می باشند. به دلیل پیچیدگی روابط بین مؤلفه‌های آب-انرژی-غذا لازم است که در فرآیند تصمیم‌گیری به طور هم زمان این سه مؤلفه در نظر گرفته شوند. یکی از روش‌های پرطرفدار و مناسب جهت برنامه‌ریزی بر

[1] bio-economy

اساس این رویکرد، استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه است (مردانی و همکاران، ۲۰۱۹).

در زمینه مدل های پیوند WEFN و همچنین اجرای این الگو، برای میزان بهره‌وری آب و انرژی مطالعاتی در داخل و خارج انجام شده که به اختصار به چند مورد پرداخته می‌شود.

آهنی و همکاران (۱۴۰۲) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه شامل (حداکثر کردن سود ناخالص، حداقل سازی انتشار گازهای گلخانه ای، حداقل مصرف آب، حداقل مصرف انرژی، حداکثر میزان کالری در محصولات کشاورزی و حداقل کردن میزان مصرف کودها و سموم شیمیایی) را با استفاده از رویکرد پیوند آب- غذا – انرژی برای تولیدات محصولات زراعی در دشت مشهد پیاده کردند. نتایج آنان نشان داد که میزان مصرف آب،انرژی و سطح زیر کشت محصولات در تمامی مناطق بررسی شده کاهش یافته است. دلیل این امر کاهش شدید آب قابل برنامه‌ریزی به دلیل بحرانی بودن این دشت از منظر کمبود منابع آب بیان شده است

پاتی و همکاران (۲۰۱۴) به روند میزان مصرف انرژی نهاده ها در تولید محصولات کشاورزی نظیر نخود در کشور هندوستان پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین سهم در میزان مصرف انرژی نهاده‌ها را نیروی کار،بذر،سموم شیمیایی و کودهای شیمیایی به خود اختصاص داده اند، بنابراین آنها دریافتند که برای کاهش در گازهای گلخانه ای و کشاورزی پایدار بایستی میزان مصرف نهاده‌های انرژی بکار رفته در تولید نخود کاهش یابد.

لی و همکاران (۲۰۱۹) مدل برنامه‌ریزی چند هدفه (حداکثر سازی سود و حداقل سازی انتشار گازهای گلخانه ای CO_2) را با استفاده رویکرد پیوند آب-انرژی-غذا در حوضه رودخانه گوادیانا (پرتغال و اسپانیا) بکار گرفتند. نتایج آنان نشان داد که مدلسازی پیوند آب-انرژی-غذا در مناطقی که با کمبود منابع مواجه هستند قابل انجام است.

میرزایی و همکاران (۲۰۲۳) بر اساس یک مدل پیوند آب-انرژی-غذا به بررسی بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب و انرژی با استفاده از ابزارهای تصمیم گیری چند هدفه (MCDM) در کشور ایران پرداختند. نتایج آنان نشان داد که الگوی مبتنی بر WEFN منجر به افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب به مقدار ۲۰۰ و ۱۸ درصد و افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی انرژی به میزان ۱۵۶ و ۶۷ درصد نسبت به الگوی پایه گردیده است. با توجه به اینکه هدف تحقیق حاضر کاهش آلاینده های محیط زیستی و گازهای گلخانه ای و به تبع بهبود در بهره وری اقتصادی آب و انرژی در بخش کشاورزی بوده است.بنابراین این پژوهش با یک رویه جدید به این امر پرداخته است.

مواد و روش ها

مدل بهینه‌سازی پیوند آب-انرژی-غذا (WEFN) توانایی مدل‌سازی تعاملات و برهمکنش سه سامانه آب-انرژی -غذا، از جمله عرضه -تقاضا آب، عرضه-تقاضای انرژی، تقاضای زمین، عملکرد محصولات، تخصیص آب و انرژی را دارد. این مدل بر اساس مطالعه (لی و همکاران،۲۰۱۹) توصیف می‌شود. در این مطالعه سعی شده است یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه (MOP)[1]برای پیوند WEFN معرفی شود. که توانایی پردازش تصمیمات مدیریتی را داشته باشد. بنابراین در این مطالعه، بررسی گازهای گلخانه‌ای (CO_2) و میزان مصرف انرژی نهاده‌های کشاورزی جهت توسعه و کشاورزی پایدار در اولویت قرار گرفته است. شهرستان-های زابل، زهک ، هیرمند و هامون مهمترین شهرستان های محدوده مطالعاتی در حوضه آبریز سیستان هستند. داده‌های مورد نیاز پژوهش، از طریق بررسی نشریه‌ها و گزارشات، سالنامه‌های آماری کشاورزی سال ۹۸-۹۷ و مصاحبه با کارشناسان هر شهرستان و از طریق شرکت-های مهندسین مشاور (به دلیل تکمیل بودن اطلاعات) مربوطه گردآوری گردیده است.بنابراین با توجه به اینکه هدف اصلی تحقیق حاضر پیاده کردن یک برنامه چند هدفه با در نظر گرفتن منابع آب-انرژی-غذا برای کاهش گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته شده است بایستی

[1] Multi Objective Programming

سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی مدون برای حوضه با در نظر گرفتن حداقل انرژی صورت گیرد.با توجه به اینکه برای حوضه مشکل اصلی بحران آب هست بنابراین کاهش آب ممکن است منجر به کاهش تولید و سطح زیرکشت و به تبع آن منجر به کاهش سودآوری شود، پس برنامه‌ای که پیاده می‌گردد باید همه جوانب را مدنظر قرار دهد.لازم به ذکر است تمامی نمادهای بکار رفته در فرمول ها در بخش ضمیمه (پیوست ۱) ارائه شده است.

اهداف مدل

مدل‌سازی این پژوهش با توجه به سه سامانه آب- انرژی -غذا و جنبه‌های مختلف آن، اهداف متفاوتی را شامل می‌شود. این اهداف شامل (۱) حداکثرسازی سود ناخالص سیستم بوده که این هدف شامل مجموع درآمدهایی است که از تولید محصولات کشاورزی بعد از کسر مجموع هزینه‌ها شامل هزینه‌های آب و انرژی برای تولید مواد غذایی و هزینه آب برای محصولات به دست می‌آید.(۲) بهبود میزان کالری محصولات کشاورزی بوده که با توجه به شرایط منطقه برای حفظ امنیت غذایی و محیط‌زیست باید محصولاتی که از نظر استراتژیک دارای میزان کالری بیشتر و ارزش غذایی بالاتری هستند جایگزین شوند.

(۳) کاهش در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2) بوده که به منظور حفاظت از محیط‌زیست و توسعه پایدارکشاورزی، کاهش میزان آلاینده‌های محیط زیستی در بخش کشاورزی الزامی است. (۴) کاهش میزان آب- آبیاری برای محصولات کشاورزی حوضه مدنظر بوده که با توجه به شرایط منطقه و خشکسالی‌های سال‌های اخیر و نبود آب‌های زیرزمینی، این هدف به دنبال کاهش در میزان هدر رفت و تلفات آب آبیاری و حداقل استفاده از آب‌های سطحی هست.

(۵) کاهش میزان مصرف انرژی کل نهاده‌ها در بخش کشاورزی منطقه موردنظر بوده تا تولید محصولات کشاورزی که نیاز به انرژی‌های همچون نیروی کار، ماشین‌آلات کشاورزی، دیزل، کود، بذر، سم و غیره دارد، در حداقل استفاده از انرژی نهاده‌ها محقق شود. فرم جبری این اهداف در بخش ضمیمه (پیوست ۲) ارائه شده است.

با توجه به اینکه روش حل مدل یک روش برنامه‌ریزی غیرخطی چند هدفه هست، بنابراین در این روش برای حل مدل MOP فقط به یک جواب بهینه می‌رسیم .در واقع اساس حل مدل برنامه‌ریزی چند هدفه غیر خطی MOP رسیدن به یک جواب بهینه هست. همسو با تحقیق حاضر در مطالعه (آهنی و همکاران، ۲۰۲۳ :مردانی نجف آبادی و همکاران، ۲۰۱۹) که از برنامه ریزی غیر خطی چند هدفه با اهدافی متفاوت از تحقیق حاضر استفاده کردند. در نهایت به یک جواب بهینه دست یافتند.

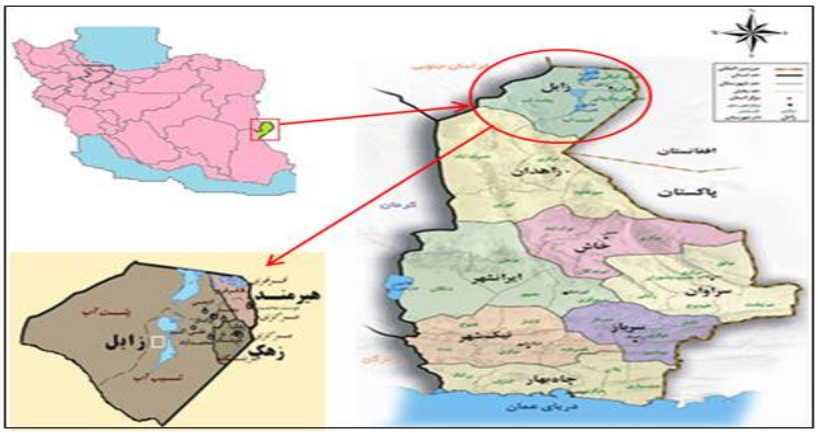
محدودیت‌های مدل

در مدل برنامه ریزی چند هدفه غیر خطی یکسری محدودیت کاربردی در نظر قرار گرفته شده است. این محدودیت ها شامل (۱) محدودیت دسترسی به آب های سطحی با توجه به فقدان آب های زیرزمینی در حوضه (۲) محدودیت دسترسی به انرژی نهاده‌های کشاورزی در تولید مواد غذایی (۳) محدودیت حداقل و حداکثری سطح زیرکشت محصولات کشاورزی، فرم جبری این محدودیت ها در بخش ضمیمه (پیوست ۲) ارائه شده است

منطقه مورد مطالعه

منطقه سیستان با طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی در بخش شمال شرق استان سیستان و بلوچستان واقع شده است و با مساحت ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع در حدود ۸/۱ درصد از خاک این استان را به خود اختصاص داده است. این منطقه (سیستان) به لحاظ تقسیمات کشوری دارای پنج شهرستان (زابل، زهک و هیرمند،هامون و نیمروز)، هفت شهر، ۱۸ دهستان و بیش از ۹۸۵ روستا و آبادی است (آمارنامه کشاورزی، ۲۰۱۷).

به لحاظ شرایط اقلیمی، آب و هوای حاکم بر منطقه سیستان در تمام طبقه‌بندی‌های اقلیمی از نوع گرم و خشک است. میانگین دمای سالانه ۲۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۳۸ درصد و متوسط بارندگی در منطقه سیستان حدود ۵۸ میلی‌متر (یعنی حدود ۲۵ درصد بارندگی در کشور و حدود ۷ درصد متوسط بارندگی



شکل ۲-موقعیت جغرافیایی منطقه سیستان و شهرستان‌های واقع در آن

جهانی) است که این مقدار بارش تأثیر چندانی در بهبود وضعیت کشاورزی دشت سیستان ندارد. این در حالی است که، میزان تبخیر و تعرق سالانه در دشت سیستان ۸۰ برابر میزان بارندگی (بین ۴۵۰۰ تا ۵۰۰۰ میلی‌متر) در این منطقه برآورد شده است. مهمترین عامل مشخصه آب و هوایی سیستان بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است که از اواسط خرداد ماه شروع به وزیدن می‌کند و تا اوایل مهرماه ادامه دارد و جهت آن از شمال غربی به جنوب شرقی است و سرعت آن گاه تا بالای ۱۰۰ کیلومتر در ساعت نیز می‌رسد. از عواقب آن می‌توان به انتقال شن و ماسه و تشدید فرسایش و افزایش میزان تبخیر اشاره کرد (گزارشات سازمان هواشناسی ایران، پژوهشکده اقلیم شناسی کشور، ۲۰۱۷). به لحاظ وضعیت منابع آب سطحی، قسمت اعظم آب مورد نیاز کشاورزی در دشت سیستان تنها از طریق جریانات آب سطحی رودخانه هیرمند تأمین می‌شود. لذا، افزایش سطح زیرکشت محصولات زراعی در این دشت تا حد زیادی وابسته به میزان آب ورودی از کشور همسایه (افغانستان) هست. این امر، سبب شده تا با ایجاد نوسان در حجم آب (آورد) رودخانه هیرمند، سطح زیرکشت محصولات زراعی در دشت سیستان کم یا زیاد شود علاوه بر جریانات آب سطحی رودخانه هیرمند، دریاچه یا تالاب بین‌المللی هامون با سه بخش هامون پوزک، هامون صابری و هامون هیرمند و مخازن چاه نیمه از دیگر منابع تأمین-کننده آب سطحی در دشت سیستان هستند که وجود آن-ها تماماً وابسته به جریانات آب سطحی رودخانه هیرمند است. به لحاظ وضعیت منابع آب زیرزمینی، تعداد محدودی از سفره‌های آب زیرزمینی در دشت سیستان وجود دارند که حفر و تجهیز چاهک‌های کم‌عمق در آن‌ها تنها منابع تأمین آب بهره‌برداری‌های کوچک را در دوران کم‌آبی و خشکسالی فراهم می‌سازد. می‌توان خاطر نشان کرد که منطقه سیستان فاقد منابع آب زیرزمینی قابل توجه هست و تنها تعداد کمی چشمه و قنات در این منطقه وجود دارند براساس گزارشات سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، دشت سیستان دارای ۱۳۵ هزار هکتار اراضی قابل کشت است که از این سطح، سالانه بر حسب میزان آب تخصیصی تنها در حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد زیرکشت محصولات زراعی و باغی قرار می‌گیرد. نوسانات به وجود آمده در آورد رودخانه هیرمند و عدم وجود منابع آب مطمئن علت اصلی کاهش سطح زیرکشت محصولات زراعی در این منطقه است (آمارنامه کشاورزی، ۲۰۱۷). عمده‌ترین محصولات زراعی در دشت سیستان گندم، جو، یونجه، پیاز،خربزه و هندوانه می‌باشند. علاوه بر محصولات مذکور محصولات دیگری نظیر عدس و ماش و...در مساحت کم زیرکشت می‌روند.مجموع سطح زیرکشت محصولات زراعی و باغی و گلخانه‌ای در (جدول ۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مجموع سطح زیرکشت محصولات زراعی و باغی دشت سیستان برای سال زراعی (۹۸-۱۳۹۷)

نوع محصولات بر حسب کشت	سطح زیرکشت (هکتار)		درصدی از کل استان
	استان سیستان و بلوچستان	دشت سیستان	
محصولات زراعی	۱۷۱۳۰۸	۶۱۶۴۲	۲۶/۲
محصولات باغی	۶۷۹۵۲	۱۰۵۸	۱/۵۶
محصولات گلخانه‌ای	۲۳۶	۶۳	۲۶/۷
مجموع	۲۳۹۴۹۶	۶۲۷۶۳	۲۶/۲

مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، ۹۸-۱۳۹۷

لذا با توجه به شرایط منطقه و بحران کم آبی نیاز به طراحی یک رویکرد همه‌جانبه و مدیریت و برنامه ریزی مدون و کارشناسانه بیش از قبل در این منطقه در اولویت هست. بنابراین با در نظر گرفتن سایر بخش (انرژی-غذا) درکنار بخش منابع آب که در مطالعات پیشین (سردار شهرکی، ۲۰۱۶) به این امر پرداخته گردیده و حتی نتایجی مبنی بر اینکه وجود منابع آب در منطقه منجر به کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و رونق در کشاورزی پایدار می‌گردد بدست آمده است.لذا تحقیق حاضر با در نظر گرفتن سایر منابع در کنار مبحث آب با یکسری اهداف و محدودیت هاکه تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه انجام نگردیده بصورت کلی در حوضه سیستان پرداخته است.هدف یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه با بکارگیری رویکرد پیوند آب- انرژی- غذا در حوضه مطالعاتی برای الگوی کشت مناسب با در نظر گرفتن نهاده‌هایی که کمترین انرژی را بهمرا داشته باشد، و به تبع آن این امر منجر به کاهش گازهای گلخانه ای گردد، هست به این امید که اطلاعات سودمندی جهت تدوین استراتژی‌های مناسب برای بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی و کاهش اثرات محیط‌زیستی در محدوده مطالعاتی دشت سیستان فراهم آورد.

نتایج و بحث

در (جدول ۲) فهرست داده‌های اولیه برای پژوهش حاضر ارائه شده است. براساس نتایج حاصل از جدول مذکور، عمده محصولات زراعی بررسی شده در این پژوهش شامل گندم، جو، یونجه، پیاز، خربزه، هندوانه در نظر گرفته شده است. متوسط عملکرد محصولات زراعی نشان دهنده این است که خربزه و هندوانه تقریبا با ۱۹/۵ تن بیشترین و جو با ۲/۹ تن کمترین میزان عملکرد را به خود اختصاص داده است. در بین محصولات مورد بررسی، محصول جو کمترین میزان مصرف سم (علف-کش، حشره‌کش و قارچ‌کش) را داراست. از نظر کالری در هکتار محصول جو با ۳۸۹۰ کیلو در هکتار بیشترین و محصول هندوانه با ۲۰۰ کیلو در هکتار کمترین میزان کالری را دارا می‌باشند. همچنین محصول یونجه به طور متوسط به میزان ۱۲۰۵۰ متر مکعب در هکتار، بیشترین نیاز آبی و محصولات جو و گندم به ترتیب به طور متوسط به میزان ۳۱۹۰ و ۳۵۲۲/۵ کمترین مقدار نیاز آبی را به خود اختصاص داده‌اند و در نهایت بیشترین سطح زیرکشت را محصول گندم با ۲۵۸۰۰ هکتار و کمترین سطح زیرکشت به محصول پیاز اختصاص دارد.

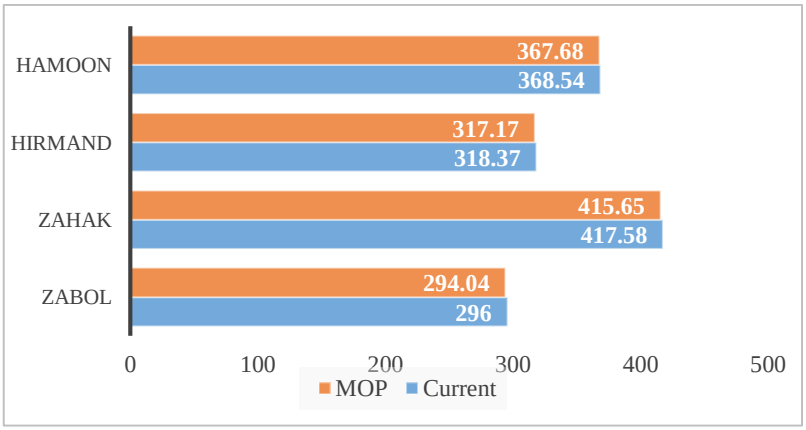
با توجه به اینکه یکی از اهداف این پژوهش، استفاده کمتر از نهاده‌های انرژی (انرژی نیروی کار، کود، سموم شیمیایی،ماشین‌آلات،دیزل، بذر و غیره) در بخش کشاورزی هست به همین دلیل میزان مصرف انرژی کل نهاده‌ها به تفکیک برای محصولات کشاورزی در مناطق مختلف حوضه در قالب (جدول ۳) نشان داده شده است. نتایج جدول بر طبق اهداف بکار رفته در قسمت مواد و روش ارائه گردیده است. رویکرد مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که میزان مصرف انرژی نهاده‌ها در بخش کشاورزی برای تولید مواد غذایی (رابطه انرژی-غذا)

بکار می‌رود. با توجه به نتایج (جدول ۳) بعد از اعمال رویکرد مدل پیشنهادی تقریبا تمامی محصولات بجز محصول گندم و جو، میزان مصرف انرژی در بخش کشاورزی کاهش یافته است. درصد میزان تغییرات انرژی نهاده‌های کشاورزی در حالت جاری و بعد از اعمال رویکرد مدل پیشنهادی چند هدفه MOP برای مناطق مختلف حوضه نشان داد که در شهرستان‌های زابل،زهک،هیرمند و هامون میزان مصرف انرژی نهاده-های کشاورزی به ترتیب ۰/۶-، ۰/۴-، ۰/۳۷- و ۰/۲۳- درصد کاهش یافته است. بنابراین بر اساس نتایج بدست آمده از مدل میزان مصرف انرژی نهاده ها در حوضه مورد بررسی از مقدار ۱۴۰۰/۳۱۵میلیون مگاژول در هکتار در حالت جاری به مقدار ۱۳۹۶/۸۰۴ میلیون مگاژول در هکتار در حالت MOP تغییر پیدا کرده است،این امر نشان دهنده این است که با اجرای پیوند WEFN میزان مصرف کل انرژی در دشت سیستان حدود ۰/۲۵- درصد کاهش یافته است. با توجه به اینکه نهاده‌های انرژی بکار رفته برای تولید تمامی محصولات در بخش کشاورزی در شهرستان زابل بیشترین درصد کاهش را به خود اختصاص داده است.انتظار می‌رود که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2) در این شهرستان نسبت به سایر مناطق به مقدار بیشتری کاهش یابد.بنابراین با توجه به اینکه یکی از فاکتورهای توسعه پایدار و کاهش آلاینده‌های محیط‌زیستی کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای هست می‌توان نتیجه گرفت که یک ارتباط تنگاتنگی بین میزان مصرف انرژی نهاده‌ها و انتشار گازهای گلخانه ای در بخش کشاورزی وجود دارد.

جدول۲- فهرست داده‌های اولیه محصولات زراعی

محصولات	سطح زیرکشت (ha)	متوسط نیاز آبی محصولات (m^3)	متوسط عملکرد محصولات (ton)	میزان مصرف کود شیمیایی پتاس ($ton.ha^{-1}$)	مصرف سموم شیمیایی ($L.ha^{-1}$)	کالری محصولات ($Kg.ha^{-1}$)
گندم	۲۵۸۰۰	۳۵۲۲/۵	۳/۲۶	۰/۰۵۰۵۶	۱/۵	۳۵۰۰
جو	۱۹۲۰	۳۱۹۰	۲/۹	۰/۰۵۰۵۶	۱/۲	۳۸۹۰
یونجه	۱۰۰۱/۹	۱۲۰۵۰	۶/۶	۰/۰۵۲۰۲	۲	۲۳۰
پیاز	۱۹۰/۵	۷۴۱۰	۱۵/۵	۰/۰۵۲۵	۲/۲	۴۰۰
خربزه	۴۴۶۹/۲	۸۰۵۰	۱۹/۲	۰/۰۵۰۷۵	۱/۵	۳۵۰
هندوانه	۲۳۵۳/۸	۸۰۷۵	۱۹/۹	۰/۰۵۰۹	۱/۵	۲۰۰

مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، ۹۸-۱۳۹۷



شکل ۳- میزان مصرف انرژی نهاده‌های کشاورزی در مناطق مختلف در حالت جاری و

MOP بر حسب (میلیون مگاژول بر هکتار)

جدول ۳. میزان انرژی نهاده‌های کشاورزی طی اهداف مختلف رویکرد مدل پیشنهادی در شرایط جاری و چند هدفه برای مناطق مختلف حوضه بر حسب (مگاژول بر هکتار)

محصولات	مناطق	Current	MinCO2	MinWater	MinEnergy	MOP
گندم	زابل	۱۹۹۴۰۲۳۱۰/۹	۵۹۸۲۰۶۹۳/۲۷	۵۹۸۲۰۶۹۳/۲۷	۵۹۸۲۰۶۹۳/۲۷	۲۱۷۹۹۹۸۹۸/۹
گندم	زهک	۳۳۷۵۶۲۲۶۴/۶	۱۰۱۲۶۸۶۷۹/۴	۱۰۱۲۶۸۶۷۹/۴	۱۰۱۲۶۸۶۷۹/۴	۴۰۲۶۸۷۱۷۰/۴
گندم	هیرمند	۱۴۷۲۵۰۹۳۷/۳	۴۴۱۷۵۲۸۱/۱۸	۴۴۱۷۵۲۸۱/۱۸	۴۴۱۷۵۲۸۱/۱۸	۱۹۶۱۷۱۵۱۲/۲
گندم	هامون	۳۰۶۷۷۲۷۸۶	۹۲۰۳۱۸۳۵/۸	۹۲۰۳۱۸۳۵/۸	۹۲۰۳۱۸۳۵/۸	۳۹۹۱۵۳۶۹۹/۸
جو	زابل	۳۱۹۰۷۰۲۹/۷	۹۵۷۲۱۰۸/۹۱۱	۹۵۷۲۱۰۸/۹۱۱	۹۵۷۲۱۰۸/۹۱۱	۴۱۲۶۰۶۵۰/۴
جو	زهک	۱۵۲۴۹۲۷۵/۵۸	۴۵۷۴۷۸۲/۶۷۴	۴۵۷۴۷۸۲/۶۷۴	۴۵۷۴۷۸۲/۶۷۴	۱۸۶۸۵۹۱۹/۴۹
جو	هیرمند	۲۴۰۳۲۸۴۱/۳۷	۷۲۰۹۸۵۲/۴۱۲	۷۲۰۹۸۵۲/۴۱۲	۷۲۰۹۸۵۲/۴۱۲	۳۲۴۵۰۲۶۲/۳۸
جو	هامون	۱۳۸۱۱۹۷۷/۸	۴۱۴۳۵۹۳/۳۴	۴۱۴۳۵۹۳/۳۴	۴۱۴۳۵۹۳/۳۴	۱۸۳۳۶۷۶۸/۹۲
یونجه	زابل	۹۵۱۴۹۱۶/۸۹۶	۲۸۵۴۴۷۵/۰۶۹	۲۸۵۴۴۷۵/۰۶۹	۲۸۵۴۴۷۵/۰۶۹	۱۸۵۴۴۷۵/۰۶۹
یونجه	زهک	۱۵۸۲۹۲۹۳/۲	۴۷۴۸۷۸۷/۹۶۱	۴۷۴۸۷۸۷/۹۶۱	۴۷۴۸۷۸۷/۹۶۱	۲۶۴۵۲۷۹/۶
یونجه	هیرمند	۱۷۹۳۳۱۸۱/۸۱	۵۳۷۹۹۵۴/۵۴۴	۵۳۷۹۹۵۴/۵۴۴	۵۳۷۹۹۵۴/۵۴۴	۲۳۷۹۹۵۴/۵۴۴
یونجه	هامون	۳۹۴۷۵۵۵/۷۴۵	۱۱۸۴۲۶۶/۷۲۴	۱۱۸۴۲۶۶/۷۲۴	۱۱۸۴۲۶۶/۷۲۴	۹۸۴۲۶۶/۷۲۴
پیاز	زابل	۷۰۸۷۲۹/۳۳۳	۲۱۲۶۱۸/۷۹۹۹	۲۱۲۶۱۸/۷۹۹۹	۲۱۲۶۱۸/۷۹۹۹	۱۰۰۶۱۸/۷۹۹۹
پیاز	زهک	۱۴۱۱۱۸۶/۷۲۵	۴۲۳۳۵۶/۰۱۷۵	۴۲۳۳۵۶/۰۱۷۵	۴۲۳۳۵۶/۰۱۷۵	۴۲۳۴۵۶/۰۱۷۵
پیاز	هیرمند	۲۵۶۳۱۳۱/۸۱	۷۶۸۹۳۹/۵۴۳	۷۶۸۹۳۹/۵۴۳	۷۶۸۹۳۹/۵۴۳	۷۶۸۹۳۹/۵۴۳
پیاز	هامون	۱۹۸۴۸۶۴/۲۶۸	۵۹۵۴۵۹/۲۸۰۳	۵۹۵۴۵۹/۲۸۰۳	۵۹۵۴۵۹/۲۸۰۳	۵۹۹۴۵۹/۲۸۰۳
خربزه	زابل	۱۵۸۵۹۰۴۷/۲۵	۴۷۵۷۷۱۴/۱۷۵	۴۷۵۷۷۱۴/۱۷۵	۴۷۵۷۷۱۴/۱۷۵	۴۷۵۷۶۱۴/۱۷۵
خربزه	زهک	۳۱۷۷۵۵۴۶/۳۷	۹۵۳۲۶۶۳/۹۱	۹۵۳۲۶۶۳/۹۱	۹۵۳۲۶۶۳/۹۱	۴۹۳۹۳۹۷/۲۷
خربزه	هیرمند	۸۹۴۰۸۱۰۱/۵۳	۲۶۸۲۲۴۳۰/۴۶	۲۶۸۲۲۴۳۰/۴۶	۲۶۸۲۲۴۳۰/۴۶	۱۶۴۵۶۷۴۲/۳
خربزه	هامون	۲۰۹۵۹۳۱۶/۸۵	۶۲۸۷۷۹۵/۰۵۴	۶۲۸۷۷۹۵/۰۵۴	۶۲۸۷۷۹۵/۰۵۴	۱۰۳۴۳۰۴۳/۵۸
هندوانه	زابل	۳۸۴۳۹۸۵۹/۸۵	۱۱۵۳۱۹۵۷/۹۵	۱۱۵۳۱۹۵۷/۹۵	۱۱۵۳۱۹۵۷/۹۵	۱۱۵۳۱۹۵۷/۹۵
هندوانه	زهک	۱۵۷۵۱۱۶۰/۵۱	۴۷۲۵۳۴۸/۱۵۴	۴۷۲۵۳۴۸/۱۵۴	۴۷۲۵۳۴۸/۱۵۴	۴۷۲۵۳۴۸/۱۵۴
هندوانه	هیرمند	۳۷۱۷۷۱۹۹/۱	۱۱۱۵۳۱۵۹/۷۳	۱۱۱۵۳۱۵۹/۷۳	۱۱۱۵۳۱۵۹/۷۳	۶۰۶۵۶۸۸/۱۳
هندوانه	هامون	۲۱۰۶۲۳۶۷/۵۵	۶۳۱۸۷۱۰/۲۶۶	۶۳۱۸۷۱۰/۲۶۶	۶۳۱۸۷۱۰/۲۶۶	۱۵۱۸۷۱۰/۲۶۶

منبع یافته های تحقیق

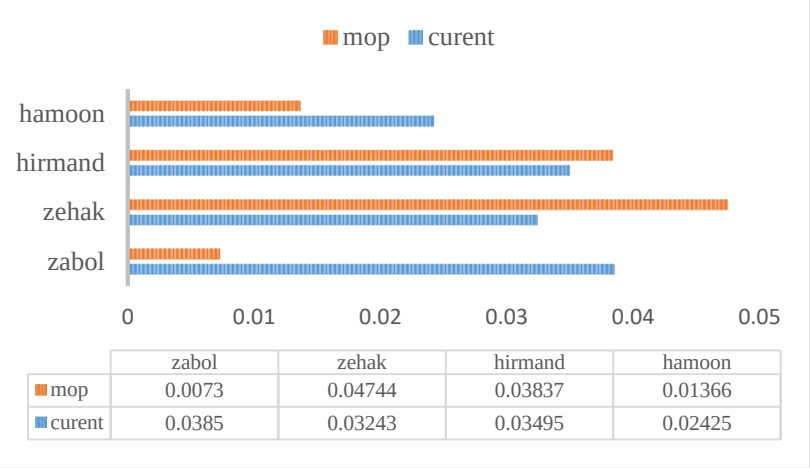
میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای محصولات کشاورزی در شهرستان‌های مختلف حوضه در (جدول ۴) نشان داده شده است.بر اساس نتایج جدول، طبق رویکرد مدل پیشنهادی، درصد تغییرات میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 برای تمامی محصولات حوضه در حالت بهینه نسبت به حالت جاری در شهرستان‌های زابل، زهک، هیرمند و هامون به ترتیب ۸۱/۰۳-، ۴۶/۲، ۹/۷ و ۴۳/۶۷- درصد بدست آمد. نتایج جدول نشان می-دهد که با اعمال پیوند WEFN میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل حوضه به میزان ۰/۴۹- درصد کاهش یافته است. همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 برای مناطق مختلف در (شکل ۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل در شهرستان های زهک و هیرمند در حالتMOP این مقدار نسبت به حالت جاری افزایش داشته است.علت این امر این است که در سال های اخیر افزایش مصرف انرژی نهاده‌های کشاورزی منجر به افزایش انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای این دو شهرستان شده است. از این رو بهینه‌سازی انرژی مصرفی نهاده‌ها و در نتیجه کاهش آلاینده‌های زیست-محیطی در قالب در نظرگرفتن پیوند آب-انرژی-غذا در یک چرخه کشاورزی می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. با این تفاسیر نتایج مدل پیشنهادی نشان

داد که کاهش در گازهای گلخانه‌ای با توجه به اینکه یکی از اساسی‌ترین اهداف حفاظت از محیط‌زیست هست منجر به کاهش در میزان آلاینده‌ها و توسعه پایدار کشاورزی در کل حوضه می‌گردد. در واقع این آمار و ارقام نشان می‌دهد که میزان انرژی مصرفی نهاده‌ها در بخش کشاورزی و همچنین از سموم و کودهای شیمیایی در کل حوضه مطالعاتی بعد از اعمال رویکرد مدل WEFN کمتر استفاده شده است.

جدول ۴. میزان انتشار گازهای گلخانه ای (CO_2) محصولات کشاورزی طی اهداف مختلف رویکرد مدل پیشنهادی در شرایط جاری و چند هدفه برای مناطق مختلف (میلیون تن)

محصولات	حالات مدل	زابل	زهک	هیرمند	هامون	مجموع
گندم	جاری	۰/۰۱۲۷	۰/۰۱۴۷	۰/۰۱۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۴۹
	چند هدفه MOP	۰/۰۰۴	۰/۰۳۰	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۵۸
	درصد تغییر	-۷۰	۳۶/۷	۲۴/۱۹	۰/۰۰	-۹/۰۷۲
جو	جاری	۰/۰۲۲۵	۰/۰۱۳۴	۰/۰۱۹۴	۰/۰۱۰۵	۰/۰۶۵۷
	چند هدفه MOP	۰/۰۰۲۷	۰/۰۱۴۴	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۳۷۳
	درصد تغییر	-۸۷/۸	۷/۴	۳/۵۵	-۹۸/۵۹۱	-۱۷۵/۴
یونجه	جاری	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۰۳	۰/۰۰۱۰۷	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۲۸۱
	چند هدفه MOP	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۱۴۴	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۱۹۷
	درصد تغییر	-۷۰	۴۰	-۷۰	-۷۰	-۱۷۰
پیاز	جاری	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۹
	چند هدفه MOP	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴
	درصد تغییر	-۷۰	۴۰	-۷۰	-۷۰	-۱۷۰
خربزه	جاری	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶
	چند هدفه MOP	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵
	درصد تغییر	-۷۰	-۵۶/۱	-۷۰	۴۰	-۱۵۶/۱
هندوانه	جاری	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۷۷
	چند هدفه MOP	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۴۵
	درصد تغییر	-۷۰	-۷۰	۱۳/۱	-۷۰	-۱۹۶/۹

منبع یافته های تحقیق



	zabol	zehak	hirmand	hamoon
mop	0.0073	0.04744	0.03837	0.01366
curent	0.0385	0.03243	0.03495	0.02425

شکل ۴- میزان انتشار گازهای گلخانه ای برای مناطق مختلف حوضه (میلیون تن)

بهره‌وری اقتصادی بعضی از متغیرهای مهم مورد استفاده در مدل پیوند WEFN به تفکیک مناطق منطقه در حالت MOP در (جدول ۵) ارائه شده است. برای بدست آوردن بهره‌وری اقتصادی، سود ناخالص هر منطقه بر متغیر مدنظر در مدل تقسیم می‌گردد. اطلاعات جدول مبنی بر تغییرات بهره‌وری اقتصادی متغییرهای مهم رویکرد مدل پیشنهادی WEFN در حالت چندهدفه نسبت به حالت جاری هست. براساس نتایج جدول، میزان بهره-وری اقتصادی انرژی نهاده‌ها شامل(انرژی نیروی-کار،انرژی دیزل،انرژی ماشین‌آلات و...)، در شهرستان-های زابل،زهک،هیرمند و هامون در حالت جاری به ترتیب،(۰/۰۱۱۵، ۰/۰۱۵۵، ۰/۰۱۲۸ و ۰/۰۱۱۹) میلیون ریال بر مگاژول بوده و در حالت چند هدفه (MOP) این مقادیر در شهرهای مذکور به ترتیب (۰/۰۱۲۷، ۰/۰۱۸۵، ۰/۰۱۲۹ و۰/۰۱۲۹) میلیون ریال بر مگاژول تغییر پیدا کرده است نتایج درصد بهره‌وری اقتصادی میزان مصرف انرژی نهاده‌ها در شهرستان‌ها نشان می‌دهد که این میزان درحالت چند هدفه نسبت به حالت جاری افزایش پیدا کرده است.بنابراین میزان مصرف انرژی نهاده‌ها در مجموع دشت سیستان ۱۰/۲۵ درصد افزایش داشته است. طبق جدول میزان بهره‌وری اقتصادی برای آب‌آبیاری در شهرهای مذکور در حالت جاری مقدار (۰/۰۴۸۲، ۰/۰۵۹۹، ۰/۰۵۳۰ و۰/۰۵۰۸) میلیون ریال بر متر مکعب بوده و بعد از اعمال رویکرد پیوند آب و انرژی و غذا در حالت چند هدفه در شهرهای مذکور به مقدار(۰/۰۵۲۰، ۰/۰۶۳۹، ۰/۰۶۰۰ و ۰/۰۵۳۸) میلیون ریال بر متر مکعب تغییر پیدا کرده است. نتایج نشان می‌دهد که بهره‌وری اقتصادی میزان مصرف آب‌آبیاری در شهرستان های مذکور (۷/۹۸، ۱۶/۷، ۱۳/۲۱ و ۵/۹۱) درصد افزایش داشته است. علت این امر تغییر در الگوی کشت محصولات زراعی هست.با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و خشکسالی‌های پی‌درپی برای بالارفتن راندمان آبیاری رویکرد مدل به سمت محصولاتی نظیر گندم و جو سوق داده شده است،در واقع این محصولات به میزان مصرف آب و انرژی کمتری نیاز دارند. همچنین نتایج میزان بهره‌وری اقتصادی انتشار گازهای‌گلخانه‌ای CO_2 در شهرستان‌ها نشان می‌دهد که این میزان تغییر در شهرستان زهک نسبت به سایر مناطق بیشتر بوده است.نتایج میزان انتشار CO_2 نشان داد که با توجه به اینکه برای توسعه کشاورزی مدرن و پایدار هر چه این میزان انتشار کاهش بیشتری داشته باشد، باعث پایداری در کشاورزی و کاهش در آلاینده‌های محیطزیستی می-شود. بنابراین با تغییر در الگوی کشت حوضه رویکرد مدل به سمت محصولاتی نظیر گندم و جو سوق داده شده است، علت این امر هم این است که کشاورزان کودها و سموم شیمیایی کمتری را برای این محصولات نسبت به سایر محصولات استفاده می‌کنند، در نهایت این رویه باعث کاهش در آلاینده‌های محیطزیستی به عنوان یک فاکتور توسعه پایدار کشاورزی می‌شود.

جدول۵- بهره وری اقتصادی متغییرهای مهم در رویکرد پیشنهادی آب – انرژی – غذا برای کاهش آلاینده های محیط‌زیستی (ملیون ریال بر هکتار)

متغییرها	حالات مدل	زابل	زهک	هیرمند	هامون	مجموع
بهره وری اقتصادی	جاری	۰/۰۱۱۵	۰/۰۱۵۵	۰/۰۱۲۸	۰/۰۱۱۹	۰/۰۵۱۷
مصرف انرژی	چند هدفه	۰/۰۱۲۷	۰/۰۱۸۵	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱۲۹	۰/۰۵۷۰
	درصد تغییر	۱۰/۴۱۷	۱۹/۳۹	۱/۱۲۶	۸/۴۰	۳۹/۴۸
بهره وری اقتصادی	جاری	۰/۰۴۸۲	۰/۰۵۹۹	۰/۰۵۳۰	۰/۰۵۰۸	۰/۲۱۱۸
میزان مصرف آبیاری	چند هدفه	۰/۰۵۲۰	۰/۰۶۳۹	۰/۰۶۰۰	۰/۰۵۳۸	۰/۲۳۵۷
	درصد تغییر	۷/۹۸	۱۶/۷۰	۱۳/۲۱	۵/۹۱	۴۳/۸۰
بهره وری اقتصادی	جاری	۰/۱۸۸	۰/۲۰۸	۰/۱۸۲	۰/۱۷۹	۰/۷۵۶
میزان انتشار گازهای	چند هدفه	۰/۲۰۹	۰/۲۸۸	۰/۱۹۲	۰/۱۸۹	۰/۸۷۷
گلخانه ای	درصد تغییر	۱۱/۲۴	۳۸/۵۵	۵/۵۰	۵/۵۸	۶۰/۸۸

منبع یافته های تحقیق

مطابق با نتایج بدست آمده، میزان انرژی نهاده های کشاورزی که یکی از فاکتورهای مهم در کشاورزی پایدار و مدرن هست در حدود ۰/۲۵- درصد کاهش یافته است. البته این کاهش ناچیز بسته به وزن‌هایی است که به مدل داده شده است هرچند در هدف حداقل انرژی این میزان کاهش محسوس‌تر دیده شد.همسو با تحقیق حاضر در مطالعه (آهنی و همکاران، ۱۴۰۲ و کرمیان و همکاران، ۲۰۲۳) که نهاده‌های انرژی کشاورزی را در بخش کشاورزی مورد بررسی قرار داده‌اند مشاهده گردید که در حوضه مطالعاتی آنان این پارامتر در کل حوضه کاهش داشته است. به عنوان مثال در مطالعه کرمیان و همکاران (2023) میزان استفاده از نهاده انرژی در بخش کشاورزی کاهش ۱۲/۷۱ درصدی داشته است. با توجه به اینکه کاهش میزان مصرف انرژی نهاده‌ها منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می-شود،بنابراین در تحقیق حاضر انتشار گازهای گلخانه‌ای در دشت سیستان در حالت بهینه نسبت به جاری ۰/۴۹ درصد کاهش یافته است. این میزان در هدف مینیمم کردن گازهای گلخانه‌ای CO_2 در حوضه مورد بررسی نسبت به حالت جاری به میزان ۶۷/۷ درصد کاهش داشته است علت این تفاوت محسوس را می‌توان مصالحه[1] بین اهداف مدل پیشنهادی که از طریق وزن‌های انتخابی که برای هر هدف متاثر می‌شود، دانست. با توجه به کاهش ۰/۴۹ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای در پژوهش حاضر در بعضی از مطالعات مشاهده گردیده که این متغییر به میزان بیشتری کاهش پیدا کرده است. به عنوان مثال، در مطالعه لی و همکاران (2019) که در واقع دو هدف حداکثر سازی سود و حداقل سازی میزان CO_2 را مد نظر قرار دادند، میزان انتشار گازهای گلخانه ای به مقدار ۲۰/۵ درصد کاهش داشته است. هر چه این پارامتر به میزان بیشتری کاهش یابد باعث پایداری محیط زیست و کاهش آلاینده محیط زیستی می‌شود. لذا بهینه‌سازی مدل برنامه‌ریزی ریاضی با در نظر گرفتن پیوند WEFN از یک‌سو باعث بهبود اقتصادی و از سوئی دیگر باعث بهینه‌سازی درکاهش هزینه‌ها و کاهش انتشارگازهای گلخانه‌ای CO_2 می‌شود. در مطالعه حاضر، الگوی جاری برای مناطق مورد بررسی نه تنها بهره‌وری اقتصادی آب را سرلوحه خود قرار داده، بلکه به میزان بهره‌وری اقتصادی مصرف انرژی نیز درمناطق مورد مطالعه پرداخته است.بنابراین در پژوهش حاضر اجرای رویکرد

[1] Compromise

یکپارچه WEFN، باعث افزایش در میزان بهره‌وری اقتصادی آب وانرژی می‌شود.ثمره این الگو، دستیابی به اهداف توسعه پایدار در بهره‌برداری بهینه از منابع و عوامل تولید بصورت مستمر و پایدار است. همسو با نتایج حاصل از پژوهش حاضر میزان بهره‌وری اقتصادی بر اساس مدل پیوند WEFN برای میزان مصرف آب و انرژی به ترتیب در دشت سیستان (۱۱/۳ و ۱۰/۲۵) درصد بدست آمد، همسو با نتایج حاصل از پژوهش حاضر در مطالعه میرزایی و همکاران (2023) که در ایران انجام گرفت، میزان بهره‌وری اقتصادی آب به مقدار ۱۸ درصد و بهره‌وری اقتصادی انرژی به میزان ۶۷ درصد نسبت به الگوی پایه افزایش داشته است. با توجه به اقلیم و نوسانات منطقه و شرایط خاصی که با وجود کم‌آب شدن رودخانه هیرمند و همچنین مسائل سیاسی که در زمینه مسئله آب حکمفرماست لازم است شرایط عدم‌حتمیت بررسی گردد. منتها کالیبره کردن مدل با این حجم وسیع از داده و معادله نیازمند صرف زمان و هزینه زیادی نیز هست. اضافه شدن یک مدل عدم‌حتمیت به روز و مناسب به مدل مذکور قطعاً باعث افزایش زمان مدلسازی و بیات شدن نتایج حاصله می شود. لذا این مطالعه با توجه به شرایطی که برای الگوی کشت مهیا بود از رویکرد پیوند آب-انرژی-غذا با یکسری محدودیت‌های کاربردی در حوضه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. انتظار می‌رود که در مطالعات آینده شرایط عدم‌حتمیت در مدل توسعه داده شده این مطالعه پرداخته شود.

نتیجه‌گیری

رویکرد پیوند آب- غذا- انرژی ارتباط و به‌هم پیوستگی منابع را بیان می‌کند. این رویکرد در جریان نیل به توسعه پایدار تقویت شده و در حال توسعه هست. از این‌رو جهت‌دهی سرمایه‌ها و منابع بایستی به‌سوی پایدارسازی خدمات اکوسیستمی بر مبنای مدیریت پیوند منابع حیاتی محیط‌زیست باشد تا قابلیت مدیریت پیچیده منابع و ارتباطات میان آن‌ها فراهم گردد. همچنین بکارگیری این رویکرد چارچوبی انسجام‌بخش و مناسب برای دوری از رویکردهای تک‌بعدی است، که در آن هر یک از منابع به‌صورت مجزا بررسی می‌شوند. با توجه به کاهش گازهای گلخانه‌ای و میزان مصرف انرژی و همچنین بهبود در بهره‌وری آب و انرژی که از این مطالعه حاصل شد، می‌توان نتیجه گرفت که به کارگیری مدیریت توام و یکپارچه WEFN با توجه به مساله خشکسالی که مدت‌ها حاکم بر منطقه هستش می‌تواند اطلاعات کارشناسانه و مفیدی را در اختیار سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان حوضه قرار دهد،در واقع اجرای این رویکرد علاوه بر کاهش در مصرف آب و انرژی منجر به کاهش در آلاینده‌های محیط‌زیستی و گازهای گلخانه‌ای می‌شود که می‌تواند منجر به توسعه کشاورزی پایدار در این حوضه گردد.در راستای نتایج حاصل از تحقیق می‌توان پیشنهادهای زیر را ارائه داد:

نتایج مدل‌سازی ریاضی رویکرد پیوند WEFN نشان داد، علاوه بر کاهش سطح زیرکشت محصولات میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز در حالت بهینه در محدوده مطالعاتی به میزان ۰/۴۹درصد کاهش داشته است. با توجه به اینکه یکی از اساسی‌ترین اهداف پیوند WEFN حفاظت از محیط‌زیست و جلوگیری از خسارت به آن هست، بنابراین برای اجرای سیاست‌های توسعه و تعادل‌زیستی پیشنهاد می‌شود تمامی منابع بصورت یکپارچه و توام در نظر گرفته شوند.پیشنهاد می‌شود برای بهره‌وری اقتصادی از روش‌های نوین آبیاری و متناسب با منطقه سیستان جهت آبیاری محصولات و افزایش راندمان آبیاری استفاده شود و به منظور استفاده و گسترش روش‌های جدید آبیاری تمهیدات و تسهیلات لازم برای کشاورزان در نظر گفته شود.البته باید به تناقض راندمان آبیاری توجه شود مطالعه (مردانی و اشکتراب، ۲۰۲۲) در اکثر مواردی که راندمان آبیاری در عمل افزایش پیدا کرده است آب ذخیره شده مازاد به افزایش سطح زیرکشت منجر گردیده، برای جلوگیری از این تناقض در مطالعه حاضر بهتر است اعطای تسهیلات بانکی برای روش‌های آبیاری نوین منوط به کاهش مصرف آب باشد.

سپاسگزاری

این مقاله از پایان نامه دکتری دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان دانشکده مدیریت و اقتصاد استخراج شده است . لذا نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از تمامی کسانی که در نگارش و جمع آوری داده‌های این مقاله مساعدت و همکاری نموده‌اند، اعم از مراکز تحقیقات کشاورزی، سازمان آب منطقه‌ای، سازمان جهاد کشاورزی،دانشگاه سیستان و بلوچستان، اعضای محترم هیات علمی و همچنین داوران این مقاله که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری داده اند،اعلام کنند.

منابع مورد استفاده

Ahani E, Ziaee S, Mohammadi H, Mardani Najafabadi M and Mirzaei A. 2023. Presenting the Structure of a Multi-Objective Mathematical Programming Model with Water-Food-Energy Nexus Approach for Crop Production. Journal of Agricultural Economics and Development, 37: 83-102. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jead.2022.77691.1147

Chai J, Shi H, Lu Q and Hu Y. 2020. Quantifying and predicting the Water-Energy-Food-Economy-Society-Environment Nexus based on Bayesian networks - A case study of China. Journal of Cleaner Production, 120: 256-266. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120266

Ghafarimoghadam Z, Moradi E, hashemi tabar M and Sardar Shahraki A. 2021. An Analysis of the Water Crisis under Different Scenarios in the Agriculture Sector of Sistan Region: The Approach of Future Studies. Journal of Water Research in Agriculture, 35(2), pp. 201-216. (In Persian). https://doi.org/10.22092/jwra.2021.354315.864

Ghorbani R, Mondani F, Amirmoradi S. H, Feizi H, Khorramdel S. Teimouri M, Sanjani S, Anvarkhah S and Aghel H. 2011. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dry-land wheat production systems, Applied Energy, 88:283–288. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.04.028

Anonymous. 2018. Agriculture Jahad Organization of Sistan and Baluchistan Province, Unpublished final results of annual statistics.

Jadidi M.R. Homayounifar M, Sabouhi Sabuni M and Kheradmand V. 2011. Determination of Energy Use Efficiency and Productivity in Tomato Production. Journal of Agricultural Economics and Development, 24: 30-44. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jead2.v1389i3.7734

Karabulut A.A, Crenna E, Sala S and Udias A. 2018. A proposal for integration of the ecosystem-water-food-land-energy (EWFLE) nexus concept into life cycle assessment: A synthesis matrix system for food security. Journal of Cleaner Production, 172: 3874-3889. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.092

Karamian F, Mirakzadeh A and Azari A. 2023. Application of multi-objective genetic algorithm for optimal combination of resources to achieve sustainable agriculture based on the water-energy-food nexus framework. Science of the Total Environment, 16: 860, 880. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160419

Khoshnevisan B, Rafiee S, Omid M and Mousazadeh H. 2013. Reduction of CO_2 emission by improving energy use efficiency ofgreenhouse cucumber production using DEA approach. Energy, 55: 676-682. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.021

Lal R. 2007. World soils and global issues. Soil & tillage research, 97(1), 1-4. https://doi.org/10.1016/j.still.2007.04.002

Li M, Fu Q, Singh V. P, Ji Y, Liu D, Zhang C and Li T. 2019. An optimal modelling approach for managing agricultural water-Tenergy-food nexus under uncertainty. Science of the Total Environment, 651(2019)1416-1434. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.291

Mardani Najafabadi M, Ziaee S, Nikouei A and Borazjani, MA. 2019. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. Agricultural Systems, 173: 218-232. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.006

Mardani Najafabadi M and Ashktorab N. 2022. Mathematical programming approaches for modeling a sustainable cropping pattern under uncertainty: a case study in Southern Iran. Environment, Development and Sustainability, 16:95-104. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02458-5

Mirzaei A, Ashktorab N and Noshad M. 2023. Evaluation of the policy options to adopt a water-energy-food nexus pattern by farmers: Application of optimization and agent-based models. Front. Environ. Sci, 11:113-132. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1139565

Monem M.J, Hosseini S.M and Delawer M. 2019. Application and evaluation of water, food and energy link (Nexus) in the management of irrigation networks, a case study of Zayandeh Roud irrigation network. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 14(1), 275-285. (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1399.14.1.24.7

Mousavi-Avval S.H, Rafiee S, Jafari A and Mohammadi A. 2011. Improving energy useefficiency of canola production using dataenvelopment analysis (DEA) approach. Energy, 36: 2765-2772. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.02.016

Nawaz A, Lal R, Shrestha K and Farooq M. 2017. Mulching Affects Soil Properties and Greenhouse Gas Emissions under Long-Term No-Till and Plough-Till Systems in Alfisol ofCentral Ohio. Land Degradation & Development, 28(2): 673-681. https://doi.org/10.1002/ldr.2553

Omri A. 2013. CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth Nexus in MENA Countries: Evidence from Simultaneous Equations Model. Energy Economics, 40: 657–664. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.09.003

Patil S.L, Mishra P.K, Loganandhan N, Ramesha M.N and Math S.K.N. 2014. Energy, economics, and water use efficiency of chickpea (Cicer arietinum L.) cultivars in Vertisols ofsemi-arid tropics, India. Mechanics Research Communications, 107, 656-664. http://www.jstor.org/stable/24103539

Pishgar-Komleh S.H, Keyhani A, Mostofi-Sarkari, M.R and Jafari A. 2012. Energy and economic analysis of different seed cornharvesting systems in Iran. Energy, 43: 469-476. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.040

Radmehr R, Ghorbani M and Ziaei N. 2021. Quantifying and managing the water-energy-food nexus in dry regions food insecurity: New methods and evidence. Agric. Water Manag, 245, 288. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106588

Regina K and Alakukku L. 2010. Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no-tillage practices. Soil and Tillage Research, 109(2): 144-152. https://doi.org/10.1016/j.still.2010.05.009

Safai V, Pourmohamed Y and Davari K. 2019. The interconnected approach of water, energy and food in water resources management (case study: Mashhad area), Iranian Irrigation and Drainage Journal, No. 5, Volume 14, p. 1708-1721. (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1399.14.5.18.9

Sardarshahraki A. 2015. Optimum allocation of water resources in the Hirmand watershed using game theory and evaluation of management scenarios, PhD thesis in Agricultural Economics, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan. (In Persian).

Tian H, Lu C, Pan S, Yang J, Miao R, Ren W, Yu Q, Fu B, Jin F, Lu Y, Melillo J, Ouyang Z, Palm C and Reilly J. 2018. Optimizing resource use efficiencies in the food-energy-water nexus for sustainable agriculture: from conceptual model to decision support system. Curr. Opin. Environ. Sustain, 33: p. 104–113. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.04.003

Tzilivakis J, Warner D.J, May M, Lewis K.A and Jaggard K. 2005. An assessment of the energyinputs and greenhouse gas emissions in sugarbeet (Beta vulgaris) production in the Ukrain. Agricultural Systems, 85: p. 101–119. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.07.015

Zhang X and Vesselinov V. V. (2017). Integrated modeling approach for optimal management of water, energy and food security nexus. Advances in Water Resources, 101: p. 1–10. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.12.017

ضمیمه

پیوست ۱)- نامگذاری نمادها

لازم است قبل از تشریح مدل پیشنهادی، به منظور درک صحیح مدل و جلوگیری از سردرگمی خوانندگان، ابتدا به معرفی نمادهای استفاده شده در مدل پرداخته شود، تا در هنگام بررسی مدل، با مراجعه به این نام‌گذاری، بتوانند به راحتی به درک دقیق‌تر و بهتر هدف‌ها و محدودیت‌های مدل پیشنهادی رسید.

جدول پ-۱. فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها، متغیرها و پارامترها

Symbols	*Description*
$i \in \{1,2,3,4\}$	مجموعه مناطق
$k \in \{1. \ldots .6\}$	مجموعه محصولات زراعی
$j \in \{1. \ldots .7\}$	مجموعه نهاده‌ها به کار رفته
R_V	درآمد کشاورزان هر منطقه (میلیون ریال)
C_V	هزینه‌های مصرفی کشاورزان (میلیون ریال)
$Price_P_{ik}$	قیمت محصولات زراعی هر منطقه (ریال)
$Yield_P_{ik}$	عملکرد محصولات هر منطقه (تن)
$cost_P_{kij}$	کل هزینه های استفاده شده در تولید محصولات (میلیون ریال)
Ene_P_k	میزان انرژی تولید شده حاصل از مصرف یک واحد وزنی از محصولات زراعی (کالری)
A_{ik}	سطح زیر کشت محصولات منطقه (هکتار)
$Watsur_P_i$	نیاز آبی محصولات منطقه (متر مکعب بر هکتار)
EC	هزینه انرژی برق بر حسب (کیلو وات ساعت/ریال)
Cef_P	ضریب انتشار کربن در استفاده از کودها (kg CO2/kg)
Ced_P	ضریب انتشار کربن در استفاده از سوخت دیزل (kg CO2/L)
$Ceaf_P$	ضریب انتشار کربن در استفاده از رول‌های نایلونی کشاورزی (kg CO_2/kg)
Cep_P	ضریب انتشار کربن در استفاده از سموم دفع آفات (kg CO_2/kg)
CEI	ضریب انتشار کربن برای آبیاری (kg CO2/kg)
$cepl$	ضریب انتشار کربن در استفاده از شخم (kg CO_2/kg)
$PEI^{COD_{cr}}$	ضریب شدت آلودگی برای COD_{cr} (کیلوگرم/هکتار)
LP_i_p	شستشوی فسفر برای هر منطقه (کیلوگرم/هکتار)
LN_i_p	شستشوی نیتروزن برای هر منطقه (کیلوگرم/هکتار)
Fer_i	مصرف کود شیمیایی به ازای هر واحد برای محصولات زراعی هر منطقه (کیلوگرم/هکتار)
Poi_i	مقدار مصرف سموم دفع آفات در هکتار هر منطقه (کیلوگرم/هکتار)
ANR_P_i	مقدار مصرف رول‌های نایلونی کشاورزی (کیلوگرم/هکتار)
DFC_P_i	مقدار مصرف سوخت دیزل در هکتار هر منطقه (هکتار/لیتر)
PEI^{NH_3-N}	ضریب شدت آلودگی برای NH3-N (کیلوگرم/هکتار)
AE	میزان آلودگی فضا (کیلوگرم)
$A_P_{ik}^{min}$	حداقل زمین تخصیص داده شده به محصولات زراعی هر منطقه (هکتار)
ECW	هزینه انرژی برای آب‌های سطحی (میلیون ریال)
$Equlab$	هم‌ارز انرژی نیروی کار
$EquDFC$	هم‌ارز انرژی دیزل
$Equmach$	هم‌ارز انرژی ماشین‌آلات
$Equfert_N$	هم‌ارز انرژی کود نیتروژن
$Equfert_{P2O5}$	هم‌ارز انرژی کود فسفر
$Equfert_{K2O}$	هم‌ارز انرژی کود پتاس

$Equpoi$	هم‌ارز انرژی سموم شیمیایی
$Equwat$	هم ارز انرژی آب
cos_k^{seed}	هزینه‌های پوشش دانه (میلیون ریال/هکتار)
$min(CO2)_V_{ik}$	هدف حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای
$min\ wat\ _V_{ik}$	هدف حداقل‌سازی مصرف آب
$Min: Ene_V_{ik}$	هدف حداقل‌سازی مصرف انرژی
$maxCalo_V_{ik}$	هدف حداکثرسازی تولید کالری مواد غذایی
$maxGro\ Pro_V_{ik}$	هدف حداکثرسازی سود ناخالص کشاورزان
WCF	هزینه آب برای تولید محصولات منطقه (ریال)
$SurWat_V_{ik}$	مقدار خالص تخصیص آب‌های سطحی برای تولید مواد غذایی به محصولات زراعی هر منطقه (میلیون متر مکعب)
Q_{wat}	حجم رواناب (میلیون متر مکعب)
$SurWatA_i$	میزان آب در دسترس برای هر منطقه (میلیون متر مکعب)
$WP_i^{wat(su)}$	قیمت آب برای هر منطقه (ریال)
HI^{surwat}	هد پمپ برای آبیاری سطحی (متر)
$TotalN$	ضریب انتشار آلودگی برای کل نیتروژن (کیلوگرم/هکتار)
$TotalP$	ضریب انتشار آلودگی برای کل فسفر (کیلوگرم/هکتار)
μ^{sur}	ضریب کارایی آب آبیاری سطحی
$A_P_{ik}^{max}$	حداکثر زمین برای محصولات زراعی در هر منطقه (هکتار)
ECF	هزینه‌های انرژی برای تولید محصولات زراعی (میلیون ریال/هکتار)
$EquSeed$	هم‌ارز انرژی بذر
WEP	میزان آلودگی محیط (کیلوگرم)
lab_{ik}	نیروی کار به کار رفته برای تولید محصولات زراعی در هر منطقه (نفر/هکتار)
r_{dev}	نرخ انحراف از رودخانه
$mach_{ik}$	ماشین‌آلات به کار رفته برای تولید محصولات (تعداد دستگاه/هکتار)
DFC_{ik}	میزان مصرف دیزل برای تولید محصولات زراعی در هر منطقه (لیتر/هکتار)
$fert_{P2O5_{ik}}$	میزان مصرف کود فسفر برای تولید محصولات زراعی در هر منطقه (کیلوگرم/هکتار)
$fert_{K2O_{ik}}$	میزان مصرف کود پتاس برای تولید محصولات زراعی در هر منطقه (کیلوگرم/هکتار)
η	نرخ تلفات آب آبیاری
$seed_{ik}$	میزان بذر استفاده شده برای محصولات کشاورزی (کیلوگرم/هکتار)
P_ik	انرژی مصرفی هر نهاده برای تولید محصولات زراعی در هر منطقه (مگاژول/هکتار)
$TEne_P_{ki}$	میزان کل انرژی برای محصولات منطقه (میلیون مگاژول/هکتار)

منبع: یافته‌های پژوهش. (**P**: نماد پارامتر و **V**: نماد متغیر است).

(پیوست ۲)- فرم جبری مدل پیوند آب-انرژی-غذا

$$Obj1\ Gross\ Pro_V = \text{Max}\ (R_V - C_V) \quad (1)$$

$$R_V = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K} Price_{ik} \cdot Yield_{ik}\ * A_{ik} \quad (2)$$

$$C_V = ECW + ECF\ + WCF \quad (3)$$

$$ECW = \ ECI^{sur} \quad (4)$$

$$ECI^{sur} = EC \cdot \left[\frac{HI^{surwat}}{102 * 3.6 \cdot \mu^{sur}}\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K} Watsur_{P_i} \cdot A_{ik}\right)\right] \quad (5)$$

$$ECF = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K} A_{ik} * \sum_{j=1}^{J}(cost_{P_{kij}}) \quad (6)$$

$$WCF = \sum_{i=1}^{I} WP_i^{wat(su)} * \left(\sum_{k=1}^{K} Watsur_P_i \cdot A_{ik}\right) \quad (7)$$

$$Obj2\ Calo_V = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{k}(Ene_k * Yield_{ik.} * A_{ik}) \quad (8)$$

$$Obj3\ CO2\ V = min\{AE + WEP\} \quad (9)$$

$$AE = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{\bar{K}}[(Cef \cdot Fer_i + Cep \cdot Poi_i + Ced \cdot DFC_i + Ceaf \cdot ANR_i) \cdot CA_{ik} + (cepl + CEI) \cdot A_{ik}] \quad (10)$$

$$WEP = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\left[\left(PEI^{COD_{cr}} + PEI^{NH_3-N} + PEI^{TotalN} + PEI^{TotalP}\right) \cdot A_{ik} + (LN + LP) \cdot A_{ik}\right] \quad (11)$$

$$Obj4\ Water_V = min\{Wat\} \quad (12)$$

$$Wat = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}[(Watsur_P_i \cdot A_{ik})/\eta] \quad (13)$$

برای محاسبه مقدار انرژی مصرفی در انجام عملیات مختلف یا محتوای انرژی موجود در نهاده‌ها از هم‌ارزها و فرمول های استخراج شده از منابع مختلف استفاده شده است، که به اختصار به چند مورد اشاره می‌گردد و در نهایت یک تابع هدف برای مجموع انرژی نهاده‌ها در تولید محصولات کشاورزی در نظر گرفته می‌شود.

محاسبه انرژی نیروی کار:

برای محاسبه انرژی نیروی انسانی ابتدا تعداد کارگر مورد نیاز برای هر عملیات مشخص می‌گرد، سپس زمان انجام عملیات توسط هر کارگر تعیین می‌شود و پس از آن هم ارز انرژی نیروی کار را در تعداد نفرات ضرب نموده و انرژی مصرفی بر حسب ساعت حساب می‌شود، سپس با محاسبه تعداد ساعات کاری هر نفر در نهایت انرژی مصرفی برای نیروی کار بصورت ذیل محاسبه می‌گردد (Jadidi et al, 2011).

$$E_l = labor_ik * eqlabor \quad (14)$$

که در آن:

E_l: انرژی کارگر در هکتار بر حسب (مگاژول بر هکتار)

$labor_ik$: تعدا کارگر در هکتار

$eqlabor$: انرژی موجود به ازای هر کارگر (هم ارز انرژی نیروی کار)

انرژی سموم شیمیایی: میزان انرژی مصرفی برای سموم شیمیایی از رابطه زیر بدست می آید

$$E_p = P_ik * eq\ poi \quad (15)$$

که در آن:

E_p : انرژی سم مصرفی در هکتار بر حسب (مگاژول بر هکتار)

P_ik : مقدار مصرف سم در هکتار (کیلوگرم بر هکتار)

$eq\ poi$: انرژی موجود در هر واحد سم (هم ارز انرژی سم)

انرژی بذر:میزان انرژی بذر از رابطه زیر بدست می آید:

$$E_s = Seed_{_ik} * eqseed \quad (16)$$

E_s: انرژی بذر در هکتار بر حسب (مگاژول بر هکتار)

$Seed_{_ik}$: میزان بذر مصرفی در هکتار (کیلوگرم بر هکتار)

$eqseed$: انرژی موجود در هر کیلو بذر (هم ارز انرژی بذر)

با توجه به توضیحات گفته شده انرژی کل نهاده‌ها در تولید محصولات کشاورزی بصورت رابطه زیر هست:

$$Obj5Energy_V = min\{Ene\} \quad (17)$$

$$Ene = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}[(Equlab \cdot lab_{ik} + Equmach.mach_{ik} + EquDFC.DFC_{ik} + Equf_{ertN} \cdot fert_{N_{ik}} + Equfert_{P2O5} \cdot fert_{P2O5_{ik}} + Equfert_{K2O} \cdot fert_{K2O_{ik}} + Equ\ Poi.p_{s_{ik}} + Equwat.Watsur_P_i \cdot CA_{ik} + EquSeed.Seed) * A_{ik}] \quad (18)$$

برای مدل برنامه ریزی چند هدفه غیر خطی بر اساس سه سامانه آب-انرژی-غذا محدودیت هایی بصورت ذیل در نظر گرفته شده است:

در هر منطقه آب‌های سطحی اختصاص یافته برای کلیه محصولات زراعی نباید از بیشترین مقدار منابع آب سطحی مربوط به پروژه‌های مختلف تأمین آب مانند پروژه انتقال آب، پروژه ذخیره آب و پروژه برداشت آب بزرگ‌تر باشد (لی و همکاران،۲۰۱۹).

$$\sum_{k=1}^{k_1}(Watsur_P_i \cdot A_{ik})/\eta \le SurWatA_i \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^{I} SurWatA_i \le (1 - r_{dev}) * Q_{wat} \quad (20)$$

دسترسی به میزان مصرف انرژی نهاده‌ها برای تولید و فرآوری محصولات غذایی نباید بیشتر از کل میزان انرژی برای محصولات کشاورزی در هر منطقه باشد.

$$\sum_{k=1}^{k_1}(P_ik * A_{ik}) \le TEne_i \quad \forall_i \quad (21)$$

میزان حداقل و حداکثر زمین قابل کشت برای همه محصولات به‌صورت رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$A_P_{ik}^{min} \le A_{ik} \le A_P_{ik}^{max} \quad \forall_i.k \quad (22)$$

در نهایت مجموعه غیرمنفی متغیرهای مدل به صورت رابطه زیر ارائه شده است.

$$SurWatA_V_{ik} \ge 0 \quad \forall_i.k$$
$$A_{ik} \ge 0 \quad \forall_i.k$$
$$Calo_V_{ik} \ge 0 \quad \forall_i.k$$
$$Ene_V_{ik} \ge 0 \quad \forall_i.k$$
$$GrossProfit_V_{ik} \ge 0 \quad \forall_i.k$$
$$CO2_V_{ik} \ge 0 \quad \forall_i.k \quad (23)$$

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 303-315

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

Effective Factors on the Environmental Efficiency of Potato Production in Ardabil County

Ghader Dashti[1*], Elaheh Ghasemi[2], Mohammad Ghahremanzadeh[1]

Received: 30 September 2023	Accepted: 08 February 2024

1-Prof., Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2-Phd Student, Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: Dashti-g@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: In order to increase the production of agricultural products, factor productivity growth and increasing the efficiency of farms is necessary. The security of resources, including water and land, has forced farmers to use desirable inputs along with undesirable inputs, which in some cases has caused a negative impact on natural resources and therefore environmental efficiency. Therefore, the objective of this study is to determine the effective factors on the environmental efficiency of potato production in Ardabil County.

Materials and Methods: In order to achieve the objective of study, the stochastic frontier translog production function has been estimated and measure the environmental efficiency and the factors affecting it. For this purpose, the data collected from 160 potato farmers of Ardabil County by completing a questionnaire.

Results: The results showed that the mean of environmental efficiency of farmers was 67.87%. Therefore, producers can decrease the use of undesirable inputs (fertilizers and pesticides) about 32% by using other inputs values constant. Based on the results, the factors of age, education, main job and the amount of cultivated area showed a positive effect on environmental efficiency. The values of elasticity calculated for the variables of labore, seed, land, chemical fertilizers and pesticides showed that the greatest quantity of elasticity was for labore equal 0.690 and the lowest for the pesticide equal 0.064. Thus the production is faced with increasing returns of scale.

Conclusion: Considering the condition of potato production and the amount of environmental efficiency, there is a suitable ground for reducing the use of undesirable inputs such as fertilizers and chemical pesticides. Due to this issue, while reducing production costs, a health product will be product. Considering the positive effect of education and the amount of cultivation and the negative effect of the number of plots, more communication with farmers with higher education and integrated farms can strengthen the economies of scale of potato production and make it more economical.

Keywords: Ardabil, Environmental Efficiency, Production Elasticity, Potato, SFA

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Ghader Dashti Email: Dashti-g@tabrizu.ac.ir
http://doi.org/10.22034/saps.2024.58668.3124

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۳۱۵-۳۰۳

دانش کشاورزی و تولید پایدار

عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی تولید سیب‌زمینی در شهرستان اردبیل

قادر دشتی*[۱]، الهه قاسمی[۲]، محمد قهرمان‌زاده[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

۱- استاد اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲=دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
مسئول مکاتبه: Email: Dashti-g@tabrizu.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی، بهبود بهره‌وری عوامل و ارتقاء کارایی مزارع به‌صورت یک ضرورت در آمده است. در این بین محدودیت منابع منجمله آب و زمین، کشاورزان را ملزم به استفاده از نهاده‌های مطلوب در کنار نهاده‌های نامطلوب کرده که در برخی موارد باعث تأثیر منفی بر منابع طبیعی و کارایی زیست‌محیطی شده است. به‌همین‌خاطر هدف مطالعه حاضر تعیین عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی تولید سیب‌زمینی در شهرستان اردبیل است.

مواد و روش‌ها: در راستای نیل به هدف تحقیق، نسبت به برآورد تابع تولید ترانسلوگ مرزی تصادفی اقدام شد و سپس میزان کارایی زیست‌محیطی مزارع مشخص و در ادامه عوامل مؤثر بر آن با برآورد یک رابطه رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، داده‌ها و اطلاعات موردنیاز از طریق تکمیل پرسشنامه از ۱۶۰ نفر کشاورز سیب‌زمینی‌کار شهرستان اردبیل جمع‌آوری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین کارایی زیست‌محیطی سیب‌زمینی‌کاران برابر با ۶۷/۸۷ است. بدین‌ترتیب کشاورزان می‌توانند جهت تولید همان مقدار محصول بکارگیری نهاده‌های زیانبار (کود و سموم شیمیایی) را با ثابت نگهداشتن مقادیر دیگر نهاده‌ها، حدود ۳۲ درصد کاهش دهند. بر اساس نتایج، عوامل سن، تحصیلات، شغل اصلی و میزان سطح زیرکشت تأثیر مثبت بر کارایی زیست‌محیطی نشان داد در حالیکه تعداد قطعات کشت سیب‌زمینی دارای اثر منفی بر کارایی زیست-محیطی است. مقادیر کشش‌های محاسبه شده برای متغیرهای نیروی‌کار، بذر، زمین، کودشیمیایی و سموم نشان داد که بیشترین میزان کشش برای نهاده نیروی کار برابر ۰/۶۹۰ و کمترین آن برای نهاده سموم برابر ۰/۰۶۴ است ضمن‌اینکه تولید سیب‌زمینی در منطقه موردمطالعه با بازده صعودی نسبت به مقیاس مواجه است.

نتیجه‌گیری: با توجه به وضعیت حاکم بر تولید سیب‌زمینی و میزان کارایی زیست‌محیطی زمینه مناسبی برای کاهش بکارگیری نهاده‌های مضر نظیر کودها و سموم شیمیایی وجود دارد. در نتیجه همین مسئله ضمن کاهش هزینه‌های تولید، محصول سالم‌تری به بازار عرضه خواهد شد. نظر به تأثیر مثبت عوامل تحصیلات و سطح زیرکشت و اثر منفی تعداد قطعات، ارتباط بیشتر با زارعین با تحصیلات بالاتر و دارای مزارع بزرگ‌تر و یکپارچه می‌تواند صرفه‌های ناشی از مقیاس تولید محصول سیب‌زمینی را قوت بخشیده و به اقتصادی‌تر شدن تولید آن کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: اردبیل، رهیافت مرزی تصادفی، سیب‌زمینی، کارایی زیست‌محیطی، کشش تولید

مقدمه

بخش کشاورزی همواره با محدودیت منابع روبرو بوده از این‌رو به‌منظور افزایش تولید و درآمد کشاورزان، مناسب‌ترین راهکار علمی و عملی، بهبود کارایی و ارتقاء بهره‌وری عوامل تولید بنگاه‌های اقتصادی است. افزایش بهره‌وری در کشاورزی یکی از اهداف طولانی مدت سیاست در اکثر کشورهای دنیا بوده است. بهره‌وری در کشاورزی با پیشرفت تکنولوژی و بهره‌گیری از نهاده‌های نوین افزایش یافته است. اگرچه کشورها به‌دنبال افزایش تولیدات داخلی و رشد اقتصادی خود هستند، لیکن رشد اقتصادی نیازمند مصرف نهاده-های مطلوب در کنار نهاده‌های نامطلوب جهت پاسخ به چالش افزایش مستمر تقاضای موادغذایی است. افزایش استفاده از این نهاده‌های متغیر که منشأ مشکلات زیست-محیطی فعلی بخش کشاورزی می‌باشند، در بلندمدت موجب کاهش کیفیت محیط‌زیست می‌شود. در این راستا جهت دستیابی به کشاورزی پایدار، زارعین باید از نهاده-های عرضه شده در بازار تا حد امکان به‌صورت کارا استفاده به‌عمل آورند تا بستر لازم برای ایجاد کشاورزی سازگار با محیط‌زیست پدیدار شود (رینهارد و همکاران،۲۰۰۰). در دنیای امروزی تولیدات کشاورزی عموماً بر پایه استفاده از منابع محدود مثل سوخت‌های فسیلی، منابع آبی، سموم و کودهای شیمیایی استوار است. از همین‌رو نگرانی‌هایی نیز در مورد مشکلات زیست‌محیطی مانند آلودگی آب، خاک، هوا، کاهش حاصل‌خیزی، فرسایش خاک و تقلیل منابع وجود دارد (لاگرید و همکاران ۲۰۱۲). به‌همین‌خاطر در دهه‌های اخیر تأمین محصولات کشاورزی به مقدار لازم، مبتنی‌بر تولید پایدار فرآورده‌ها با افزایش کارایی استفاده از منابع طبیعی و همچنین به حداقل رساندن فشار بر محیط‌زیست است (هوشمندی و همکاران ۲۰۲۱). افزایش جمعیت و فشار بیرویه بر منابع طبیعی گسترش فعالیت‌های زیست-محیطی، سبب بروز انواعی از چالش‌های زیست‌محیطی شده است. چالش آینده سامانه‌های کشاورزی تولید غذای کافی جهت تأمین تقاضای جمعیت رو به رشد و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی به‌طور همزمان است. از این‌رو سامانه‌های تولید باید به‌گونه‌ای عمل نمایند که محصولاتی با اثرات منفی کمتر بر محیط‌زیست تولید شوند (تیلمان و همکاران ۲۰۱۱). بر اساس مطالب مزبور استنباط می‌گردد که بخش کشاورزی با دو مسئله افزایش میزان تولید و حفظ محیط‌زیست به‌شکل توأم مواجه است.

اگرچه افزایش مصرف نهاده‌های کود و سموم شیمیایی موجب افزایش تولید محصولات کشاورزی می-شود لیکن آسیب‌ها و خسارت‌های زیادی به محیط‌زیست وارد می‌کند (قاسمی و همکاران ۲۰۲۳). طبیعتاً وجود چنین مسائلی، کارایی فعالیت‌های بخش کشاورزی و عرضه محصولات آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد از این‌رو در سال‌های اخیر، دانشمندان حوزه‌ی کشاورزی ملزم به توجه بیشتر به تولید محصولات دوستدار طبیعت شده‌اند به‌گونه‌ای که رشد اقتصادی (بهبود کارایی اقتصادی) بایستی همواره با حفظ محیط‌زیست (افزایش کارایی زیست‌محیطی) محقق گردد (دوگان و همکاران،۲۰۲۰). با افزایش نگرانی در مورد حفاظت از محیط‌زیست، کارایی زیست‌محیطی توسط تعدادی از محققان موردمطالعه قرار گرفته است. دو رویکرد برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی توسعه داده شده است. در یکی از رویکردها، عوامل زیانبار زیست‌محیطی به‌عنوان ستاده‌های نامطلوب در نظر گرفته شده که توسط پیتمن (۱۹۸۱) با استفاده از شاخص ترنکویست برای اندازه‌گیری عملکرد زیست‌محیطی پیشنهاد شد. با این حال، این روش دارای معایبی است بطوریکه نه تنها به قیمت سایه‌ای ستاده نامطلوب نیاز دارد، بلکه نمی‌تواند تأثیرات قیمت‌های سایه‌ای مختلف را در بین اقلام انفرادی تشخیص دهد. فیر و همکاران (۱۹۸۹) جهت تقویت الگو، یک مدل استاندارد تحلیل پوششی داده‌ها[1] (DEA) را با در نظر گرفتن ستاده نامطلوب (بد) به‌عنوان یک متغیر خروجی پیشنهاد کرد. در رویکرد دوم فیر و همکاران

[1] Data Envelopment Analysis

(۲۰۰۷ و ۱۹۹۳) یک تابع مسافت برای برآورد کارایی زیست‌محیطی پیشنهاد کرد در حالیکه تن (۲۰۰۴) مدل مازاد مبنا[1] (SBM) را با لحاظ ستاده بد ارائه نمود (بای و همکاران ۲۰۱۹).

در خصوص اندازه‌گیری میزان کارایی زیست‌محیطی تولیدات کشاورزی و عوامل مؤثر بر آن مطالعات متعددی صورت گرفته است. وانگ و همکاران (۲۰۱۷)، کارایی زیست‌محیطی و عوامل تعیین‌کننده آن‌را در ۲۹ صنعت تولیدی در کشور چین با استفاده از دو رویکرد مازاد مبنا با وجود ستاده نامطلوب و مدل توبیت بررسی کردند. نتایج نشان داد، عوامل زیست‌محیطی بر صنایع با آلودگی خفیف تأثیر مثبت و بر منابع با آلودگی متوسط، منابع با آلودگی شدید و منابع کل تأثیر منفی دارند درحالیکه نتایج حاصل از مدل توبیت نشان داد که می‌توان با استفاده از متغیرهای مستقل به‌کار رفته اقدامات مؤثری جهت بهبود کارایی زیست‌محیطی انجام داد. له و همکاران (۲۰۲۰)، کارایی زیست‌محیطی تولید برنج در کشور ویتنام را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های مبتنی بر مازاد مبنا با در نظر گرفتن مقدار کل انتشار CO_2 در ۴۰۰ مزرعه مطالعه کردند. برابر یافته‌های تحقیق، میانگین کارایی زیست‌محیطی کشاورزان ۰/۴۶۱ بود. همچنین نتایج برآورد شده از مازاد نهاده و ستاده نشان داد که می‌توان انتشار حدود ۱/۳۵ تن دی‌اکسید کربن در هکتار را کاهش داده و به‌طور متوسط ۵۴/۱۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار صرفه‌جویی کرد تا عملکرد زیست‌محیطی تولید برنج در منطقه موردمطالعه بهبود یابد. نوروزیان و همکاران (۲۰۲۲)، عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی کلزاکاران را در ۱۶ استان ایران با استفاده از رهیافت اقتصادسنجی مکانی مورد ارزیابی قرار دادند. مطابق نتایج به‌دست آمده کارایی زیست‌محیطی کل کشور در حدود ۷۳ درصد است. همچنین اثرات کلی مکانی نشان داد که مصرف آب و ساختار صنعتی تأثیر معنی‌داری بر کارایی زیست‌محیطی دارد. مولائی (۲۰۲۲)، کارایی زیست‌محیطی و زیان اقتصادی تولید چغندرقند در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را با برآورد تابع تولید ترانسلوگ مرزی تصادفی محاسبه نمود. بر اساس یافته‌های تحقیق، میانگین کارایی زیست‌محیطی برابر با ۵۸ درصد به‌دست آمد به‌بیانی دیگر امکان کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی به اندازه ۴۲ درصد در تولید چغندرقند وجود دارد. مردانی نجف‌آبادی و همکاران (۲۰۲۳)، به تعیین کارایی زیست‌محیطی محصولات عمده زراعی استان خوزستان با استفاده از مدل بهینه‌سازی و تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. نتایج بیانگر آن بود که کارایی عملیاتی در هر سطح احتمال برای محصولات مورد بررسی (به استثنای لوبیا در منطقه گتونه)، کمتر از میانگین کارایی زیست‌محیطی برآورد گردید. قاسمی و همکاران (۲۰۲۳)، اقدام به ارزیابی کارایی فنی و کارایی زیست‌محیطی تولید گندم دیم در شهرستان اهر با برآورد تابع تولید ترانسلوگ مرزی تصادفی کردند. بر اساس نتایج، میانگین کارایی فنی ۶۶/۰۶ و کارایی زیست‌محیطی ۴۹/۳۶ درصد به‌دست آمد. همچنین عواملی نظیر میزان سطح زیرکشت، وجود افراد با تحصیلات دانشگاهی و خسارت آفت تأثیر معنی‌داری بر میزان کارایی نشان دادند. لن و مین (۲۰۲۳)، کارایی زیست‌محیطی صنعت نساجی و پوشاک ویتنام و عوامل مؤثر بر آن را با بهره‌گیری از مدل رگرسیونی توبیت مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج پژوهش، میانگین کارایی زیست‌محیطی ۰/۲۳۳ به‌دست آمد. همچنین مواردی نظیر درآمد به‌ازای هر کارمند، تجهیزات ماشینی وارداتی از کشورهای توسعه‌یافته، مناطق صنعتی، فرآیند بهبود شرکت و وجود سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی تأثیر معنی‌داری بر کارایی زیست‌محیطی نشان دادند. مالاوال و همکاران (۲۰۲۳)، کارایی زیست‌محیطی تولید پاپایا در کشور تایلند را با استفاده از تابع تولید ترانسلوگ مرزی تصادفی طی سال‌های زراعی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ مورد ارزیابی قرار دادند. مطابق یافته‌های پژوهش میانگین کارایی زیست‌محیطی حدود ۳۱ درصد بوده که به مقدار قابل‌توجهی کمتر از کارایی فنی است. کارایی کودها و علف‌کش به‌ترتیب ۲۱ و ۷ درصد بوده که مؤید بهره‌گیری غیرکارا از این منابع در فرآیند تولید

[1] Slack Based Model

محصول است. یی و ژو (۲۰۲۳)، تأثیر تراکم صنایع کشاورزی بر کارایی زیست‌محیطی کشاورزی در۳۱ استان چین را طی سال‌های ۲۰۲۰ – ۲۰۰۰ با استفاده از تحلیل اقتصادسنجی فضایی مورد بررسی قرار دادند. میزان کارایی زیست‌محیطی کشاورزی برابر ۰/۹۰۹ به‌دست آمد. جهت بهبود کارایی زیست‌محیطی کشاورزی لازم است استراتژی‌های پویا و تراکم صنعتی در نظر گرفته شود تا تولید کشاورزی دچار مخاطره نگردد. از بررسی تحقیقات صورت گرفته استنباط می‌شود که برای ارزیابی میزان کارایی زیست‌محیطی عمدتاً از رویکردهای اقتصادسنجی و برنامه‌ریزی ریاضی استفاده به‌عمل آمده که از این بین رهیافت اقتصادسنجی وجه غالب را شامل می‌شود. نظر به اهمیت کارایی زیست‌محیطی در مطالعه حاضر با برآورد یک تابع تولید مناسب میزان کارایی زیست‌محیطی و عوامل مؤثر بر آن تعیین می‌گردد تا در سیاست‌گذاری‌های آتی بتوان از نتایج آن بهره گرفت.

سیب‌زمینی یکی از محصولات غذایی عمده مردم دنیا بوده و ایران نیز با حدود ۱۳۱ هزار هکتار اراضی زیرکشت در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰، بالغ بر ۴/۶ میلیون تن سیب‌زمینی تولید کرده است. در این بین، استان اردبیل با بهره‌مندی از پتانسیل‌ها، شرایط آب و هوایی و منابع تولید گسترده یکی از مراکز اصلی تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود بطوریکه این استان در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ حدود ۱۴ درصد از سطح زیرکشت سیب‌زمینی کشور را به خود اختصاص داده و بالغ بر ۵۹۷ هزار تن (حدود ۱۳ درصد) از کل تولید کشور را در اختیار داشته است (وزارت جهاد کشاورزی،۲۰۲۳). بر همین اساس به‌دلیل اهمیت زیاد این محصول در سبد غذایی خانوارها توجه به پایدار نمودن عملیات کشاورزی آن در جهت افزایش کارایی مزارع منطقه موردمطالعه و حفظ منابع، تلاش در جهت کمینه کردن اثرات منفی بر محیط‌زیست و سلامت بشر امری ضروری است چرا که در هر هکتار کشت سیب‌زمینی منطقه به‌طور متوسط ۴۵۰ کیلوگرم انواع کودهای شیمیایی و ۲/۵ لیتر سموم به‌کار گرفته می‌شود. از همین‌رو اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی می‌تواند وضعیت بکارگیری نهاده‌های مختلف منجمله عوامل زیانبار را مشخص نموده و با شناخت سازه‌های مؤثر بر آن زمینه برای تقویت کشاورزی پایدار فراهم می‌شود. بدین‌ترتیب ارزیابی و تحلیل کارایی زیست‌محیطی مزارع سیب‌زمینی استان اردبیل هم به تبیین و درک علمی کشاورزان از شرایط حاکم بر تولید کمک می‌کند و هم ابزار کاربردی و سودمندی برای سیاستگذاران بخش کشاورزی خواهد بود، لذا هدف اصلی مطالعه حاضر شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی تولید سیب‌زمینی در شهرستان اردبیل است.

مواد و روش‌ها

به‌طور معمول کارایی، تولید محصول به اندازه کافی زیاد از مقدار معینی نهاده تعریف می‌شود. برای تخمین کارایی از دو رهیافت پارامتریک و ناپارامتریک استفاده می‌شود. در مطالعات صورت گرفته رویکرد پارامتریک کاربرد گسترده‌تری دارد. در این رویکرد از برآورد تابع تولید یا هزینه استفاده می‌شود که جزءخطای آن دو قسمت تأثیر عوامل تصادفی و عوامل مدیریتی (کارایی) را از هم تفکیک می‌کند. بنابراین رهیافت مزبور دو جزءخطا یعنی یک جزءخطای مستقل با عناصر متقارن دو طرفه و یک جزء مستقل یک طرفه را در مدل منظور می‌کند، به‌همین دلیل آن را مدل خطای مرکب نیز می‌نامند. شکل ضمنی تابع تولید مرزی تصادفی به‌صورت رابطه (۱) است:

$$Y_i = f(X_i, Z_i, \beta) + v_i - u_i = (X_i, Z_i, \beta) + \varepsilon_i \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در رابطه (۱)، Y_i مقدار محصول مزرعه iام، X_i بردار نهاده‌های نرمال (زمین، بذر و نیروی‌کار) و Z_i بردار نهاده‌های مضر یا زیانبار (کود شیمیایی و سم) برای محیط‌زیست است. β بردار پارامترها و v_i جزءخطای تصادفی خارج از کنترل مدیر (مانند آب و هوا و بلایای طبیعی)، دارای توزیع نرمال دو طرفه متقارن با میانگین صفر و واریانس δ_v^2 است (دانگ،۲۰۱۷). u_i نیز جزءخطای نامتقارن با توزیع نرمال و دامنه یک طرفه را نشان می‌دهد (کوئلی و همکاران،۲۰۰۵).

کارایی زیست‌محیطی به‌صورت نسبت حداقل مقدار ممکن قابل استفاده به میزان بکار گرفته شده از نهاده‌های زیانبار، مشروط به مقدار مشخصی از محصول و نهاده-های نرمال تعریف می‌شود. با برآورد تابع تولید مشابه مطالعات هونگ و همکاران (۲۰۱۵) و رینهارد و همکاران (۲۰۰۰)، می‌توان نسبت به برآورد کارایی زیست‌محیطی اقدام نمود. ژانگ و ژو (۲۰۰۵) طی مطالعات خود، با استفاده از روش حداکثر درستنمایی استدلال کردند که تابع تولید ترانسلوگ مناسب‌تر از تابع کاب-داگلاس برای برآورد کارایی زیست‌محیطی است زیرا در تابع ترانسلوگ این امکان وجود دارد که بتوان اثرات متقابل متغیرهای جدیدی را که به‌عنوان نهاده‌ی مضر برای محیط‌زیست محسوب می‌شوند در این تابع لحاظ کرد (وو و همکاران ۲۰۱۹). در این مطالعه برای انتخاب از بین دو فرم تابعی ترانسلوگ و کاب-داگلاس از آزمون نسبت درستنمایی بهره گرفته می‌شود (وونگنا و همکاران ۲۰۱۹). تابع تولید ترانسلوگ با در نظر گرفتن سه نهاده نرمال و دو نهاده زیانبار به‌صورت رابطه (۲) قابل ارائه است:

$$\begin{aligned} LnY_i= {} & \beta_0 + \beta_1 LnX_1 + \beta_2 LnX_2 + \beta_3 LnX_3 + \beta_4 LnZ_1 + \beta_5 LnZ_2 \\ & + \frac{1}{2}\beta_{11}(LnX_1)^2 + \frac{1}{2}\beta_{22}(LnX_2)^2 + \frac{1}{2}\beta_{33}(LnX_3)^2 + \frac{1}{2}\beta_{44}(LnZ_1)^2 + \frac{1}{2}\beta_{55}(LnZ_2)^2 \\ & + \beta_{12}LnX_1LnX_2 + \beta_{13}LnX_1LnX_3 + \beta_{14}LnX_1LnZ_1 + \beta_{15}LnX_1LnZ_2 \\ & + \beta_{23}LnX_2LnX_3 + \beta_{24}LnX_2LnZ_1 + \beta_{25}LnX_2LnZ_2 + \beta_{34}LnX_3LnZ_1 + \beta_{35}LnX_3LnZ_2 + \beta_{45}LnX_4LnZ_2 + v_i - u_i \end{aligned} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در رابطه (۲)، Yi نشان‌دهنده مقدار تولید سیب‌زمینی مزرعه iام و Ln نماد لگاریتم طبیعی است. متغیرهای X_1 ،X_2، X_3، Z_1، Z_2 به‌ترتیب نشان‌دهنده عوامل تولید زمین، بذر، نیروی‌کار، کودشیمیایی و سم می‌باشند که در فرآیند تولید سیب‌زمینی به‌کار گرفته شده‌اند. لازم به ذکر است که نهاده‌های آب و ماشین‌آلات به سبب عدم معنی‌دار بودن در الگو لحاظ نگردیدند. پیتمن (۱۹۸۱) نخستین کسی بود که نهاده مضر را به‌عنوان یک عامل در تابع تولید وارد کرد. به اعتقاد وی رابطه‌ی بین نهاده-های مضر زیست‌محیطی و ستاده‌ها، مشابه رابطه‌ی نهاده‌های نرمال و ستاده‌ها است. در این مطالعه، نهاده-های سم و کود شیمیایی به‌عنوان نهاده زیانبار (مضر) زیست‌محیطی در تولید سیب‌زمینی در نظر گرفته شده‌اند. با برآورد تابع مرزی تصادفی، کارایی زیست‌محیطی واحد تولیدی iام (EE_i) به‌صورت رابطه (۳) قابل ارائه است (رینهارد و همکاران ۲۰۰۰ و۲۰۰۲):

$$EE_i = \min\{\varphi: F(X_i, \varphi Z_i) \geq Y_i\} \leq 1 \quad \text{(رابطه ۳)}$$

لگاریتم مقدار تولید یک کشاورز کارا به‌لحاظ زیست-محیطی، از طریق جایگزینی Z_i با عبارت ϕz_i در رابطه (۲) به‌دست می‌آید. بر این اساس و با توجه به اینکه $U_i=0$ است رابطه (۴) قابل حصول خواهد بود:

$$\begin{aligned} LnY_i= {} & \beta_0 + \beta_1 LnX_1 + \beta_2 LnX_2 + \beta_3 LnX_3 + \beta_4 Ln\varphi Z_1 + \beta_5 Ln\varphi Z_2 \\ & + \tfrac{1}{2}\beta_{11}(LnX_1)^2 + \tfrac{1}{2}\beta_{22}(LnX_2)^2 + \tfrac{1}{2}\beta_{33}(LnX_3)^2 + \tfrac{1}{2}\beta_{44}(Ln\varphi Z_1)^2 + \tfrac{1}{2}\beta_{55}(Ln\varphi Z_2)^2 + \\ & \beta_{12}LnX_1LnX_2 + \beta_{13}LnX_1LnX_3 + \beta_{14}LnX_1Ln\varphi Z_1 + \beta_{15}LnX_1Ln\varphi Z_2 \\ & + \beta_{23}LnX_2LnX_3 + \beta_{24}LnX_2Ln\varphi Z_1 + \beta_{25}LnX_2Ln\varphi Z_2 + \beta_{34}LnX_3Ln\varphi Z_1 + \beta_{35}LnX_3Ln\varphi Z_2 + \beta_{45}LnX_4Ln\varphi Z_2 \\ & + v_i \end{aligned} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

با کم کردن رابطه (۲) از رابطه (۴)، رابطه (۵) به‌دست می‌آید:

$$\begin{aligned} & \beta_4(Ln\varphi Z_1 - LnZ_1) + \beta_5(Ln\varphi Z_2 - LnZ_2) + \tfrac{1}{2}\beta_{44}(Ln\varphi Z_1 Ln\varphi Z_1 - LnZ_1LnZ_1) + \\ & \tfrac{1}{2}\beta_{55}(Ln\varphi Z_2 Ln\varphi Z_2 - LnZ_2LnZ_2) + \beta_{14}LnX_1(Ln\varphi Z_1 - LnZ_1) + \beta_{15}LnX_1(Ln\varphi Z_2 - \\ & LnZ_2) + \beta_{24}LnX_2(Ln\varphi Z_1 - LnZ_1) + \beta_{25}LnX_2(Ln\varphi Z_2 - LnZ_2) + \beta_{34}LnX_3(Ln\varphi Z_1 - LnZ_1) + \\ & \beta_{35}LnX_3(Ln\varphi Z_2 - LnZ_2) + \beta_{45}(Ln\varphi Z_1 Ln\varphi Z_2 - LnZ_1LnZ_2) + u_i = 0 \end{aligned} \quad \text{(رابطه۵)}$$

با توجه به رابطه $Ln\ EE=Ln\varphi = Ln\left(\frac{\varphi Z}{Z}\right)$ معادله (۵) را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

$$\left(\frac{1}{2}\beta_{44}+\frac{1}{2}\beta_{55}+\beta_{45}\right)\mathrm{Ln}^2\mathrm{EE}+\begin{bmatrix}\beta_4+\beta_5+\beta_{44}\mathrm{LnZ}_1\\+\beta_{55}\mathrm{LnZ}_2+\beta_{14}\mathrm{LnX}_1\\+\beta_{15}\mathrm{LnX}_1+\beta_{24}\mathrm{LnX}_2+\beta_{25}\mathrm{LnX}_2\\+\beta_{34}\mathrm{LnX}_3+\beta_{35}\mathrm{LnX}_3+\beta_{45}(\mathrm{LnZ}_1+\mathrm{LnZ}_2)\end{bmatrix}\mathrm{Ln\ EE}+u_i=0 \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

از آنجایی که رابطه (۶) به‌صورت معادله درجه دوم ($ax^2+bx+c=0$) است لذا می‌توان رابطه مذکور را به‌صورت معادله (۷) باز نویسی کرد:

$$\begin{gathered}a\,(\mathrm{Ln\ EE})^2+b\,\mathrm{Ln\ EE}+u_i=0\\ a=\frac{1}{2}\beta_{44}+\frac{1}{2}\beta_{55}+\beta_{45}\qquad \forall\neq 0\\ b=\beta_4+\beta_5+\beta_{44}\mathrm{LnZ}_1+\beta_{55}\mathrm{LnZ}_2+\beta_{14}\mathrm{LnX}_1+\beta_{15}\mathrm{LnX}_1+\beta_{24}\mathrm{LnX}_2+\beta_{25}\mathrm{LnX}_2+\\ \beta_{34}\mathrm{LnX}_3+\beta_{35}\mathrm{LnX}_3+\beta_{45}(\mathrm{LnZ}_1+\mathrm{LnZ}_2)\end{gathered} \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

با حل معادله درجه دوم فوق می‌توان مقدار کارایی زیست‌محیطی را از رابطه (۸) به‌دست آورد (وو و همکاران،۲۰۱۹):

$$\mathrm{EE}=\exp\left(\frac{-b+\sqrt{b^2-4au_i}}{2a}\right) \qquad \text{(رابطه ۸)}$$

$$\mathrm{EE}=\exp\left\{\begin{bmatrix}-\begin{bmatrix}\beta_4+\beta_5+\beta_{44}\mathrm{LnZ}_1+\beta_{55}\mathrm{LnZ}_2+\beta_{14}\mathrm{LnX}_1+\beta_{15}\mathrm{LnX}_1+\beta_{24}\mathrm{LnX}_2\\+\beta_{25}\mathrm{LnX}_2+\beta_{34}\mathrm{LnX}_2+\beta_{35}\mathrm{LnX}_2+\beta_{45}(\mathrm{LnZ}_1+\mathrm{LnZ}_2)\end{bmatrix}\\+\left[\begin{pmatrix}\beta_4+\beta_5+\beta_{44}\mathrm{LnZ}_1+\beta_{55}\mathrm{LnZ}_2+\beta_{14}\mathrm{LnX}_1+\beta_{15}\mathrm{LnX}_1\\+\beta_{24}\mathrm{LnX}_2+\beta_{25}\mathrm{LnX}_2+\beta_{34}\mathrm{LnX}_2+\beta_{35}\mathrm{LnX}_2+\beta_{45}(\mathrm{LnZ}_1+\mathrm{LnZ}_2)\end{pmatrix}^2-4\left(\frac{1}{2}\beta_{44}+\frac{1}{2}\beta_{55}+\frac{1}{2}\beta_{45}\right)u_i\right]^{1/2}\end{bmatrix}\right\}/(\beta_{44}+\beta_{55}+2\beta_{45})$$

چون ضرایب در تابع ترانسلوگ تفسیر مستقیم ندارد از این‌رو برای ارزیابی جهت و میزان اثرگذاری نهاده‌ها بر تولید نسبت به محاسبه کشش تولید هر نهاده اقدام گردید. به لحاظ اهمیت بحث کشش در ادبیات اقتصادی، ضرایب برآورد شده بر اساس رابطه (۹) به کشش‌های جزئی عوامل تبدیل می‌شوند (وو و همکاران،۲۰۱۹):

$$e_i=\frac{\partial Y}{\partial X_i}\frac{\overline{X}_i}{\overline{Y}}=\frac{MP_i}{AP_i} \qquad \text{(رابطه ۹)}$$

در رابطه مزبور، e_i بیانگر کشش نهاده متغیرiام، $\frac{\partial Y}{\partial X_i}$ بیانگر مشتق متغیر وابسته نسبت به متغیر مستقل، $\overline{X}_i$ و$\overline{Y}$ به‌ترتیب نمایانگر میانگین متغیرهای X و Y، MP_i تولید نهایی و AP_i نشان‌دهنده تولید متوسط نهاده iام است. به‌عنوان مثال در مورد نهاده اول (سطح زیرکشت) رابطه (۱۰) را می‌توان نوشت:

$$e_1=\beta_1+\beta_{11}\mathrm{lnX}_1+\beta_{12}\mathrm{lnX}_2+\beta_{13}\mathrm{lnX}_3+\beta_{14}\mathrm{lnZ}_1+\beta_{15}\mathrm{lnZ}_2 \qquad \text{(رابطه ۱۰)}$$

چنانچه کشش جزئی نهاده‌ها در فرآیند تولید محاسبه و با هم‌دیگر جمع شوند حاصل بازده نسبت به مقیاس را نشان می‌دهد. بدین مفهوم که اگر تمامی نهاده‌ها به یک نسبت دچار تغییر شوند ستاده به‌دست آمده چند درصد تغییر پیدا می‌کند. اگر درصد تغییر نهاده‌ها از درصد تغییر محصول کمتر باشد گفته می‌شود که بازده صعودی نسبت به مقیاس وجود دارد و لذا واحدهای بزرگ‌تر صرفه‌های اقتصادی را تجربه می‌کنند و برعکس.

جهت شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی از رابطه (۱۱) بهره گرفته می‌شود (قاسمی و همکاران ،۲۰۲۳):

$$\mathrm{EE}_i=\alpha_0+\sum_{i=1}^{n}\alpha_i\,D_i \qquad \text{(رابطه ۱۱)}$$

که در آن EE_i بیانگر کارایی زیست‌محیطی، α_i پارامترها، D_i عوامل تأثیرگذار بر کارایی شامل D_1 متغیر سن، D_2 متغیر تحصیلات، D_3 متغیر شغل اصلی(شغل غیرکشاورزی عدد صفر و کشاورزی عدد یک)، D_4 میزان سطح زیرکشت سیب‌زمینی و D_5 تعداد قطعات کاشت سیب‌زمینی است. جهت برآورد تابع و نیل به هدف تحقیق، داده‌ها و اطلاعات موردنیاز از طریق تکمیل پرسشنامه از ۱۶۰ سیب‌زمینی‌کار شهرستان اردبیل گردآوری شد. حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران تعیین و از روش نمونه‌گیری تصادفی دو مرحله‌ای استفاده شد بدین مفهوم که ابتدا روستاها و سپس

کشاورزان جهت جمع‌آوری داده‌ها مشخص گردیدند. داده‌ها عمدتاً از بخش مرکزی شامل دهستان‌های سردابه، بالغلو، شرقی، ارشق شرقی و کلخوران جمع-آوری شد. برای تحلیل داده‌ها و برآورد مدل از نرم افزار Stata 17 استفاده به‌عمل آمد.

نتایج و بحث

در راستای نیل به هدف تحقیق از آزمون نسبت درستنمایی (LR) برای تعیین فرم تابعی بهره گرفته شد. نتیجه نشانگر ارجحیت تابع تولید ترانسلوگ نسبت به کاب-داگلاس برای محاسبه میزان کارایی بود. نتایج برآورد تابع تولید ترانسلوگ مرزی تصادفی در جدول (۱) ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که عوامل تولید زمین، بذر و نیروی‌کار به‌عنوان نهاده‌های نرمال و کود شیمیایی و سم به‌منزله نهاده‌های زیانبار تأثیر معنی‌دار بر میزان تولید، محصول سیب‌زمینی دارند. مقدار محاسبه شده γ بزرگ‌تر از صفر است بنابراین، وجود عدم کارایی تأیید شده و لذا برتری روش حداکثر درست-نمایی به روش حداقل مربعات معمولی آشکار می‌گردد.

جدول۱- نتایج برآورد تابع تولید ترانسلوگ مرزی تصادفی

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره Z
عرض از مبدأ	-۱۶/۰۶	۱۱/۰۴۶	-۱/۴۵
زمین	۳/۱۶۴**	۱/۸۱۵	۱/۸۴
بذر	۲/۴۸۳*	۱/۴۴۷	۱/۶۷
نیروی‌کار	۱/۶۹۶	۲/۲۸۵	۰/۷۴
کود شیمیایی	-۳/۳۴۲**	۱/۹۴۷	-۱/۸۳
سم	۲/۲۷۸	۲/۵۲۵	۰/۸۷
زمین_ زمین	۰/۰۵۳	۰/۱۱۶	۰/۴۶
بذر_ بذر	-۰/۱۲۵	۰/۱۰۶	-۱/۱۸
نیروی‌کار_ نیروی‌کار	۰/۲۳۰***	۰/۰۸۵	-۲/۹۱
کود شیمیایی_ کود شیمیایی	-۰/۱۳۹**	۰/۰۷۸	-۱/۹۹
سم_ سم	۰/۲۰۵**	۰/۰۹	۲/۲۵
زمین_ بذر	-۰/۳۶۹**	۰/۱۶۲	-۲/۲۷
زمین _ نیروی‌کار	۰/۰۱۲**	۰/۰۰۵	۲/۱۴
زمین _ کود شیمیایی	۰/۲۴۲***	۰/۰۸۲	۲/۹۴
زمین _ سم	-۰/۲۴۴***	۰/۰۹۳	-۲/۷۰
بذر_ نیروی‌کار	-۰/۱۴۳	۰/۱۹۵	-۰/۷۴
بذر _ کود شیمیایی	۰/۲۸۰*	۰/۱۶۹	۱/۷۶
بذر _ سم	-۰/۰۶۶	۰/۲۰۶	-۰/۳۲
نیروی‌کار _ کود شیمیایی	۰/۱۱۲**	۰/۰۵۴	۲/۰۸
نیروی‌کار _ سم	۰/۰۹۶**	۰/۰۵۱	۱/۹۴
کود شیمیایی _ سم	-۰/۱۲۰	۰/۰۷۶	-۱/۵۷
δ_u^2	۰/۰۹۲***	۰/۰۲۸	۳/۳۲
δ_v^2	۰/۱۲۷***	۰/۰۱۶	۷/۶۴
γ	۰/۷۲۵***	۰/۰۴۲	۱۷/۲۲

***،** و* به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح ۱ ، ۵ و ۱۰ درصد را نشان می‌دهد.

از آنجاییکه ضرایب تابع ترانسلوگ دارای تفسیر کاربردی و خاصی نمی‌باشند لذا برای ارزیابی اصولی‌تر میزان اثرگذاری متغیرهای مستقل بر مقدار تولید مطابق رابطه (۱۱) نسبت به محاسبه کشش عوامل تولید مورد استفاده اقدام گردید. نتیجه محاسبه کشش‌های نهاده‌ها در جدول (۲) گزارش شده است. مطابق جدول (۲)، مقدار کشش جزئی محاسبه شده برای متغیر نیروی‌کار نشان می‌دهد که به‌ازای یک درصد افزایش در میزان بکارگیری نیروی‌کار، تولید سیب‌زمینی ۰/۶۹۰ درصد افزایش می-یابد، در حالیکه مقدار کشش تولید سموم (۰/۰۶۴-) نیز بیانگر آن است که به‌ازای یک درصد اضافه شدن میزان بکارگیری سموم شیمیایی، مقدار تولید این محصول زیست‌محیطی ۰/۰۶۴ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بکارگیری این نهاده در ناحیه

سوم تولید قرار داشته و لذا به‌شکل غیراقتصادی از آن استفاده می‌شود. با توجه به مقادیر کشش‌های به‌دست آمده، استفاده از نهاده‌های زمین، نیروی‌کار و کود شیمیایی در ناحیه دوم تولید قرار دارند که این بیانگر اقتصادی بودن میزان بکارگیری این عوامل است. عامل بذر در ناحیه اول تولید به‌کار گرفته می‌شود و تولیدکنندگان بایستی برای کسب حداکثر سود مقدار مصرف آن‌را اضافه نمایند. مجموع کشش‌های جزئی عوامل تولید بزرگ‌تر از یک است بنابراین می‌توان استنباط کرد که در تولید سیب‌زمینی بازده صعودی نسبت به مقیاس وجود دارد چرا که درصد افزایش متناسب تمامی نهاده‌ها از درصد تغییر مقدار محصول تولیدی کمتر است.

جدول۲- کشش نهاده‌های مورداستفاده در تولید سیب‌زمینی

نهاده	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
نیروی‌کار	۰/۶۹۰	۰/۰۹۰	۰/۲۵۰	۰/۹۷۰
بذر	۱/۱۳۳	۰/۲۰۹	۰/۳۵۷	۱/۷۲۰
زمین	۰/۰۶۴۵	۰/۱۶۳	-۰/۹۲۰	۰/۴۶۰
کود شیمیایی	۰/۷۴۰	۰/۱۵۱	۰/۲۰۱	۱/۴۶۱
سموم	-۰/۰۶۴	۰/۱۲۶	-۰/۵۴۰	۰/۵۵۰

مطابق جدول (۳)، میانگین کارایی زیست‌محیطی مزارع منطقه موردمطالعه برابر ۶۷/۸۷ درصد است. تیان و همکاران (۲۰۱۶) ، مولائی و همکاران (۲۰۱۷) و قاسمی و همکاران (۲۰۲۳) نیز در مطالعه کارایی تولیدات کشاورزی ارقامی نسبتاً مشابه را گزارش کردند. با عنایت به مفهوم کارایی زیست‌محیطی، این امکان برای سیب‌زمینی‌کاران موردمطالعه وجود دارد که جهت به‌دست آوردن مقدار تولید قبلی خود با همان سطح نهاده‌های نرمال میزان بکارگیری نهاده‌های زیانبار را ۳۲/۱۳ درصد کاهش دهند. کاهش مصرف نهاده‌های مضر، موجب تولید و عرضه محصول سالم‌تر شده و می‌تواند به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه و لذا اقتصادی‌تر کردن فرآیند تولید سیب‌زمینی منجر شود.

نتایج حاصل از بررسی عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، همانند نتایج مطالعات دشتی و همکاران (۲۰۱۲) و مولایی و همکاران (۲۰۱۷) عامل سن تأثیر مثبت و معنی‌داری بر کارایی دارد. به‌طوریکه اگر سن کشاورز یک سال بیشتر شود میزان کارایی وی ۰/۰۲۱ واحد (درصد) اضافه می‌شود. با افزایش سن کشاورز، میزان تجربه، آگاهی، دانش و مهارت وی نیز بیشتر می‌شود که این عامل سبب می‌شود تا کشاورزان در فرآیند تولید محصول نسبت به تولید سالم همراه با منفعت اقتصادی توجه ویژه‌ای داشته باشند. وجود افراد دارای تحصیلات بالاتر در خانوار کشاورز تأثیر مثبتی بر کارایی زیست‌محیطی داشته است. دشتی و همکاران (۲۰۲۱) و قاسمی و همکاران (۲۰۲۳) نیز در نتایج پژوهش خود به این امر اشاره کرده‌اند. بنابراین افراد با سواد و دارای علم بیشتر، با آگاهی بیشتر به حفاظت از منابع طبیعی پرداخته و در تولید محصول خود حتی‌المقدور از عوامل زیانبار زیست‌محیطی استفاده کمتری به‌عمل می‌آورند. افراد دارای شغل کشاورزی به‌عنوان شغل اصلی نسبت به سایر افراد دارای مشاغل دیگر تمرکز بیشتری روی کار خود دارند که این مورد نیز تأثیر مثبتی بر کارایی زیست‌محیطی دارد زیرا چنین تولیدکنندگانی تمام نیروی مدیریتی و امکانات سرمایه‌ای خود را به فعالیت کشاورزی اختصاص داده و حتی‌الامکان از نهاده‌های مضر کمتر در تولید محصول بهره

جدول۳- توزیع فراوانی کارایی زیست‌محیطی کشاورزان تولید کننده سیب‌زمینی

دامنه کارایی	فراوانی	درصد
کمتر از ۴۰	۲	۱/۲۵
۴۱-۵۰	۳	۱/۸۷۵
۵۱-۶۰	۲۱	۱۳/۱۲۵
۶۱-۷۰	۶۰	۳۷/۵
۷۱-۸۰	۵۶	۳۵
بیشتر از ۸۰	۱۸	۱۱/۲۵
میانگین	۶۷/۷۸	-
حداقل	۳۹/۰۲	-
حداکثر	۱۰۰	-
انحراف معیار	۱۱/۴۰	-

می‌گیرند. نتیجه این امر ضمن کاهش هزینه تولید، کمک به ارتقاء کارایی و افزایش بهره‌وری عوامل تولید خواهد بود. بر اساس یافته‌های تحقیق میزان سطح زیرکشت (زمین) سیب‌زمینی تأثیر مثبت بر کارایی زیست‌محیطی نشان داد چرا که با افزایش سطح زیرکشت به میزان یک هکتار کارایی تولید ۰/۷۳ واحد اضافه می‌شود. اصولاً با بیشتر شدن سطح زیرکشت تولیدکنندگان سعی می‌کنند نهاده‌های موردنیاز را از مراکز تولید یا عمده‌فروشان با قیمت نسبتاً پایین‌تری خریداری نمایند که نتیجه آن کاهش هزینه تولید و افزایش سودآوری خواهد بود. از طرف دیگر با افزایش سطح زیرکشت امکان بهره‌گیری از تکنولوژی‌های نوین نظیر انواع ماشین‌آلات و آبیاری تحت فشار بیشتر گردیده و لذا با انجام به موقع عملیات کشاورزی امکان افزایش تولید بدون بکارگیری مقادیر زیادتری از مواد شیمیایی میسر شده و لذا کارایی زیست‌محیطی افزایش می‌یابد. همان‌طوریکه در جدول (۲) ملاحظه گردید در تولید محصول سیب‌زمینی منطقه موردمطالعه بازده صعودی نسبت به مقیاس وجود دارد (RTS>1) بدین‌ترتیب پرداختن به تولید در مقیاس بزرگ-تر، توأم با صرفه اقتصادی خواهد بود. افزایش تعداد قطعات سطح زیرکشت سبب کاهش کارایی می‌گردد زیرا کشاورز مجبور است در یک سال زراعی در چند قطعه زمین دور از هم فعالیت کند که با هدررفت زمان و افزایش هزینه‌های تولید در مجموع کارایی دچار افت می‌شود. ضمن‌اینکه تولید در قطعات کوچک امکان بکارگیری تکنولوژی‌های مدرن نظیر آبیاری تحت فشار و ماشین-آلات را غیراقتصادی و گاهاً غیرممکن می‌نماید.

جدول۴-عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی سیب‌زمینی‌کاران

متغیر	ضریب	آماره t
عرض از مبدا	۰/ ۹۰۷***	۸/۴۸
سن	۰/۰۲۱*	۱/۶۷
تحصیلات	۰/۰۱۴	۱/۵۳
شغل اصلی	۰/۳۵**	۱/۸۳
سطح زیرکشت	۰/۷۳***	۱/۹۲
قطعات زمین	-۰/۴۸***	۲/۳۷

***،** و* به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح ۱ ، ۵ و ۱۰ درصد را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش شد تا میزان کارایی زیست‌محیطی تولیدکنندگان سیب‌زمینی و عوامل مؤثر بر آن در شهرستان اردبیل مورد تحلیل واقع شود. داده‌ها با استفاده از تکمیل پرسشنامه از ۱۶۰ کشاورز تولیدکننده سیب‌زمینی گردآوری شد. برآورد تابع تولید ترانسلوگ مرزی تصادفی نشان داد که نهاده‌های زمین، بذر، نیروی‌کار، کود شیمیایی و سم تأثیر معنی‌داری بر تولید سیب‌زمینی دارند. میانگین کارایی زیست‌محیطی سیب‌زمینی‌کاران برابر با ۶۷/۸۷ به‌دست آمد، ضمن‌اینکه قریب ۸۴ درصد از سیب‌زمینی‌کاران کارایی زیست-محیطی بالای ۶۰ درصد دارند. مقادیر کمتر کارایی زیست‌محیطی نشان از توجه کم سیب‌زمینی‌کاران به مسائل زیست‌محیطی و استفاده غیراصولی از نهاده‌های سموم و کودهای شیمیایی دارد. بر اساس نتایج، با افزایش سن تجربه کشاورزان نیز افزایش می‌یابد لذا به کشاورزان خرده‌پا توصیه می‌شود از تجربیات و دانش فنی کشاورزان با تجربه جهت دستیابی به حداکثر سود همگام با تولید سالم، بهره بگیرند. بهره‌مندی از تحصیلات بالا در خانوار کشاورز امتیاز مثبتی تلقی می‌گردد زیرا این افراد دانش کافی در بکارگیری کمتر نهاده‌های زیانبار دارند لذا توصیه می‌شود از حضور و مشارکت چنین افرادی در فرآیند تولید استقبال گردد. نظر به اینکه از طرفی تولید سیب‌زمینی دارای بازده نسبت به مقیاس صعودی است و از طرف دیگر افزایش تعداد قطعات سبب کاهش کارایی می‌شود از این‌رو پیشنهاد می‌شود تولید محصول به‌صورت یکجاکاری انجام شود تا امکان صرفه‌جویی در زمان و هزینه برای بهره‌بردار فراهم شود. نهایتاً استفاده از کود و سموم شیمیایی ضمن آلوده کردن محصول، خسارت زیست‌محیطی قابل-توجهی هم بر جای می‌گذارند بنابراین جهت کاهش این خسارات و بهبود وضعیت اقتصادی و حفظ سلامت بشر توجه به تولید پاک حائز اهمیت است. برای این منظور به کشاورزان توصیه می‌شود در راستای تولید محصول سالم با رعایت عملیات کشاورزی پایدار حتی‌المقدور از نهاده‌های زیانبار کمتر استفاده به‌عمل آورند. نظر به اینکه مطابق کشش تولید به‌دست آمده از نهاده بذر در ناحیه اول استفاده می‌شود لذا جهت افزایش مقدار تولید و بهبود کارایی توصیه می‌شود از این عامل به میزان زیادتری استفاده شود. همچنین کشش تولید سم منفی بوده که بیانگر مصرف بی‌رویه آن می‌باشد از این‌رو توصیه می‌شود کشاورزان با کاهش مقدار مصرف آن به بهبود عرضه محصول سالم‌تر و افزایش کارایی زیست‌محیطی کمک کنند.

سپاسگزاری

از کلیه کشاورزان سیب‌زمینی‌کار و نیز مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اردبیل که در تهیه‌ی اطلاعات و تکمیل پرسشنامه‌ها نهایت همکاری را مبذول داشتند صمیمانه قدردانی می‌نماید.

منابع مورد استفاده

Bai X, Salim R and Bloch H. 2019.Environmental efficiency of apple production in China: A translog stochastic frontier analysis. Agricultural and Resource Economics Review, 2(48): 199-220. https://doi.org/10.1017/age.2018.25

Coelli T J, Rao D S P O, Donnell C J and Battese G E. 2005. An introduction to efficiency and productivity analysis. Springer Science & Business Media, New York, NY 10013, USA.

Dashti Gh, Yavari S, Pishbahar S and Hayati B. 2012. Effective factors on the broiler firms technical efficiency of the Sonqor-Kolyaeee county. Journal of Animal Science Research, 21(3): 83.(In Persian). https://doi.org/10.22067/jead2.v33i3.28145

Dashti G, Vahedi J and Hosseinzad J. 2021. Estimation of profit efficiency and its effective factors for rainfed Wheat of Ahar county. Agricultural Economics and Development, 29(3), 99-121 .(In Persian). 10.30490/aead.2021.353806.1314

Dang N H. 2017. Profitability and profit efficiency of rice farming in Tra Vinh province, Vietnam. Review of Integrative Business and Economics Research, 6: 191-201.

Dogan B, Madaleno M, Tiwari A K and Hammoudeh S. 2020. Impacts of export quality on environmental degradation: does income matter? Environmental Science and Pollution Research, 27(12): 13735-13772. https://doi.org/10.1007/s11356-019-07371-5

Färe R, Grosskopf S, Lovell K C and Pasurka C. 1989. Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach. Review of Economics and Statistics, 71: 90–98. https://doi.org/10.2307/1928055

Ghasemi E, Dashti Gh and Vahedi J. 2023.Technical efficiency, environmental efficiency and economic losses of rainfed wheat production in Ahar county. Agricultural Economic, 17(1):1-20.(In Persian). doi :10.22034/iaes.2022.1971035.1954

Hong N B and Yabe M. 2015 . Resource use efficiency of tea production in Vietnam: Using translog SFA model. Journal of Agricultural Science, **7**(9): 160–172. http://dx.doi.org/10.5539/jas.v7n9p160

Hooshmandi H, Mirzavand J and Zare M. 2021. Effect of tillage practices and nitrogen rates on nitrogen use efficiency and nitrogen nutrition index of wheat in a calcareous soil (case study: Zarghan region, Fars province). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31(1): 239-257.(In Persian). doi :10.22034/saps.2021.12811

Lagrid M, Beckman A K and Korstad A. 2012. Agriculture, fertilizer and environment. Publications of Ferdowsi University of Mashhad.(In Persian).

Lan P M and Minh N K. 2023. Environmental efficiency evaluation in Vietnam textile and garment industry: Super-SBM model with undesirable output approach. Nature Environment and Pollution Technology, 22(2): 731-740. https://doi.org/10.46488/NEPT.2023.v22i02.016

Le T L, Huynh N and Chung R H. 2020. Environmental efficiency of rice production in Vietnam: An application of SBM-DEA with undesirable. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 21(6): 2710-2715. https://doi.org/10.13057/biodiv/d210645

Malawal P, Anupong W and Peng K C. 2023. Environmental efficiency pf papaya production in Taiwan. International Journal, 79(6/1):29-40. doi :10.21506/j.ponte.2023.6.3

Mardani Najafabadi M, Abdeshahi A and Ahani E. 2023. Determining the eco-efficiency of major crops in selected regions of Khuzestan province. Journal of Agricultural Economics and Development,1-24.(In Persian). https://doi.org/10.22067/jead.2023.78856.1158

Ministry of Agriculture Jihad. 2023. www.maj.ir.

Molaei M, Hesari N and Javanbakht O. 2017. The estimation of input-oriented environmental efficiency of agricultural products, case study: environmental efficiency of Rice production. Agricultural Economics, 2(11): 157-172. (In Persian). doi:10.22034/iaes.2017.26798

Molaei M. 2022. Estimating environmental efficiency and economic losses of sugar beet production in Urmia lake basin (central and Nazlu chay districts). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32(3): 319-331.(In Persian). doi:10.22034/saps.2021.47058.2713

Norozian M, Hoseini S M, Akbarei A and Dadras Moghadam A. 2022 .Effective factors on environmental efficiency rapeseed cultivation in provinces of Iran (approach spatial econometric). Journal of Agricultural Economics Research, 13(4):60-77.(In Persian). doi:10.30495/jae.2021.21934.2043

Pittman R W. 1981. Issues in pollution control: Interplant cost differences and economies of scale. Land Economics, 1(57):1-17. https://doi.org/10.2307/3145748

Reinhard S, Lovell C and Thijssen G. 2000. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. European Journal of Operational Research, 2 (121): 287-303. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00218-0

Reinhard S, Lovell C A K and Thijssen G. 2002. Analysis of environmental efficiency variation. American Journal of Agricultural Economics, 4(84):1054-1065. https://doi.org/10.1111/1467-8276.00053

Tian D, Zhao F, Mu W, Kanianska R and Feng J. 2016. Environmental efficiency of Chinese open-field grape production: An evaluation using data envelopment analysis and spatial autocorrelation. Sustainability, 8(12),1246. https://doi.org/10.3390/su8121246

Tilman D, Balzer C, Hill J and Befort B D. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 108:20260–20264. https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108

Ton K. 2004. Dealing with undesirable outputs in DEA: A slack-based measure (SBM) approach. National Graduate Institute for Policy Studies, Tokyo, Japan.

Vu T, Peng K and Chung R. 2019. Evaluation of environmental efficiency of edible Canna production in Vietnam. Agriculture, 9(11): 242. https://doi.org/10.3390/agriculture9110242

Wang X, Han L and Yin L. 2017. Environmental efficiency and its determinants for manufacturing in China. Sustainability, 9(1): 47. https://doi.org/10.3390/su9010047

Wongnaa C, Awunyo-Vitor D, Mensah A and Adams F. 2019 .Profit efficiency among maize farmers and implications for poverty alleviation and food security in Ghana. Scientific African, 6: e00206. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00206

Ye R, Qi Y and Zhu W. 2023. Impact of agricultural industrial agglomeration on agricultural environmental efficiency in China: a spatial econometric analysis. Sustainability,15(14):10799. https://doi.org/10.3390/su151410799

Zhang T and Xue B D. 2005. Environmental efficiency analysis of China’s vegetable production. Biomedical and Environmental Sciences, 18(1): 21-30.

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 317-333

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

The effects of Biochar and Phosphorus on rapeseed (*Brassica napus* L.) Dry Matter, Oil content and some Nutrient Uptake in an Alkaline Loamy Soil in Greenhouse Conditions

Soheil Salimi Trazoj[1], Adel Reyhanitabar[2*], Nosratollah Najafi[3]

Received: 30 April 2024	Accepted: 28 November 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- Prof., Dept. 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 pyrolysed at 300˚C and phosphorous (P) fertilizer on growth and primary macronutrients uptake by rapeseed (*Brassica napus* L.), Hyola 308 cultivar were studied in an alkaline loamy soil.

Materials &Methods: A factorial experiment was done in a completely randomized design with three replicates. The factors were organic matter at two sources (biochar and wheat straw) and three levels (0, 20 and 40 g kg^{-1}) and P at three levels (0, 20, and 40 mg kg^{-1} as triple superphosphate). Before the plants harvesting, leaf chlorophyll index was measured. After the plant, harvesting, dry weights of shoot and root, seed oil content, the concentrations of nitrogen (N), P, and potassium (K) were determined.

Results: Application of phosphorous fertilizer and biochar significantly increased leaf chlorophyll index, dry weights of shoot and root and seed oil content compared to the control. However, the application of wheat straw resulted in a decrease in these characteristics compared to the control treatment. In addition, dual application of biochar and phosphorous increased shoot concentrations of phosphorous and potassium. The combined application of 2% biochar and 20 mg P per kg of soil resulted in the production of dry matter of the rapeseed shoot equivalent to the application of 40 mg P per kg of soil alone. Also, the combined application of wheat straw and phosphorus reduced shoot nitrogen concentration compared to the control treatment, but at the same time increased shoot phosphorus and potassium concentrations compared to the control treatment.

Conclusion: The application of biochar obtained from pyrolysis of wheat straw at 300 °C at 2% level in an alkaline loam soil improved rapeseed plant growth and led to a decrease in the consumption of P fertilizer. In all the characteristics measured in this research, the performance of biochar was better than the initial biomass, i.e. wheat straw.

Keywords: Biomass, Organic Matter, Pyrolysis, 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 Email: areyhani@tabrizu.ac.ir
http://doi.org/10.22034/saps.2024.61459.3216

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۳۳۳-۳۱۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تأثیر مصرف توأم بیوچار و فسفر بر ماده خشک، مقدار روغن دانه و جذب برخی عناصر توسط کلزا (*Brassica napus* L.) در یک خاک لوم قلیایی در شرایط گلخانه ای

سهیل سلیمی ترازوج[۱]، عادل ریحانی تبار[۲*]، نصرت اله نجفی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۸

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-استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: این تحقیق با هدف بررسی تأثیر برهمکنش فسفر و بیوچار حاصل از کاه گندم پیرولیز شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس بر رشد و جذب برخی عناصر غذایی پرمصرف توسط گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) رقم هایولا ۳۰۸ در یک خاک لوم قلیایی در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل ماده آلی در پنج سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ گرم بر کیلوگرم خاک از دو منبع کاه گندم و بیوچار حاصل از آن) و فسفر در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از منبع سوپرفسفات تریپل) بودند. قبل از برداشت گیاهان شاخص کلروفیل برگ اندازه‌گیری شد. بعد از برداشت گیاه نیز وزن خشک شاخساره و ریشه، مقدار روغن دانه و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شاخساره گیاه کلزا اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: مصرف بیوچار و کود فسفر شاخص کلروفیل برگ، وزن خشک شاخساره و ریشه و مقدار روغن دانه را نسبت به شاهد به‌طور معناداری افزایش داد. اما مصرف کاه گندم منجربه کاهش این خصوصیات نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین، مصرف توأم بیوچار و فسفر باعث افزایش غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره نسبت به شاهد شد. با این حال مصرف توأم دو درصد بیوچار و ۲۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک منجربه تولید ماده خشک شاخساره معادل مصرف به تنهایی ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک شد. همچنین، مصرف توأم کاه گندم و فسفر باعث کاهش غلظت نیتروژن شاخساره نسبت به تیمار شاهد شد، ولی همزمان غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد.

نتیجه گیری: مصرف بیوچار حاصل از کاه گندم پیرولیز شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس به میزان دو درصد در یک خاک لوم قلیایی منجربه بهبود رشد گیاه کلزا و کاهش مصرف فسفر شد. در همه صفات اندازه گیری شده در این تحقیق عملکرد بیوچار نسبت به زیست توده اولیه یعنی کاه گندم بهتر بود.

واژه‌های کلیدی: کاه گندم، کلزا، زیست توده، ماده آلی، پیرولیز

مقدمه

پس از عنصر کربن که با ۴۰ تا ۴۵ درصد حضور در وزن خشک گیاهان زراعی نقش بی بدیلی دارد فسفر نیز یکی از عناصر ضروری پرمصرف برای گیاهان است و کمبود آن در خاک‌ها، مشکل عمده حاصلخیزی خاک در سراسر دنیا ازجمله ایران است (لیندزی و همکاران ۱۹۸۹). کشاورزی مدرن وابسته به فسفر است و این عنصر پرمصرف به‌همراه نیتروژن ساختار اصلی گیاهان را تشکیل می‌دهد. فسفر در ساختمان درشت مولکول‌ها شرکت داشته و حدود ۰/۲ درصد وزن خشک گیاهان را تشکیل می‌دهد (اندرسون و همکاران ۲۰۱۱). برای مقابله با کمبود فسفر سالانه حدود ۲۳ میلیون تن کود فسفر در جهان مصرف می‌شود (بی نام ۲۰۲۱). با این‌حال، تنها ۵ تا ۳۰ درصد از کود فسفر مصرف شده، توسط گیاه استفاده می‌شود (پریس ۲۰۰۶). تثبیت فسفر در زمین‌های کشاورزی و میزان بازیابی کم باعث شده است که حدود ۸۰ درصد از منابع سنگ فسفات جهان در حال حاضر در صنعت تولید کود استفاده شود (شو و همکاران ۲۰۰۶).

استفاده از ضایعات کشاورزی غنی از فسفر می‌تواند از بسته شدن چرخه ژئوشیمیایی فسفر و تخلیه سنگ فسفات باقیمانده جلوگیری کند (فرستیک و سوجا ۲۰۱۵). یکی از راه‌کارهای استفاده از بقایای کشاورزی که اخیراً مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است بیوچار است. بیوچار می‌تواند به‌عنوان یک منبع ارزشمند فسفر برای تغذیه گیاه باشد (وانگ و همکاران ۲۰۱۴). این اثر به عرضه مستقیم فسفر در شکل‌های قابل‌جذب، به تغییرات pH خاک و یا افزایش فعالیت میکروبی توسط بیوچار نسبت داده می‌شود که برایند این فرایندها ممکن است منجربه تحرک فسفر خاک شود (اتکینسون و همکاران ۲۰۱۰) کاربرد مواد آلی در خاک می‌تواند فراهمی فسفر را افزایش دهد. امّا میزان مواد آلی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک ازجمله خاک‌های آهکی ایران کم بوده و به‌دلیل تجزیه سریع، اثر مواد آلی افزوده شده هم پس از گذشت مدت زمان نسبتاً کوتاهی کاهش می‌یابد (زلفی و همکاران ۲۰۱۷). استفاده از مواد آلی پایدار با نیمه عمر زیاد مانند بیوچار شاید یک ایده مناسب برای افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود تولید محصولات کشاورزی در این مناطق باشد. همچنین، بیوچار در کربن اندوزی در خاک و کاهش گرمایش جهانی نقش مهمی ایفا می‌کند (لوسیبا و همکاران ۲۰۱۷). لذا تحقیقات گسترده‌ای در ارتباط با بیوچار برای مدیریت بقایای گیاهی و افزایش فراهمی عناصر غذایی گیاه ضروری به نظر می‌رسد. در مورد برهمکنش فسفر و بیوچار در جهان گزارش‌های کمی منتشر شده است.

کلزا (*Brassica napus* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در سطح جهان مطرح می‌باشد. حدود ۹۰ درصد روغن مصرفی ایران از خارج از کشور وارد شده و اخیراً کشت کلزا و توجه به تغذیه آن در برنامه‌های وزارت کشاورزی قرار گرفته است. در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش کارایی مصرف آن-ها استفاده از کودهای آلی ازجمله بیوچار به‌عنوان منبع غنی از عناصر غذایی می‌تواند به پایداری تولیدات کشاورزی منجر شود. با توجه به مطالب فوق، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر مصرف توأم بیوچار و فسفر بر برخی پارامترهای رشد و جذب عناصر غذایی پرمصرف اولیه توسط کلزا در یک خاک آهکی و در شرایط گلخانه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه در این تحقیق 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 از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برخی از 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)، عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) قابل‌جذب 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).

برای آماده‌سازی نمونه‌ها، کاه گندم از ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان دانشگاه تبریز تهیه و به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس برای حذف مواد زائد و گرد و خاک، ابتدا با آب شهری شستشو و در داخل آب مقطر قرار داده شد و به‌منظور همگن‌سازی نمونه‌ها پس از خشک شدن به‌وسیله آسیاب خرد و از الک یک میلی-متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های کاه گندم در جدول ۲ آمده است.

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

بافت خاک	شن	سیلت	رس	OC	CCE	FC	pH	EC ($dS.m^{-1}$)
	(%)							
لوم	۴۶/۱	۳۹/۳	۱۴/۵	۱/۱	۱۳/۳۵	۱۹	۷/۷	۰/۶۹

ادامه جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق.

نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	منگنز
($g\ 100g^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)					
۰/۱۳	۴/۸	۲۹۰/۶	۱/۷	۱/۵	۰/۶	۴/۵

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کاه گندم مورد استفاده در این تحقیق.

خاکستر	کربن	هیدروژن	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	C/N	pH (۱:۱۰)	EC(۱:۱۰) ($dS\ m^{-1}$)
($g\ 100g^{-1}$)				($g\ kg^{-1}$)				
۱۶/۶۵	۳۹/۷۰	۶/۲۶	۰/۶	۰/۷۹	۲/۶۶	۶۶/۱۶	۷/۵۶	۰/۶۸۱

برای تولید بیوچار، ابتدا مواد اوّلیه 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 اوّلیه 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 (شکل ۱).

شکل ۱- شکل بیوچار کاه گندم در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس (سمت راست) و زیست‌توده اولیه (سمت چپ).

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار ازجمله مقدار کل عناصر کربن، هیدروژن و نیتروژن با استفاده از دستگاه CHN Elemental Analyzer (Carlo-Erba NA-1500) ساخت کشورآلمان، 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 ۳). این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل ماده آلی از دو منبع (بیوچار و کاه گندم) و در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و فسفر در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از منبع سوپرفسفات تریپل) بودند. به خاک با کلاس بافتی لوم، سطوح کاه گندم و بیوچار افزوده و به مدت ۳۰ روز در دامنه رطوبتی بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد FC و در دمای ۲۵±۵ درجه سلسیوس در شرایط گلخانه نگهداری شد تا کاملاً مواد آلی مصرفی با خاک مخلوط شود. براساس نتایج آزمون خاک و توصیه‌های رایج کودی، مقدار ۱۰ میلی‌گرم آهن برکیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن (FeEDDHA)، پنج میلی‌گرم مس برکیلوگرم خاک از منبع سولفات مس ($CuSO_4.5H_2O$) با در نظر گرفتن وزن خاک هر گلدان (سه کیلوگرم خاک) به صورت محلول موقع کشت مصرف شد. البته کود فسفر در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلیگرم فسفر برکیلوگرم خاک از منبع سوپر-فسفات تریپل) همزمان با کاشت بذور استفاده شد. در این تحقیق کود نیتروژن در پنج نوبت و در هر نوبت ۵۰ میلی¬گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره، به‌دلیل نیاز فراوان گیاه کلزا به کود نیتروژن، در طول دوره رشد مصرف گردید. بقیه عناصر ضروری همچون روی و منگنز به دلیل غلظت کافی در خاک مصرف نشدند.

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار مورد استفاده در این تحقیق.

عملکرد	خاکستر	کربن	هیدروژن	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	C/N	pH	EC(۱:۱۰)
		($g\ 100g^{-1}$)			($g\ kg^{-1}$)			(۱:۱۰)	($dS\ m^{-1}$)
۳۷/۴۲	۲۲/۷	۴۷/۷۳	۲/۲	۰/۶۸	۱/۱۸	۴۰/۶۵	۷۰/۲	۶/۳۱	۴/۴۸

تعداد هشت بذر جوانه‌دار شده کلزا بهاره رقم هایولا ۳۰۸ در هر گلدان با قطر دهانه ۲۰ و ارتفاع حدود ۲۲ سانتیمتری حاوی سه کیلوگرم خاک کشت شدند. بعد از سبز شدن و اطمینان از استقرار آن‌ها، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به سه عدد کاهش یافت. رطوبت خاک در طول این دوره در دامنه رطوبتی بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد FC به روش وزنی در دمای ۲۵±۵ درجه سلسیوس نگه‌داشته شد. در طول دوره رشد، شاخص کلروفیل برگ(SPAD) با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech، مدل CL–01) قبل از برداشت گیاه اندازه‌گیری شد. بعد از سه ماه و رسیدگی فیزیولوژیک گیاه، وزن خشک شاخساره و ریشه گیاهان اندازه‌گیری شد. هم بخش ریشه و هم بخش هوایی با آب مقطر شستشو داده شدند و روی کاغذ خشک کن پهن شدند تا آب آضافی در سطح خشک شوند. البته بخش ریشه ابتدا در آب مقطر غوطه ور شد و دوباره در روی کاغذ خشک شدند. بعدا نمونه ها در آون با دمای ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند.همچنین، مقدار روغن دانه به روش سوکسله[۱] تعیین و از حاصلضرب درصد روغن در وزن خشک دانه تعیین گردید. بعد از هضم نمونه‌های گیاهی غلظت نیتروژن به روش میکروکجلدال، غلظت فسفر به روش زرد با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Su-6100)

[۱] Soxhlet

ساخت شرکت فیلرساینتفیک آمریکا و غلظت پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (Corning, Flame Photometer – 410) ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس با نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. ترسیم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. همانند اکثر خاک‌های ایران کمبود ماده آلی مشهود است (شهبازی و بشارتی ۲۰۱۳). سطح بحرانی فسفر برای خاک‌های آهکی ایران حدود ۱۲ تا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شده است و خاک مورد استفاده دچار کمبود فسفر قابل‌جذب بود. از نظر آهن و مس نیز کمتر از سطح بحرانی بوده ولی از نظر روی و پتاسیم قابل‌جذب بالاتر از سطح بحرانی بود (شهبازی و بشارتی ۲۰۱۳). همچنین، مشکل شوری در خاک مورد استفاده در این تحقیق مطرح نبود.

به برخی از ویژگی‌های کاه و بیوچار مورد استفاده در این پژوهش در جدول‌های ۲ و ۳ اشاره شده است.

بیوچار سرشار از گروه‌های عاملی اسیدی همچون هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم و عامل‌های آلی همچون اسیدهای فنولی بوده و اگر فلزات قلیایی و قلیایی خاکی در مقادیر متنابهی وجود نداشته باشند انتظار بر آن است که pH آن اسیدی باشد (سینگ و لهمان ۲۰۱۷). واکنش بیوچار تولید شده در این تحقیق اسیدی ضعیف بود که البته در خاک‌های آهکی امتیاز مثبتی می‌باشد (جدول۳). به‌دلیل حضور فلزات قلیایی در بیوچار هدایت الکتریکی بیوچار نسبتا زیاد بود. از نظر شکل قابل دسترس عناصر نیز بیوچار مورد استفاده دارای مقادیر متنابهی فسفر بود که می‌تواند باعث بهبود رشد گیاه شود. البته بر اثر حرارت دادن زیست‌توده اوّلیه مقادیری آمونیوم و نیترات هم در بیوچار تولید می‌شود که به‌عنوان نیتروژن قابل دسترس بیوچار شناخته می‌شود (لهمان و جوزف ۲۰۲۴).

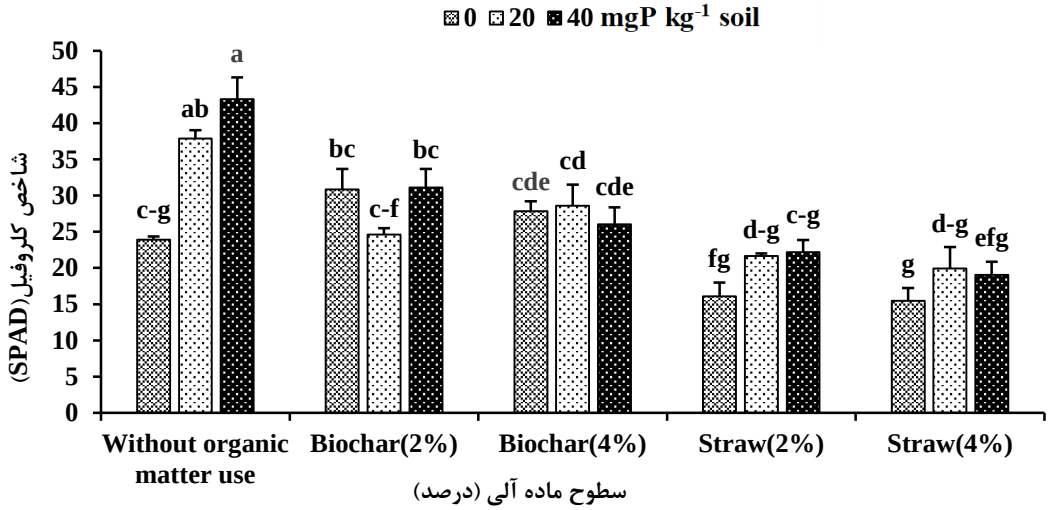
شاخص کلروفیل

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر سطوح ماده آلی و فسفر بر شاخص کلروفیل، وزن خشک شاخساره، وزن خشک ریشه و مقدار روغن دانه.

		میانگین مربعات			
منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص کلروفیل	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه	مقدار روغن دانه
ماده آلی	۴	۴۲۷/۵۳۹**	۷۱۸/۸۸۴**	۷۰/۸۲۶**	۳۴۹۸۲۶/۸۹۸**
فسفر	۲	۱۱۸/۵۱۳**	۳۸۰/۷۸۵**	۴۳/۷۰۲**	۴۴۶۹۶/۵۰۴**
ماده آلی × فسفر	۸	۶۹/۵۷۳**	۳۸/۳۷۹**	۳/۳۵۳**	۸۴۴۸/۸۶۹**
خطا	۳۰	۲۲/۱۲۶	۲/۴۶۳	۰/۲۲۷	۱۷۲۳/۷۵۰
ضریب تغییرات (٪)		۱۸/۱۶	۶/۱۳	۵/۶۰	۱۲/۲۹

** معناداردر سطح احتمال یک درصد است.



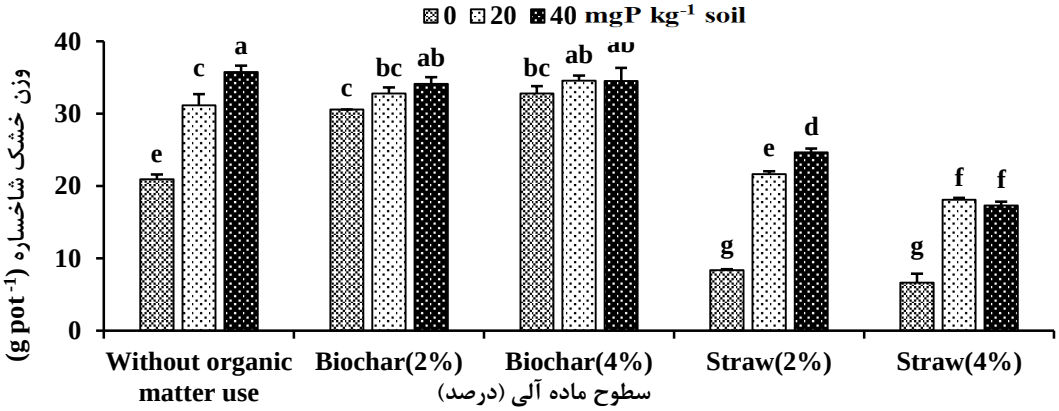
شکل ۲- مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل(SPAD) برگ کلزا برای ترکیب تیماری ماده آلی و فسفر

در شرایط این تحقیق گلخانه‌ای، بین سطوح بیوچار مصرفی از نظر شاخص کلروفیل در سطوح متناظر فسفر مصرفی تفاوت معناداری وجود نداشت. همین نتیجه برای دو سطح کاه نیز صادق بود (شکل ۲). اگرچه ماده آلی مصرفی باعث کاهش شاخص کلروفیل شد، اما این کاهش برای زیست‌توده اولیه بیشتر از بیوچار مصرفی بود (شکل ۲). در مطالعه‌ای که سان و همکاران (۲۰۱۷) با مصرف بیوچار کاه ذرت در مقادیر مختلف (۰، ۱، ۳، ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد) بر روند رشد گیاه ذرت در یک خاک اسیدی انجام دادند، گزارش کردند که استفاده از بیوچار به میزان یک تا پنج درصد باعث افزایش مقدار کلروفیل و میزان فتوسنتز گیاه ذرت شد. اما در این آزمایش در یک خاک آهکی فقیر از ماده آلی به‌رغم مصرف ۲۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در پنج قسط شاخص کلروفیل باز هم کاهش یافت که دلایل متعددی می‌تواند داشته باشد. افزایش رشد گیاه و اثر رقت، غیرمتحرک شدن نیتروژن معدنی و کاهش غلظت و جذب نیتروژن و برخی عناصر دیگر همگی می‌توانند از دلایل مذکور باشند. رابطه هم‌افزایی فسفر با نیتروژن و تأثیر مثبت فسفر مصرفی بر وضعیت نیتروژن گیاه و در نتیجه شاخص کلروفیل از دیر باز امر شناخته شده‌ای بوده و در این تحقیق گلدانی هم فسفر مصرفی به‌شدت شاخص کلروفیل را افزایش داد.

وزن خشک شاخساره

وزن خشک یکی از مهم‌ترین صفات زراعی است و تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک شاخساره کلزا در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴).

مقایسه میانگین‌های وزن خشک شاخساره برای اثر متقابل ماده آلی و فسفر نشان داد که بیشترین وزن‌خشک شاخساره در سطح صفر ماده آلی ولی با مصرف ۴۰ میلی‌گرم فسفر حاصل شد ولی با سطح دو درصد بیوچار با مصرف ۴۰ میلی‌گرم فسفر و چهار درصد بیوچار با مصرف ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر مصرفی تفاوت معناداری نداشت (شکل ۳). این موضوع حائز اهمیت است چون در یک خاک آهکی فقیر از فسفر قابل‌جذب، بیوچار توانسته در سطح دو درصد معادل ۲۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک (حدود ۴۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار) بر وزن خشک گیاه کلزا اثرگذار باشد. با توجه به گرانی کودهای فسفری و همین طور آلودگی آن-ها به فلزات سنگین به‌ویژه کادمیم این موضوع حائز اهمیت است. کمترین وزن خشک نیز در سطح چهار درصد کاه بدون فسفر مصرفی بود که البته تفاوت معناداری با سطح دو درصد کاه بدون فسفر نداشت (شکل ۳). محصولات حاصل از تجزیه کاه همانند



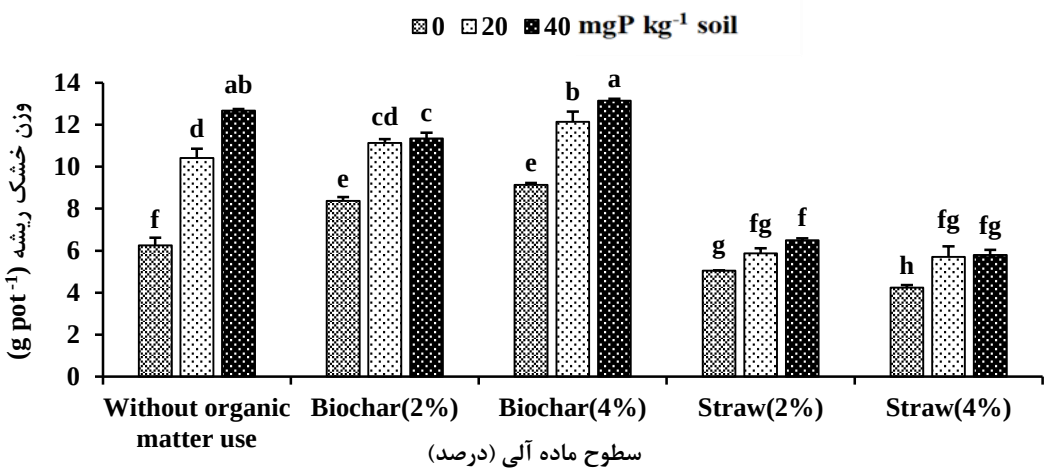
شکل ۳- مقایسه میانگین‌های وزن خشک شاخساره برای ترکیب تیماری ماده آلی و فسفر

اسیدهای آلی با جرم مولکولی بالا (به‌ویژه اسیدهای فولیک) باعث ایجاد شرایط کم‌هوازی یا بی‌هوازی موضعی در خاک شده و موجب تولید اسیدهای فنولیک، اسیدهای آلیفاتیک و اسیدهای چرب می‌شود که این شرایط باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود (مارشنر ۲۰۱۱). در مطالعه‌ای که روی بیوچار حاصل از ساقه ذرت بر پویایی فسفر و رشد ذرت در یک خاک رسی انجام گرفت، نتایج نشان داد که بیوچار باعث افزایش وزن‌خشک شاخساره گیاه ذرت به میزان ۴۸/۷ درصد در مقایسه با شاهد شد (امین ۲۰۱۸). با توجه به شکل ۳ بیوچار در دو سطح دو و چهار درصد به‌ترتیب ۴۶ و ۵۶/۵ درصد در مقایسه با شاهد باعث افزایش وزن خشک شاخساره کلزا گردید. توجه و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که با افزایش سطوح فسفر مصرفی از ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک وزن خشک شاخساره گیاه کلزا افزایش یافت. در مطالعه‌ای که توسط ملا و همکاران (۲۰۱۷) بر روی بیوچار حاصل از خاک اره و تأثیر آن بر عناصر غذایی و عملکرد گیاه تاج خروس (*Amaranthus tricolor*) انجام گرفت، گزارش شد که مصرف ۱۵ تن در هکتار بیوچار حاصل از خاک اره باعث افزایش وزن خشک شاخساره در مقایسه با شاهد شد. پارک و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که افزودن بیوچار به خاک اسیدی باعث افزایش وزن خشک گیاه گندم به میزان ۳۵/۳ درصد نسبت به سطح شاهد شد. حسینی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که افزودن فسفر به خاک تا سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک باعث افزایش معنادار وزن خشک گیاه کلزا شد و افزودن بیشتر فسفر بر وزن خشک گیاه تأثیر معناداری نداشت. کارتر و همکاران (۲۰۱۳) در گلخانه اثر بیوچار را بر رشد کاهو (*Lactuca sativa*) و کلم (*Brassica chinensis*) بررسی و گزارش کردند که کاربرد بیوچار حاصل از پوسته برنج سبب افزایش وزن خشک شاخساره هر دو گیاه در مقایسه با شاهد شد.

وزن خشک ریشه

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴).

مقایسه میانگین‌های وزن خشک ریشه برای اثر متقابل ماده آلی و فسفر نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه در سطح چهار درصد بیوچار با مصرف ۴۰ میلی‌گرم فسفر به‌دست آمد که البته تفاوت معناداری با سطح شاهد ماده آلی با مصرف ۴۰ میلی‌گرم فسفر مصرفی نداشت. همچنین، کمترین وزن خشک ریشه نیز در سطح چهار درصد کاه بدون فسفر مصرفی مشاهده شد (شکل ۴). سطوح تبادلی بیوچار حاوی عناصر غذایی مختلف می‌تواند ریشه گیاه را به سمت خود جذب کند. حتی این احتمال وجود دارد که ریشه‌های موئین گیاه به داخل ذرات بیوچار نفوذ کرده باشند (شکل ۵).



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های وزن خشک ریشه برای ترکیب تیماری ماده آلی و فسفر

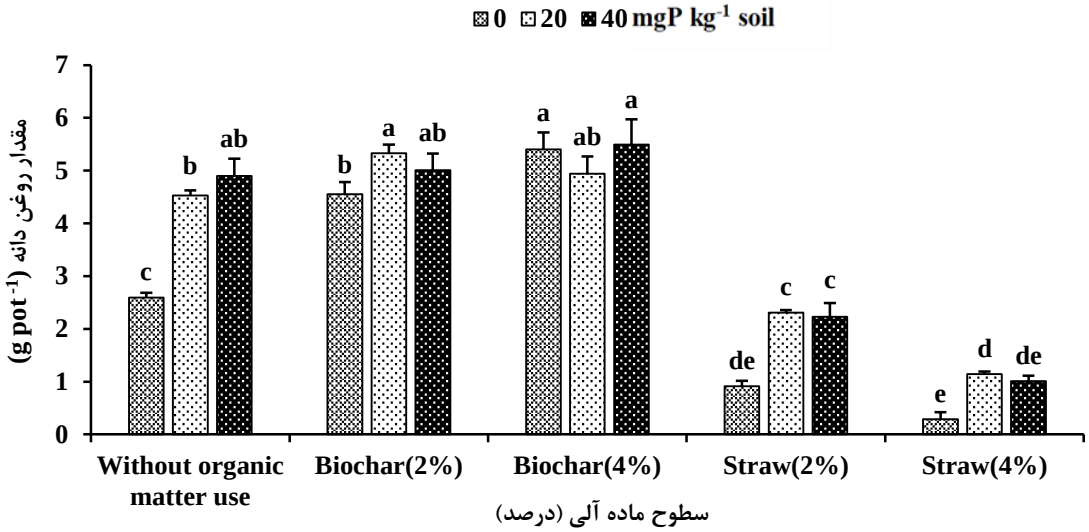
شکل ۵- تصویر ریشه گیاه کلزا در تیمارهای بیوچار چهار درصد با مصرف ۴۰ میلی‌گرم فسفر (سمت راست) و شاهد بدون مصرف فسفر و ماده آلی (سمت چپ).

جوزف و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که وقتی ریشه گیاه در مجاورت ذرات بیوچار قرار می‌گیرد ریشه‌های موئین به سطوح بیوچار متصل می‌شوند و حتی برخی از آن‌ها به داخل منافذ بیوچار نفوذ می‌کنند. بیوچار به‌دلیل بهبود حاصلخیزی فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند نقش قابل توجهی در افزایش رشد و توسعه ریشه داشته باشد. توجه و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که با افزایش سطوح فسفر از ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک وزن خشک ریشه گیاه کلزا به‌طور معناداری افزایش یافت. کارتر و همکاران (۲۰۱۳) در آزمایشی گلخانه‌ای اثر مقادیر ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم بیوچار را بر رشد کاهو و کلم بررسی و گزارش کردند که کاربرد بیوچار سبب افزایش وزن خشک ریشه هر دو گیاه در مقایسه با شاهد شد. چان و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند در خاک‌هایی که به‌علّت تراکم و خشکی محدودیت رشد ریشه در آن‌ها وجود دارد، کاربرد بیوچار می‌تواند سبب افزایش توسعه ریشه در خاک شود. ماکوتو و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که افزودن بیوچار حاصل از شاخه‌های یک نوع کاج اروپایی (*Larix gmelinii*) به خاک باعث افزایش معنادار وزن‌تر ریشه و طول ریشه در گیاه برنج شد. پرندرگاست – میلر و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که افزودن بیوچار (۰، ۲۰ و ۶۰ تن در هکتار) باعث افزایش طول ریشه گندم شد. در مطالعه بعدی، پرندرگاست – میلر و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کردند که ریشه‌ها به سمت بیوچار جذب می‌شوند. برنان و همکاران (۲۰۱۴) به این نتیجه رسیدند که استقرار ریشه در خاک را می‌توان با افزودن بیوچار افزایش داد، امّا انتخاب نوع بیوچار مهم است. در این تحقیق گلدانی و

گلخانه‌ای مشخص گردید که کاه گندم باعث کاهش اکثر صفات زراعی کلزا ازجمله وزن‌تر و خشک ریشه، شاخساره و وزن دانه شد. کاه گندم ازجمله مواد آلی هستند که لیگنین زیاد داشته و به هنگام تجزیه تولید مواد سمی گیاهی همانند اسیدهای فنولیک مانند اسید پارا– کوماریک (P-Coumaric) و اسید پارا– هیدروکسی بنزوئیک (P-hedroxy benzoic) می‌کنند که به‌شدت رشد ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این مواد به‌دلیل اثرات خود بر سوخت و ساز اکسین معروف هستند و فعالیت آنزیم اکسین اکسیداز را افزایش یا کاهش می‌دهند. در نتیجه تشکیل ریشه‌های فرعی و رشد طولی ریشه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. البته اثر منفی این مواد علاوه بر غلظت اسیدهای فنولی و چرب فرار، به خصوصیات خاک به‌ویژه pH توده خاک و ریزوسفر نیز بستگی دارد. همچنین، با افزودن دو درصد به ویژه چهار درصد کاه گندم به خاک ممکن است در ریزمکان‌هایی که تهویه خاک ضعیف می‌شود، اتیلن انباشته شود. در غلظت کم ممکن است اتیلن رشد ریشه را تسریع کند امّا در غلظت‌های بالا از رشد ریشه جلوگیری می‌کند (مارشنر ۲۰۱۱).

مقدار روغن دانه

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴).



شکل ۶- مقایسه میانگین‌های مقدار روغن دانه برای ترکیب تیماری ماده آلی و فسفر

در این آزمایش بیشترین مقدار روغن دانه در سطح چهار درصد بیوچار با مصرف ۴۰ میلی‌گرم فسفر و کمترین آن نیز در سطح چهار درصد کاه بدون مصرف فسفر حاصل شد (شکل ۶). توجه و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که با افزایش سطوح فسفر از ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک عملکرد روغن دانه گیاه کلزا به‌ترتیب ۹/۵۶ و ۱۵/۲۲ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت.

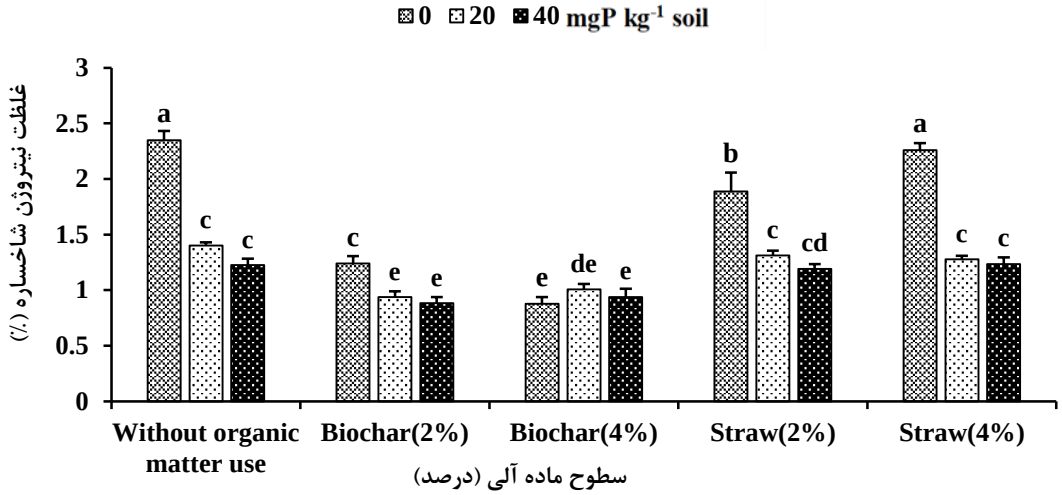
غلظت نیتروژن شاخساره

اثر اصلی ماده آلی و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت نیتروژن شاخساره گیاه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر سطوح ماده آلی و فسفر بر غلظت نیتروژن ، فسفر و پتاسیم شاخساره.

	میانگین مربعات			
منابع تغییر	درجه آزادی	غلظت نیتروژن شاخساره	غلظت فسفر شاخساره	غلظت پتاسیم شاخساره
ماده آلی	۴	۰/۹۹۳**	۲۴۸۹۴۱/۷۲**	۱/۹۳۵**
فسفر	۲	۱/۷۲۷**	۱۲۷۵۶۵/۴۰**	۰/۴۷۲**
ماده آلی × فسفر	۸	۰/۲۲۹**	۱۷۲۱۷/۷۵ns	۰/۲۳۴**
خطا	۳۰	۰/۰۱۵	۱۰۳۸۹/۳۵	۰/۰۴۴
ضریب تغییرات (٪)		۹/۰۷	۱۴/۴۲	۸/۲۱

ns و** به ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال یک درصد است.



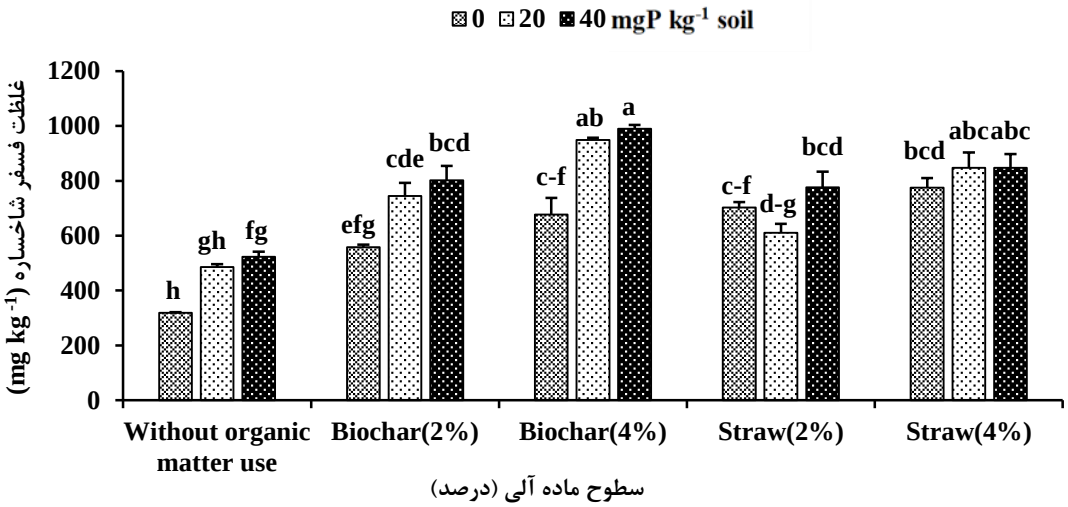
شکل ۷- مقایسه میانگین‌های غلظت نیتروژن شاخساره برای اثر متقابل ماده آلی و فسفر

اثر متقابل ماده آلی و فسفر نشان داد که بیشترین غلظت نیتروژن شاخساره در سطح بدون ماده آلی و بدون فسفر (شاهد) دست آمد که البته تفاوت معناداری با سطح چهار درصد کاه نداشت. کمترین آن نیز در سطح چهار درصد بیوچار بدون فسفر مصرفی بود ولی با سطح دو درصد بیوچار با مصرف ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر و چهار درصد بیوچار با مصرف ۲۰ و ۴۰ میلی-گرم فسفر مصرفی تفاوت معناداری نداشت (شکل ۷). نظر به افزایش وزن خشک شاخساره کلزا در اثر مصرف فسفر و بیوچار به‌نظر می‌رسد غلظت نیتروژن به‌دلیل اثر رقت کاهش یافته است. غلظت نیتروژن در تیمارهایی بیشتر از بقیه بود که وزن خشک شاخساره کمتر از بقیه بود. لهمان و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که بیوچار به دلیل نسبت کربن به نیتروژن بالا قابلیت جذب نیتروژن خاک را محدود می‌کند. گزارش شده است که افزودن بیوچار غلظت نیتروژن شاخساره را در مقایسه با شاهد کاهش داد (آلبوکرک و همکاران ۲۰۱۳). غلظت عناصر در گیاهان زراعی وابسته به زمان رشد بوده و غلظت نیتروژن در کل گیاه کلزا در مرحله گلدهی حدود ۲/۵ تا ۴ درصد گزارش شده است و معمولاً مقادیر کمتر از دو درصد کمبود نیتروژن را نشان می‌دهد (گرنت وبیلی ۱۹۹۳). البته بدیهی است در زمان رسیدن گیاه و در کل شاخساره غلظت عناصر ازجمله نیتروژن کاهش می‌یابد. در این پژوهش غلظت نیتروژن در کل شاخساره گیاه بین ۱ تا ۲/۵ درصد متغیر بود.

غلظت فسفر شاخساره

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی و فسفر بر غلظت فسفر شاخساره در سطح احتمال یک درصد معنادار بود، امّا اثر متقابل آن‌ها غیرمعنادار شد (جدول ۵).

اثر متقابل ماده آلی و فسفر نشان داد که بیشترین غلظت فسفر شاخساره در سطح چهار درصد بیوچار با مصرف ۴۰ میلی‌گرم فسفر به‌دست آمد ولی با سطح چهار درصد بیوچار با مصرف ۲۰ میلی‌گرم فسفر و چهار درصد کاه با مصرف ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر مصرفی تفاوت معناداری نداشت و کمترین آن نیز در سطح شاهد ماده آلی بدون فسفر مصرفی بود (شکل ۸). به‌نظر می‌رسد عدم تفاوت معنادار غلظت فسفر و بالا بودن غلظت فسفر در دو تیمار بیوچار و کاه چهار درصد به دو دلیل متفاوت باشد. در مورد بیوچار چهار درصد، احتمالاً به‌دلیل افزایش جذب فسفر و در مورد کاه چهار درصد به‌دلیل کاهش رشد اثر تغلیظ فسفر به وقوع پیوسته است. اگرچه کلزا به کمبود فسفر حساس است، امّا رقم‌های مختلف از این نظر بسیار متفاوت هستند (لیکفت و همکاران ۱۹۹۹). افزایش فراهمی فسفر در



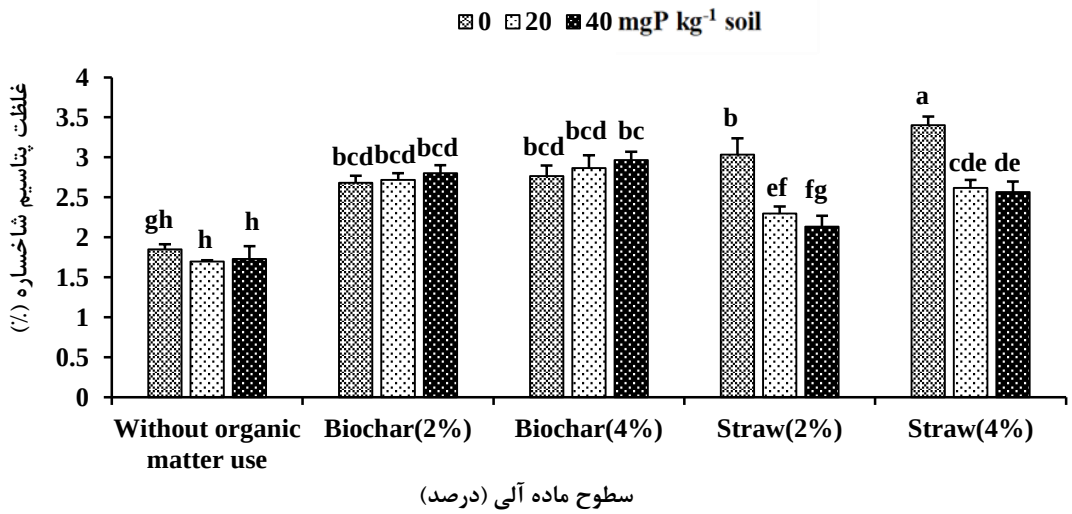
شکل ۸- مقایسه میانگین‌های غلظت فسفر شاخساره برای ترکیب تیماری ماده آلی و فسفر

خاک سبب افزایش معنادار عملکرد روغن و دانه و غلظت فسفر می‌شود. همچنین، برهمکنش معنادار بین فسفر و رقم بر ویژگی‌های عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت فسفر مشاهده شده است (لیکفت و همکاران ۱۹۹۹). کارآیی فسفر در کلزا مربوط به توسعه بهتر سیستم ریشه و جذب مؤثرفسفر است (هو و همکاران ۲۰۱۰). توجه و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که با افزایش سطح فسفر از ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلو-گرم خاک غلظت فسفر شاخساره گیاه کلزا به‌طور معناداری افزایش یافت. این نتیجه، به اثر مثبت فسفر بر توسعه و رشد ساقه و برگ‌ها و در نتیجه افزایش رشد رویشی و زایشی گیاه، تولید بوته‌هایی با ارتفاع بیشتر و افزایش تعداد غلاف از طریق افزایش مواد پرورده نسبت داده شد. پوگا و همکاران (۲۰۱۵) افزایش غلظت فسفر شاخساره را در اثر افزودن بیوچار حاصل از بقایای نیشکر را در گیاه باقلا گزارش کردند. مباه و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر بیوچار حاصل از چوب جنگلی را بر رشد گیاه خیار مطالعه و گزارش کردند که افزودن بیوچار باعث افزایش غلظت فسفر در گیاه خیار شد. مادیبا و همکاران (۲۰۱۶) افزایش غلظت فسفر شاخساره گیاه گندم را در اثر افزودن بیوچار حاصل از کود مرغی و کاه گندم گزارش کردند. در مطالعه‌ای که در ارتباط با بیوچار بر پارامترهای رشد گیاه گندم انجام گرفت، نتایج نشان داد که افزودن بیوچار غلظت فسفر شاخساره گندم را در مقایسه با شاهد افزایش داد (آلبوکرک و همکاران ۲۰۱۳). رجبی و همکاران (۲۰۱۷) اثر بیوچار حاصل از

تفاله پسته (۳ و ۶ درصد وزنی) تولید شده در دو دمای مختلف (۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) بر غلظت برخی عناصر پرمصرف و رشد اسفناج را بررسی و گزارش کردند که کاربرد بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس میانگین غلظت فسفر شاخساره اسفناج را به‌ترتیب ۴۵/۷۵ و ۴۶/۶۹ درصد و در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب ۲۲/۸۷ و ۲۵/۲۳ درصد افزایش داد. جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاه تابع دو عامل رشد سیستم ریشه‌ای گیاه و فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌باشد. مطالعات نشان داده است که بسیاری از بیوچارها به‌دلیل داشتن سطوح تبادلی زیاد می‌توانند منجربه افزایش نگه‌داری عناصر غذایی و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی شده و کاربرد بیوچار در خاک می‌تواند قابلیت دسترسی فسفر را تحت تأثیر قرار دهد (لهمان و همکاران ۲۰۰۳). دلوکا و همکاران (۲۰۱۵) افزایش در قابلیت استفاده فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس خاک را در اثر کاربرد بیوچارهای حاصل از کود مرغی و بهبود جذب این عناصر به‌وسیله گیاه ذرت را گزارش نموده‌اند. بیوچار علاوه بر اینکه خود حاوی مقدار زیادی از عناصر مذکور است، با تأثیر بر pH ، فعالیت ریزجانداران، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ایجاد کمپلکس‌های آلی، بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌شود (لهمان و همکاران ۲۰۰۳).

غلظت پتاسیم شاخساره

اثر متقابل تیمارهای آزمایشی غلظت پتاسیم شاخساره را در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر قرار داد (جدول ۵).



شکل ۹- مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم شاخساره برای ترکیب تیماری ماده آلی و فسفر

اثر متقابل ماده آلی و فسفر نشان داد که بین سطوح بیوچار از نظر غلظت پتاسیم شاخساره بدون توجه به سطح فسفر مصرفی تفاوت آماری معناداری وجود نداشت. همین نتیجه برای سطح شاهد ماده آلی نیز صادق بود. با این حال بیشترین غلظت پتاسیم شاخساره در سطح چهار درصد کاه بدون فسفر مصرفی به‌دست آمد که به‌دلیل اثر تغلیظ می‌باشد و کمترین آن نیز در سطح شاهد با مصرف ۲۰ میلی‌گرم فسفر مصرفی بود ولی با سطح شاهد با مصرف صفر و ۴۰ میلی‌گرم فسفر مصرفی تفاوت معناداری مشاهده نشد (شکل ۹). با توجه به غنی بودن خاک مورد استفاده (جدول ۱) و همین‌طور بیوچار مورد استفاده از پتاسیم قابل‌جذب (جدول ۳) این نتیجه مورد انتظار بود. مباه و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد بیوچار حاصل از چوب جنگلی غلظت پتاسیم شاخساره گیاه خیار را به‌طور معناداری افزایش داد. به اعتقاد آنان بیوچار با افزایش تبادل کاتیونی و

آزادسازی مستقیم پتاسیم موجود در خود باعث افزایش پتاسیم قابل‌دسترس در خاک می‌شود. رجبی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد سطوح ۳ و ۶ درصد وزنی بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس میانگین غلظت پتاسیم شاخساره اسفناج را به‌ترتیب ۷۲/۹۷ و ۸۹/۲۴ درصد و بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب ۸۸/۰۳ و ۱۰۴/۸۸ درصد افزایش معنادار دارد. رجبی و همکاران (۲۰۱۷) دلیل این امر را به غلظت بیشتر پتاسیم در بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس نسبت دادند. افزایش دما در طول فرآیند تولید بیوچار، باعث انتقال کاتیون‌ها (Na, K, Mg و Ca) به داخل اکسی هیدروکسیدها و کربنات‌ها و چسبیدن به بیوچار می‌شود (یوآن و همکاران ۲۰۱۱). کاربرد بیوچار ممکن است میزان پتاسیم کل و قابل دسترس خاک را افزایش دهد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد بیوچار حاصل از کاه گندم تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس در سطوح دو و چهار درصد به‌ترتیب ۴۶ و ۵۶/۵ درصد در یک خاک لوم قلیایی باعث افزایش وزن خشک شاخساره کلزا در مقایسه با شاهد شد. مصرف توأم بیوچار و فسفر غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره کلزا را افزایش داد، اما غلظت نیتروژن شاخساره را کاهش داد که دلیل این امر را می‌توان به نسبت کربن به نیتروژن بالای بیوچار و غیرمتحرک شدن نیتروژن معدنی خاک نسبت داد که با جذب نیتروژن توسط گیاه کلزا رقابت می‌کند. در این تحقیق مصرف دو گرم بیوچار بر صد گرم خاک جهت کاهش مصرف فسفر از ۴۰ به ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بدون کاهش وزن خشک و بدون تأثیر منفی بر جذب عناصر پرمصرف مناسب تشخیص داده شد. همچنین، سطوح دو و چهار درصد، مصرف کاه توصیه نمی‌شود و بهتر است تحقیقات بعدی در سطوح پایین‌تر ادامه یابد. در نهایت چنین نتیجه‌گیری شد که بیوچار ممکن است نقش مهمی در حاصلخیزی خاک و تولید گیاهی داشته باشد و لذا این تحقیق باید در مزرعه نیز دنبال شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز دراجرا و اتمام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Alburquerque JA, Salazar P, Barrón V, Torrent J, del Campillo MdC, Gallardo A and Villar R. 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. Agronomy for Sustainable Development, 33: 475-484. https://doi.org/10.1007/s13593-012-0128-3

Amin AE-EAZ. 2018. Phosphorus dynamics and corn growth under applications of corn stalks biochar in a clay soil. Arabian Journal of Geosciences, 11: 379. https://doi.org/10.1007/s12517-018-3719-8

Anderson CR, Condron LM, Clough TJ, Fiers M, Stewart A, Hill RA and Sherlock RR. 2011. Biochar induced soil microbial community change: implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. Pedobiologia, 54: 309-320. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.07.005

Anonymous. 2021. Https://www.statista.com/statistics/1288257/global-consumption-of-phosphate-fertilizer.

Atkinson CJ, Fitzgerald JD and Hipps NA. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. Plant and Soil, 337: 1-18. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5

Brennan A, Jiménez EM, Puschenreiter M, Alburquerque JA and Switzer C. 2014. Effects of biochar amendment on root traits and contaminant availability of maize plants in a copper and arsenic impacted soil. Plant and Soil, 379: 351-360. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2074-0

Carter S, Shackley S, Sohi S, Suy TB and Haefele S. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). Agronomy, 3: 404-418. https://doi.org/10.3390/agronomy3020404

Chan KY, Van Zwieten L, Meszaros I, Downie A and Joseph S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Soil Research, 45: 629-634. https://doi.org/10.1071/SR07109

DeLuca TH, Gundale MJ, MacKenzie MD and Jones DL. 2015. Biochar effects on soil nutrient transformations. Biochar for environmental management. Science, Technology and Implementation, 2: 421-454. https://doi.org/10.4324/9780203762264

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

Frišták V and Soja G. 2015. Effect of wood-based biochar and sewage sludge amendments for soil phosphorus availability. Nova Biotechnologica et Chimica, 14: 104-115. https://doi.org/10.1515/nbec-2015-0020

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

Grant C and Bailey L. 1993. Fertility management in canola production. Canadian Journal of Plant Science. 73: 651-670. https://doi.org/10.4141/cjps93-087

Hoseini Y, Homaee M, Karimian N and Saadat S. 2009. The effects of phosphorus and salinity on growth, nutrient concentrations, and water use efficiency in canola (*Brassica napus L.*). Journal of Agricultural Research, 8: 1-18. (In Persian). https://sid.ir/paper/84857/en

Hu Y, Ye X, Shi L, Duan H and Xu F. 2010. Genotypic differences in root morphology and phosphorus uptake kinetics in *Brassica napus* under low phosphorus supply. Journal of Plant Nutrition. 33: 889-901. https://doi.org/10.1080/01904161003658239

Jones JB. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis: CRC press, Boca Raton, FL.

Joseph SD, Camps-Arbestain M, Lin Y, Munroe P, Chia C, Hook J, Van Zwieten L, Kimber S, Cowie A and Singh B. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. Soil Research, 48: 501-515. https://doi.org/10.1071/SR10009

Lehmann J and Joseph S. 2024. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. Taylor and Francis.

Lehmann J, Pereira da Silva J, Steiner C, Nehls T, Zech W and Glaser B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil, 249: 343-357. https://doi.org/10.1023/A:1022833116184

Lickfett T, Matthäus B, Velasco L and Möllers C. 1999. Seed yield, oil and phytate concentration in the seeds of two oilseed rape cultivars as affected by different phosphorus supply. European Journal of Agronomy, 11: 293-299. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00038-6

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

Lindsay WL, Vlek PL and Chien SH. 1989. Phosphate minerals. Pp. 1089-1130. In: Dixeon JB and Weed SB (eds). Minerals in Soil Environments. 2th Edition. SSSA Book Series No. 1, Madison, WI. USA. https://doi.org/10.2136/sssabookser1.2ed.c22

Lusiba S, Odhiambo J and Ogola J. 2017. Effect of biochar and phosphorus fertilizer application on soil fertility: soil physical and chemical properties. Archives of Agronomy and Soil Science, 63:477-490. https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1218477

Madiba OF, Solaiman ZM, Carson JK and Murphy DV. 2016. Biochar increases availability and uptake of phosphorus to wheat under leaching conditions. Biology and Fertility of Soils, 52: 439-446. https://doi.org/10.1007/s00374-016-1099-3

Makoto K, Tamai Y, Kim Y and Koike T. 2010. Buried charcoal layer and ectomycorrhizae cooperatively promote the growth of *Larix gmelinii* seedlings. Plant and Soil, 327:143-152. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0040-z

Marschner H. 2011. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2th Edition, Academic Press. London.

Mbah C, Njoku C, Okolo C, Attoe E and Osakwe U. 2017. Amelioration of a degraded ultisol with hardwood biochar: Effects on soil physico-chemical properties and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). African Journal of Agricultural Research, 12: 1781-1792. https://doi.org 10.5897/AJAR2016. 11654

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.

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

Olsen S and Sommers L. 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. In: A.L. Page R.H. Miller and D.R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. SSSA, Madison, WI.

Park JH, Choppala GK, Bolan NS, Chung JW and Chuasavathi T. 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. Plant and Soil, 348: 439-451. https://doi.org/10.1007/s11104-011-0948-y

Prendergast-Miller MT, Duvall M and Sohi SP. 2011. Localisation of nitrate in the rhizosphere of biochar-amended soils. Soil Biology and Biochemistry, 43: 2243-2246. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.019

Prendergast-Miller M, Duvall M and Sohi S. 2014. Biochar–root interactions are mediated by biochar nutrient content and impacts on soil nutrient availability. European Journal of Soil Science, 65:173-185. https://doi.org/10.1111/ejss.12079

Price G. 2006. Australian Soil Fertility Manual: CSIRO PUBLISHING.

Puga A, Abreu C, Melo L and Beesley L. 2015. Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium. Journal of Environmental Management, 159: 86-93. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.036

Rajabi H, Safarzadeh Shirazi S and Ronaghi A. 2017. Effect of pistachio residue biochar prepared at two different temperatures and different nitrogen and phosphorus levels on some macronutrients concentration and spinach growth. Journal of Water and Soil, 31: 557-569. (In Persian). https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.036

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

Shahbazi K and Besharati H. 2013. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. Land Management Journal, 1: 1-15. (In Persian).

Shu L, Schneider P, Jegatheesan V and Johnson J. 2006. An economic evaluation of phosphorus recovery as struvite from digester supernatant. Bioresource Technology, 97: 2211-2216. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.11.005

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

Tavajjoh M, Karimian N, Ronaghi A, Yasrebi J, Hamidi R and Olama V. 2016. Yield, yield components and seed quality of two rapeseed cultivars as affected by different levels of phosphorus and boron under greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 6: 99-113. (In Persian). https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.6.4.99

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.

Wang T, Camps-Arbestain M and Hedley M. 2014. The fate of phosphorus of ash-rich biochars in a soil-plant system. Plant and Soil, 375: 61-74. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1938-z

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

Yuan J-H, Xu R-K and Zhang H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. Bioresource Technology, 102: 3488-3497. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.018

Zolfi Bavariani M, Ronaghi A, Karimian N, Yasrebi J and Ghasemi R. 2017. Influence of biochars prepared from poultry manure on phosphorus availability and recovery in a calcareous soil. JWSS-Isfahan University of Technology, 21: 23-35. (In Persian). https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.21.1.23

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 می-باشد، 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 علامت-های 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, Iran
Managing Director: Nasrollahzadeh, S.	Prof., Dept .of Plant Ecophysiology, University of Tabriz
Edito: Dabbagh Mohammadi Nasab, A	Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, University of Tabriz
Coordinating Manager: Bandehagh, A	Prof., Plant Breeding and Biotechnology Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
Scope of Journal	Sustainable Agriculture

Editorial Board:

Shakiba, MR	Dept. of Plant Eco-Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Raee, Y	Prof., Dept of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Iran.
Zehtab-Salmasi, S	Center for Sustainable Agricultural Studies, School of Plant and Environmental Sciences, University of New Mexico, USA
Seyed sharifi, R	Prof., Dept. of Agronomy and plant breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
Pasban Eslam, B	Assoc. Prof., Horticulture and Crops Research Dept, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.
Bolandnazar, S	Prof., Dept. of Horticulture Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
Amini, R	Prof, Dept. of Plant Ecophysiology, University of Tabriz
Amirnia, R	Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Uremia.
Hamidi, A	Assoc. Prof., of Seed and Plant Certification and Registration Institute(SPCRI)-Karaj
Sirousmehr, A	Assoc. Prof., Dept. of Agronomy,Faculty of Agriculture,University of Zabol, Zabol, Iran.
Kariman, KH	University of Western Australia
Radwan Mahmoud, M	Faculty member, Al-Muthana University, Baghdad

Office: Faculty of Agriculture, University of Tabriz, 5166614766 Tabriz, Iran

Tel: 0098 411 3392037, Fax: 0098 411 3356002

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

Publication Expert:

Saadatpour, R

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 1-333

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

CONTENTS

Effect of Biological, Chemical Fertilizers, and Seaweed Extract Application on Yield, Yield Components and some Physiological Traits of Rainfed Chickpea (Saeed cv.)..... **1**

Hedayat Abdoli, Yousef Nasiri, Mohsen Janmohammadi, Mojtaba Nooraeen

Evaluation of the Application of Biological, Humic acid, and Chemical Fertilizers on Some Growth, Physiological and Qualitative Traits of Rocket Leafy Vegetable (*Eruca sativa* L.) **25**

Serveh Tahmasebi, Aliakbar Mozafari, Nasser Ghaderi, Behrooz Sarabi

Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Yield of Rice under Reduced Chemical Fertilizers..... **41**

Tayebeh Jolideh, Faezeh Zaefarian, Esmaeil Bakhshandeh, Maryam Sadegh

Investigating the effect of Biological and Organic Fertilizers on some Quantitative and Qualitative Characteristics of European borage (*Borago officinalis* L.) **57**

Kiamars Azadinejad, Amin Salehi, Alireza Yadvi, Hooshang Farajee, Parvin Rostampour

Effect of Ammonium Nitrate, Mycorrhiza and Nitroxin Biofertilizeron Grain and Essential Oil Yield of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under Kashan Province **65**

Mansoore Foroughian, Mojtaba Jafarzadeh Kenarsary, Hamid Dehghanzadeh, Hossain Zeiali

Effect of Foliar Application of Seaweed Extract on Growth, Yield and Quality of Forage Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) **83**

Mohammad Reza Bahiraei, Javad Hamzei, Mohammad Ali Abotalebian

Investigating the effects of Summer Cover Crops in sequence with the Main Crop Wheat on its Yield and some Soil Physical and Chemical Properties **97**

Yousef Yousefi Bejavani, Reza Amirnia, Mohammad Reza Mehrvar, Alireza Fallah Nosratabad

Effect of Phosphorus, Iron and Zinc Nutrition on Growth and Yield Indices of *Hibiscus sabdariffa* L. in a Calcareous Soil **113**

Mohammad Hasan Kargar shouroki, Mostafa Shirmardi, Heydar Meftahizadeh, Jalal Gholamnezhad

Morpho-physiological Characteristics, Competition Index and Yield Components of different bread wheat (*Triticum aestivum*) Genotypes under Malva (*Malva neglecta* L.) Weed Competition in Khuzestan conditions **129**

Razi Sorkheh, Jafar Asghari, Adel Modhej, Ahmad Ali Shoushi-Dezfouli

Evaluation of different Weed Management Methods on the Growth Characteristics and Yeild of the Dragon's head (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) **149**

Jalil Shafagh-Kolvanagh, Safar Nasrollahzade, Roya Mokhtariyan, Mina Amani

Cultural Management of weeds and evaluation indices of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and Canola (*Brassica napus* L.) intercropping **167**

Jalil Shafagh kolvanagh, Fariborz Shekari, Abdullah Jawanmard, Mina Amani, Zohreh Saeli-Ashan, Mahnaz Sharifi

Effects of Foliar Spraying with different Concentration of kaolin on Flowering and Fruit Set of six Commercial Olive Cultivars under Warm Climatic Conditions **183**

Rahmatallah Gholami, Abuzar Hashempour, Hajiamiri, Abolmohsen, Issa Arji

Efficacy of Reduced Rates of Herbicide Integrated with Straw Mulch and Band Weeding in Weed Management of Borage (*Borago officinalis* L.) ……. **195**

Sediqe Sarencheh, Rouhollah Amini, Ali Reza Yousefi

Effect of using Seaweed on Yield Components, Seed and Oil Yields of Safflower Genotypes in Saline Soils of the Tabriz plain …… **213**

Bahman Pasban Eslam

The effect of Hoagland Nutrient Solution and Triacontanol on the Yield and Photosynthetic Pigments of basil (*Ocimum basilicum* L.) ……. **225**

Saeedeh Alizadeh Salteh, Fatemeh Hashemi, Saheb-Ali Bolandnazhar, Alireza Motallebi-Azar, Mina Amani

Evaluating the Sustainability of the Mechanized and Traditional Agroecosystem of Damask Rose Production Based on Emergy Analysis in Nehbandan **237**

Fatemeh Nakhaei, Ahmad Ghanbari, Mohamamd Reza Asgharipour, Esmaeel Seyedabadi

Investigating the Trend of Consumption and Calculating Energy Efficiency Indicators in Cereals Production (wheat, barley, rice and corn) during 2000-2020 …… **255**

Rose Hashemi, Reza Moghadasi, Mehdi Kazemnejad, Amir Mohammadinejad

vestigation of Physiological and Biochemical Reactions of Dryland Wheat Cultivars to Cold Stress in Conservation Agricultural System …… **267**

Hadi Khorsandi, Saeid Zehtab-Salmasi, Ramin Lotfi, Kazem Ghassemi-Golezani, Saber Golkari

Developing a Sustainable Agricultural Planning to Reduce Greenhouse Gases and Environmental Pollutants in the Sistan Watershed …… **283**

Hossein Badihbarzin, Seyed Mahdi Hoseini, Mahmood Hashemitabar, MostafaMardani Najafabadi

Effective Factors on the Environmental Efficiency of Potato Production in Ardabil County……. **303**

Ghader Dashti, Elaheh Ghasemi, Mohammad Ghahremanzade

The effects of Biochar and Phosphorus on rapeseed (*Brassica napus* L.) Dry Matter, Oil content and some Nutrient Uptake in an Alkaline Loam Soil in Greenhouse Conditions…… **317**

Soheil Salimi trazoj, Adel Reyhanitabar, Nosrataalh Najafi