نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۳۴۹-۱

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

فهرست مطالب

ارزیابی شاخص‌های رشد، محصول تولیدی و سودمندی در کشت مخلوط گندم، سویا و ذرت ۱
جواد حمزه‌ئی، مجتبی زارعی

واکنش عملکرد دانه‌ی جو و باقلا به محلول‌پاشی اسید هیومیک در الگوهای مختلف کشت مخلوط ۱۹
حمداله اسکندری، کامیار کاظمی

ارزیابی کمیت و کیفیت روغن کامِلینا (*Camelina sativa* L.) با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی در دورهای مختلف آبیاری ۳۵
مصطفی رشیدی، عبدالله جوانمرد، فریبرز شکاری، مصطفی امانی ماچیانی

اثر مدیریت تغذیه و آرایش کاشت بر ویژگی‌های کمّی و شاخص‌های کیفی دو رقم توتون (*Nicotiana tabacum* L.) ویرجینیا ۵۵
معصومه رحمت‌زاده، همت‌اله پیردشتی، محمدعلی اسماعیلی، رحمت عباسی، یاسر یعقوبیان

ارزیابی برخی روش‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز در نخود دیم شهرستان اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه ۶۹
هژیر یوسفی، جعفر اصغری، المیرا محمدوند

تأثیر نشاکاری، آرایش کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای در شرایط کشت تأخیری ۸۵
مهدی متقی

تأثیر کنترل غیرشیمیایی علف‌های هرز بر صفات رشدی و عملکرد گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) . ۹۹
جلیل شفق کلوانق، محسن سبزی نوجه‌ده، هدایت درخشانی، مینا امانی

تاثیر رقم و کود زیستی بر عملکرد و صفات رشدی جو در دشت تبریز ۱۲۱
حسن منیری‌فر، آرزو میرمظفری رودسری، حبیب اله قزوینی، علی رضا توسلی

اثر روش‌های غیرشیمیایی در تلفیق با علفکش تریفلورالین بر علف های‌هرز و عملکرد ریحان (*Ocimum bacilicum* L.) ۱۳۷
نسرین احمدیان، روح اله امینی، عادل دباغ محمدی نسب

برهم‌کنش دودآب، قارچ مایکوریز آربوسکولار و باکتری *ریزوبیوم* بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود ۱۵۳
صبا تواضعی، سعید جلالی‌هنرمند، علی رسائی

واکنش مورفوفیزیولوژیک نخود (*Cicer arietinum* L.) به پرایمینگ سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی نانوکود کلات در شرایط دیم ۱۶۵
لیلا عباسی، علی خورگامی، مسعود رفیعی

تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم نان ۱۸۱
محسن سبزی‌نوجه‌ده، سعید اهری‌زاد، مینا امانی

کارآیی محافظ‌های گیاهی و باکتری حل‌کننده‌ی فسفر در تعدیل اثرات کمبود آب بر گندم ۱۹۳
علی نامور، هاشم هادی، رئوف سیدشریفی

تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های جو در مناطق سرد ۲۱۷
حبیب اله قزوینی، علی اکبر اسدی ، سلیمان محمدی، سید علیرضا رضوی، معرفت قاسمی کلخوران

ارزیابی ژنتیکی صفات فنو-فیزیولوژیکی و عملکرد ذرت در شرایط آبیاری مطلوب و کم‌آبی ۲۳۵
مژگان شیرین‌پور، سعید اهری‌زاد، احسان عطازاده، اشکبوس امینی، علی اصغری، احمد بابیوردی، حسن منیری‌فر

بنه‌زایی و عملکرد زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت تاثیر عمق و فواصل مختلف زهکشی در شرایط دشت ساری ۲۵۱
فائزه زعفریان، عباس جلالی، حامد کاوه، فاطمه داورنیا

اثر محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و تحمل تنش خشکی در گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* L) ۲۶۳
وحید محصلی، حجت دیالمی، محمود ایزدی

بهبود شاخص های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد ریشه چغندرقند از طریق هیدروپرایمینگ بذر و محلول پاشی اسید هیومیک در شرایط تاخیر کاشت ۲۷۵
علی سرخوش ، محمد علی ابوطالبیان ، حامد منصوری

اثر کود اوره و برخی کودهای آلی بر رشد و عملکرد مزرعه‌ای باقلا (*Vicia faba* L.) ۲۹۵
صفر نصراله زاده، جلیل شفق کلوانق، پرویز شاه محمدزاده، رقیه فرضی امین آباد

اثر همزیستی با قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی بادام رقم 'سوپرنوا' پیوند شده روی پایه GN15 تحت تنش شوری ۳۰۹
شبنم مصطفوی، جعفر حاجی‌لو ، صاحبعلی بلندنظر

ارزیابی تاثیر محلول‌پاشی روی ، سالیسیلیک اسید و کاربرد اسیدآمینه برعملکرد و بنیه بذر ماریتیغال در رژیم-های مختلف آبیاری ۳۲۷
شیوا افشارنیا، مهدی قیاسی، اسماعیل رضایی چیانه، امیر رحیمی

نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار

نشریه علمی - پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

صاحب امتیاز: دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

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

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

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

زمینه انتشار: کشاورزی پایدار

هیات تحریریه:

محمدرضا شکیبا — استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشگاه تبریز

راعی، یعقوب — استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشگاه تبریز

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

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

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

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

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

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

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

علیرضا سیروس مهر — دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل

خلیل کریمان — عضو هیئت علمی دانشگاه وسترن استرالیای غربی

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

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

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

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

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

تلفن: ۳۳۳۹۲۰۳۷-۰۴۱ ، فاکس ۳۳۳۵۶۰۰۲- ۰۴۱

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

کارشناس نشریه:
رقیه سعادت‌پور


بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار

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

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

هیات تحریریه

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 1-18

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

Evaluation of Growth Indices, Yield Performance and Advantages in Intercropping of wheat, Soybean and Corn

Javad Hamzei[2*], Mojtaba Zarei[2]

Received: 03 December 2022	Accepted: 31 August 2023

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

Abstract

Background and Objectives: Intercropping is an ecological way in sustainable agriculture used to increase land productivity. Therefore, while considering the necessity of using sustainable agriculture systems and creating diversity in agriculture, this experiment was done with the aims of investigating of growth, yield performance in terms of quantity, and quality and resource utilization efficiency in wheat, soybean and corn intercropping system.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a randomized complete blocks design with three replications at the Research Farm of Bu–Ali Sina University in the 2019–2020 growing season. Intercropping treatments included 4 rows wheat: 2 rows soybean, 4 rows wheat: 2 rows soybean: 1 row corn, 4 rows wheat: 2 rows soybean: 2 rows corn, 6 rows wheat: 3 rows soybean, 6 rows wheat: 3 rows soybean: 1 row corn, 6 rows wheat: 3 rows soybean: 2 rows corn, along with sole plot of wheat, soybean and corn. Leaf area index, crop growth rate, grain yield, biological yield, grain quality, and nitrogen, water and land use efficiency, were evaluated.

Results: The effect of different planting patterns on leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR), biological yield and grain yield of wheat, soybean and corn were significant. The highest amount for these properties was achieved from sole cropping of these crops. Nevertheless, the evaluation of intercropping indices showed that all the intercropping patterns had an advantage compared to sole cropping system. So that the highest land equivalent reatio (2.16) and the highest water use efficiency were achieved from intercropping of 6 rows wheat: 3 rows soybean: 2 rows corn.

Conclusion: In general, intercropping of 6 rows wheat: 3 rows soybean: 2 rows corn can lead to the improvement of total grain yield and WUE as well as ecosystem sustainability and maximum land productivity.

Keywords: Cereals, Land Equivalent Ratio, Legume, Polyculture, Resource Utilization Efficiency, Yield

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Email: j.hamzei@basu.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.54328.2953

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۱۸-۱

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی شاخص‌های رشد، محصول تولیدی و سودمندی در کشت مخلوط گندم، سویا و ذرت

جواد حمزه‌ئی[1*]، مجتبی زارعی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۲	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

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

چکیده

اهداف: کشت مخلوط یکی از شیوه‌های اکولوژیک کشاورزی پایدار است که به‌منظور افزایش بهره‌وری و تولید محصولات زراعی اجرا می‌شود. بنابراین، با توجه به لزوم استفاده از سیستم‌های کشاورزی پایدار و ایجاد تنوع در سیستم‌های کشاورزی، این آزمایش با هدف بررسی رشد، محصول تولیدی از نظر کمی و کیفی و کارایی استفاده از زمین در کشت مخلوط گندم، سویا وذرت اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کشت‌های مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا، چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: یک ردیف ذرت، چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت، شش ردیف گندم: سه ردیف سویا، شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: یک ردیف ذرت، شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت و کشت‌های خالص هر سه گونه تیمارهای آزمایش بود. شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، عملکرد دانه و بیولوژیک، کیفیت دانه و کارایی استفاده از آب، نیتروژن و زمین ارزیابی شدند.

یافته‌ها: اثر الگوی کشت بر شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم، سویا و ذرت معنی‌دار بود. بالاترین میزان این ویژگی‌ها از کشت خالص هر سه گونه به‌دست آمد. با این وجود، ارزیابی شاخص نسبت برابری زمین حاکی از برتری تمام الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص داشت. به‌طوری که بیشترین میزان نسبت برابری زمین (۲/۱۶) و کارایی مصرف آب از کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت به‌دست آمد.

نتیجه گیری: به‌طور کلی، کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت علاوه بر بهبود عملکرد کل و کارایی مصرف آب می‌تواند به پایداری اکوسیستم و حداکثر بهره‌وروی از زمین منجر شود.

واژه های کلیدی: چند کشتی، عملکرد، غلات، کارایی استفاده از منابع، لگوم، نسبت برابری زمین

مقدمه

حدود ۳۶ درصد از اکوسیستم‌های زمینی جهان در حال حاضرتحت مدیریت کشاورزی است که باید برای بیش از هفت میلیارد نفر در سراسر جهان غذا تهیه کند. این امر یعنی فشار فزاینده برای افزایش تولید محصولات زراعی، باعث سوق دادن شیوه‌های کشاورزی به گسترش نظام‌های فشرده و مدرن شده است (زالس و همکاران ۲۰۱۹). روند فعلی کشاورزی رایج برای تأمین نیازهای کنونی و آینده بشری به هیچ عنوان پایدار نیست. چرا که توسعه فعالیت‌های کشاورزی رایج برای افزایش عرضه غذا باعث ورود بیش از اندازه نهاده‌هایی مانند کود و سم و نشت بقایای آن‌ها به آب و خاک شده است که این امر به کاهش تنوع زیستی منجر شده است (وانگ و همکاران ۲۰۱۴). از این رو، مشکلات به وجود آمده از نظام‌های کشاورزی فعلی باعث توجه پژوهشگران به کشاورزی پایدار گردیده است. یکی از روش‌های کشاورزی پایدار استفاده از کشت مخلوط می‌باشد. این نوع الگوی کشت علاوه بر حفظ تعادل اکولوژیک و ثبات سیستم، اهدافی نظیر بهره‌برداری حداکثری از منابع محیطی نظیر آب، خاک و مواد غذایی و نیز افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی را در پی دارد (لاتاتی و همکاران ۲۰۱۶). مطالعات نشان می‌دهد که سیستم‌های کشت مخلوط باعث افزایش تنوع زیستی، کیفیت خاک، ترسیب کربن در خاک (به عملیاتی که در اکوسیستم‌های زراعی و طبیعی باعث انتقال CO_2 موجود در اتمسفر به مخازن به‌مدت زمان طولانی شده و کربن را به شکلی نگهداری می‌کند که بلافاصله به اتمسفر برنگردد، ترسیب کربن گفته می‌شود)، افزایش کارایی استفاده از زمین، افزایش راندمان مصرف عناصر غذایی و کاهش آلودگی به بیماری‌ها وآفات می‌شوند (کانگ و همکاران ۲۰۱۵). بنابراین، کشت مخلوط یکی از راهکارهای افزایش تولید در واحد زمان و در واحد سطح زمین با مصرف کمتر نهاده‌های خارجی و کاهش مشکلات زیست محیطی است (هانگ و همکاران ۲۰۱۹، وانگ و همکاران ۲۰۱۴). این نوع الگوی کشت به عنوان یکی از سیستم‌های کشت موفق در بسیاری از کشورها ازجمله هند، چین، آفریقا، آسیای شرقی، آمریکا و حتی در اروپا اجرا می‌شود (مارتین و همکاران ۲۰۱۷). کشت مخلوط غلات–لگوم یکی از معمول‌ترین الگوهای کشت مخلوط بوده که به‌واسطه حضور لگوم‌ها و تثبیت زیستی نیتروژن، باعث مصرف کمتر کودهای شیمیایی نیتروژنه در طولانی مدت می‌شود. در کشت مخلوط اختلاف مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین گونه‌ها سبب می‌شود تا آن‌ها آشیان‌های بوم شناختی متفاوتی را اشغال نمایند که در نتیجه آن گونه‌ها به شکل مکمل عمل کرده و در مجموع باعث افزایش عملکرد می‌شود (هوانگ و همکاران ۲۰۱۸، وانگ و همکاران ۲۰۱۶). تثبیت نیتروژن توسط سویا منجر به افزایش عملکرد دانه ذرت در کشت مخلوط و در نتیجه باعث برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص شده است (بو و همکاران ۲۰۱۸). لی و همکاران (۲۰۲۰) طی پژوهشی در کشت مخلوط گندم و ذرت افزایش عملکرد دانه گندم را گزارش کردند. عملکرد دانه ارزن در کشت مخلوط با ماش در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ به‌ترتیب ۱۰ و ۱۸ درصد افزایش داشته است. پژوهشگران علت این امر را به اثرات مکملی دو گیاه و استفاده بهتر از منابع نسبت داده‌اند (شیانگ‌وی و همکاران ۲۰۲۱). دولیجانف و همکاران (۲۰۰۹) در کشت مخلوط سویا با ذرت، مقدار نسبت برابری زمین را ۲/۱۱ گزارش کردند. همچنین، چن و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی طولانی مدت کشت مخلوط تأخیری سویا با ذرت، نسبت برابری زمین را از ۱/۸۵ تا ۲/۳۶ گزارش کردند که این نتایج حاکی از مزیت کشت مخلوط تأخیری در افزایش بهره‌وری از زمین است. گزارش شده است که کشت مخلوط تأخیری ذرت–سویا می‌تواند کارایی مصرف نیتروژن و راندمان استفاده از نور و بهره‌وری از اراضی را افزایش دهد. به طوری که در این آزمایش، پژوهشگران نسبت برابری زمین را در سال ۲۰۱۳ معادل ۱/۶۴ و در سال ۲۰۱۴ معادل ۱/۸۳ گزارش کردند (وانگ و همکاران ۲۰۱۷). اقبال و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که در طی دو دهه اخیر، نوع جدیدی از سیستم کشت مخلوط سویا با ذرت یعنی کشت مخلوط تأخیری – نواری سویا با ذرت به دلیل افزایش کارایی استفاده از منابع و زمین به طور قابل توجهی افزایش یافته است. سایر پژوهشگران نیز در

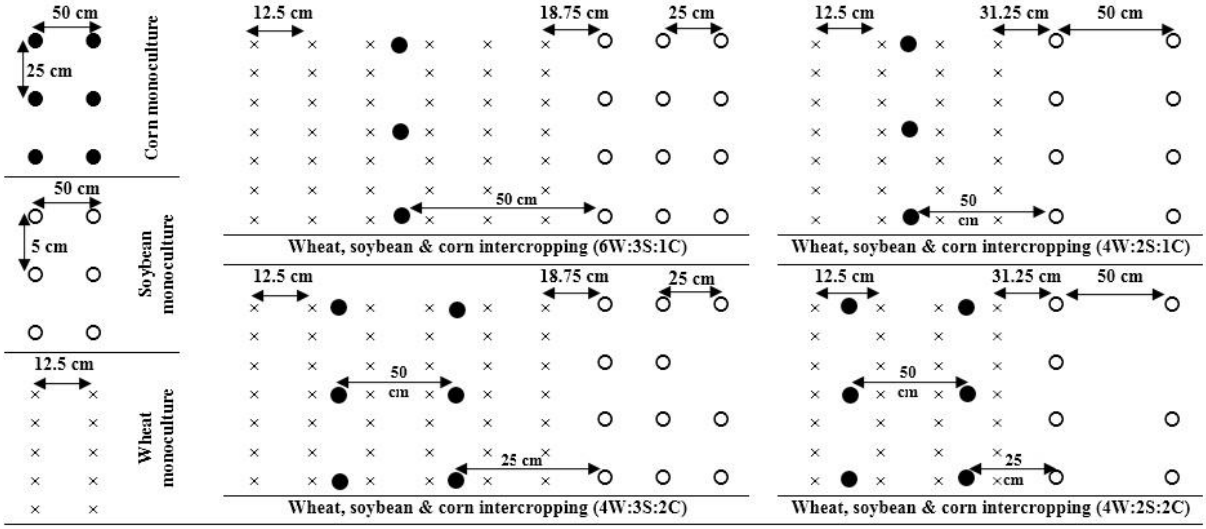
کشت مخلوط تأخیری ذرت با باقلا (خرمی وفا و همکاران ۲۰۱۳) و ذرت با چای ترش (سابقی نژاد و همکاران ۲۰۱۸) از بهبود عملکرد و کارایی سیستم کشت مخلوط نسبت به کشت خالص گزارش دادند. تثبیت زیستی نیتروژن توسط لگوم‌ها در سیستم‌های کشت مخلوط، علت دستیابی به بهره‌وری و LER[1] بالاتر در الگوهای کشت مخلوط گزارش شده است (مارتین و همکاران ۲۰۱۸). سالاری و همکاران (۲۰۲۰) در ارزیابی کشت مخلوط گلرنگ و نخود به این نتیجه رسیدند که تولید گلرنگ در کشت مخلوط از برتری معنی‌داری نسبت به کشت خالص آن برخوردار بود. در این بررسی، کشت مخلوط از لحاظ عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزاردانه و عملکرد روغن نسبت به کشت خالص گلرنگ برتری نشان داد. آن‌ها علت این امر را به تثبیت نیتروژن توسط نخود، کاهش رقابت بین گونه‌ای نسبت به رقابت درون گونه‌ای در کشت مخلوط و استفاده بهتر از منابع نسبت داده‌اند. با توجه به مسائل زیست محیطی و محدودیت منابع موجود مانند آب و زمین‌های زراعی در دسترس، افزایش تنوع زیستی از طریق کشت مخلوط یکی از مهم‌ترین راهکارهای پایدار افزایش کارآیی استفاده از منابع محسوب می‌شود. همچنین، می‌توان بسیاری از جنبه‌های اکولوژیکی و ارتباط بین گونه‌های زراعی را در کشت مخلوط مورد بررسی قرار داد. استفاده از نهاده-های شیمیایی مانند کود نیتروژنه علاوه‌بر اثرات مخرب زیست محیطی، سلامت انسان را به خطر می‌اندازد. از این‌رو بهره‌گیری از گیاهان خانواده بقولات در سیستم‌های چندکشتی به عنوان یکی از راهکارهای دسترسی به کشاورزی پایدار، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سطح زیر کشت، میزان تولید و متوسط عملکرد گندم آبی در کشور به‌ترتیب ۲۳۶۹۶۲۴ هکتار، ۸۱۷۵۸۹۲ کیلوگرم و ۳۴۵۰ کیلوگرم در هکتار و همچنین سطح زیر کشت، میزان تولید و متوسط عملکرد گندم آبی در استان همدان به‌ترتیب ۷۰۲۰۶ هکتار، ۳۰۷۴۵۶ کیلوگرم و ۴۳۷۹ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۴۰۰ گزارش شده است (وزارت جهاد کشاورزی ۱۴۰۱). با توجه به اینکه استان همدان از نظر تولید گیاهان زراعی به ویژه گندم و ذرت جایگاه مناسبی دارد، لذا توجه به راهکارهای مدیریتی مناسب به منظور دستیابی به حداکثر عملکردهای کمی و کیفی در گیاهان زراعی در این استان نیز امری ضروری به‌نظر می‌رسد. به همین دلیل، این آزمایش با هدف بررسی شاخص‌های رشد، تولید محصول، نسبت برابری زمین، درصد و عملکرد روغن و پروتئین دانه و کارایی مصرف نیتروژن و آب در کشت‌های خالص و مخلوط گندم، سویا و ذرت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۹–۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و ۱۶۹۰ متر از سطح دریا) واقع در روستای دستجرد در ۳۷ کیلومتری شهر همدان اجرا گردید. بافت خاک لوم رسی، pH آن ۷/۴۹، مقادیر فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک به‌ترتیب ۲۶ و ۳۶۲ میلی‌گیرم بر کیلوگرم خاک، هدایت الکتریکی آن ۰/۴۲۸ دسی زیمنس بر متر و درصد نیتروژن کل و کربن آلی آن به ترتیب ۰/۱۱ و ۱/۱۸ درصد بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. الگوهای مختلف کشت شامل کشت مخلوط دو ردیف سویا: چهار ردیف گندم (4w:2s)، یک ردیف ذرت: دو ردیف سویا: چهار ردیف گندم (4w:2s:1c)، دو ردیف ذرت: دو ردیف سویا: چهار ردیف گندم (4w:2s:2c)، سه ردیف سویا: شش ردیف گندم (6w:3s)، یک ردیف ذرت: سه ردیف سویا: شش ردیف گندم (6w:3s:1c)، دو ردیف ذرت: سه ردیف سویا: شش ردیف گندم (6w:3s:2c) به همراه کشت‌های خالص هر سه گونه تیمارهای آزمایشی بوند. ابعاد تمام کرت های آزمایشی ۲/۵ در ۶ متر (۱۵ مترمربع) بود. در کشت‌های خالص سویا و ذرت در هر کرت پنج ردیف کاشت به فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر برای سویا و ۲۵ سانتی‌متر برای ذرت وجود داشت. در کشت خالص گندم نیز در هر کرت ۲۰ ردیف کشت به فاصله بین ردیف ۱۲/۵ سانتی‌متر وجود داشت. نقشه اجرای آزمایش در شکل ۱

[1] – Land equivalent ratio

ارائه شده است. بین کرت‌ها در داخل هر بلوک و بین بلوک‌ها به‌ترتیب یک و ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. تراکم بوته در واحد سطح در کشت‌های خالص سویا و ذرت به‌ترتیب ۴۰ و ۸ بوته در مترمربع بود. در کشت خالص گندم نیز ۴۰۰ بذر در واحد سطح کشت شد. رقم گندم، سویا و ذرت به‌ترتیب پیشگام، هابیت و SC۲۶۰ (فجر) بود. در این آزمایش سویا به صورت تأخیری با گندم کشت شد و پس از برداشت گندم نیز در جای گندم، ذرت (به صورت کشت دوگانه)[1] کشت شد. تاریخ کاشت، برداشت و مدت حضور همزمان گندم، ذرت و سویا در طول اجرای آزمایش در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۱– دیاگرام نحوه اجرای آزمایش در کشت مخلوط گندم، سویا و ذرت (قابل ذکر است که در کشت‌های مخلوط پس از برداشت گندم، ذرت در جای گندم کشت شده است و در صورتی که ذرت کشت نشود، الگوهای کشت دو ردیف سویا: چهار ردیف گندم (4W:2S) و سه ردیف سویا: شش ردیف گندم (6W:3S) خواهد بود).



شکل ۲– تاریخ کاشت، برداشت و مدت حضور همزمان گندم، ذرت و سویا در طول اجرای آزمایش

گندم دو نوبت در پاییز و به روش بارانی آبیاری شد و پس از زمستان گذرانی، آبیاری‌های بعدی به صورت منظم و یک بار در هفته صورت گرفت. جهت محاسبه میزان آب مصرفی، از کنتور آب که در ابتدای مسیر ورود آب به مزرعه نصب شده بود، استفاده شد. در کشت‌های خالص و مخلوط گندم، ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سه مرحله (زمان کشت، ساقه‌روی و گل‌دهی گندم) هر کدام به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. مصرف کود نیتروژن در مرحله گل‌دهی گندم به‌عنوان استارتر برای سویا در نظر گرفته شد. در کشت خالص ذرت نیز ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سه مرحله (۶۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت، ۶۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله شش تا هشت برگی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله تاسلینگ) مصرف شد. در کشت‌های

[1] – Double cropping

مخلوط (کشت ذرت پس از برداشت گندم) نیتروژن مصرف نشد. در واقع هدف امکان تأمین نیتروژن مورد نیاز ذرت در کشت‌های مخلوط از طریق نیتروژن باقی مانده در زمین گندم به همراه نیتروژن تثبت شده توسط سویا بود. در طول فصل رشد از بوته‌های ذرت، سویا وگندم نمونه‌برداری شد و شاخص‌های رشد محاسبه گردید. سطح برگ گندم و ذرت با استفاده از رابطه (۱) و سطح برگ سویا بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد. مجموع سطح برگ بوته‌های برداشت شده از هر واحد آزمایشی به عنوان شاخص سطح برگ هر گونه در نظر گرفته شد. سرعت رشد محصول (CGR) نیز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (هوزاین و همکاران ۲۰۰۷). در روابط (۱) و (۲)، A مساحت برگ، L طول برگ، W بزرگترین پهنای برگ، و در رابطه (۳)، CGR سرعت رشد محصول، GA سطح زمین بر حسب مترمربع، W وزن خشک بوته بر حسب گرم و T زمان بر حسب روز است.

رابطه ۱ $A=L\times W\times 0.75$

رابطه ۲ $A=0.919+0.682LW$

رابطه ۳ $CGR= (1/GA) \times (W2 - W1)/(T2 - T1)$

برای تعیین عملکرد دانه و بیولوژیک گیاهان مورد مطالعه، از سطحی معادل دو متر مربع نمونه‌برداری صورت گرفت. پس از خشک شدن، نمونه‌ها با ترازوی با دقت یک‌صدم توزین و عملکرد بیولوژیک ثبت شد. سپس در هر واحد آزمایشی، دانه‌ها از کاه و کلش جدا و عملکرد دانه تعیین گردید. پس از برداشت محصول، درصد پروتئین دانه برای هر گونه به روش کجلدال اندازه‌گیری شد. عملکرد پروتئین نیز از حاصلضرب درصد پروتیین در عملکرد دانه محاسبه گردید. درصد روغن دانه سویا به روش سوکسله تعیین و از حاصلضرب درصد روغن در عملکرد دانه، عملکرد روغن سویا تعیین شد. نیتروژن جذب شده بر اساس فرمول (۴) و کارایی نیتروژن جذب شده از رابطه (۵) محاسبه گردید. در روابط (۴) و (۵) Nt نیتروژن جذب شده توسط گیاه ($kg.ha^{-1}$)، Dw: وزن خشک گیاه، Nc: غلظت نیتروژن، NUE: کارایی نیتروژن جذب شده ($kg.kg^{-1}$) و Y: عملکرد اقتصادی ($kg.ha^{-1}$) است (گان و همکاران ۲۰۰۸، لوپز– بلیدو و همکاران ۲۰۰۵). کارایی مصرف آب نیز از میزان عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار به آب مصرف شده بر حسب متر مکعب در هکتار محاسبه شد. جهت بررسی سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص نیز از شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER) (بلانکو و لال ۲۰۰۹)، نسبت رقابتی (CR)[1] و غالبیت (A)[2] (لیتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱) استفاده شد. محاسبه LER، CR و AG به‌ترتیب طبق رابطه‌های ۶، ۷ و ۸ صورت گرفت. در این فرمول ها، Y_{aa}، Y_{ab}، Y_{bb}، Y_{ba}، LER_a، LER_b، Z_a، Z_b، Y_{ap}، Y_{bp}، A_{ab} و A_{ba} به‌ترتیب عملکرد گونه a در کشت خالص، عملکرد گونه a در مخلوط، عملکرد گونه b در کشت خالص، عملکرد گونه b در مخلوط، نسبت برابری زمین گونه a، نسبت برابری زمین گونه b، درصد گونه a در مخلوط، درصد گونه b در مخلوط، عملکرد پیش بینی شده گونه a در مخلوط، عملکرد پیش بینی شده گونه b در مخلوط، غالبیت گونه a و غالبیت گونه b است.

رابطه ۴ $Nt= Dw\times Nc$

رابطه ۵ $NUE= Y/Nt$

رابطه ۶ $LER= (Y_{ab}/Y_{aa}) + (Y_{ba}/Y_{bb})$

رابطه ۷ $CR= (LER_a/LER_b) \times (Z_b/Z_a)$

رابطه ۸ $A_{ab}= (Y_{ab}/Y_{ap}) - (Y_{ba}/Y_{bp})= -A_{ba}$

در نهایت تجزیه داده‌ها با نرم افزار آماری SAS9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمونLSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

1 – Competitive ratio

2 – Aggressivity

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم، سویا و ذرت

اثر الگوی کشت بر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول گندم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول گندم (۲۷/۷ گرم در مترمربع در روز) در کشت خالص بطور معنی‌داری بیش‌تر از کشت مخلوط بود و تیمارهای دارای شش و چهار ردیف گندم، پس از کشت خالص به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند (جدول ۲). با کاهش شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول گندم هم کاهش یافت. البته در تیمارهای دارای شش ردیف گندم میزان کاهش این ویژگی‌ها کمتر بود. به طور کلی، میزان کاهش شاخص‌های رشدی گندم (مقادیر پیش‌بینی شده) در کشت مخلوط کمتر از میزان کاهش تراکم بوته گندم در واحد سطح بود. دلیل این امر، احتمالا کشت تأخیری سویا با گندم است که باعث شده است بوته‌های گندم از منابع محیطی با کارایی بیشتری استفاده کرده و شاخص‌های رشدی را بهبود ببخشند. گزارش شده است که در سیستم‌های زراعی کشت خالص اغلب به دلیل سایه اندازی بوته‌ها روی یکدیگر فتوسنتز گیاه کاهش و در نتیجه آن رشد گیاه نیز کاهش می‌یابد (یانگ و همکاران ۲۰۱۷).

همچنین، بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول سویا (۲۴/۶۳ گرم در متر مربع در روز) نیز به کشت خالص آن تعلق گرفت و الگوهای کشت شش ردیف گندم با سه ردیف سویا (6w:3s) و چهار ردیف گندم با دو ردیف سویا (4w:2s) به‌ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار گرفتند. در الگوهای کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: یک ردیف ذرت و کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت به دلیل کاهش تراکم بوته سویا در واحد سطح و از طرفی وجود ذرت که گیاهی با توان رقابتی بالا است (جدول ۹)، باعث کاهش شاخص سطح برگ و به تبع آن کاهش سرعت رشد محصول سویا در این تیمارها شد. ولی، در کشت مخلوط 6w:3s (کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا) پس از برداشت گندم، با توجه به اینکه ذرت حضور نداشت (عدم وجود رقابت از طرف ذرت) و به ویژه اینکه تراکم سویا در واحد سطح افزایش پیدا کرده بود، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول سویا افزایش یافت، به طوری که این تیمار پس از کشت خالص سویا، بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول را داشت (جدول ۲). در کشت‌های مخلوط ذرت با سویا (پیری و همکاران ۲۰۱۷) و آفتابگردان با سویا (سیدی و حمزه‌ئی ۲۰۲۰) نیز علت کاهش شاخص سطح برگ سویا، ارتفاع بیشتر ذرت و آفتابگردان و دریافت کمتر نور توسط سویا گزارش شده است.

همانند گندم و سویا، بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول ذرت مربوط به تیمار کشت خالص بود. ولی، تیمارهای کشت خالص و کشت دوگانه ذرت/گندم از نظر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول ذرت تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. کشت مخلوط شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول ذرت را نیز کاهش داد. کمترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول ذرت بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار 4w:2s:1c (کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: یک ردیف ذرت)، از تیمار شش ردیف گندم، سه ردیف سویا و یک ردیف ذرت (6w:3s:1c) به‌دست آمد (جدول ۲). با این وجود، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول ذرت در کشت‌های مخلوط بیشتر از میزان مورد انتظار بود. در واقع بالاتر بودن شاخص سطح برگ ذرت از مقادیر پیش‌بینی شده در کشت مخلوط، احتمالا به تثبیت نیتروژن توسط سویا مربوط می‌شود. فاطمی و همکاران (۲۰۲۱) نیز در بررسی کشت مخلوط ذرت با لوبیا، مهم‌ترین دلیل افزایش شاخص سطح برگ ذرت در تیمارهای کشت مخلوط را به نقش مثبت لوبیا در افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن و جذب بالای آن توسط ذرت نسبت دادند.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر الگوهای کشت بر شاخص های رشد گندم، سویا و ذرت¥

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص سطح برگ			سرعت رشد محصول		
		گندم	سویا	ذرت	گندم	سویا	ذرت
تکرار	۲	۰/۷۲*	۰/۳۹*	۱/۸۷*	۲۷/۱۳*	۵۲/۱۸*	۹۷/۵۸*
الگوی کشت	۶	۰/۷۵*	۰/۴۱**	۱/۹۷*	۳۲/۶۴*	۵۲/۹۹*	۱۰۴/۴۳*
اشتباه آزمایشی	۱۲	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۵۶	۹/۱۲	۱۲/۵۴	۲۳/۷۲
ضریب تغییرات (٪)	—	۱۵/۲۶	۱۱/۴۳	۱۴/۲۳	۱۴/۲۳	۱۷/۷۸	۱۷/۵۴

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

¥: درجه آزادی الگوی کشت و خطا برای صفات ذرت به ترتیب ۵ و ۱۰ است.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول (گرم بر مترمربع در روز) گندم، سویا و ذرت

الگوی کشت (ذرت:سویا:گندم)	شاخص سطح برگ			سرعت رشد محصول ($g.m^{-2}d^{-1}$)		
	گندم	سویا	ذرت	گندم	سویا	ذرت
۴:۲:۰	۱/۱۰c	۲/۵۴d	—	۱۱/۰۰c	۱۷/۳۷d	—
۴:۲:۱	۱/۴۵ c	۲/۳۰e	۱/۸۰ c	۱۰/۸۰c	۱۵/۷۶e	۱۲/۲۰ c
۴:۲:۲	۱/۴۳ c	۲/۲۷e	۳/۶۰ b	۱۰/۵۰c	۱۵/۵۵e	۲۴/۰۰b
۶:۳:۰	۲/۹۰ b	۳/۲۸b	—	۲۰/۳۰b	۲۲/۴۷b	—
۶:۳:۱	۲/۸۷ b	۳/۰۱c	۱/۷۰ c	۱۹/۳۰b	۲۰/۶۲c	۱۱/۵۰ c
۶:۳:۲	۲/۸۴ b	۲/۹۲c	۳/۵۰ b	۱۹/۲۰b	۲۰/۰۰c	۲۳/۵۰ b
کشت خالص	۳/۹۰a	۳/۵۹a	۵/۰۰a	۲۷/۷۰a	۲۴/۶۳a	۳۴/۴۵a
کشت دوگانه ذرت/گندم	—	—	۴/۷a	—	—	۳۳/۵۵a

میانگین‌های هرستون با حروف مشابه، تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم، سویا و ذرت

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) اثر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. کشت مخلوط عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم را بطور معنی‌داری نسبت به کشت خالص آن کاهش داد. بطوریکه بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم به‌ترتیب به تیمارهای کشت خالص گندم و کشت‌های مخلوط دارای چهار ردیف گندم (کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا، کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: یک ردیف ذرت، کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت) تعلق گرفت (جدول ۴). الگوهای کشت دارای شش ردیف گندم نیز از نظر عملکردهای دانه و بیولوژیک در حدواسط بین کشت‌های خالص و مخلوط دارای چهار ردیف گندم قرار گرفتند. به طوری که الگوی‌های کشت مخلوط دارای چهار ردیف گندم به طور میانگین عملکرد بیولوژیک و دانه گندم را نسبت به کشت خالص به‌ترتیب ۶۰ و ۶۱ درصد کاهش دادند. اثر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه سویا نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین (۹۶۶ و ۳۵۰ گرم در مترمربع) و کمترین (۵۹۶ و ۱۶۵ گرم در مترمربع) عملکردهای بیولوژیک و دانه سویا به‌ترتیب از کشت خالص و کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت (4w:2s:2c) به‌دست آمد. عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه سویا در کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت نسبت به کشت خالص سویا به‌ترتیب ۳۸ و ۴۱ درصد کاهش نشان دادند (جدول ۴). علاوه بر این، بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد بیولوژیک ذرت (۲۳۰۵ و ۷۹۵ گرم در مترمربع) به‌ترتیب به کشت خالص ذرت و کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: یک ردیف ذرت تعلق گرفت. همچنین کشت مخلوط عملکرد دانه ذرت را بطور معنی-داری نسبت به کشت خالص آن کاهش داد، بطوریکه

بیشترین و کمترین عملکرد دانه ذرت (۹۵۶ و ۳۲۵ گرم درمترمربع) به‌ترتیب به کشت خالص ذرت و کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: یک ردیف ذرت تعلق گرفت (جدول ۴). کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: یک ردیف ذرت عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه ذرت را نسبت به کشت خالص ذرت، به‌ترتیب ۶۶ و ۷۱ درصد کاهش داد. قابل ذکر است که کشت خالص ذرت و کشت دوگانه ذرت/گندم از نظر عملکردهای بیولوژیک و دانه ذرت تفاوتی با هم نداشتند. با کاهش تراکم بوته هر گونه در واحد سطح در تیمارهای کشت مخلوط، طبیعی است که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نیز روند کاهشی داشته باشد ولی همانند شاخص‌های رشد، در مورد این ویژگی‌ها نیز میزان کاهش متناسب با کاهش تراکم بوته در واحد سطح نبود. در واقع، به‌دلیل بالاتر بودن شاخص‌های رشدی از مقادیر پیش بینی شده در کشت‌های مخلوط، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نیز بیشتر از مقادیر پیش بینی شده بود. با توجه به این‌که گندم به‌عنوان گیاه اول در پاییز، سویا به‌صورت تأخیری با گندم و ذرت به صورت دوگانه با گندم و تأخیری با سویا کشت شد، به نظر می‌رسد فضای مناسبی در اختیار هر سه گونه در کشت‌های مخلوط قرار گرفته و گونه‌های مورد مطالعه توانسته‌اند تشعشات فعال فتوسنتزی (PAR) بیشتری جذب کنند که این امر به افزایش ظرفیت فتوسنتزی و تولید بیشتر فتوآسیمیلات‌ها و در نتیجه افزایش عملکردهای بیولوژیک و دانه منجر شده است. گانگ و همکاران (۲۰۲۰) در کشت مخلوط ارزن و ماش، افزایش شاخص سطح برگ، محتوای کلروفیل برگ، جذب تشعشات فعال فتوسنتزی و فتوسنتز گزارش دادند. به‌طوری که افزایش ظرفیت فتوسنتزی باعث افزایش رشد و تجمع ماده خشک در کانوپی کشت مخلوط شد که در نهایت به افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اجزای کشت مخلوط نسبت به مقدار پیش بینی شده گردید. گزارش شده است که کشت مخلوط شرایط دریافت نور توسط برگ‌های بلال را بهبود می‌بخشد (رن و همکاران ۲۰۱۶). در الگوهای مخلوطی که گونه‌های همراه دوره رشد خود را به‌صورت هم زمان با گیاه دیگر تکمیل می‌کنند، غالبیت یک گونه اغلب موجب کاهش عملکرد گونه دوم می‌شود. در این آزمایش نیز بر اساس شاخص های غالبیت و نسبت رقابتی (جدول ۹) سویا گیاه مغلوب و گندم و ذرت گیاه غالب تشخیص داده شدند و نتایج مؤید این بود که سویا گیاه مناسبی در کشت مخلوط با گندم و ذرت است. با این وجود، در کشت مخلوط تأخیری به‌دلیل عدم رقابت شدید بین گونه‌های مخلوط، معمولا عملکرد و اجزای عملکرد چندان تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. بنابراین، مزیت کشت مخلوط تأخیری در زمینه کاهش رقابت بین گیاهان است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیان کردند که ذرت در سیستم کشت مخلوط، ریشه‌هایی با تراکم و عمق بیشتری ایجاد می‌کند و همچنین در طول دوره زایشی با استفاده از ریشه‌های عمیق خود می‌تواند بهتر از منابع استفاده کند که این امر به استفاده حداکثری سیستم کشت مخلوط از منابع در مقایسه با کشت خالص و در نتیجه به تولید بیشتر منجر خواهد شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیک و دانه گندم، سویا و ذرت¥

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد گندم		عملکرد سویا		عملکرد ذرت	
		بیولوژیک	دانه	بیولوژیک	دانه	بیولوژیک	دانه
تکرار	۲	۸۸۶۰۶۷۸*	۶۷۴۷۱۳*	۳۲۱۷۳۵۷*	۷۲۱۳۷۲**	۳۷۵۱۳۴۴۸*	۸۷۶۶۴۴۰**
الگوی کشت	۶	۶۷۲۰۵۸۹*	۷۱۳۶۷۰*	۲۴۱۸۸۸۳*	۸۶۵۰۸۴*	۳۴۴۶۷۳۶۹*	۵۴۵۷۷۰۹*
خطا	۱۲	۱۵۱۷۲۴۰	۱۷۲۲۹۶	۷۶۷۳۹۹	۲۴۰۹۶۲	۷۴۵۰۳۱۵	۱۵۳۹۵۰۲
ضریب تغییرات (٪)	—	۱۷/۶۹	۱۵/۹۰	۱۳/۸۷	۱۳/۲۶	۱۱/۴۱	۱۴/۸۶

**،* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار می باشد.

¥: درجه آزادی الگوی کشت و خطا برای صفات ذرت به ترتیب ۵ و ۱۰ است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیک و دانه (گرم در مترمربع) گندم، سویا و ذرت

الگوی کشت	عملکرد گندم		عملکرد سویا		عملکرد ذرت($g.m^{-2}$)	
(ذرت:سویا:گندم)	بیولوژیک	دانه	بیولوژیک	دانه	بیولوژیک	دانه
۴:۲:۰	۴۸۶c	۲۰۵c	۶۷۲d	۲۱۶b	—	—
۴:۲:۱	۴۶۳c	۱۹۷c	۶۰۶e	۱۷۴d	۸۱۰c	۳۵۰c
۴:۲:۲	۴۳۷c	۱۸۵ c	۵۹۶e	۱۶۵d	۱۷۰۵b	۶۹۵b
۶:۳:۰	۹۴۱b	۴۰۶ b	۸۷۸b	۳۰۵b	—	—
۶:۳:۱	۹۱۳b	۳۹۲ b	۸۲۰c	۲۶۵c	۷۹۵c	۳۲۵c
۶:۳:۲	۸۸۶b	۳۸۱ b	۷۷۵c	۲۴۵c	۱۶۶۰b	۷۰۰b
کشت خالص	۱۲۳۵a	۵۲۴ a	۹۶۶a	۳۵۰a	۲۳۰۵a	۹۵۶a
کشت دوگانه ذرت/گندم	—	—	—	—	۲۱۷۰ a	۸۹۴a

میانگین های هرستون با حروف مشابه، تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

درصد و عملکرد پروتئین دانه گندم و ذرت

درصد و عملکرد پروتئین دانه گندم و ذرت به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۵). به‌طوری که، تمامی الگوهای کشت مخلوط بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر، درصد پروتئین بیشتری نسبت به کشت خالص گندم داشتند. بیشترین درصد پروتئین دانه گندم مربوط به کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا (4w:2s) بود و کمترین میزان این صفت از کشت خالص گندم مشاهده شد. در بین الگوهای مختلف کشت، بیشترین و کمترین مقدار عملکرد پروتئین گندم نیز به‌ترتیب از کشت خالص گندم (به علت عملکرد بالا در واحد سطح) و کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت به‌دست آمد (جدول ۶). در مورد ذرت نیز تمامی کشت‌های مخلوط به طور معنی‌داری درصد پروتئین بیشتری نسبت کشت خالص ذرت داشتند و بیشترین درصد پروتئین دانه ذرت (۱۳/۶۶ درصد) به کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: یک ردیف ذرت (4w:2s:1c) تعلق گرفت. ولی با توجه به عملکرد دانه بالا در کشت خالص ذرت، بیشترین عملکرد پروتئین ذرت در کشت خالص این گیاه مشاهده گردید (جدول ۶). در الگوهای کشت مخلوط با سویا شاید بتوان تثبیت بیولوژیک نیتروژن را دلیل افزایش درصد پروتئین دانه ذرت دانست. تثبیت نیتروژن اتمسفری توسط لگوم‌ها، سبب کاهش رقابت برای جذب نیتروژن می‌شود و این امکان را فراهم می‌کند که غلات نیتروژن بیشتری را از خاک جذب کنند. (قوش و همکـاران ۲۰۰۶). سیدی و حمزه‌ئی (۲۰۲۰) نیز از افزایش پروتئین دانه آفتابگردان در کشت مخلوط با سویا و لوبیا گزارش دادند. در بررسی کشت مخلوط ذرت با برخی گیاهان خانواده لگوم مانند شبدر برسیم، خلر و ماشک اظهار شد که میزان پروتئین علوفه ذرت در مقایسه با کشت خالص این محصول افزایش معنی‌داری پیدا کرد (جوانمرد و همکاران ۲۰۲۰).

درصد و عملکرد روغن و پروتئین دانه سویا

تجزیه واریانس داده‌ها مؤید این بود که درصد و عملکرد روغن و پروتئین دانه سویا به طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۵). بیشترین درصد روغن دانه سویا در کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت (4w:2s:2c) مشاهده شد که البته با کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت (6w:3s:2c) اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین درصد روغن دانه سویا (۱۹ درصد) نیز در کشت خالص سویا مشاهده شد. ولی، با توجه به اینکه بیشترین عملکرد دانه سویا از کشت خالص بدست آمد و از آنجا که عملکرد روغن حاصلضرب درصد روغن در عملکرد دانه است، بیشترین عملکرد روغن سویا نیز متعلق به کشت خالص سویا بود (شکل ۳). به نظر می‌رسد در الگوهای کشت 4w:2s:2c (کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت) و 6w:3s:2c

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر الگوهای مختلف کشت بر کیفیت دانه گندم، سویا و ذرت¥

منابع تغییر	درجه آزادی	گندم		ذرت		سویا		سویا	
		درصد پروتئین	عملکرد پروتئین	عملکرد پروتئین	درصد پروتئین	عملکرد روغن	درصد روغن	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین
تکرار	۲	۰/۰۳۴^{ns}	۵۲/۶۶^{ns}	۱۷۱/۱۱^{ns}	۰/۲۷^{ns}	۴۴/۸۰^{ns}	۶/۸۷^{ns}	۱۱۶/۰۱**	۳۱۰/۲۰^{ns}
الگوی کشت	۶	۱/۵۶*	۶۵۴/۷۶**	۲۳۲۶/۸۴**	۳/۸۴*	۴۶۱/۱۴**	۱۱/۱۹*	۳۸/۶۵*	۳۷۶۲/۷۱**
خطا	۱۲	۰/۴۶	۳۱/۶۵	۱۴۵/۸۴	۰/۸۵	۵۹/۲۵	۲/۸۸	۹/۵۷	۱۳۰/۲۵
ضریب تغییرات (٪)	—	۶/۳۷	۱۴/۶۴	۱۵/۵۰	۷/۵۷	۱۵/۶۴	۸/۱۵	۸/۲۱	۱۲/۰۴

**،* و ns : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار می باشد.

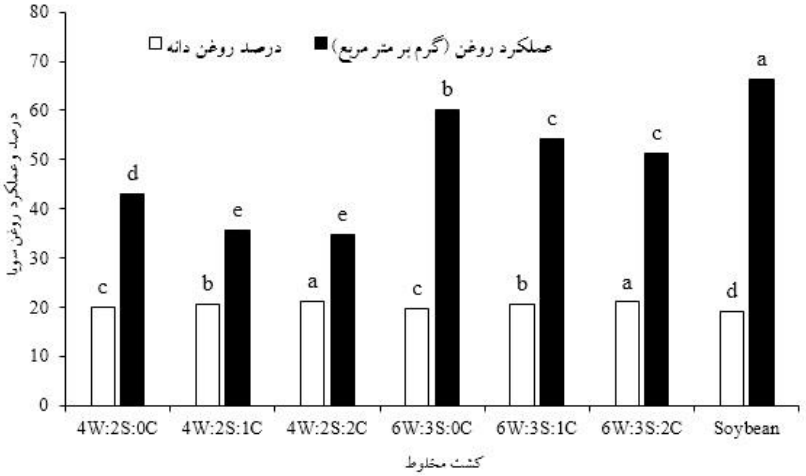
¥: درجه آزادی الگوی کشت و خطا برای صفات ذرت به ترتیب ۵ و ۱۰ است.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر درصد و عملکرد پروتئین (گرم بر مترمربع) دانه گندم، سویا و ذرت

الگوی کشت (ذرت:سویا:گندم)	پروتئین گندم		پروتئین سویا		پروتئین ذرت	
	درصد	عملکرد	درصد	عملکرد	درصد	عملکرد($g.m^{-2}$)
۴:۲:۰	۱۲/۱۰ a	۲۴/۷۸ c	۳۸/۰۰bc	۸۲/۰۸ cd	—	—
۴:۲:۱	۱۲/۰۰ a	۲۳/۶۲ c	۳۶/۲۰ bc	۶۲/۹۷ de	۱۳/۶۶ a	۴۵/۵۰ b
۴:۲:۲	۱۲/۰۰ a	۲۲/۱۸ c	۳۴/۰۱ c	۵۶/۱۹ e	۱۲/۵۰ab	۸۶/۹۰a
۶:۳:۰	۱۱/۸۰ a	۴۷/۸۶ b	۴۰/۵۰ ab	۱۲۳/۴۹b	—	—
۶:۳:۱	۱۱/۸۰ a	۴۶/۲۱ b	۳۶/۷۰c	۹۷/۶۵ c	۱۲/۸ ab	۴۱/۶۰ b
۶:۳:۲	۱۱/۷۰ a	۴۴/۵۷ b	۳۴/۱۰ c	۸۳/۴۸ c	۱۲/۳ ab	۸۶/۱۰ a
کشت خالص	۱۱/۴۰ b	۵۹/۷۰ a	۴۴/۰۰ a	۱۵۷/۲۵ a	۱۰/۳۰ c	۱۰۸/۰۰ a
کشت دوگانه ذرت/گندم	—	—	—	—	۱۱/۷۰bc	۹۹/۲۰ a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون $LSD_{5\%}$ اختلاف معنی‌دار ندارند.

(کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت) سایه اندازی از طرف ذرت و طولانی تر شدن دوره پر شدن دانه، منجر به افزایش درصد روغن دانه سویا در این تیمارها شده است. درواقع، هرچند ذرت به صورت تأخیری با سویا کشت شد، ولی سویا در طول دوره رشد زایشی همراه ذرت بود. از آنجاییکه در دانه‌های روغنی افزایش طول دوره پر شدن دانه می‌تواند به افزایش درصد روغن منجر شود، لذا به‌نظر می‌رسد تعدیل شرایط محیطی (به ویژه دما) در این الگوی‌های کشت به سود سویا از نظر درصد روغن تولیدی شده است. به‌طوری که، بیشترین درصد و عملکرد پروتئین سویا به کشت خالص این گیاه تعلق گرفت. کمترین عملکرد پروتئین سویا نیز متعلق به الگوی کشت 4w:2s:2c بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار 4w:2s:1c نداشت (جدول ۶). علت این امر به کاهش تراکم سویا در کشت‌های مخلوط برخوردار از دو ردیف سویا برمی‌گردد. به عبارتی، عملکرد پروتئین حاصلضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه است و از آنجاییکه درالگوهای کشت دارای دو ردیف سویا، عملکرد دانه سویا به‌طور معنی‌داری پایین بود، لذا پایین بودن عملکرد پروتئین این تیمارها نیز دور از انتظار نیست. سایر پژوهشگران نیز رقابت بر سر منابع محیطی مختلف مانند آب، نور و مواد غذایی را عامل کاهش عملکرد کمی و کیفی دانه سویا (فیونته ۲۰۱۴) و باقلا (امانی ماچیانی و همکاران ۲۰۱۸) در کشت مخلوط گزارش کرده‌اند.



شکل ۳- مقایسه میانگین درصد و عملکرد پروتئین سویا تحت الگوهای مختلف کشت مخلوط. میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون $LSD_{5\%}$ اختلاف معنی‌دار ندارند.

نیتروژن جذب شده و کارایی مصرف نیتروژن و آب

نیتروژن جذب شده توسط گندم، ذرت و سویا و نیز کل نیتروژن جذب شده در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۷). در هر سه گونه گندم، ذرت و سویا بیشترین میزان نیتروژن جذب شده در کشت خالص بدست آمد و با کشت مخلوط از نیتروژن جذب شده گندم، ذرت و سویا کاسته شد. (جدول ۸). در واقع مهمترین عامل افزایش نیتروژن جذب شده در کشت خالص به تراکم بوته و بالا بودن عملکرد دانه این گیاهان مربوط می‌شود. با این که میزان نیتروژن جذب شده توسط هر سه گونه در کشت خالص بیشتر بود، ولی از نظر کل نیتروژن جذب شده بیشتر تیمارهای کشت مخلوط در سطح بالاتری نسبت به کشت‌های خالص قرار گرفتند. بنحویکه کمترین مقدار این ویژگی در تیمار کشت خالص گندم بدست آمد و کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت (6w:3s:2c) دارای بیشترین مقدار نیتروژن جذب شده بود (جدول ۸).

کارایی نیتروژن جذب شده برای هر سه گونه (گندم، سویا و ذرت) و نیز کارایی کل نیتروژن جذب شده تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۷). در گندم و ذرت بیشترین کارایی نیتروژن جذب شده مربوط به کشت خالص آن‌ها بود، در حالیکه در گیاه سویا میزان این ویژگی در تیمارهای کشت مخلوط بیشتر بود (جدول ۸). در کل کانوپی نیز تیمار کشت دوگانه ذرت/گندم بیشترین مقدار این ویژگی را نشان داد که اختلاف معنی‌داری با کشت‌های خالص گندم و ذرت نداشت. کشت خالص سویا دارای کمترین کارایی نیتروژن جذب شده در کل کانوپی بود (جدول ۸). از مزایای مهم سیستم کشت مخلوط گیاهان افزایش کارایی استفاده از منابع محیطی مختلف است (گانگ و همکاران ۲۰۲۰). به‌طوری که در سیستم‌های کشت مخلوط برخوردار از لگوم، نه تنها میزان تثبیت نیتروژن افزایش می یابد بلکه استفاده از نیتروژن تثبیت شده توسط لگوم و نیز کارایی مصرف این عنصر غذایی افزایش می‌یابد (جوانمرد و همکاران ۲۰۲۰، هاگارد–نیلسن و همکاران ۲۰۰۹، کرهالو و همکاران ۲۰۰۷).

بر اساس نتایج حاصل، بین الگوهای مختلف کشت از نظر کارایی مصرف آب تفاوت معنی‌دار وجود داشت (شکل ۴). به طوری که، مقایسه میانگین‌ها نشان داد در سیستم کشت گندم– سویا– ذرت، بیشترین و کمترین میزان کارایی مصرف آب (به‌ترتیب ۱/۹۷ و ۰/۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌ترتیب متعلق به الگوهای کشت مخلوط شش ردیف گندم، سه ردیف سویا و دو ردیف ذرت و کشت خالص سویا بود (شکل ۴). قابل ذکر است که بین کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت و کشت دوگانه ذرت/گندم از نظر کارایی

مصرف آب تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌نظر می‌رسد افزایش کارایی مصرف آب در کشت‌های مذکور به تنوع ساختاری و توسعه عمودی ریشه ذرت، سویا و ریشه‌های افشان گندم در لایه‌های خاک و جذب حداکثری آب از اعماق مختلف خاک بر می‌گردد. از طرفی با توجه به الگوی کشت (کشت تأخیری سویا با گندم و ذرت با سویا و نیز کشت ذرت پس از گندم)، احتمال می رود که با برداشت گندم ریشه‌های سویا و ذرت می‌تواند به قسمت‌هایی از خاک که قبلاً توسط گندم اشغال شده توسعه پیدا کرده و از آب با راندمان بیشتری استفاده کنند که در نتیجه این امر عملکرد تولیدی در واحد سطح بیشتر و متعاقبا کارایی مصرف آب نیز بیشتر خواهد شد. تفاوت‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در کشت مخلوط غلات/لگوم سبب می‌شود تا گونه‌ها آشیان‌های بوم‌شناختی متفاوتی را اشغال کرده و به شکل مکمل عمل کنند که در در نتیجه آن کارایی استفاده از منابع بهبود می‌یابد (وانگ و همکاران ۲۰۱۶، هوانگ و همکاران ۲۰۱۸). گانگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز از افزایش کارایی مصرف آب در کشت مخلوط ارزن و ماش گزارش دادند. آنها علت این امر را به گسترش ریشه‌های ارزن به فضاهای خالی بین ردیف که منجر به افزایش تراکم طولی وحجمی ریشه در لایه صفر تا ۵۰ سانتی‌متر خاک شد، نسبت دادند. ما و همکاران (۲۰۲۰) نیز در بررسی کشت مخلوط گندم و ذرت به این نتیجه رسیدند که گندم با گسترش ریشه‌های جانبی خود وجذب آب از بین نوارها موجب افزایش کارایی مصرف آب شد. ین و همکاران (۲۰۲۰) افزایش کارایی مصرف آب را در کشت مخلوط ذرت و گندم گزارش کردند. سیدی و حمزه ئی (۲۰۲۰) نیز در مطالعه کشت مخلوط لوبیا و سویا با آفتابگردان اظهار داشتند که با افزایش عملکرد کل در کشت مخلوط، افزایش معنی‌دار کارایی استفاده از منابع از جمله نیتروژن و آب رخ می‌دهد که این امر می‌تواند از مهمترین مزایای این سیستم کشت باشد.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر الگوی کشت بر مقدار و کارایی نیتروژن جذب شده در گندم، سویا و ذرت¥

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن جذب شده				کارایی مصرف نیتروژن جذب شده			
		گندم	سویا	ذرت	کل	گندم	سویا	ذرت	کل
تکرار	۲	۴۲۵/۲۹*	۱۸۵۵/۳۴*	۱۹۱۲/۵۰*	۳۷۵۳/۲۵*	۲۰۵/۳۶ns	۱۹/۳۹ns	۴۳۲/۸۳*	۲۰۱/۴۳*
الگوی کشت	۶	۵۰۰/۷۶*	۱۹۰۰/۷۸*	۲۰۵۶/۳۳*	۶۷۰۷/۵۱*	۴۹۸/۴۵*	۴۳/۷۲*	۴۵۲/۵۹*	۲۰۶/۳۳*
خطا	۱۲	۱۰۲/۳۸	۴۰۰/۴۴	۴۰۰/۹۲	۱۶۰۰/۳۷	۹۹/۷۱	۹/۷۵	۹۵/۹۴	۵۸/۷۳
ضریب تغییرات (٪)	_	۱۶/۷۵	۱۵/۲۲	۱۶/۳۵	۱۲/۹۳	۱۸/۱۴	۱۷/۰۶	۱۸/۲۷	۱۷/۷۲

**،* و ns : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار می باشد.

¥: درجه آزادی الگوی کشت و خطا برای صفات ذرت به ترتیب ۵ و ۱۰ و کل به ترتیب ۹ و ۱۸ است.

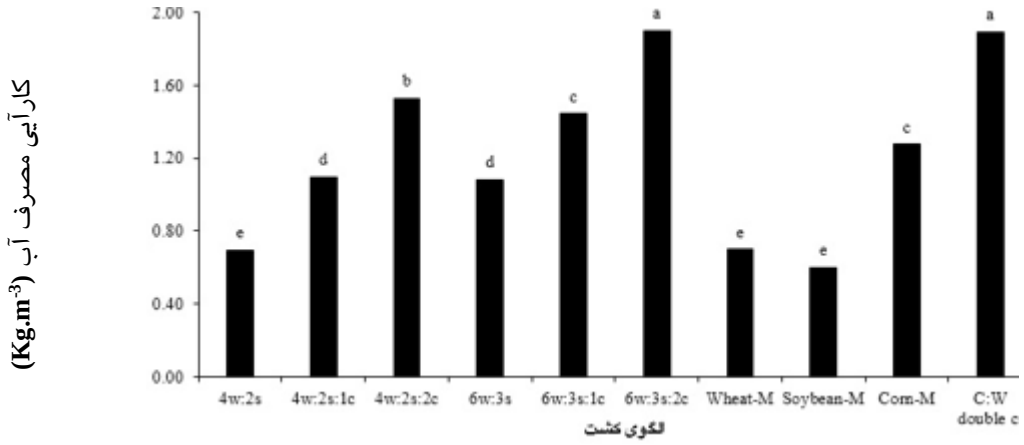
شاخص غالبیت (A)، نسبت رقابتی (CR) و نسبت برابری زمین (LER)

اگر شاخص غالبیت برابر صفر شود هر دو گیاه قدرت رقابتی برابر خواهند داشت. زمانی که شاخص غالبیت یک گونه بزرگتر از صفر شود، نشان‌دهنده غالب بودن آن گونه بر گونه دیگر است (دهیما و همکاران ۲۰۰۷). در این آزمایش، شاخص غالبیت برای گندم و ذرت بزرگتر از صفر شد. مقدار عددی شاخص غالبیت برای سویا در تمام الگوهای کشت مخلوط کوچک‌تر صفر به‌دست آمد (جدول ۹). بنابراین، گندم و ذرت گیاه غالب بر سویا می‌باشند و سویا گیاه مغلوب است. در کشت مخلوط گندم و نخود نیز گندم گیاه غالب و نخود گیاه مغلوب گزارش شده است (بدوساک و جاستس ۲۰۱۱). شاخص نسبت رقابتی نیز ابزار مهمی به‌منظور شناخت درجه رقابت یک گونه گیاهی با دیگری است (وحلا و همکاران ۲۰۰۹). به طوری که طبق نتایج، نسبت رقابتی گندم و ذرت در تمام کشت‌های مخلوط بیشتر از نسبت رقابتی سویا بود (جدول ۹). این امر حاکی از این است که می‌توان سویا را گیاهی مناسب برای کشت مخلوط با گندم و ذرت معرفی کرد.

جدول ۸– مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر مقدار و کارایی نیتروژن جذب شده در گندم، سویا و ذرت

الگوی کشت	نیتروژن جذب شده ($Kg.ha^{-1}$)				کارایی نیتروژن جذب شده ($Kg.kg^{-1}$)			
ذرت:سویا:گندم	گندم	سویا	ذرت	کل	گندم	سویا	ذرت	کل
۴:۲:۰	۳۹/۷۰c	۱۳۱/۱۳c	—	۱۷۱/۱۰c	۵۱/۶۵c	۱۶/۴۵c	—	۲۴/۶۱c
۴:۲:۱	۳۷/۸۷c	۱۰۷/۰۷d	۷۲/۲۰c	۲۱۰/۱۰c	۵۲/۰۸b	۱۷/۲۷b	۴۸/۶۱b	۳۴/۲۴b
۴:۲:۲	۳۵/۵۵c	۸۹/۹۹d	۱۳۷/۸۰b	۲۶۳/۳۰b	۵۲/۰۸b	۱۸/۳۵a	۵۰/۵۱b	۳۹/۷۳b
۶:۳:۰	۷۶/۶۶b	۱۹۷/۸۰b	—	۲۷۴/۵۰b	۵۲/۹۷ab	۱۵/۴۲d	—	۲۵/۹۱c
۶:۳:۱	۷۳/۲۹b	۱۵۵/۶۰b	۶۵/۵۶c	۲۹۵/۴۲b	۵۲/۹۷ab	۱۷/b۰۳	۴۹/۵۴b	۳۳/۲۵b
۶:۳:۲	۷۱/۰۳b	۱۳۳/۴۵c	۱۳۷/۷۶b	۳۴۲/۲۵a	۵۳/۴۲a	۱۸/۳۲a	۵۰/۸۷b	۳۸/۷۱b
کشت خالص گندم	۹۵/۶۵a	—	—	۹۵/۶۵d	۵۴/۷۸a	—	—	۵۴/۷۸a
کشت خالص سویا	—	۲۴۶/۶۳a	—	۲۴۶/۶۳b	—	۱۴/۱۹e	—	۱۴/۱۹e
کشت خالص ذرت	—	—	۱۷۲/۲۸a	۱۷۲/۲۸c	—	—	۵۵/۵۰a	۵۵/۵۰a
کشت دوگانه ذرت/گندم	۹۵/۵۰a	—	۱۵۸/۹۰a	۲۵۴/۴۰b	۵۴/۴۵a	—	۵۶/۴۴a	۵۵/۶۰a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون $LSD_{5\%}$ اختلاف معنی‌دار ندارند.



شکل ۴– مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در الگوهای مختلف کشت (Wheat–M: کشت خالص گندم، Soybean–M: کشت خالص سویا، Corn–M: کشت خالص ذرت، C:W: کشت دوگانه ذرت/گندم). میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون $LSD_{5\%}$ اختلاف معنی‌دار ندارند.

نسبت برابری زمین (LER) معیاری برای سنجش کارایی استفاده از زمین در کشت مخلوط است که نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص برای استفاده از منابع محیطی است. هنگامی که LER بزرگتر از یک باشد، کشت مخلوط به نفع رشد و عملکرد گونه است. از سوی دیگر، مجموع LER بالاتر از یک نشان می‌دهد که رقابت بین گونه‌ای در مخلوط کمتر از رقابت موجود در کشت خالص است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۴). بررسی شاخص نسبت برابری زمین در این مطالعه نشان داد که کلیه تیمارهای کشت مخلوط LER بیشتر از یک داشتند (جدول ۹) که نشان از برتری کشت مخلوط نسبت به تک کشتی هر سه گونه دارد. در میان الگوهای مختلف کشت، کمترین نسبت برابری زمین مربوط به تیمار کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا (4w:2s) بود. بیشترین میزان شاخص نسبت برابری زمین (۲/۱۶) نیز از کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت (6w:3s:2c) به‌دست آمد. لی و همکاران (۲۰۲۰) در کشت مخلوط ذرت و گندم اظهار

داشتند که کشت مخلوط یکی از روش‌های بسیار موثر در افزایش کارایی استفاده از زمین است. گزارش شده است که تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط لگوم و انتقال آن به گیاه همراه (غیر لگوم) باعث افزایش عملکرد دانه و میزان LER در سیستم‌های کشت مخلوط می‌شود (مارتین و همکاران ۲۰۱۸). چن و همکاران (۲۰۱۷) نیز کشت مخلوط تأخیری سیوا با ذرت را از نظر کارایی استفاده از زمین بسیار کارآمد دانستند و حداکثر شاخص نسبت برابری زمین را ۲/۳۶ گزارش کردند.

جدول ۹- شاخص‌های غالبیت (A)، نسبت رقابتی (CR) و نسبت برابری زمین (LER) در کشت مخلوط گندم، سویا و ذرت

	شاخص غالبیت ذرت با سویا		شاخص غالبیت گندم با سویا		نسبت رقابتی ذرت با سویا		نسبت رقابتی گندم با سویا		LER			
الگوهای کشت مخلوط	A_S	A_C	A_S	A_W	CR_S	CR_C	CR_S	CR_W	کل	ذرت	سویا	گندم
4W:2S	—	—	−۰/۲۶	۰/۲۶	—	—	۰/۷۸	۱/۲۹	۱/۰۱	—	۰/۶۲	۰/۳۹
4W:2S:1C	−۰/۳۷	۰/۳۷	−۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۶۷	۱/۵۰	۰/۶۵	۱/۵۴	۱/۲۴	۰/۳۷	۰/۵۰	۰/۳۸
4W:2S:2C	−۰/۳۸	۰/۳۸	−۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۶۵	۱/۵۴	۰/۶۶	۱/۵۲	۱/۵۵	۰/۷۳	۰/۴۷	۰/۳۵
6W:3S	—	—	−۰/۲۹	۰/۲۹		—	۰/۷۵	۱/۳۳	۱/۶۵	—	۰/۸۷	۰/۷۷
6W:3S:1C	−۰/۲۷	۰/۲۷	−۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۷۳	۱/۳۶	۰/۶۸	۱/۴۷	۱/۸۵	۰/۳۴	۰/۷۶	۰/۷۵
6W:3S:2C	−۰/۳۹	۰/۳۹	−۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۶۴	۱/۵۶	۰/۶۵	۱/۵۵	۲/۱۶	۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۷۳

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، کشت مخلوط تأخیری گندم با سویا و کشت دوگانه ذرت با گندم به دلیل تفاوت‌های مورفولوژیکی و نیازهای اکولوژیکی موجود در بین گونه‌ها، اثرات مکملی مثبت و هم‌یاری را در کشت مخلوط فراهم کرد. در این پژوهش، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول در کل کانوپی (مجموع مقدار عددی شاخص‌ها در هر پلات) در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. عملکرد کل برداشت شده در کشت مخلوط نیز بیشتر از کشت خالص بود. علی‌رغم کاهش عملکرد دانه گیاهان در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، بررسی شاخص نسبت برابری زمین سودمندی کشت مخلوط را نسبت به تک کشتی نشان داد. به طوری‌که بیشترین مقدار شاخص نسبت برابری زمین (۲/۱۶) از کشت مخلوط شش ردیف گندم، سه ردیف سویا و دو ردیف ذرت به‌دست آمد. همچنین، کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت و کشت دوگانه ذرت با گندم از نظر کارایی مصرف آب در بالاترین سطح قرار گرفتند. بنابراین، به نظر می‌رسد کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت به عنوان یک تکنیک زراعی جهت بهبود تولید و حداکثر بهره‌بری از زمین و منابع محیطی، قابل توصیه به کشاورزان است.

سپاسگزاری

از سرپرست و کارکنان مزرعه آموزشی پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا که در اجرای این طرح نهایت همکاری را با ما داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

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

Bedoussac L and Justes E. 2011. A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. Field Crops Research, 124: 25–36. https://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025

Blanco–Canqui H and Lal R. 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. Critical Reviews in Plant Sciences, 28: 139–163. https://doi.org/10.1080/07352680902776507

Du JD, Han TF, Gai JY, Yong TW, Sun X, Wang XC, Yang F, Liu J, Shu K, Liu WG and Yang WY. 2018. Maize–soybean strip intercropping: Achieved a balance between high productivity and sustainability. Journal of Integrative Agriculture, 17(4): 747–754. https://doi.org/10.1016/S2095-3119 (17)61789-1

Chen P, Du Q, Liu X, Zhou L, Hussain S, Lei L, Song C, Wang X, Liu W, Yang F, Yang F, Shu, K, Liu J, Du J, Yang T. 2017. Effects of reduced nitrogen inputs on crop yield andnitrogen use efficiency in a long-term maize-soybean relaystrip intercropping system. PloS One, 12, e0184503. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184503

Cong WF, Hoffland E, Li L, Six J, Sun JH, Bao XG, Zhang FS and Wopke V.D.W. 2015. Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. Global Change Biology, 21: 1715–1726. https://doi.org/10.1111/gcb.12738

Corre–Hellou G, Brisson N, Launay M, Fustec J and Crozat Y. 2007. Effect of root depth penetration on soil N sharing and dry matter in pea–barley intercrops given different soil N supplies. Field Crops Research, 103: 76–85. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.04.008

Dhima KV, Lithourgidis AS, Vasilakoglou IB and Dordas CA. 2007. Competitionindices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. Field Crops Research, 100: 249–256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008

Dolijanović Ž, Kovačević D, Oljača S and Simić M. 2009. Types of interactions in intercropping of maize and soyabean. Journal of Agricultural Sciences, 54: 179–187. https://doi.org/10.2298/JAS0903179D

Fatemi R, Hoseini S, Moghadam H and Motasharezadeh B. 2021. Evaluation of light consumption efficiency in a mixture of maize and beans cultivation under the influence of biologic and organic fertilizers. Journal of Crops Improvement, 23(4): 712–699. https://doi.org/10.22059/jci.2021.308259.2452

Fuente E, Suárez S, Lenardis A and Poggio S. 2014. Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems: Evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. Njasw Ageningen Journal of Life Sciences, 70: 47–52. https://doi.org/10.1016/j.njas.2014.05.002

Gan Y, Malhi SS, Brandt S, Katepa–Mupondwad F and Stevenson C. 2008. Nitrogen use effi ciency and nitrogen uptake of juncea canola under diverse environments. Agronomy Journal. 100:285–295. https://doi.org/10.2134/agrojnl2007.0229

Ghosh PK, Manna MC, Bandyopadhyay KK, Ajay AK, Tripathi RH, Wanjari KM, Hati AK, Misra CL, Acharya and Subba Rao A. 2006. Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. Agronomy Journal, 98: 1097–1108. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0328

Gong X, Dang K, Lv S, Zhao G, Tian L, Luo Y and Feng B. 2020. Interspecific root interactions and water–use efficiency of intercropped proso millet and mung bean. European Journal of Agronomy, 115: 126034. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126034

Hauggaard–Nielsen H, Gooding M, Ambus P, CorreHellou G, Crozat Y, Dahlmann C, Dibet A, VonFragstein P, Pristeri A, Monti M and Jensen ES. 2009. Pea–barley intercropping for efficient symbiotic N2–fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. Field Crops Research, 113: 64–71. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.009

Hong Y, Berentsen P, Heerink N, Shi M and Werf W. 2019. The future of intercropping under growing resource scarcity and declining grain prices – A model analysis based on a case study in Northwest China. Journal of Agricultural Systems, 176: 102661. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102661

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. https://doi.org/10.15226/2572-3154/3/2/00118

Huang C, Liu Q, Li H, Li X, Zhang and Zhang F. 2018. Optimised sowing date enhances crop resilience towards size–asymmetric competition and reduces the yield difference between intercropped and sole maize. Field Crops Research, 217: 125–133. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.010

Iqbal N, Hussain S, Ahmed Z, Yang F, Wang X, Liu W, Yong T, Du J, Shu K, Yang W, Liu J. 2018. Comparative analysis of maize–soybean strip intercropping systems. Plant Production Science, 22(2): 131–142. https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1541137

Javanmard A, Amani Machiani M, Lithourgidis A, Morshedloo MR and Ostadi A. 2020. Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. Cleaner Engineering and Technology, 100003. https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100003

Khoramivafa M, Ghasemi E, Farhadi B and Najaphy A. 2013. The water use efficiency in forage maize at maize/faba bean relay intercropping in deficit irrigation and no tillage systems. Agronomy and Plant Production, 11(4): 3134–3139.

Latati M, Bargaz A, Belarbi B, Lazali M, Benlahrech S, Siham T, Kaci G and Jean JD. 2016. The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability. European Journal of Agronomy, 72: 80–90. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.015

Li YJ, Ma LS, Wu PT, Zhao XN, Chen XL and GAO XD. 2020. Yield, yield attributes and photosynthetic physiological characteristics of dryland wheat (Triticum aestivum L.)/maize (Zea mays L.) strip intercropping. Field Crops Research, 248: 107656. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107656

Lithourgidis AS, Vlachostergios DN, Dordas CA and Damalas CA. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. European Journal of Agronomy, 34: 287–294. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007

López–Bellido L, López–Bellido RJ and Redondo R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. Field Crops Research, 94(1): 86–97. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.11.004

Ma LS, Wu PT, Zhao XN, Chen XL and Gao XD. 2020. Coupling evapotranspiration partitioning with water migration to identify the water consumption characteristics of wheat and maize in an intercropping system. Agricultural and Forest Meteorology, 290: 108034. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108034

Martin–Guay MO, Paquette A, Dupras J and Rivest, D. 2018. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. Science of the Total Environment, 615:767–772.

Piri I, Zendehdel B and tavassoli A. 2017. Study of agronomical and ecological parameters of additive and replacement intercropping systems of corn (Zea maize L.) and soybean (Glycine max L. Merr.). Journal of Agroecology, 9(3): 705–721. https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.45737

Ren Y, Liuc J, Wangd Z and Zhanga S. 2016. Planting density and sowing proportions of maize–soybean intercropsaffected competitive interactions and water–use efficiencies on the Loess Plateau, China. European Journal of Agronomy, 72: 70–79. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.001

Sabeghynejad F, Dehmardeh M, Asghari Pour MR, Khamari E and Nezami ZS. 2018. Evaluation of tillage systems on agronomic aspect of soybean (Glycine max L.) and roselle (Hibiscus subdariffa L.) relay intercropping. Journal of Agroecology, 11 (3): 1085–1104. https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.68442

Salari F, Khalesro S, Heidari G and Ghobari H. 2020. Comparison of quantitative and qualitative traits of safflower and chickpea in replacement and additive intercropping systems. Iranian Journal of Field Crop Science, 51(3): 129–138. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.269888.654549

Seyedi M and Hamzei J. 2020. Evaluation of advantageous of sunflower–grain legume intercropping. Electronic Journal of Crop Production, 13(1): 85–98. (In Persian).

Wahla IH, Ahmad R, Ehsanullah A and Jabbar A. 2009. Competitive functions of components crops in some barley based intercropping systems. International Journal of Agriculture and Biology, 11(1): 69–72.

Wang G, Chen X, Cui Z, Yue S and Zhang F. 2014. Estimated reactive nitrogen losses for intensive maize production in China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 197: 293–300. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.07.014

Wang Q, Han S, Zhang L, Zhang D, van der Werf, W, Evers JB, Sun H, Su Z and Zhang S. 2016. Density responses and spatial distribution of cotton yield and yield components in jujube (zizyphus jujube L.)/cotton (gossypiumhirsutum L.) agroforestry. European Journal of Agronomy, 79: 58–65. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.05.009

Wang X, Deng X, Pu T, Song C, Yong T, Yang F, Sun X, Liu W, Yan Y, Du J, Liu J, Sun K and Yang W. 2017. Contribution of interspecific interactions and phosphorus application to increasing soil phosphorus availability in relay intercropping systems. Field Crops Research, 204: 12–22. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.020

Xiangwei GKD, Long L, Guan Z, Siming LV, Lixin T, Fei J, Yu F, Yingnan Z and Baili F. 2021. Intercropping combined with nitrogen input promotes proso millet (Panicum miliaceum L.) growth and resource use efficiency to increase grain yield on the Loess plateau of China. Agricultural Water Management, 243: 106434. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106434

Yamane K, Ikoma A and Iijima M. 2016. Performance of double cropping and relay intercropping for black soybean production in small-scale farms. Plant Production Science, 19: 449-457. https://doi.org/10.1080/1343943X.2016.1164574

Yang F, Liao DP, Wu XL, Gao RC, Fan YF, Raza MA, Wang XC, Yong TW, Liu WG and Liu J. 2017. Effect of aboveground and belowground interactions on the intercrop yields in maize–soybean relay intercropping systems. Field Crops Research, 203: 16–23. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.007

Yin W, Chai Q, Zhao C,Yu A, Fan Zh, Hu F, Fan H, Guo Y and Coulter JA. 2020. Water utilization in intercropping: A review. Agricultural Water Management, 241: 106335. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335

Zalles V, Hansen MC, Potapov PV, Stehman SV, Tyukavina A, Pickens A, Song XP, Adusei B, Okpa C and Aguilar R. 2019. Near doubling of Brazil's intensive row crop area since. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 116 (2):428–435.

Zhang, G, Zaibin Y and Shuting D. 2014. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. Field Crops Research, 12:466–73. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.006

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 19-34

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

Response of Grain Yield of Barley and Faba Bean to Humic Acid Application in Different Planting Patterns of Intercropping

Hamdollah Eskandari[1], Kamyar Kazemi [2]*

Received: 22 July 2023	Accepted: 23 August 2023

1- Assoc. Prof., Dept. of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
2. Assist. Prof., Dept. of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
*Corresponding Author Email: Kamyar.kazemi@pnu.ac.ir

Abstract

Objective: This study was aimed to evaluate the grain yield of barley and faba bean in different planting patterns of intercropping under the condition of humic acid application in a low input cropping system.

Materials and Methods: The experiment was carried out as a two-factor factorial (3×5) baed on RCBD with three replications. The treatments were five planting patterns including two treatments of barley and faba bean sole croppings and three intercropping patterns (50% faba bean + 50% barley; 80% faba bean + 40% barley and 40% faba bean and 80% barley) and three foliar applications of humic acid including control, the concentration of 3% and 6% humic acid. Grain yield and related traits were determined to evaluate grain yield and land equivalent ration and monetary advantage index were measured to investigate the intercropping advantage.

Results: Based on the obtained results, the highest number of grain per pod and pods per plant was obtained in the sole cropping of beans, which was not significantly different from the intercropping pattern of 80% of beans and 40% of barley. The highest grain yield and biological yield of faba beans (2632 and 5929 kg ha^{-1} respectively) were obtained in sole cropping, followed by intercropping pattern of 80% of beans and 40% of barley. The lowest seed yield and biological yield of faba beans (1464 and 4269 kg ha^{-1}, respectively) were obtained in the intercropping pattern with the lowest density of faba beans (40% of beans and 80% of barley). By reducing the density of faba beans from 100% (in sole cropping) to 40% (intercropping of 40% of faba beans and 80% of barley), the grain and biological yield of faba beans decreased by 44% and 28%, respectively. The highest grain and biological yields of barley were also obtained in the sole cropping treatment, which were 3250 and 7952 kg ha^{-1}, respectively. With 3% and 6% humic acid foliar application, faba bean yield increased by 12% and 30%, and barley yield increased by 13% and 30%, respectively. The land equivalent ratio for all three intercropping patterns was obtained more than one. The monetary advantage index was also positive for all three mixed cropping patterns.

Conclusion: Despite the lower yields of barley and beans in intercropping compared to sole cropping, intercropping was superior in terms of land utilization and monetary advantage because the land equivalent ratio for all three intercropping patterns was greater than one and the monetary advantage index was also positive for all three intercropping patterns. In total and based on the evaluation criteria, the best pattern was the intercropping of 80% of faba beans and 40% of barley (with a land equivalent ratio of 1.33). However, the effect of higher densities of faba beans and barley (even densities with additive series) on grain yield and usefulness of intercropping needs further investigation.

Keywords: Land Equivalent Ratio, Monetary Advantage Index, Organic Fertilizer, Shading

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Kamyar Kazemi Email: Kamyar.kazemi@pnu.ac.ir
https://doi.org/10.22034/ saps.2023.57652.3085

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۳۴-۱۹

دانش کشاورزی و تولید پایدار

واکنش عملکرد دانه‌ی جو و باقلا به محلول‌پاشی اسید هیومیک در الگوهای مختلف کشت مخلوط

حمداله اسکندری[۱]، کامیار کاظمی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۳۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱

۱- دانشیار گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- استادیار گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
* مسئول مکاتبه: Email: kamyar.kazemi@pnu.ac.ir

چکیده

اهداف: این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد دانه‌ی جو و باقلا در الگوهای مختلف کشت مخلوط در شرایط کاربرد اسیدهیومیک در یک سیستم کشت کم‌نهاده اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی (۵×۳) بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در شهرستان شادگان اجرا شد. عامل اول شامل پنج الگوی کاشت شامل دو تیمار کشت خالص جو و باقلا و سه الگوی کشت مخلوط (۵۰ درصد باقلا + ۵۰ درصد جو، ۸۰ درصد باقلا + ۴۰ درصد جو و ۴۰ درصد باقلا +۸۰ درصد جو) و عامل دوم محلول‌پاشی اسید هیومیک شامل تیمار شاهد، غلظت سه درصد اسید هیومیک و غلظت شش درصد اسید هیومیک بود. عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن برای ارزیابی عملکرد دانه و نسبت برابری زمین و شاخص اقتصادی مزیت مالی برای ارزیابی سودمندی کشت مخلوط اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: بر پایه نتایج بدست آمده بیشترین تعداد دانه در نیام و نیام در بوته در کشت خالص باقلا به دست آمد که با کشت مخلوط ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک باقلا (به ترتیب ۲۶۳۲ و۵۹۲۹ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص به دست آمد که بعد از آن تیمار کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو) قرار داشت. کمترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک باقلا (به ترتیب ۱۴۶۴ و ۴۲۶۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کشت مخلوط با کمترین تراکم باقلا (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو) به دست آمد. با کاهش تراکم باقلا از ۱۰۰ درصد (در کشت خالص) به ۴۰ درصد (کشت مخلوط ۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو) عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک باقلا به ترتیب ۴۴ درصد و ۲۸ درصد کاهش یافتند. بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک جو نیز در تیمار کشت خالص بدست آمد که به ترتیب ۳۲۵۰ و ۷۹۵۲ کیلوگرم در هکتار بود. با محلول‌پاشی اسید هیومیک سه و شش درصد، عملکرد دانه‌ی باقلا به ترتیب ۱۲ و ۳۰ درصد و عملکرد دانه‌ی جو به ترتیب به ترتیب ۱۳ و ۳۰ درصد افزایش یافت. نسبت برابری زمین برای هر سه الگوی کشت مخلوط بیشتر از یک به دست آمد. مزیت مالی نیز برای هر سه الگوی کشت مخلوط مثبت بود.

نتیجه‌گیری: با وجود کمتر بودن عملکرد دانه‌ی جو و باقلا در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، کشت مخلوط از نظر بهره‌برداری از زمین و مزیت مالی برتر از کشت خالص بود چرا که نسبت برابری زمین برای هر سه الگوی کشت مخلوط بیشتر از یک و مزیت مالی نیز برای هر سه الگوی کشت مخلوط مثبت بود. در مجموع و بر اساس معیارهای ارزیابی، بهترین الگو، کشت مخلوط ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو (با نسبت برابری زمین ۱/۳۳) بود. با این حال، اثر

تراکم‌های بالاتر باقلا و جو (حتی تراکم‌ها با سری‌های افزایشی) بر عملکرد دانه و سودمندی کشت مخلوط به بررسی بیشتر دارد.

واژه‌های کلیدی: سایه اندازی، کود آلی، مزیت مالی، نسبت برابری زمین

مقدمه

تولیدات جهانی باید نیازهای روزافزون انسان به مواد غذایی را تامین نماید ولی در این راستا باید اثرات منفی زیست‌محیطی از طریق کاهش مصرف نهاده‌ها، از جمله کود شیمیایی، نیز به حداقل برسد (شن و همکاران ۲۰۲۳). به عبارت دیگر، تولید در سیستم‌های زراعی باید پایدار باشد. با این حال، تولید محصولات زراعی در کشاورزی مدرن بر سیستم‌های کشاورزی متعارف و تک‌کشتی گیاهانی که از نظر ژنتیکی یکسان هستند متکی است که پایداری سیستم های تولید کشاورزی را تهدید می‌کند (نورگی و همکاران ۲۰۲۳). یکی از مولفه‌های مهم برا دستیابی به کشاورزی پایدار، افزایش تنوع زیستی است. از طرف دیگر، کشت مخلوط که به صورت کشت دو یا چند گونه‌ی زراعی در یک قطعه زمین در یک زمان تعریف می‌شود (ژو و همکاران ۲۰۲۲) یکی از مهم‌ترین راهکارها برای افزایش تنوع زیستی در اکوسیستم‌های کشاورزی است.

در سال‌های اخیر توجه بیشتری به کشت مخلوط شده است چرا که در مقایسه با زراعت تک‌کشتی دارای مزیت‌های گوناگون آگرو-اکولوژیکی است (حاجی رمضانی و همکاران ۲۰۲۳). مهمترین مزیت کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی، افزایش تولید به دلیل بهره-برداری کارآمدتر از منابع محیطی است (وانگ و همکاران ۲۰۱۵). برای افزایش کارآیی استفاده از منابع محیطی در کشت مخلوط، اجزای کشت مخلوط باید تفاوت‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی با هم داشته باشند تا در مصرف منابع محیطی، مکمل یکدیگر باشند. یکی از سیستم‌های کشت مخلوط برای دستیابی به این هدف، کشت مخلوط غلات و لگوم است (ژانگ و همکاران ۲۰۲۳). از جمله سیستم‌های کشت مخلوط غلات و لگوم، می‌توان به کشت مخلوط باقلا و جو اشاره کرد.

جو (*Hordeum vulgare* L.) یک گیاه دو منظوره از خانواده‌ی غلات است که نقش مهمی در تغذیه انسان و دام دارد. سازگاری اکولوژیکی بالا و تحمل بالای جو نسبت به برخی شرایط نامساعد محیطی از جمله شوری و خشکی بر اهمیت آن در سیستم‌های زراعی افزوده است (مجتبایی زمانی و نوروزی ۲۰۱۷). باقلا (*Vicia faba* L.) نیز یکی از قدیمی‌ترین حبوباتی است که کشت می‌شود و از نظر اکولوژیکی و تغذیه‌ای دارای اهمیت زیای است. به طوری که از نظر تغذیه‌ای باقلا منبع مهمی از پروتئین است که تعادل مناسبی از اسید آمینه‌ی لیزین را در اختیار انسان و دام قرار می‌دهد. باقلا همچنین با تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، تاثیر مهمی بر حاصلخیزی خاک دارد (اسکندری و کاظمی ۲۰۱۵). در هر حال، نتایج تحقیقات مختلف در زمینه‌ی کشت مخلوط لگوم و غلات مانند ماشک با ارزن (عمرانی و همکاران، ۲۰۲۲)، باقلا با جو در سری‌های افزایشی با تراکم ثابت جو (ذبیح و سعیدی پور ۲۰۲۲)، ماش با ذرت (نوریانی ۲۰۲۱) و باقلا با ذرت (نورگی و همکاران ۲۰۲۳) بیانگر بهبود کمّی و کیفی محصولات در کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی می‌باشد.

تولید در سیستم کشت مخلوط اغلب تحت تاثیر عوامل مختلف از جمله فراهمی عناصر غذایی محدود می‌شود. با این حال، استفاده‌ی خاک‌کاربرد برخی از عناصر غذایی باعث می‌شود عنصر غذایی به طور کامل در اختیار گیاه قرار نگیرد. در این زمینه گزارش شده است که بعد استفاده از کود فسفره در خاک، فسفر جذب کلوئیدهای خاک می‌شود و به تدریج به شکلی تبدیل می‌شود که توسط گیاهان قابل جذب نیست (ژیونگ و همکاران ۲۰۲۳). یکی از راهکارهای جلوگیری از این مشکلات، محلول‌پاشی عناصر غذایی است که در مورد اسید هیومیک که حاوی چندین عنصر غذایی مهم می-باشد قابل توجه‌تر است.

اسید هیومیک، یک ماده آلی است که از طریق تجزیه بقایای گیاهی و جانوری توسط میکروارگانیسم‌های خاک طی یک سری فرایندهای ژئوشیمیایی تولید می-شود (لی و همکاران ۲۰۱۹). اسید هیومیک با در اختیارگذاشتن عناصر غذایی باعث افزایش رشد و تولید گیاهان زراعی می‌شود (اصلانی و همکاران ۲۰۱۹). این

کود آلی علاوه بر اینکه خود حاوی عناصر غذایی مهم از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم است، جذب و انتقال سایر عناصر غذایی، بویژه ریزمغذی‌ها، را نیز تسهیل می‌کند (نوروزی شرف و کاویانی ۲۰۱۸). در گندم گزارش شد که اسید هیومیک عملکرد دانه را تا ۷۰ درصد بهبود می‌بخشد (طرفی و شکوه‌فر ۲۰۱۹). در کشت مخلوط خردل و اسطودوخوس مشاهده گردید که کاربرد اسید هیومیک (با غلظت پنج‌هزار میلی‌گرم در لیتر) می‌تواند بیشترین عملکرد گل را تولید کند (حبیبی شرف‌آباد و همکاران۲۰۲۲). در کشت مخلوط ذرت و سویا نیز نتیجه گرفته شد که محلول‌پاشی ۷/۵ گرم بر لیتر اسید هیومیک، عملکرد دانه ذرت و سویا را به ترتیب ۱۷ و ۲۰ درصد افزایش داد (عبدربه و همکاران ۲۰۲۰) بر این اساس، اسید هیومیک در سیستم‌های کشت مخلوط می‌تواند نقش قابل توجهی در تولید سازگار با محیط زیست گیاهان زراعی داشته باشد چرا که می‌تواند باعث حذف و یا حداقل کاهش استفاده از کودهای شیمیایی شود (قادر مکری و همکاران ۲۰۲۲). از آن جا که کشت مخلوط باقلا و جو به عنوان یک سیستم کشت مخلوط غلات و لگوم، در ترکیب با اسیدهیومیک تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته است، در پژوهش حاضر کوشش شده است تا ضمن بررسی اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط باقلا و جو در تولید دانه، اثر اسید هیومیک بر تولید این گیاهان در شرایط کشت مخلوط بررسی شود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور شهرستان شادگان در استان خوزستان (عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا) اجرا شد. اقلیم منطقه از نوع گرم و خشک بوده که متوسط دما و بارندگی سالیانه آن به ترتیب ۲۸/۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۲۰ میلی‌متر می‌باشد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق (cm)	بافت	هدایت الکتریکی $dS.m^{-1}$	اسیدیته	پتاسیم $mg.kg^{-1}$	فسفر $mg.kg^{-1}$	نیتروژن (%)	کربن آلی (%)
۰-۶۰	سیلتی لوم	۱/۸۸	۷/۳	۲۲۴	۱۴	۰/۰۸	۰/۵۱

آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی (۵×۳) بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل پنج الگوی کاشت و سه تیمار محلول-پاشی اسید هیومیک بود. اسید هیومیک استفاده شده ساخت شرکت تتراکو بود که حاوی اسید فولویک (۳ درصد)، پتاسیم محلول (۳ درصد) و نیتروژن محلول (۷ درصد) بود. الگوهای کاشت شامل دو تیمار کشت خالص جو و باقلا و سه الگوی کشت مخلوط (۵۰ درصد باقلا + ۵۰ درصد جو، ۸۰ درصد باقلا + ۴۰ درصد جو و ۴۰ درصد باقلا +۸۰ درصد جو) بود. تیمارهای محلول‌پاشی اسید هیومیک شامل تیمار شاهد، غلظت سه درصد اسید هیومیک و غلظت شش درصد اسید هیومیک بود. در تیمارهای کشت خالص، ارقام بومی باقلا و والفجر جو در کشت خالص، به ترتیب در تراکم های ۴۰ و ۴۰۰ بوته در متر مربع کشت شدند. در تیمارهای کشت مخلوط، تراکم مربوط به درصد اختصاص داده شده به هر گیاه با توجه به تراکم مطلوب در کشت خالص تعیین شد.

زمین محل اجرای آزمایش در طول تابستان به صورت شخم‌زده و آیش قرار داشت که قبل از کاشت، دو دیسک عمود بر هم بر آن زده شد. سپس با استفاده از فاروئر در زمین جوی و پشته‌هایی به عرض ۲۰ سانتی‌متر زده و باقی مراحل تهیه کرت به صورت دستی انجام شد. هر کرت کاشت شامل ۱۰ ردیف کاشت به طور چهار متر بود که دو ردیف انتهایی هر کرت به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. کاشت جو و باقلا به طور همزمان در تاریخ ۱۵ آبان به صورت

دستی صورت پذیرفت. در کشت‌های خالص، جو و باقلا به ترتیب با تراکم ۴۰۰ و ۴۰ بوته در متر مربع کشت شدند. الگوهای کشت مخلوط نیز با توجه به درصد تراکم هر گیاه نسبت به تراکم کشت خالص، تهیه شدند. بدین منظور، در الگوی ۵۰ درصد باقلا+ ۵۰ درصد جو، در هر متر مربع ۲۰ بوته باقلا و ۲۰۰ بوته جو، در الگوی ۸۰ درصد باقلا + ۴۰ درصد جو، در هر متر مربع، ۳۲ بوته باقلا و ۱۶۰ بوته جو و در الگوی ۴۰ درصد باقلا +۸۰ درصد جو، ۱۶ بوته باقلا و ۳۲۰ بوته جو کشت گردید. با توجه به ثابت بودن فاصله بین ردیف‌ها (۲۰ سانتی‌متر) تراکم‌های مورد نظر با تغییر فاصله کاشت روی ردیف تنظیم شد. البته در ابتدا و به منظور اطمینان از سبز شدن بذور، کشت با تراکم بالا صورت گرفت و بعد از استقرار بوته‌ها، عملیات تنک‌کاری تا تراکم‌های مورد نظر، اعمال گردید.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کشت صورت گرفت. آبیاری به طور معمول و زمانی انجام گرفت که هر دو گیاه نیاز به آب داشتند. چرا که غلات و لگوم در کشت مخلوط آب را به طور مساوی مورد استفاده قرار می دهند (اسکندری و جوانمرد ۲۰۱۳). روش آبیاری بصورت جوی و پشته بود. محلول‌پاشی اسید هیومیک در دو مرحله انجام گرفت. مرحله‌ی اول بعد از سبز شدن جو (در مرحله‌ی چهار برگی جو و مصادف با مرحله دو برگی باقلا) و مرحله دوم بعد از تکمیل پنجه-زنی و شروع ساقه‌دهی جو (مصادف با مرحله‌ی هشت برگی باقلا) انجام گرفت. علف‌های هرز در طول دوره‌ی رشد به صورت وجین دستی کنترل شدند.

در مرحله‌ی برداشت (هفته‌ی اول اردیبهشت ۱۴۰۱)، بعد از حذف پشته‌هایی که به عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شده بودند، بقیه‌ی کرت برداشت و صفات ارتفاع بوته و عملکرد دانه و صفات مرتبط با عملکرد دانه (تعداد پنجه بارور، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و عملکرد بیولوژیک در مورد جو و ارتفاع بوته، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در لغاف؛ وزن صد دانه، تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک در مورد باقلا) اندازه‌گیری شدند.

برای محاسبه‌ی سودمندی احتمالی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، شاخص نسبت برابری زمین با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد (اسکندری و جوانمرد ۲۰۱۳):

$$LER = (Yab / Yaa) + (Yba / Ybb)$$

در این رابطه، LER نسبت برابری زمین، Yab عملکرد دانه‌ی باقلا در کشت مخلوط، Yaa عملکرد دانه‌ی باقلا در کشت خالص، Yba عملکرد دانه‌ی جو در کشت مخلوط و Ybb عملکرد دانه‌ی جو در کشت خالص می-باشد. چنانچه شاخص نسبت برابری زمین بزرگ‌تر از یک باشد، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص برتری دارد، اگر مساوی یک باشد، هیچ‌یک از کشت‌های خالص و مخلوط با هم برابر است و اگر کمتر از یک باشد، کشت خالص برتر از کشت مخلوط می‌باشد.

شاخص اقتصادی مزیت مالی کشت مخلوط نیز با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه گردید (مجتبایی زمانی و نوروزی ۲۰۱۷):

$$MAI = [[(Yab \times Pab) + (Yba \times Pba)] \times (LER - 1)] / LER$$

در رابطه‌ی فوق MAI مزیت مالی کشت مخلوط، Yab عملکرد باقلا، Pab قیمت باقلا، Yba عملکرد جو، Pba قیمت جو وLER نسبت برابری زمین می‌باشد. قیمت هر کیلو جو ۹۰ هزار ریال و قیمت هر کیلو باقلا ۶۰۰ هزار ریال (بر اساس عرف منطقه در سال ۱۴۰۰) درنظر گرفته شد.

تجریه واریانس داده‌ها بر اساس طرح پایه بلوک های کامل تصادفی و با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام گرفت. برای مقایسه میانگین ها، آزمون چند دامنه ای دانکن بکار رفت.

نتایج

عملکرد و اجزای عملکرد دانه باقلا

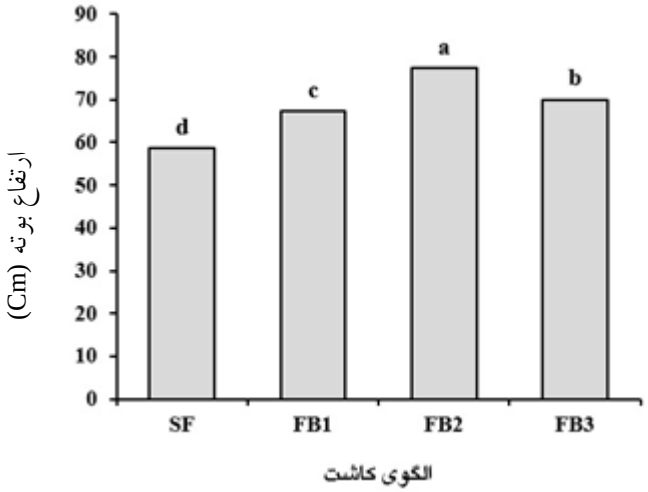
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی الگوی کاشت و اسید هیومیک بر تمامی صفات مورد بررسی باقلا اثر معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) داشت (جدول ۲). با این حال، برهمکنش الگوی کاشت× اسید هیومیک برای هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد دانه‌ی باقلا تحت تاثیر الگوی کاشت و محلول پاشی اسید هیومیک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع بوته	دانه در نیام	نیام در بوته	دانه در بوته	وزن صد دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
بلوک	۲	۴۰۴**	۴/۱۱**	۱۳/۳۶**	۱۹۱**	۲۹۲۴**	۱۳۵۴۴۸۶**	۴۲۸۳۳۶۴**
الگوی کشت (PP)	۳	۵۳۴**	۱/۷۳**	۹/۸۸**	۲۳۸**	۱۷۶**	۲۴۶۲۴۲۴**	۵۱۵۳۱۹۴**
اسید هیومیک (HA)	۲	۲۷۱**	۲/۱۱**	۵/۳۶**	۱۹۳**	۵۱۳**	۸۴۹۱۸۹**	۳۳۴۷۰۴۸**
PP×HA	۶	۱/۴۲ ns	۰/۰۳۷ ns	۰/۱۰۲ns	۵/۰ns	۱۵/۴ns	۱۱۷۴۴ns	۳۹۴۲۵ns
خطا	۲۲	۳/۷۹	۰/۱۴۱	۰/۶۹۴	۴/۹۹	۳۴/۳۳	۱۵۲۹۹	۲۴۷۲۰
ضریب تغییرات (%)	–	۲/۸۵	۱۲/۴۲	۱۸/۴	۱۵/۳۲	۴/۶۸	۶/۲۷	۳/۱۶

** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی‌دار است.

بیشترین ارتفاع بوته‌ی باقلا در الگوی سوم کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو) به دست آمد. کمترین ارتفاع بوته‌ی باقلا نیز در تیمار کشت خالص باقلا مشاهده شد. اختلاف بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به دست آمده حدود ۳۰ درصد بود. به عبارت دیگر، ارتفاع بوته باقلا در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو حدود ۳۰ درصد کاهش یافت (شکل ۱).



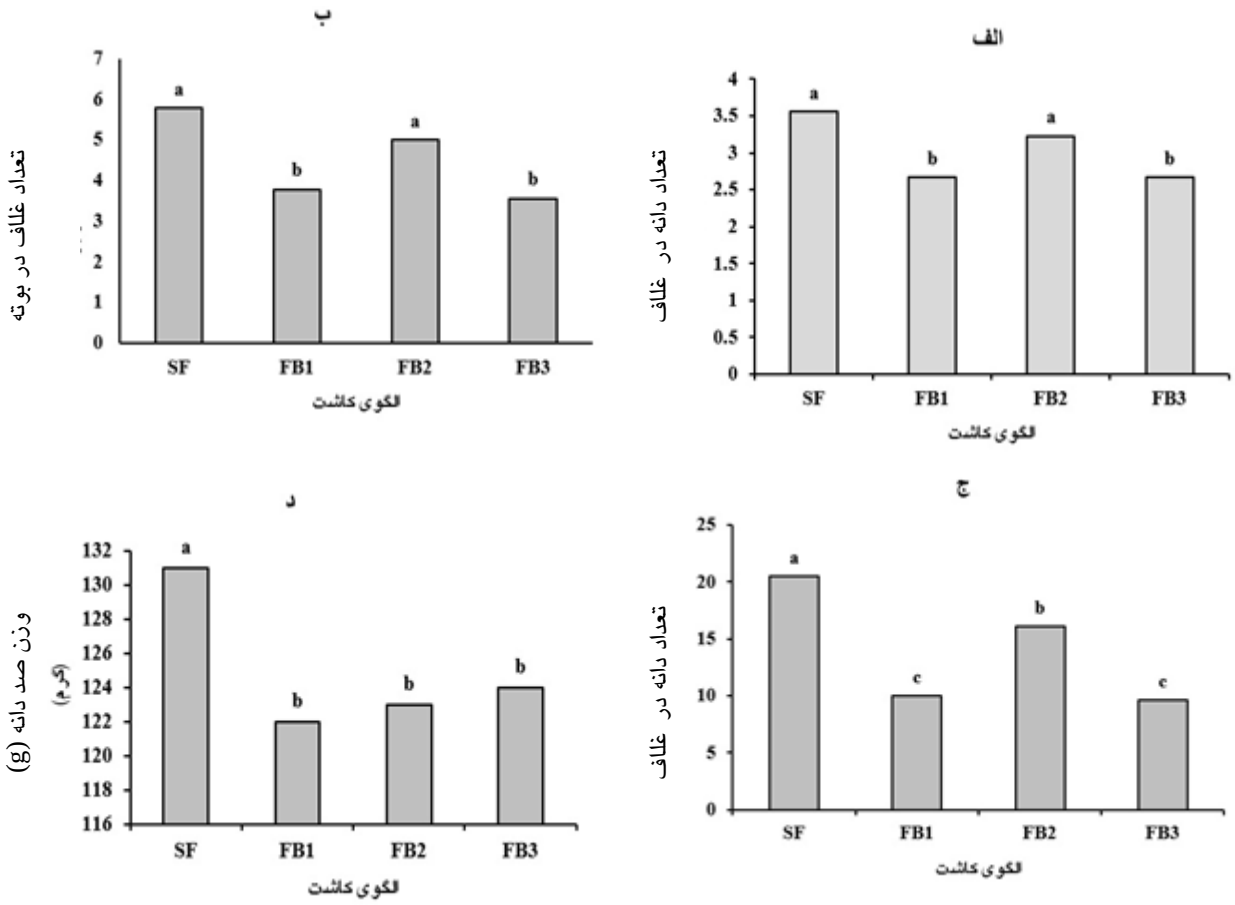
شکل ۱- تاثیر الگوهای مختلف کشت بر ارتفاع بوته باقلا

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر حسب آزمون چند دمانه‌ای دانکن می‌باشد

SF: کشت خالص باقلا؛ FB1: کشت مخلوط (۵۰ درصد باقلا و ۵۰ درصد جو)؛ FB2: کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو)؛ FB3: کشت مخلوط (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو)

بیشترین تعداد دانه در نیام و نیام در بوته در کشت خالص باقلا به دست آمد که با کشت مخلوط ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو اختلاف معنی‌داری نداشت. کشت خالص باقلا از نظر تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه

نیز به طور معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) نسبت به سایر الگوهای کشت برتری داشت (شکل ۲). الگوهایی که تراکم کمتری از باقلا را داشتند (۵۰ درصد باقلا و ۵۰ درصد جو، ۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو) کمترین تعداد دانه در نیام، نیام در بوته و تعداد دانه در بوته را دارا بودند. از نظر وزن صد دانه باقلا، تفاوتی بین الگوهای مختلف کشت مخلوط وجود نداشت (شکل ۲).

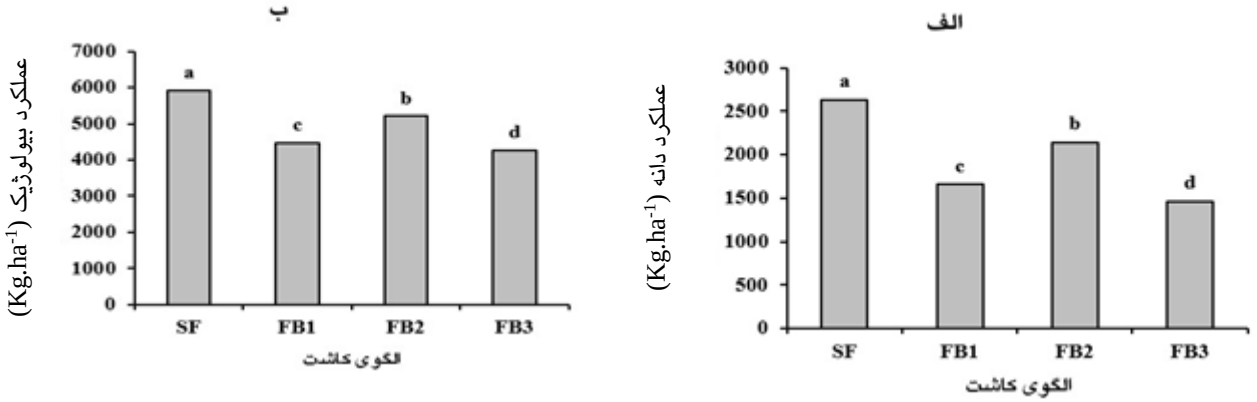


شکل ۲- تاثیر الگوهای مختلف بر اجزای عملکرد دانه باقلا شامل تعداد دانه در نیام (الف)، تعداد نیام در بوته (ب)، تعداد دانه در بوته (ج) و وزن صد دانه (د)

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر حسب آزمون چند دمانه‌ای دانکن می‌باشد

SF: کشت خالص باقلا؛ FB1: کشت مخلوط (۵۰ درصد باقلا و ۵۰ درصد جو)؛ FB2: کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو)؛ FB3: کشت مخلوط (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو)

بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک باقلا (به ترتیب ۲۶۳۲ و۵۹۲۹ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص به دست آمد که بعد از آن تیمار کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو) قرار داشت. کمترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک باقلا (به ترتیب ۱۴۶۴ و ۴۲۶۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کشت مخلوط با کمترین تراکم باقلا (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو) به دست آمد. با کاهش تراکم باقلا از ۱۰۰ درصد (در کشت خالص) به ۴۰ درصد (کشت مخلوط ۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو) عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک باقلا به ترتیب ۴۴ درصد و ۲۸ درصد کاهش یافتند (شکل ۳). محلول‌پاشی اسید هیومیک، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن داشت. با محلول پاشی اسید هیومیک، تمامی صفات افزایش نشان دادند. در مورد تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته و وزن صد دانه تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های سه درصد و شش



شکل ۳- تاثیر الگوهای مختلف بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک باقلا

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر حسب آزمون چند دمانه‌ای دانکن می‌باشد

SF: کشت خالص باقلا؛ FB1: کشت مخلوط (۵۰ درصد باقلا و ۵۰ درصد جو)؛ FB2: کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو)؛ FB3: کشت مخلوط (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو)

درصد اسید هیومیک مشاهده نشد (جدول۳) ولی در مورد سایر صفات شامل ارتفاع بوته، تعداد دانه دربوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، تفاوت بین غلظت‌های سه درصد و شش درصد معنی‌دار بود. با محلول‌پاشی اسید هیومیک سه و شش درصد، عملکرد دانه‌ی باقلا به ترتیب ۱۲ و ۳۰ درصد افزایش یافت (جدول ۳). تاثیر اسید هیومیک سه و شش درصد بر عملکرد بیولوژیک باقلا به ترتیب ۱۲ و ۲۴ درصد بود (جدول ۳).

جدول۳- مقایسه میانگین اثر اسید هیومیک بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه باقلا

محلول پاشی	ارتفاع بوته (cm)	تعداد دانه در نیام	تعداد نیام در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن صد دانه (g)	عملکرد دانه $Kg.ha^{-1}$	عملکرد بیولوژیک $Kg.ha^{-1}$
شاهد	۶۳/۷۵c	۲/۵۸b	۳/۸۳۳b	۱۰/۷۵c	۱۱۹c	۱۷۲۸c	۴۴۳۷c
غلظت ۳ درصد	۶۸/۰b	۳/۰۸a	۴/۵۸۳ab	۱۴/۲۵b	۱۲۵b	۱۹۳۸b	۴۹۸۵b
غلظت ۶ درصد	۷۳/۲۵a	۳/۵۷a	۵/۱۶۷a	۱۸/۷۵a	۱۳۲a	۲۲۵۷a	۵۴۹۳a

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر حسب آزمون چند دمانه‌ای دانکن می‌باشد

عملکرد و اجزای عملکرد دانه جو

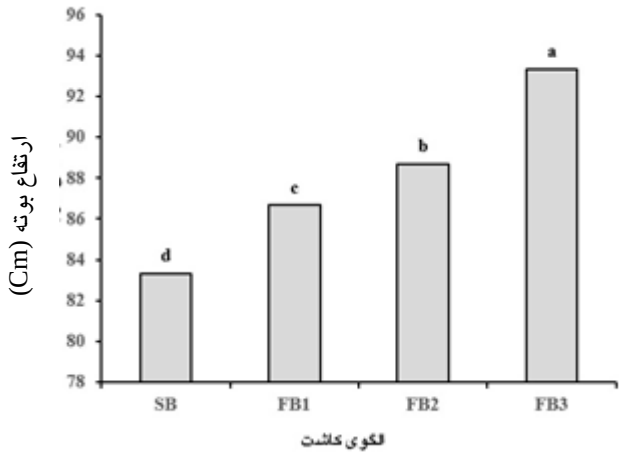
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی الگوی کاشت و اسید هیومیک بر تمامی صفات مورد بررسی جو اثر معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) داشت (جدول ۴). برهمکنش الگوی کاشت× اسید هیومیک فقط بر وزن ۱۰۰ دانه‌ی جو تاثیرگذار بود و بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

جو در کشت مخلوط (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو) بیشترین ارتفاع بوته (۹۳ سانتی‌متر) را داشت. در کشت خالص، کمترین ارتفاع بوته‌ی جو به دست آمد به طوری که در این تیمار، ارتفاع بوته حدود ۱۱ درصد کمتر از تیمار کشت مخلوط ۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو بود (شکل ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد دانه‌ی جو تحت تاثیر الگوی کاشت و محلول پاشی اسید هیومیک

	میانگین مربعات							
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	دانه در سنبله	طول سنبله	تعداد پنجه بارور	وزن ۱۰۰ دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
تکرار	۲	۴۹۵**	۶۴۶**	۱/۰۲**	۷/۶۹**	۰/۳۸۷**	۱۷۶۹۹۵۷**	۴۳۵۳۱۰۵**
الگوی کشت (PP)	۳	۱۵۷**	۵۵۱۶**	۰/۲۴۳**	۲/۰۳**	۰/۷۶۱**	۴۴۸۹۳۸۹**	۲۰۹۰۱۶۷۲**
اسید هیومیک (HA)	۲	۱۷۱**	۱۴۷**	۰/۴۹۵**	۳/۰۳**	۰/۵۵۹**	۱۲۵۶۷۹۳**	۲۳۱۲۶۸۸**
PP×HA	۶	۱/۳۳^{ns}	۴/۳۳ns	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۲۸^{ns}	۰/۰۲۴*	۹۲۸۲^{ns}	۳۵۴۶۸^{ns}
خطا	۲۲	۱/۱۱۴	۳/۶۷	۰/۰۱۹	۰/۱۷۹	۰/۰۰۷	۱۱۹۴۶	۳۶۵۱۶
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱/۲۰	۴/۳۳	۳/۰	۱۲/۸۱	۱/۹۹	۴/۴۳	۳/۰۳

** ، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و غیر معنی‌دار است.

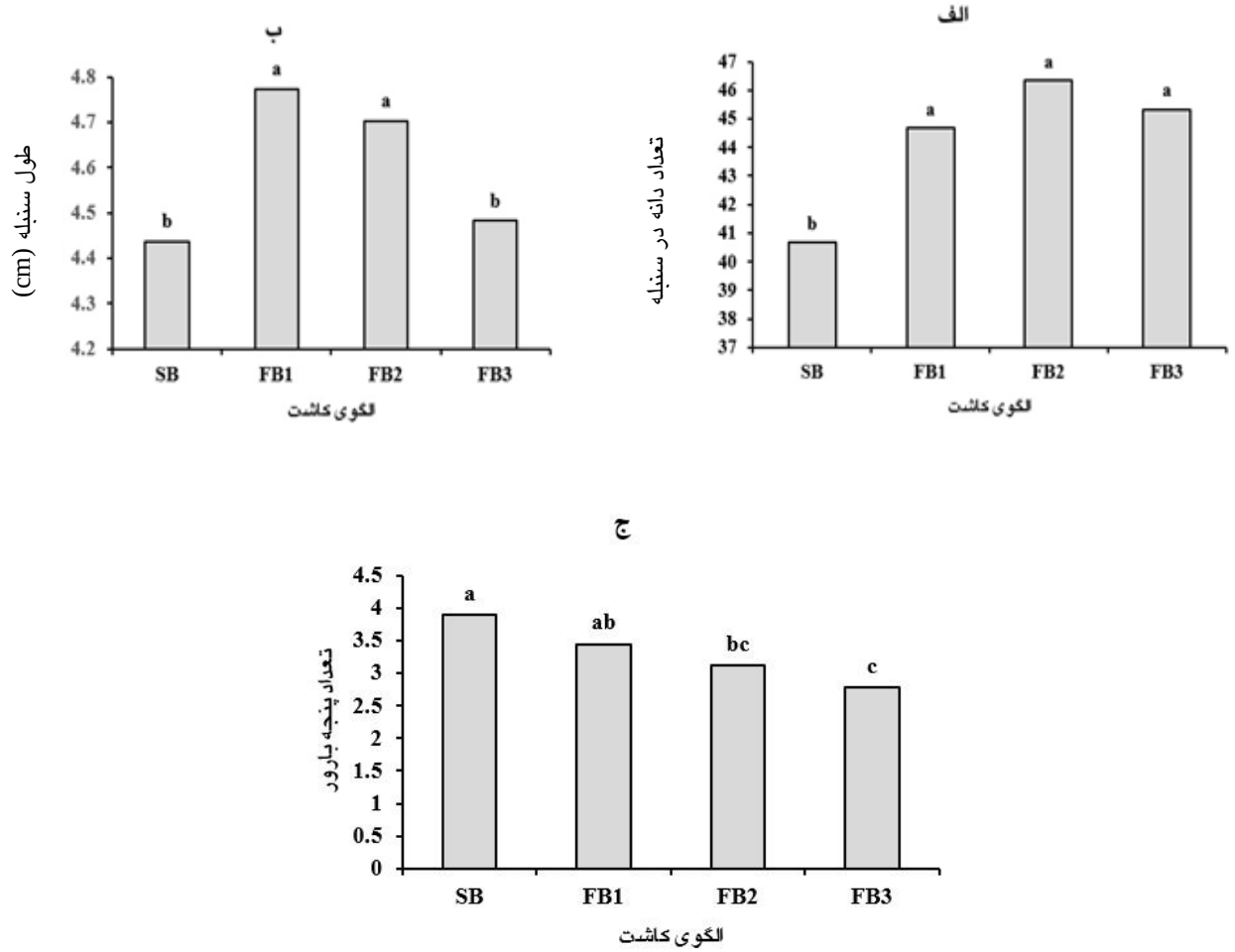


شکل ۴- تاثیر الگوهای مختلف کشت بر ارتفاع بوته جو

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر حسب آزمون چند دمانه‌ای دانکن می‌باشد

SB: کشت خالص جو؛ FB1: کشت مخلوط (۵۰ درصد باقلا و ۵۰ درصد جو)؛ FB2: کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو)؛ FB3: کشت مخلوط (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو)

جو در تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص، تعداد بیشتری دانه در سنبله تولید کرد به طوری که در کشت خالص، تعداد دانه در سنبله حدود ۱۱ درصد کاهش یافت (شکل ۵). با این حال، در تراکم-های پایین‌تر، طول سنبله‌ی جو بیشتر از تیمارهایی بود که تراکم بیشتری از جو داشتند. بدین معنی که طول سنبله جو در تیمارخای کشت خالص و کشت مخلوط (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو) کمتر از تیمارهای کشت مخلوط (۵۰ درصد باقلا و ۵۰ درصد جو؛ ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو) بود (شکل ۵). تعداد پنچه-ی بارور جو در کشت خالص بیشترین و در تیمار کشت مخلوط (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو) کمترین مقدار خود را داشت (با حدود ۲۹ درصد اختلاف) (شکل ۵).



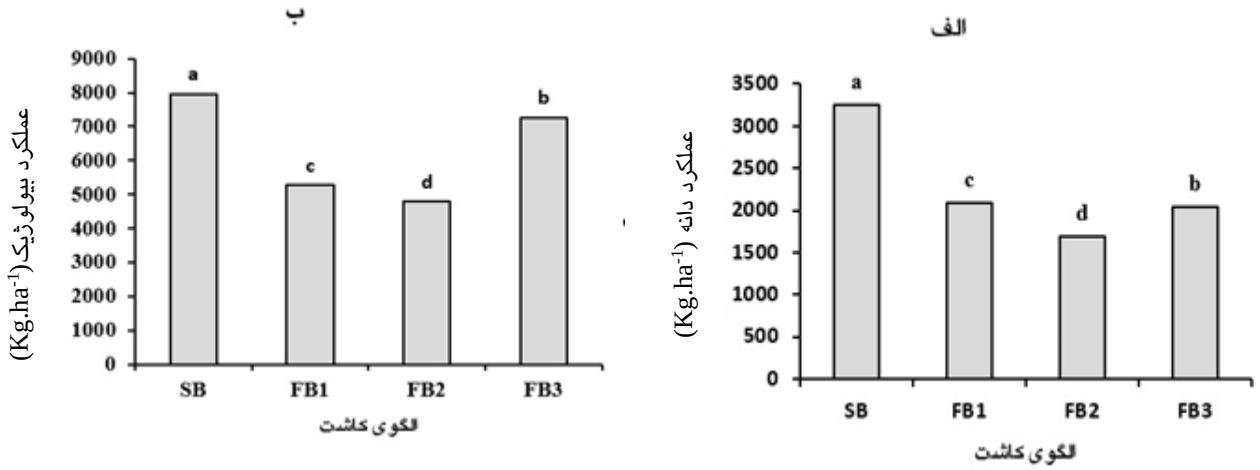
شکل ۵- تاثیر الگوهای مختلف بر صفات مرتبط با عملکرد دانه شامل تعداد دانه در سنبله (الف)، طول سنبله (ب) و تعداد پنجه بارور (ج)

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر حسب آزمون چند دمانه‌ای دانکن می‌باشد

SB: کشت خالص جو؛ FB1: کشت مخلوط (۵۰ درصد باقلا و ۵۰ درصد جو)؛ FB2: کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو)؛ FB3: کشت مخلوط (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو)

بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک جو در تیمار کشت خالص بدست آمد که به ترتیب ۳۲۵۰ و ۷۹۵۲ کیلوگرم در هکتار بود. تیمار سوم کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو) کمترین میزان عملکرد دانه و بیولوژیک (به ترتیب ۱۶۹۳ و ۴۷۸۷ کیلوگرم در هکتار) را داشت که اختلاف آن با بهترین تیمار برای دانه و زیست‌توده به ترتیب ۴۸ درصد و ۴۰ درصد بود (شکل ۶).

تنها صفتی که برهمکنش روش کاشت و محلول-پاشی در مورد آن معنی‌دار شد، وزن صد دانه‌ی جو بود. بیشترین وزن ۱۰۰ دانه‌ی جو (۴/۸۸۰ گرم) در کشت خالص و محلول‌پاشی اسید هیومیک شش درصد به دست آمد که بعد از آن کشت خالص و اسید هیومیک سه درصد (با وزن ۱۰۰ دانه‌ی ۳/۵۷۷ گرم) قرار داشت. در کمترین تراکم جو (کشت مخلوط ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو) و محلول‌پاشی اسید هیومیک سه درصد کمترین وزن ۱۰۰ دانه‌ی جو (۳/۸۴ گرم) به دست آمد. اختلاف بیشترین و کمترینوزن ۱۰۰ دانه‌ی بدست آمده‌ی جو، ۲۷ درصد بود (جدول ۵).



شکل ۶- تاثیر الگوهای مختلف بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک جو

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر حسب آزمون چند دمانه‌ای دانکن می‌باشد

SB: کشت خالص جو؛ FB1: کشت مخلوط (۵۰ درصد باقلا و ۵۰ درصد جو)؛ FB2: کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو)؛ FB3: کشت مخلوط (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اسید هیومیک و الگوی کاشت بر وزن ۱۰۰ دانه‌ی جو

الگوی کاشت	محلول پاشی اسید هیومیک (٪)	وزن ۱۰۰ دانه (g)
SB	صفر	۴/۲۲d
	۳	۴/۵۷b
	۶	۴/۸۸a
FB1	صفر	۳/۹۲fg
	۳	۴/۰۶ef
	۶	۴/۲۴d
FB2	صفر	۳/۶۵h
	۳	۳/۸۴g
	۶	۴/۱۲de
FB3	صفر	۴/۱۲de
	۳	۴/۲۱de
	۶	۴/۳۹c

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر حسب آزمون چند دمانه‌ای دانکن می‌باشد

SB: کشت خالص جو؛ FB1: کشت مخلوط (۵۰ درصد باقلا و ۵۰ درصد جو)؛ FB2: کشت مخلوط (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو)؛ FB3: کشت مخلوط (۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو)

عملکرد دانه جو و صفات مرتبط با آن به طور معنی-داری تحت تاثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک قرار گرفت. با محلول پاشی اسید هیومیک شش درصد، ارتفاع بوته-ی جو حدود ۹ درصد افزایش یافت. تعداد دانه در سنبله‌ی جو با محلول پاشی اسید هیومیک سه درصد و شش درصد به ترتیب ۹ و ۱۷ درصد بهبود یافت (جدول۶). بین غلظت‌های متفاوت محلول پاشی اسید هیومیک از نظر تاثیر بر طول سنبله تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی در هر حال، محلول‌پاشی به افزایش طول سنبله‌ی جو منجر شد. این در حالی است که

محلول‌پاشی اسید هیومیک سه درصد نتوانست تعداد پنجه بارور جو را به طور معنی‌داری افزایش دهد و برای داشتن تعداد پنجه بارور بیشتر، جو باید با اسید هیومیک شش درصد محلول پاشی شود. جو در محلول‌پاشی اسید هیومیک شش درصد بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک را داشت (جدول۶). با محلول-پاشی اسید هیومیک سه و شش درصد عملکرد دانه‌ی جو به ترتیب ۱۳ و ۳۰ درصد افزایش یافت (جدول۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اسید هیومیک بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه جو

محلول پاشی	ارتفاع بوته (cm)	دانه در سنبله	طول سنبله	تعداد پنجه بارور	عملکرد دانه $Kg.ha^{-1}$	عملکرد بیولوژیک $Kg.ha^{-1}$
شاهد	۸۴/۵c	۴۰/۷۵c	۴/۳۸b	۲/۸۳b	۲۱۵۸c	۵۸۷۵c
غلظت ۳ درصد	۸۷/۵b	۴۴/۲۵b	۴/۶۳a	۳/۲۵b	۲۴۴۲b	۶۳۱۷b
غلظت ۶ درصد	۹۲/۰a	۴۷/۷۵a	۴/۷۹a	۳/۸۳a	۲۸۰۳a	۶۷۵۳a

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر حسب آزمون چند دمانه‌ای دانکن می‌باشد

مقادیر نسبت برابری زمین و شاخص اقتصادی مزیت مالی در کشت مخلوط در جدول ۷ ارائه شده است. بر اساس داده‌ها، نسبت برابری زمین برای هر سه الگوی کشت مخلوط بیشتر از یک به دست آمد. بیشترین مقدار نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو به دست آمد (جدول ۷). مزیت مالی نیز برای هر سه الگوی کشت مخلوط مثبت بود (جدول ۷).

جدول۷- نسبت برابری زمین و شاخص اقتصادی مزیت مالی در الگوهای مختلف کشت مخلوط

الگوی کشت مخلوط	نسبت برابری زمین	مزیت مالی (تومان)
۵۰ درصد باقلا و ۵۰ درصد جو	۱/۲۷	+۲۵,۱۴۲,۵۲۸
۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو	۱/۳۳	+۳۵,۶۵۶,۱۴۳
۴۰ درصد باقلا و ۸۰ درصد جو	۱/۱۸	+۱۶,۲۰۰,۰۰۰

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر حسب آزمون چند دمانه‌ای دانکن می‌باشد

بحث

عملکرد دانه و بیولوژیک باقلا تحت تاثیر تراکم قرار گرفت. در هر الگوی کاشتی که تراکم بیشتر بود، عملکرد دانه و بیولوژیک باقلا بالاتر بود. روند تقریباً مشابهی در مورد تعداد دانه در بوته مشاهده شد ولی روند تغییرات وزن دانه مشابه تغییرات عملکرد دانه نبود به طوری که در هر سه الگوی کشت مخلوط، وزن دانه‌ی باقلا کمتر از کشت خالص بود. بر این اساس می-توان گفت که تعداد دانه در متر مربع توانست اثرات وزن دانه را جبران نماید. روند مشابهی در مورد جو از نظر رابطه‌ی تراکم و عملکرد دانه و بیولوژیم مشاهده شد به طوری که کمترین عملکرد دانه و بیولوژیک جو در الگوی کاشتی به دست آمد (۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو) که جو کمترین تراکم را داشت. به عبارت دیگر، با کاهش تراکم در الگوهای کشت مخلوط، عملکرد دانه‌ی جو نیز کاهش یافت. برخی محققین (ذبیح و سعیدی‌پور ۲۰۲۲) گزارش دادند که افزایش تراکم باقلا در کشت مخلوط افزایشی با جو باعث کاهش عملکرد دانه جو می‌شود که این موضوع نشان می‌دهد که رقابت بین گونه‌ای بیشتر از رقابت درون گونه‌ای بود. با این حال، نتایج پژوهش حاضر با این یافته‌ها تطابق ندارد، چرا که عملکرد تک بوته‌ی جو در کشت مخلوط ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو و کشت خالص جو به ترتیب ۱/۰۶ گرم و ۰/۸۱۳ گرم بود. به عبارت دیگر،

حضور باقلا در کنار جو در کمترین تراکم جو، افزایش عملکرد تک بوته جو را نشان داد. بر این اساس، برای جو رقابت بین‌گونه‌ای در الگوهای کشت مخلوط باقلا و جو کمتر از رقابت درون‌گونه‌ای در کشت خالص می‌باشد. توجه به تعداد دانه و طول سنبله‌ی جو تایید کننده‌ی این موضوع می‌باشد چرا که کشت خالص جو علی‌رغم داشتن حداکثر عملکرد دانه، کمترین مقدار صفات اخیر را داشت. در کشت مخلوط ارزن و لوبیا، افزایش عملکرد تک بوته ارزن در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص مشاهده شد (سنگور و همکاران ۲۰۲۳) که با یافته‌های تحقیق حاضر هماهنگ است.

کاربرد اسید هیومیک هم در باقلا (جدول ۳) و هم در جو (جدول ۵ و ۶) اجزای عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن را بهبود بخشید. اثرات مثبت اسید هیومیک بر عملکرد دانه به طور عمده به بهبود جذب عناصر غذایی نسبت داده شده است. در این مورد گزارش شده است که اسید هیومیک نفوذپذیری سلول‌ها را افزایش می‌دهد که به تجمع عناصر غذایی در برگ، توسعه برگ و افزایش فتوسنتز کمک می‌کند که در مجموع به افزایش عملکرد دانه منجر می‌شود (پردیری و همکاران ۲۰۰۴ نقل از سرحدی و همکاران، ۲۰۲۱). به علاوه، اسید هیومیک با تاثیر بر تولید هورمون‌های تحریک کننده‌ی رشد نظیر اکسین و سیتوکنین (آمپونگ و همکاران ۲۰۲۲) و آنزیم‌های متابولیکی (اولاتکسی و همکاران ۲۰۲۰) رشد اندام‌های هوایی را افزایش داده که به بیشتر شدن عملکرد دانه منجر می‌شود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که هم عملکرد دانه‌ی جو و هم عملکرد دانه‌ی باقلا به هر دو جزء مهم عملکرد دانه یعنی تعداد دانه و وزن دانه بستگی دارد و کاربرد اسید هیومیک این شاخص‌ها و در نهایت عملکرد دانه را بهبود بخشید. این یافته‌ها با یافته‌های برخی محققین که اعلام کردند وزن دانه، صفتی است که تحت کنترل عوامل ژنتیکی است و کمتر تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد مغایرت دارد (رودگر نژاد و همکاران ۲۰۱۸) چرا که در این تحقیق، وزن دانه‌ی باقلا و جو با کاربرد اسید هیومیک ۱۱ درصد افزایش یافت. با این حال، این موضوع که اسید هیومیک عملکرد دانه‌ی جو و باقلا را با تاثیر بیشتر بر تعداد دانه افزایش داد با نتایج این محققین مشابهت دارد چرا که تعداد دانه در جو و باقلا با محلول‌پاشی اسید هیومیک به ترتیب ۱۷ و ۳۵ درصد (بیش از اثر اسید هیومیک بر وزن دانه) افزایش یافت. نتایجی که در گندم مشاهده شد (طرفی و شکوه‌فر ۲۰۱۹) این یافته‌ها را تایید می‌نماید به طوری که در گندم نیز اثر تعداد دانه بر عملکرد دانه بیشتر از وزن دانه بود و کاربرد اسیدهیومیک تعداد دانه و وزن دانه را به ترتیب ۳۰ و ۱۲ درصد افزایش داد. قابل ذکر است با توجه به اینکه بالاترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد دانه‌ی جو و باقلا در بالاترین سطح محلول‌پاشی به دست آمد، این موضوع که غلظت‌های بالاتر اسید هیومیک نیز بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه‌ی جو و باقلا اثر مثبت دارد یا خیر، به تحقیقات بیشتر نیاز دارد ولی در هر حال، نتایج تحقیق حاضر، اثر مثبت محلول‌پاشی اسیدهیومیک بر عملکرد دانه‌ی جو و باقلا را تایید نمود.

بیشتر از یک بودن نسبت برابری زمین، نشان دهنده‌ی مزیت هر سه الگوی کشت مخلوط از نظر بهره‌برداری از زمین در مقایسه با کشت خالص است و همچنین تاکیدی بر این نکته است که رابطه‌ی بین باقلا و جو در کشت مخلوط بیش از آن که رقابتی باشد، اثر تسهیل‌کننده برای گونه‌ی دیگر دارد (آگگنهو و همکاران ۲۰۰۶). با این حال، بین الگوهای مختلف کشت مخلوط از نظر نسبت برابری زمین تفاوت وجود داشت به طوری که بهترین الگو، کشت مخلوط ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو (با نسبت برابری زمین ۱/۳۳) بود که نشان داد در کشت خالص به ۳۳ درصد زمین بیشتری در مقایسه با کشت مخلوط نیاز است تا عملکردی معادل کشت مخلوط به دست آید. بر این اساس، هر چه درصد باقلا در کشت مخلوط بیشتر شد، نسبت برابری زمین نیز افزایش نشان داد ولی افزایش تعداد بوته‌های جو به بیشترین تراکم، با کاهش نسبت برابری زمین همراه بود (جدول ۶). این موضوع با یافته‌های برخی از محققین مبنی بر اینکه در افزایش نسبت برابری زمین در کشت مخلوط، سهم گیاه لگوم (سویا) کمتر از گیاه کاشته شده از خانواده‌ی غلات (ذرت) بود (شن و

همکاران ۲۰۲۳) مغایرت دارد. این محققین علت کاهش سهم سویا در نسبت برابری زمین را سایه‌اندازی ذرت بر روی سویا عنوان کردند که باعث کاهش تولید مواد پرورده توسط سویا و در نهایت عملکرد دانه‌ی این گیاه شد. در پژوهش حاضر نیز اگر چه در کشت مخلوط، جو ارتفاع بوته‌ی بیشتری از باقلا داشت (حدود ۱۰ سانتی‌متر) ولی واکنش باقلا به سایه نسبت به سویا متفاوت است. بر اساس گزارشات (نصراله‌زاده و همکاران ۲۰۱۸؛ اسکندری و کاظمی ۲۰۲۰) باقلا گیاهی است که از سایه در کشت مخلوط، منتفع می‌شود و عملکرد بهتری در سایه دارد. در تحقیق حاضر نیز هر چه تراکم جو در کشت مخلوط افزایش یافت (امکان سایه‌اندازی جو روی باقلا بیشتر شد)، عملکرد دانه‌ی بیشتری نیز از تک بوته‌ی باقلا نیز به دست آمد به طوری که از هر بوته‌ی باقلا در کشت‌های مخلوط با تراکم ۴۰ درصد، ۵۰ درصد و ۸۰ درصد جو به ترتیب ۷/۱۳، ۸/۲۹ و ۹/۱۵ گرم دانه به دست آمد (شکل ۳). بر این اساس، مغایرت یافته‌های این پژوهش با سایر پژوهش‌ها در مورد سهم لگوم در نسبت برابری زمین را می‌توان به تفاوت واکنش گونه‌های لگوم نسبت به سایه‌اندازی توسط گونه‌ی غلات مرتبط دانست.

شاخص اقتصادی مزیت مالی در هر سه الگوی کشت مخلوط مثبت به دست آمد که نشان‌دهنده‌ی مزیت عملکردی کشت مخلوط می‌باشد. با این حال، بیشترین مقدار شاخص مزیت مالی در کشت مخلوط ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو (بالاترین تراکم باقلا و کم‌ترین تراکم جو) به دست آمد که نشان می‌دهد این الگوی کشت، بیشترین مزیت اقتصادی را دارد. در واقع همان روندی که در نسبت برابری زمین مشاهده شد، در مورد مزیت مالی نیز دیده می‌شود به طوری که الگوی کشت مخلوطی که نسبت برابری زمین بیشتری داشت، مزیت مالی بالاتری را نیز به خود اختصاص داد. در این مورد محققین مختلفی (گوش ۲۰۰۴؛ دهیما و همکاران ۲۰۰۷؛ مجتبایی زمانی و نوروزی ۲۰۱۷) گزارش دادند که نسبت برابری زمین بالاتر با مزیت مالی بیشتر همراه بوده است که با نتایج تحقیق حاضر هماهنگی دارد.

نتیجه‌گیری

علی‌رغم کمتر بودن عملکرد دانه‌ی جو و باقلا در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، کشت مخلوط از نظر بهره‌برداری از زمین و مزیت مالی برتر از کشت خالص بود چرا که نسبت برابری زمین برای هر سه الگوی کشت مخلوط بیشتر از یک و مزیت مالی نیز برای هر سه الگوی کشت مخلوط مثبت بود. در مجموع و بر اساس معیارهای ارزیابی، بهترین الگو، کشت مخلوط ۸۰ درصد باقلا و ۴۰ درصد جو (با نسبت برابری زمین ۱/۳۳) بود. با این حال، با توجه به اینکه سایه‌اندازی جو ، تاثیر مثبتی بر باقلا داشت نیاز است تحقیقات بیشتری انجام شود تا اثر سایه‌اندازی با تراکم‌های بالاتر جو، بر رشد و عملکرد دانه‌ی باقلا مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار بگیرد.

سپاسگزاری

از آزمایشگاه مرکزی دانشگاه پیام نور مرکز شادگان جهت همکاری در اجرای پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abd-Rabboh AMK, Ghazy NA, Awad MM and Farahat GA. 2020. Effect of nitrogen fertilizer and foliar spraying with humic acid on productivity of maize, soybean and ear rot disease of maize. Journal of Plant Production, 11: 1045-1054. https://doi.org/ 10.21608/jpp.2020.122663

Agegnehu G, Ghizaw A abd 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

Ampong K, Thilakaranthna MS and Gorim LY .2022. Understanding the role of humic acids on crop

performance and soil health. Frontiers in Agronomy, 4:848621. https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621

Aslani S, Barzegar T, Nikbakht J. 2019. Effect of foliar application of humic acid on growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon pimpinellifolium* (L.) Mill) under deficit irrigation stress. Plant Process and Function, 8 (32): 69-84. (In Persian).

Dhima KV, Lithourgidis AS, Vasilakoglou, IB abd Doras CA. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. Field Crops Research, 100:249-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008

Eskandari H and Javanmard A. 2013. Evaluation of Forage Yield and Quality in Intercropping Patterns of Maize (Zea mays) and Cow pea (*Vigna sinensis*). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 23(4): 101-110. (In Persian).

Eskandari H and Kazemi K. 2015. Ecological Role of Faba bean (*Vicia Faba*) in Agronomical Systems. Proceedings of the 1th national Conference on Research in Natural and Agricultural Ecosystems. Tehran, Iran. Pp. 1-6.

Eskandari H and Kazemi K. 2020. Response of grain yield and water use efficiency of wheat and faba bean to partial root-zone irrigation in intercropping. Environmental Stresses in Crop Sciences. 13(3): 777-792. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2267.1579

Ghaderimokri L, Rezaei-Chiyaneh, E, Ghiyasi M, Gheshlaghi M, Battaglia ML and Siddique KHM. 2022. Application of humic acid and biofertilizers changes oil and phenolic compounds of fennel and fenugreek in intercropping systems. Scientific Reports. 12: 5946. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09645-4

Ghosh PK. 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. Field Crops Research. 88: 227–237. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.015

Habibi Sharafabad Z, Abdipour M, Hosseinifarahi M, Kelidari A and Rashidi L. 2022. Integrated humic acid and vermicomposting changes essential oil quantity, and quality in field-grown *Lavandula angustifolia* L. intercropped with Brassica nigra L. Industrials Crop & Products. 178: 114635. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114635

Haji Ramezani F, Barmaki M, Dashti G and Dabagh Mohamadi Nasab A. 2023. Evaluate the Competitiveness and Usefulness of Potato and Local Faba Bean Intercropping in the Sarab City. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 1(33): 251-267. https://doi.org/10.22034/saps.2022.50023.2819s

Li Y, Fang F, Wei J, Wu X, Cui R, Li G, Zheng F and Tan D. 2019. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: A three-Year experiment. Scientific Report, 9: 12014. https://doi.org/10.1038/s41598-019-48620-4

Mojtabaie M and Norouzi SH. 2017. Evaluation of Different Intercropping Patterns of Barley (Hordeum vulgare L.) and Faba Bean (*Vicia faba* L.) through Competitive and Economic Indices. Journal of Crop Production and Processing. 7: 145-158. https://doi.org/ 10.29252/jcpp.7.3.145

Nasrollah-zadeh S, Ghassemi-Golezani K and Raey Y. 2011. Effect of shading on rate and duration of grain filling and yield of faba bean cultivars. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 3(21): 47-56. (In Persian)

Noroozisharaf A and Kaviani M. 2018. Effect of soil application of humic acid on nutrients uptake, essential oil and chemical compositions of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under greenhouse conditions. Physiological and Molecular Biology of Plants, 24: 423-421.

Nouryani H. 2021. Evaluation of some eco-physiological properties of maize S.C 704 in additive intercropping with mungbean. Agricultural Science and Sustainable Production, 30: 45-58. https://www.doi.org/10.22034/saps.2020.12291

Nurgi N, Tana T, Dechassa N, Alemayehu Y AND Tesso B. 2023. Effects of planting density and variety on productivity of maize-faba bean intercropping system. Helyon, 9: 12967. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12967

Olaetxea M, Mora V, Baigorri R, Zamarreno AM and Garcia-Mina JM. 2020. The singular molecular conformation of humic acids in solution influences their ability to enhance root hydraulic conductivity and plant growth. Molecules, 26: 7–10. https://doi.org/10.3390/molecules26010003

Omrani B, Dabbagh Mohammadi Nassab A, Shakiba MR, Amini R. 2022. Evaluation of Yield and Advantage in Intercropping of Millet (*Panicum miliaceum* L.) with Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and Vetch (*Vicia villosa* L.) under Regular and Magnetic Water Irrigation. Agricultural Science and Sustainable Production, 3(32): 63-78. https://doi.org/ 10.22034/saps.2021.48830.2765

Roudgarnezhad S, Sam Deliri M, Mousavi Mirkalaie AA and Neshaee Moghaddam M. 2018. The effect of spraying humic acid on some morphological and physiological traits of bean (*Vicia faba* L.). Journal of Plant Environmental Physiology, 49:33-42. (In Persian).

Sarhadi J, Heidari S, and Sharif M. 2021. Effect of chemical fertilizers and plant biostimulants on yield and some characteristics of citrus sinensis, var.valencia leaves and fruits in the southern Kerman province. Agricultural Science and Sustainable Production, 4: 133-146. https://doi.org/ 10.22034/saps.2021.43971.2608

Senghor Y, Balde A, Manga GB, Affholder F, Lethourmy P, Bassene C, Kanfany G, Ndiave M, Couedel A, Leroux L and Falconnier GN. 2023. Intercropping millet with low-density cowpea improves millet productivity for low and medium N input in semi-arid central Senegal. Helyon, 9: 17680. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17680

Shen L, Wang X, Liu T, Wei W, Zhang S, Keyhani AB, Li L and Zhang W. 2023. Border row effects on the distribution of root and soil resources in maize–soybean strip intercropping systems. Soil & Tillage Research. 233: 150812. https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105812

Thabih V and Saeedipour S. 2022. Study of the effect of growing barley-faba bean on weed control and their yield. Iranian Journal of Pulses Research, 13: 79-90. https://doi.org/ 10.22067/ijpr.v13i2.2111-1015

Tourfi F and Shokuhfar A. 2019. Effect of humic acid on yield, yield components and physiological parameters of wheat in deficit irrigation conditions. Journal of Plant Production, 9: 121-132. (In Persian).

Wang Z, Zhao X, Wu P, Chen X. 2015. Effects of water limitation on yield advantage and water use in wheat (*Triticum aestivum* L.)/maize (*Zea mays* L.) strip intercropping. European Journal of Agronomy, 71: 149–159. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.007

Xiong Q, Wang S, Lu X, Xu Y, Zhang L, Chen X, Xu G, Tian D, Zhang L, Jing J and Ye X. 2023. The effective combination of humic acid phosphate fertilizer regulating the form transformation of phosphorus and the chemical and microbial mechanism of its phosphorus availability. Agronomy, 13:1581. https://doi.org/10.3390/agronomy13061581

Zhang ZM, Yang W, Li Y, Zhao Q and Dong Y. 2023. Wheat–faba bean intercropping can control Fusarium wilt in faba bean under F. commune and ferulic acid stress as revealed by histopathological analysis. Physiological and Molecular Plant Pathology, 124: 101965. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.101965

Zhu L, He J, Tuan Y, Li X, Wang F, Qin K and Wang J. 2022. Intercropping Wolfberry with Gramineae plants improves productivity and soil quality. Scientia Horticulturae, 292: 110632. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110632

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 35-53

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

Evaluation of Quantity and Quality of Camelina (*Camelina sativa* L.) Oil with Integrative Application of Bio and Chemical Fertilizers in different Irrigation Intervals

Mustafa Rashidi[1], Abdollah Javanmard[2]*, Fariborz Shekari[2], Mostafa Amani Machiani[3]

Received: 21 January 2023	Accepted: 31 August 2023

1- Ph.D. student of Agrotechnology, Crop Ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.
2- Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.
3- Ph.D. Graduate in Agrotechnology, Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.
*Corresponding Author Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: In order to decreasing the chemical fertilizer application in low-input and sustainable agricultural systems, a field experiment was carried out to evaluate the effects of different irrigation intervals along with separately and integrative application of chemical and biofertilizer on the quantity and quality of camelina (*Camelina sativa* L.).

Material and Methods : The study was carried out as a split plot based on a randomized complete block design (RCBD) with 18 treatments and three replications at the Saqez city, Iran in 2022 growing season. The main factor was three irrigation intervals including without irrigation (rainfed conditions), irrigation after 10 and 20 days. Also, the sub-factor was different fertilizer sources including non-application (control), 100%chemical fertilizer, biofertilizer, biofertilizer+25% chmical fertilizer, biofertilizer+50% chemical fertilizer and biofertilizer+75% chemical fertilizer.

Results: The results demonstrated that the highest (457.81 kg ha^{-1}) and lowest (186.29 kg ha^{-1}) seed yield of camelina was obtained in 10 days' interval irrigation following integrative application of biofertilizer+ 75% chemical fertilizer and rianfed conditions without fertilization. The highest oil content (37.88%) and oil yield (173.65 kg ha^{-1}) was observed in 10 days' interval irrigation following integrative application of biofertilizer+ 75% chemical fertilizer. The chemical analysis showed that linolenic (30.59-34.58%), linoleic (16.92-19.29%), oleic (14.16-17.36%) and eicosenoic acid (8.93-11.76%) were the main fatty acids compounds of camelina oil. The maximum content of oleic, linoleic and linolenic acids obtained in in 10 days' interval irrigation following integrative application of biofertilizer+ 75% chemical fertilizer.

Conclusion: Generally, the results of this study demonstrated that the integrative application of biofertilizer+ 75% chemical fertilizer, in addition to decrease the consumption rate of chemical fertilizer, enhanced the quantity and quality of camelina oil, especially in drought stress conditions.

Keywords: Bio-Fertilizer, Drought Stress, Oil-Seed Crops, Oleic Acid, Sustainable Agriculture

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Abdollah Javanmard Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

https://doi.org/10.22034/ saps.2023.55044.2978

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۵۳-۳۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی کمیت و کیفیت روغن کاملینا (*Camelina sativa* L.) با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی در دورهای مختلف آبیاری

مصطفی رشیدی[۱]، عبدالله جوانمرد[۲*]، فریبرز شکاری[۲]، مصطفی امانی ماچیانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

۱-دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران
۲-استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه ایران
۳- دانش آموخته دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
* مسئول مکاتبه : Email:a.javanmard@maragheh.ac.ir

چکیده

مقدمه و هدف: به منظور کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی در سیستم‌های کشاورزی پایدار، پژوهشی با هدف بررسی اثرات کاربرد جداگانه و تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی و دورهای مختلف آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی کاملینا (*Camelina sativa* L.) اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و سه تکرار در شهرستان سقز در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. فاکتور اصلی، دورهای مختلف آبیاری در سه سطح، عدم آبیاری (شرایط دیم)، آبیاری پس از ۱۰ و ۲۰ روز بود. همچنین، فاکتور فرعی منابع مختلف کودی در شش سطح عدم مصرف کود (شاهد)، کود زیستی، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی می‌باشد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بیشترین (۴۵۷/۸۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۸۶/۲۹ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد دانه در واحد سطح به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی و عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. بیشترین درصد (۳۷/۸۸ درصد) و عملکرد روغن (۱۷۳/۶۵ کیلوگرم در هکتار) در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی حاصل شد. آنالیز شیمیایی روغن کاملینا نشان داد که اسیدهای چرب غالب موجود در روغن این گیاه شامل لینولنیک اسید (۳۴/۵۸-۳۰/۵۹ درصد)، لینولئیک اسید (۱۹/۲۹-۱۶/۹۲درصد)، اولئیک اسید (۱۷/۳۶-۱۴/۱۶ درصد) و ایکوزنوئیک اسید (۱۱/۷۴-۸/۹۳ درصد) می‌باشد. بیشترین میزان اولئیک، لینولئیک و لینولنیک اسید در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی بدست آمد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی، نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی منجر به افزایش کمیت و کیفیت روغن گیاه کاملینا بویژه در شرایط تنش خشکی گردید.

واژه‌های کلیدی: اولئیک اسید، تنش خشکی، کود زیستی، کشاورزی پایدار، گیاهان روغنی

مقدمه

از بین عوامل تنش‌زای زنده و غیرزنده، تنش خشکی به تنهایی منجر به کاهش ۴۵ درصد از عملکرد محصولات گیاهی می‌شود (بیگلری و همکاران ۲۰۱۹). کشور ایران نیز با متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی لیتر در سال (کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در جهان) در زمره مناطقی با اقلیم خشک طبقه می‌شود. تنش آبی با توجه به مدت زمان، دوام و اندازه کمبود آن، تأثیرات منفی بر مشخصات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارد که در نهایت منجر به کاهش عملکرد کمی و کیفی گیاهان تحت این شرایط خواهد شد. کمبود آب علاوه بر کاهش توسعه برگ می‌تواند از طریق ریزش و مرگ برگ‌ها در طول مراحل مختلف رشد بر شاخص سطح برگ مؤثر باشد. به طور کلی تنش آب از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش در آبگیری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم (که به نحوی کارآیی فتوسنتز را کاهش می‌دهد)، کاهش سنتز پروتئین وکلروفیل سبب تقلیل فرآیند فتوسنتز می‌گردد (گائو و همکاران ۲۰۲۰). یکی از راهکارهای اصولی و علمی جهت کاهش اثرات منفی حاصل از تنش خشکی، بهینه سازی مصرف آب در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک می باشد. دور مناسب آبیاری یکی از فاکتورهای مهم در مدیریت منابع آب است و با دور آبیاری مناسب، گیاه در مواقع بحرانی تحت تأثیر تنش آبی قرار نمی‌گیرد و بدین ترتیب اثرات منفی حاصل از تنش خشکی در گیاه به حداقل می‌رسد.

یکی دیگر از تاثیرات منفی تنش خشکی، کاهش کارآیی مصرف عناصر غذایی می‌باشد. استادی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که در مناطق خشک حدود ۷۰-۴۰ درصد نیتروژن، ۹۰-۸۰ درصد فسفر و ۹۰-۵۰ درصد پتاسیم از دسترس گیاه خارج شده و به تبع آن با افزایش مصرف کودهای شیمیایی میزان هزینه های تولید محصولات کشاورزی بیشتر شده است. همچنین، کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی علاوه بر تاثیرات منفی آن بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده باعث بروز مشکلاتی از قبیل آلودگی‌های زیست محیطی، کاهش کیفیت محصولات تولیدی، هجوم علف‌های هرز رقابت کننده با گیاهان زراعی و شیوع آفات و بیماری‌ها می‌شود. بنابراین، لزوم کاهش مصرف کودهای شیمیایی بویژه در سیستم‌های کشاورزی پایدار امری ضروری تلقی می‌شود. کودهای زیستی شامل جمعیت متراکمی از یک یا چند نوع ارگانیسم مفید خاکزی و یا فرآورده متابولیکی آن‌ها است که صرفاً به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در یک اکوسیستم زراعی به کار می‌روند (ژائوکسی یانگ و همکاران ۲۰۲۰). تأمین عناصر غذایی به صورتی کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی، تشدید فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ بهداشت محیط زیست و در مجموع حفظ و حمایت از سرمایه‌های ملی (خاک، آب، منابع انرژی غیرقابل تجدید) از مهمترین مزایای کودهای زیستی محسوب می‌شوند (قادری مکری و همکاران ۲۰۲۲).

در حال حاضر دانه‌های روغنی پس از غلات دومین ذخائر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. روغن‌های نباتی تولید شده به طورعمده از دانه های روغنی نظیر سویا[1]، آفتابگردان[2]، بادام زمینی[3] و کلزا[4] به دست می‌آیند. امروزه صنعت روغن کشی جزو صنایع راهبردی محسوب می‌شود. در ایران نیز اراضی قابل کشت وسیع و زمینه‌های مساعدی برای کشت دانه‌های روغنی وجود دارد. با وجود این گیاهان روغنی رایج مانند سویا، آفتابگردان و کلزا علی رغم مزیت های فراوان، خود دارای محدودیت های از جنبه های مختلف کشت و شرایط اقلیمی می باشند و احتیاجات بالایی نسبت به آب و نهاده‌ها دارند. بنابراین نیاز به محصولات روغنی جدید با سازگاری بیشتر و احتیاجات کمتر به شدت احساس می شود. شناخت و معرفی گیاهان نو و جدید می‌تواند با تغییرات الگوی کشت گامی مؤثر در جهت اقتصادی‌کردن کشاورزی، ایجاد اشتغال جدید و پایدار باشند. تغییرات شدید اقلیمی، شیوه‌های کشت، نیاز بازار، پیشرفت تکنولوژی و ... باعث شده که

[1]- Soybean (*Glycine max* L.)
[2]- Sunflower (*Helianthus annuus*)
[3]- Peanuts (*Arachis hypogaea*)
[4]- Rapeseed (*Brassica napus*)

پژوهشگران در حوزه کشاورزی به دنبال گیاهان جدید با قابلیت‌های تغذیه‌ای و اقتصادی مناسب باشند.

کاملینا (*Camelina sativa* L.) به عنوان یکی از گیاهان دانه روغنی کمتر شناخته شده از خانواده براسیکاسه است که منشاء آن نواحی مدیترانه و آسیای مرکزی می‌باشد (زانتی و همکاران ۲۰۲۱). این گیاه قادر به رشد شرایط مختلف آب و هوایی و خاک بوده و نسبت به سایر دانه‌های روغنی نیاز کمتری به آب، کود و آفتکش‌ها دارد و در زمان کوتاه‌تری نیز قابل برداشت است. این گیاه، منبع غنی از روغن (۲۸-۴۰ درصد) و اسیدهای چرب امگا ۳ می‌باشد (برتی و همکاران ۲۰۱۶). کنجاله کاملینا نیز پس از استخراج روغن حاوی ۱۰ الی ۱۱ درصد فیبر، ۱۰ الی ۱۴ درصد روغن و حدود ۴۰ درصد پروتئین می‌باشد که از آن می‌توان در تغذیه دام استفاده نمود. میزان پروتئین و چربی علوفه تازه کاملینا به ترتیب ۱۳ و ۲/۵ درصد برآورده گردیده و با توجه به مقاومت بالای این گیاه به شرایط رشدی سخت، می‌تواند به عنوان محصول علوفه‌ای مناسب نیز کشت شود (ارگونول و ازبک ۲۰۲۰). از مهم‌ترین مزیت‌های این گیاه می‌توان به انجام کشت آن در پاییز و برداشت در اواخر فروردین‌ماه، نیاز آبی کمتر، سازگاری بهتر با شرایط اقلیمی منطقه، مقاومت فوق‌العاده به خشکی و سرمای بهاره، حساسیت کمتر به شیوع آفات و حساسیت نداشتن گیاه به ریزش محصول در زمان برداشت اشاره کرد (ژانگ و همکاران ۲۰۲۲). ارزش ویژه کاملینا در محتوای روغن آن با دارا بودن ۵۰ الی ۶۰ درصد از اسیدهای چرب غیراشباع است. از طرفی محتوای آنتی اکسیدان طبیعی توکوفرول، در روغن کاملینا قابل توجه است (جانکوسکی و همکاران ۲۰۱۹).

از آنجایی که کمیت و کیفیت روغن استخراج شده از گیاهان روغنی بوسیله عوامل محیطی تغییر می‌یابد و تنش خشکی نیز عامل موثری در رشد و سنتز این ترکیبات محسوب می‌شود، آگاهی از عوامل مدیریتی مناسب در مناطق خشک و کم آب کشور جهت بدست آوردن پتانسیل عملکرد مطلوب توسط این گیاهان دارای اهمیت بالایی می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، پژوهشی با هدف ارزیابی کاربرد تلفیقی کودهای زیستی شیمیایی و زیستی بر کمیت و کیفیت روغن کاملینا در دورهای مختلف آبیاری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱ در شهرستان سقز استان کردستان اجرا گردید. قبل از اجرای آزمایش سه نمونه خاک بصورت تصادفی از قسمت‌های مختلف محل اجرای آزمایش برداشته و پس از مخلوط شدن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). همچنین، مشخصات اقلیمی منطقه مورد آزمایش (میانگین دما، رطوبت و بارش ماهیانه) در جدول ۲ بیان شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

ماده آلی (٪)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل (٪)	بافت خاک
۰/۸۸	۰/۹۱	۷/۵۳	۴۷۲	۹/۱	۰/۰۸۹	لومی رسی

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اصلی، دورهای مختلف آبیاری در سه سطح عدم آبیاری، آبیاری پس از ۱۰ و ۲۰ روز (پس از سبز شدن و استقرار کامل گیاه در زمین) بود. همچنین، فاکتور فرعی منابع مختلف کودی در شش سطح عدم مصرف کود (شاهد)، کود زیستی، کود شیمیایی، کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی می‌باشد. کود شیمیایی مورد استفاده در آزمایش شامل نیتروژن معادل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله در هنگام کشت، ساقه‌روی و قبل از گلدهی، فسفر معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل و پتاسیم معادل ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم

قبل از کاشت به خاک اضافه گردید. کودهای زیستی مورد استفاده در این آزمایش شامل کود زیستی فسفاته بارور۲ (حاوی دو نوع باکتری حل کننده فسفات از گونه‌های باسیلوس لنتوس[5] و سودوموناس پوتیدا[6] با تعداد 10^9 باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک)، ازتو بارور۱ (حاوی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن از جنس ازتوباکتر با تعداد 10^9 باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) و پتا بارور۲ (حاوی باکتری‌های حل کننده پتاسیم از جنس سودوموناس با تعداد 10^8 باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) بر اساس دستور العمل توصیه شده شرکت زیست فناور تلقیح و به صورت مخلوط با هم مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۲- مشخصه‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاه مورد مطالعه

ماه	میانگین دمای ماهیانه (درجه سلسیوس)	میانگین بارش ماهیانه (mm)	رطوبت نسبی (%)
اردیبهشت	۱۶	۴۸/۵	۴۵
خرداد	۱۸	۲/۱	۲۷
تیر	۲۷	۳/۹	۲۴
مرداد	۳۰	۰	۱۸

به منظور آماده‌سازی زمین جهت کاشت، در اوایل پاییز ۱۴۰۰ شخم نیمه عمیق بوسیله گاوآهن برگردان‌دار انجام شد و جهت نرم کردن خاک از دو نوبت دیسک عمود بر هم استفاده شد. هر کرت شامل شش خط کاشت به طول سه متر با فواصل ردیفی ۱۵ سانتیمتر و فاصله روی ردیف پنج سانتیمتر در نظر گرفته شد. کاشت بذور کاملینا (رقم سهیل تهیه شده از مرکز تحقیقات دیم سرارود کرمانشاه) در هفته اول اردیبهشت ماه با تراکم کشت ۴۰۰ بوته در متر مربع انجام گردید. مبارزه با علف‌های هرز به صورت منظم و بطور دستی انجام گرفت.

در مرحله رسیدگی پنج بوته به‌صورت تصادفی از ردیف‌های میانی کرت‌های آزمایشی انتخاب و کف بر شدند و صفات مورفولوژیک از قبیل ارتفاع بوته، تعداد خورجینک و تعداد دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت تعیین عملکرد دانه، برداشت از خطوط میانی با حذف اثرات حاشیه‌ای در تاریخ ۱۵ مرداد ماه صورت گرفت.

به منظور استخراج روغن موجود در بذور کاملینا، ۵۰ گرم از نمونه بذری هر تیمار را بصورت کامل به حالت پودر کرده درآورده و به آن ۲۵۰ میلی لیتر پترولیوم اتر به عنوان حلال اضافه شد. سپس نمونه‌ها را به شیکر منتقل و با سرعت ۱۶۰ دور در دقیقه به مدت هشت ساعت شیک شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شده و لایه رویی آن را بوسیله کاغذ صافی فیلتر و جداسازی گردید. جهت استخراج کامل روغن مراحل ذکر شده دو الی سه بار تکرار شد. همچنین، عملکرد روغن نیز از حاصلضرب درصد روغن در عملکرد دانه هر تیمار بدست آمد.

جهت شناسایی ترکیبات اسیدهای چرب موجود در روغن کاملینا از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Agilent 5977A ساخت کشور آمریکا متصل شده به طیف سنجی جرمی (GC-MS) و ستون HP-5MS (پنج درصد فنیل متیل پلی سیلوکسان، به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلیمتر و ضخامت ماده جاذب ۰/۲۵ میکرومتر) استفاده شد. همچنین، برای جداسازی ترکیبات از دستگاه نامبرده شده با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) و ستون VF-5MS (به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلیمتر و ضخامت ماده جاذب ۰/۵۰ میکرومتر) استفاده شد. در برنامه ریزی دمایی آون، ابتدا دما به مدت یک دقیقه در ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد نگه داری شد، سپس به تدریج دما با سرعت چهار درجه سانتی‌گراد بر دقیقه

[5]- *Bacillus lentus*

[6]- *Pseudomonas putida*

افزایش یافت تا به دمای ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد رسید و به مدت دو دقیقه در این دما نگه داری شد. هلیوم به عنوان گاز حامل با سرعت جریان یک میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. دمای محفظه تزریق و خط انتقال به ترتیب روی ۲۳۰ و ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. محفظه تزریق در حالت تقسیم (نسبت تقسیم ۱:۳۰) تنظیم شده بود. از نرم افزار Chemstation و مخلوط FAME (Supelco 37 Component FAME Mix Bellefonte, PA, USA) به عنوان رفرنس جهت شناسایی ترکیبات استفاده شد. کمی کردن ترکیبات روغن با استفاده از انتگرال‌گیری و محاسبه مساحت سطح زیر پیک انجام گردید (امانی ماچیانی و همکاران ۲۰۲۱).

در نهایت بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ورژن ۹/۱ و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت. همچنین، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته کاملینا به عنوان یکی از صفات مهم در برداشت مکانیزه این گیاه در نظر گرفته می‌شود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته کاملینا فقط تحت اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود قرار گرفت و اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته این گیاه نداشت (جدول ۳). در بین دورهای مختلف آبیاری، بیشترین (۵۵/۶۱ سانتی‌متر) و کمترین (۴۸/۶۸ سانتی‌متر) میزان ارتفاع بوته کاملینا به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز و عدم آبیاری حاصل شد. میزان ارتفاع بوته کاملینا در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روزه به ترتیب ۱۴/۲ و ۱۰/۷ درصد نسبت به عدم آبیاری افزایش یافت (شکل ۱). به طور کلی مشاهده شده که میزان ارتفاع بوته با افزایش دورهای آبیاری کاهش یافت. تنش خشکی با کاهش توژسانس سلولی و ممانعت از رشد و نمو، تقسیم و طویل شدن سلول‌ها باعث کاهش رشد طولی قسمت-های هوایی گیاه خواهد شد. در تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای بر اثر افزایش مقاومت در برابر انتشار گاز کربن دی اکسید بدلیل مهار فعالیت روبیسکو، کاهش می‌یابد (ژانگ و همکاران ۲۰۲۲). با کاهش رشد سلول اندازه اندام‌های گیاهی محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس تنش خشکی روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد. به طور مشابه، امانی ماچیانی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که ارتفاع بوته سویا[7] در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید به ترتیب ۷/۶ و ۱۴/۱ درصد کاهش یافت. در بین منابع مختلف کودی، بیشترین (۵۷/۶۹ سانتی‌متر) میزان ارتفاع بوته با کاربرد کود شیمیایی بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی نداشت. همچنین، کمترین میزان این صفت (۴۹/۰۱ سانتی‌متر) به عدم مصرف کود متعلق بود. کاربرد جداگانه کود شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۱۷/۷، ۸/۵، ۱۳/۷ و ۱۴/۶ درصدی ارتفاع بوته نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۲). دلیل افزایش ارتفاع بوته با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی به بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه نسبت داده می‌شود که منجر به افزایش میزان فتوسنتز و سنتز بیومولکول‌های حیاتی جهت رشد و تمایز سلول‌های گیاهی خواهد گردید. زینوالدین و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی منجر به افزایش ارتفاع گیاه روغنی پالم[8] گردید.

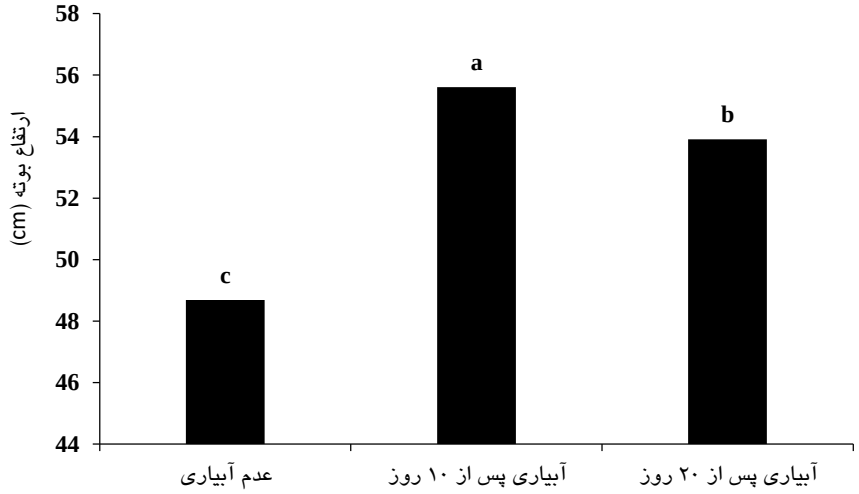
[7]- Soybean (*Glycine max* L.)

[8]- Oil palm (*Elaeis guineensis*)

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد خورجینک	دانه در خورجینک	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت
بلوک	۲	۴۰/۸۰ ns	۸۰/۳۸ ns	۲/۲۸ ns	۱۳۸۸۴۱/۱۳ ns	۲۱۷۶۳/۵۵ ns	۵۹/۰۷ ns
دور آبیاری	۲	۱۶۰۳/۸۷ **	۳۱۷/۸۰ **	۶۴/۷۵ **	۴۱۲۱۵۲۶/۷۷ **	۳۳۴۶۰۹/۰۷ **	۱۶۳/۶۶ *
خطای اول	۴	۸۰/۰۱	۱۳۷/۹۵	۷/۸۲	۲۱۲۴۲۹/۲۱	۱۴۷۰۶/۱۱	۱۷/۰۳
کود	۵	۲۰۳/۷۰ *	۱۵۲/۲۵ *	۸/۷۹ **	۴۱۴۳۳۲/۸۱ *	۱۸۲۴۷/۲۲ *	۱/۰۹۷ *
دور آبیاری × کود	۱۰	۲۹/۱۶ ns	۱۴/۵۹ ns	۳/۴۷ ns	۳۸۹۴۶۹/۶۸ *	۱۶۱۹۹/۸۸ *	۰/۸۹۱ *
خطای کل	۳۰	۶۰/۵۵	۵۴/۷۷	۲/۳۶	۱۱۶۷۳۲/۵۸	۴۲۵۱/۲۵	۰/۳۷۹
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۴۸	۱۴/۰۷	۱۱/۶۲	۱۸/۷۶	۱۳/۶۵	۸/۶۳

**معنی داری در سطح احتمال یک درصد، * معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و ns عدم تفاوت معنی‌دار است

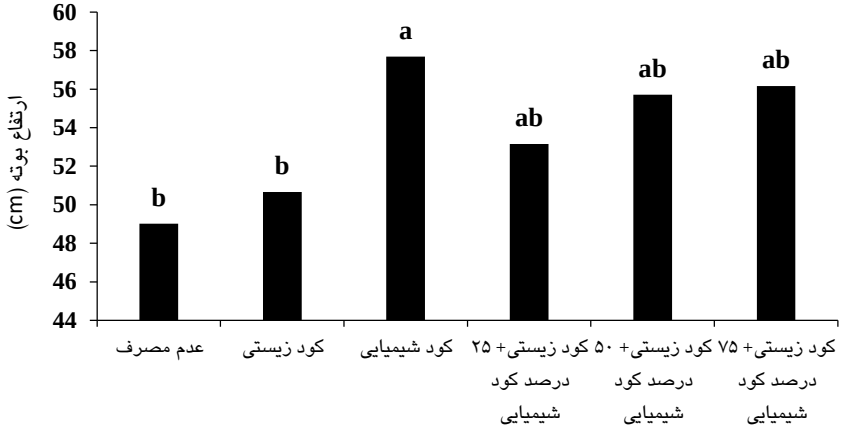


شکل ۱- ارتفاع بوته کاملینا در دورهای مختلف آبیاری

میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

تعداد خورجینک در بوته

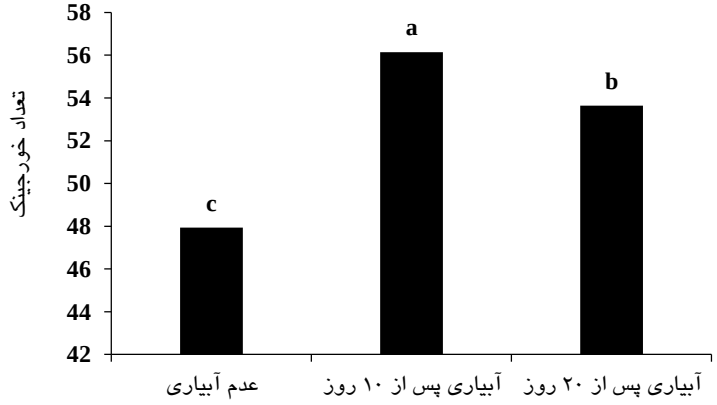
نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود بر تعداد خورجینک در بوته کاملینا معنی‌دار بود (جدول ۳). در بین دورهای مختلف آبیاری، بیشترین (۵۶/۱۴ عدد) و کمترین (۴۷/۹۴ عدد) میزان تعداد خورجینک در بوته کاملینا به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز و عدم آبیاری حاصل شد. میزان صفت ذکر شده در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روزه به ترتیب ۱۷/۱ و ۱۱/۹ درصد نسبت به عدم آبیاری افزایش یافت (شکل ۳). تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش در آبگیری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل سبب کاهش فرآیند فتوسنتز و به تبع آن کاهش صفات رشدی و عملکرد گیاه می‌گردد.



شکل ۲- ارتفاع بوته کاملینا با کاربرد منابع کودی مختلف

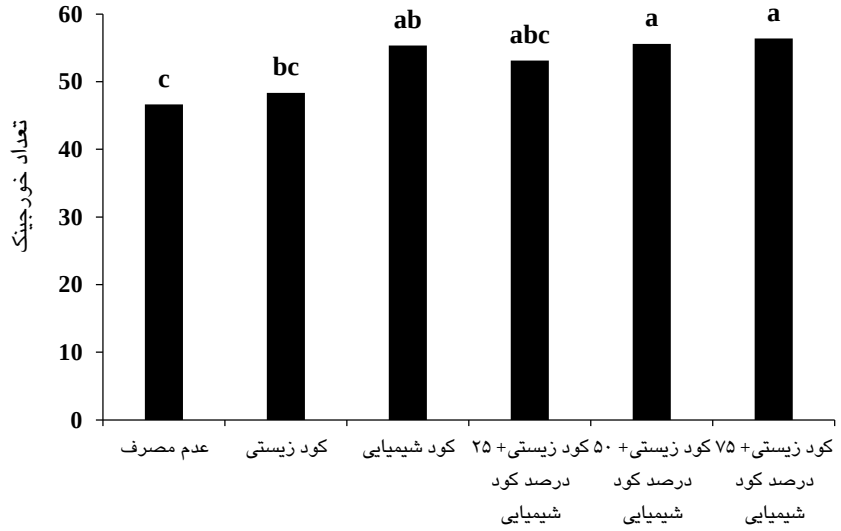
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

(اکونلولا و همکاران ۲۰۱۷). در بین منابع مختلف کودی، بیشترین (۵۶/۳۷ عدد) میزان تعداد خورجینک با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد جداگانه کود شیمیایی و کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی نداشت. همچنین، کمترین میزان صفت ذکر شده (۴۶/۶۶ عدد) به عدم مصرف کود متعلق بود. کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۳/۶، ۱۸/۶، ۱۳/۸، ۱۹/۲ و ۲۰/۸ درصدی تعداد خورجینک در گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۴). دلیل افزایش تعداد خورجینک کاملینا به افزایش دسترسی عناصر غذایی و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی نسبت داده می‌شود که منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی، تقسیم سلولی و رشد بیشتر اندام‌های زایشی می‌گردد.



شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد خورجینک در بوته گیاه کاملینا در دورهای مختلف آبیاری

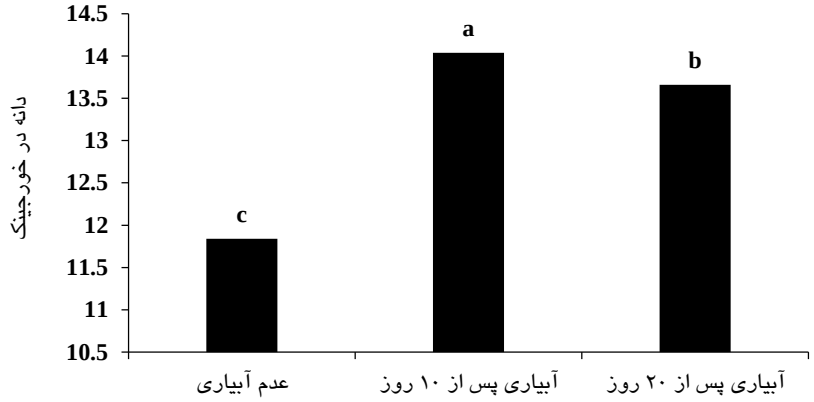
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.



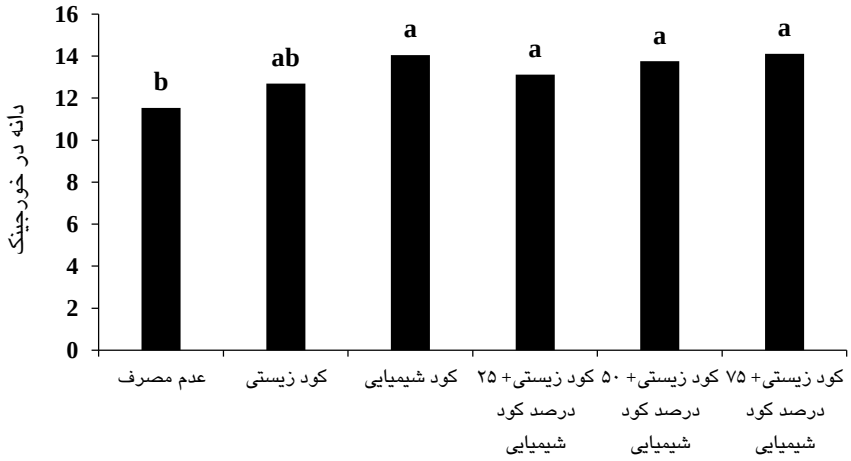
شکل ۴- تعداد خورجینک در بوته گیاه کاملینا با کاربرد منابع کودی مختلف
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

تعداد دانه در خورجینک

تعداد دانه در خورجینک گیاه کاملینا فقط تحت اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد در سطح احتمال یک درصد کود قرار گرفت (جدول ۳). در بین دورهای مختلف آبیاری، بیشترین (۱۴/۰۴ عدد) و کمترین (۱۱/۸۴ عدد) میزان تعداد دانه در خورجینک به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز و عدم آبیاری حاصل شد. میزان صفت ذکر شده در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روزه به ترتیب ۱۸/۹ و ۱۵/۴ درصد نسبت به عدم آبیاری افزایش یافت (شکل ۵). تنش خشکی به طور مستقیم می‌تواند بر فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به طور غیر مستقیم ورود دی اکسیدکربن به داخل روزنه‌ها را که به علت شرایط کم آبی بسته شده‌اند را کاهش دهد. از این رو انتقال مواد فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش آب قرار گرفته و موجب اشباع برگ‌ها از این مواد می‌گردد که ممکن است فتوسنتز را محدود نماید (گائو و همکاران ۲۰۲۰). بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و نهایتاً عملکرد آن دچار نقصان می‌شود. علاوه بر این، در شرایط تنش شدید میزان تنفس، جذب گازکربنیک، انتقال مواد فتوسنتزی و انتقال مواد خام در آوندهای چوبی کاهش یافته و در نتیجه منجر به کاهش صفات رشدی و عملکرد در گیاهان خواهد شد. در بین منابع مختلف کودی، بیشترین (۱۴/۱۰ عدد) میزان تعداد دانه در خورجینک با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد جداگانه کود شیمیایی، زیستی و کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی نداشت. همچنین، کمترین میزان صفت ذکر شده (۱۱/۵۴ عدد) به عدم مصرف کود متعلق بود. کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۹/۹، ۲۱/۷، ۱۳/۶، ۱۹/۳ و ۲۲/۱ درصدی تعداد دانه در خورجینک گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۶). به نظر می‌رسد بهبود جذب عناصر غذایی از طریق محلول پاشی منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی، تولید آسمیلات، پروتئین و آدنوزین تری فسفات بیشتری شده و از این طریق منجر به بهبود صفات رشدی گیاه شده است.



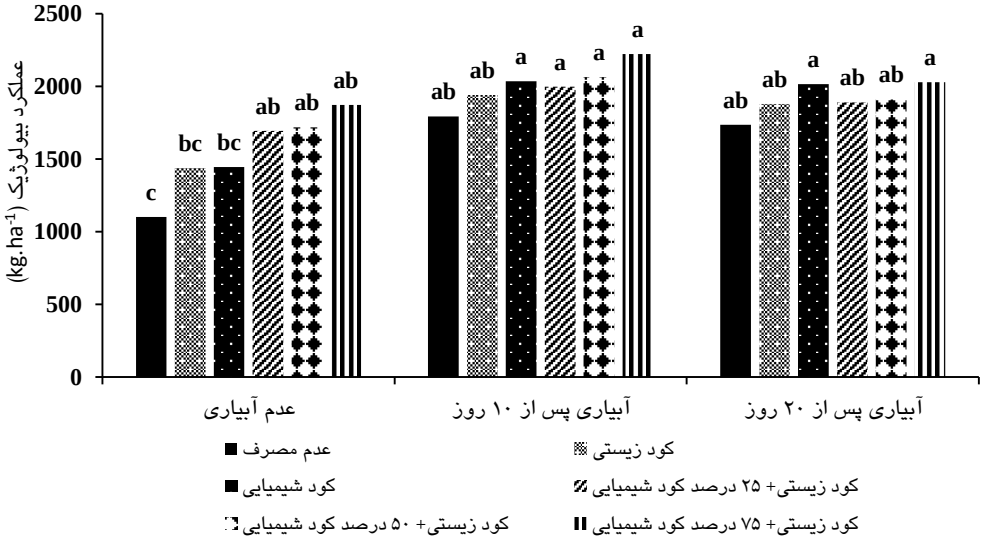
شکل ۵- مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجینک گیاه کاملینا در دورهای مختلف آبیاری
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.



شکل ۶- مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجینک گیاه کاملینا با کاربرد منابع کودی مختلف
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

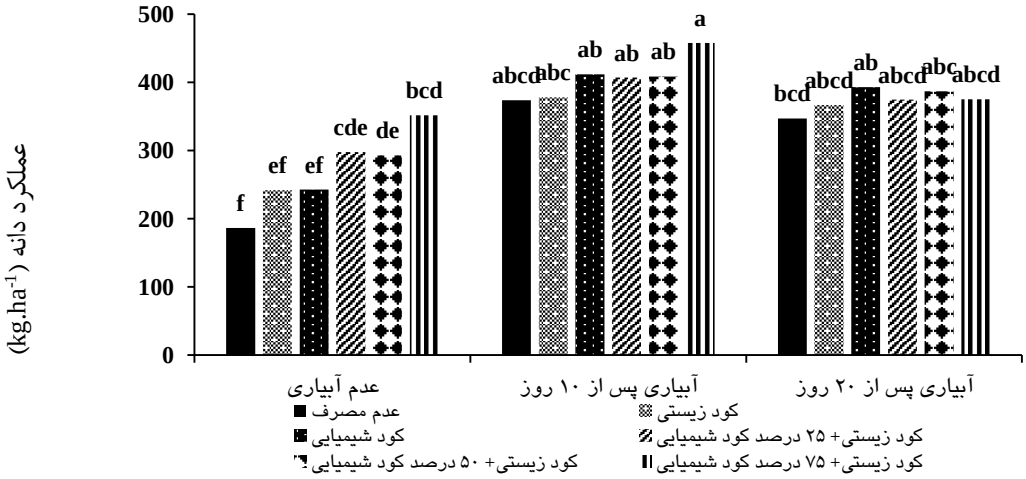
عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در واحد سطح

عملکرد بیولوژیک کاملینا تحت تاثیر اثرات دور آبیاری و کاربرد کود و اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین (۲۲۲۲/۲ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۱۰۰/۱ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد بیولوژیک به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی و عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. شایان ذکر است که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کاربرد تلیفیقی کود زیستی و شیمیایی در دورهای مختلف آبیاری مشاهده نشد. میزان عملکرد بیولوژیک در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز نسبت به عدم آبیاری به ترتیب ۳۰/۱ و ۲۳/۷ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۱۳/۶، ۱۸/۷، ۲۰/۶، ۲۲/۹ و ۳۲/۳ درصدی عملکرد بیولوژیک گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۷).



شکل ۷- عملکرد بیولوژیک کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود و همچنین اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده بر عملکرد دانه گیاه کاملینا معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین (۴۵۷/۸۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۸۶/۲۹ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد دانه به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی و عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. میزان عملکرد دانه در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز نسبت به عدم آبیاری به ترتیب ۵۱/۱ و ۳۹ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۸/۷، ۱۵/۴، ۱۸/۹، ۲۰ و ۳۰/۶ درصدی عملکرد دانه گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۸).



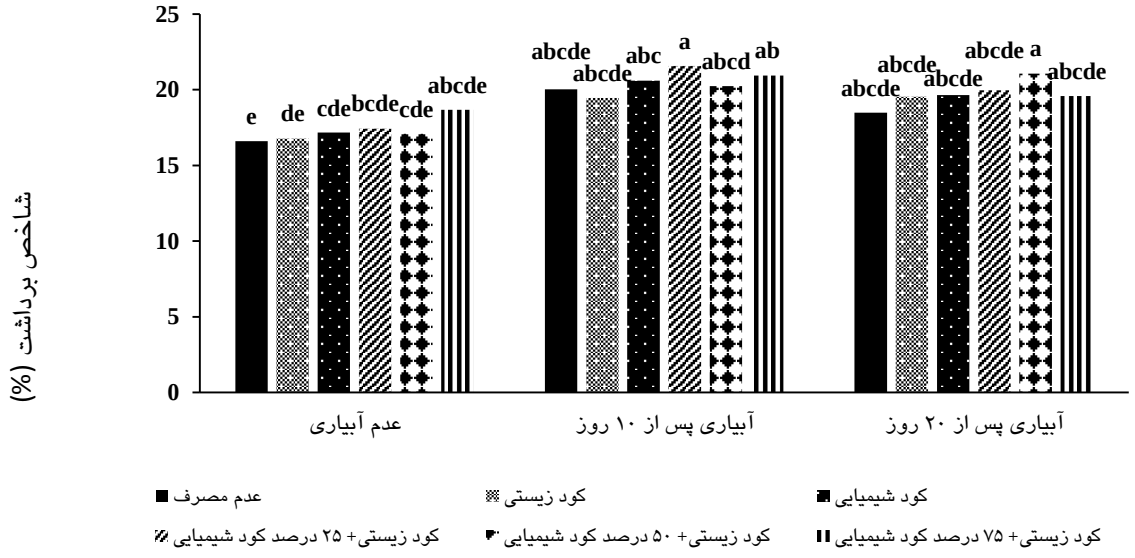
شکل ۸- عملکرد دانه کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

به طور کلی نتایج نشان داد افزایش تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه کاملینا گردید. کاهش عملکرد ماده خشک با افزایش تنش خشکی را می‌توان به کاهش صفات رشدی از قبیل ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ نسبت داد. افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام سطح برگ باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک خواهد شد (استادی و همکاران ۲۰۲۲). ماناوالان و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تنش خشکی با ایجاد تاثیرات منفی بر روی تقسیم و تمایز سلول‌های گیاهی منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود. همچنین، این محققین بیان نمودند که میزان افزایش طول سلول‌ها در شرایط تنش خشکی با پایین آمدن فشار تورژسانس سلول کاهش می‌یابد. در نهایت، موارد ذکر شده منجر به کاهش جذب و در دسترس قرار گرفتن عناصر غذایی و به تبع آن کاهش رشد و عملکرد تولید شده توسط گیاهان خواهد شد. از طرفی کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه کاملینا گردید. به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی از طریق سازوکارهای مختلف، از جمله افزایش حلالیت عناصر غذایی بویژه فسفر، تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، تولید سیدروفور و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن را در گیاه تنظیم می‌کنند، سبب بهبود رشد گیاه و عملکرد تولید شده می‌گردد. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، زاهدی و پور نیازی (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی منجر به افزایش عملکرد در گیاه ذرت گردید.

شاخص برداشت

شاخص برداشت کاملینا تحت تاثیر اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود و همچنین اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین (۲۱/۵۷ درصد) و کمترین (۱۶/۶ درصد) شاخص برداشت به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی و عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. میزان شاخص برداشت در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز نسبت به عدم آبیاری به ترتیب ۱۸/۵ و ۱۴/۱ درصد افزایش یافت. شاخص برداشت بیان کننده توزیع نسبی مواد فتوسنتزی بین مخزن‌های اقتصادی و سایر مخازن موجود در گیاه می‌باشد. لذا، دلیل افزایش شاخص برداشت در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز به به افزایش میزان فتوسنتز و تخصیص مواد فتوسنتزی به مقصد (دانه‌ها) نسبت داده می‌شود. پاندی و همکاران (۲۰۰۰) نیز دلیل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش شدید خشکی را به حساسیت بیشتر دوره زایشی و کاهش شدید عملکرد دانه در شرایط نامطلوب محیطی (تنش خشکی) در مقایسه با سایر دوره‌های رشدی گیاه نسبت دادند. به طور مشابه، قلی نژاد و همکاران (۲۰۰۹) و ماتسورا و پینگ (۲۰۲۰) نتیجه گرفتند شاخص برداشت در گیاه آفتابگردان و ارزن با افزایش تنش خشکی کاهش یافت. علاوه بر این، کاربرد جداگانه شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۴/۳، ۷/۱، ۶ و ۷/۴ درصدی شاخص برداشت گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۹). حصول عملکرد بهینه در گیاهان زراعی با تنظیم روابط مبدا- مقصد در راستای تولید و استفاده از فتوآسمیلات‌ها در درون گیاه بدست می‌آید. بررسی‌ها نشان داده است، عوامل محدود کننده در تولید ماده خشک و یا سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ، با ظرفیت مبدا یا مقصد در ارتباط می‌باشد. هنگامی که ظرفیت مبدا بیشتر از ظرفیت یک مقصد معین باشد، مقصد کنترل کننده سرعت تولید ماده خشک خواهد بود. ظرفیت بالقوه مقصدها در طول مرحله پر شدن دانه می‌تواند با توجه به مولفه‌های اجزای عملکرد (برای مثال در تعداد خورجینک و تعداد دانه در خورجینک) تعیین می‌گردد. از آنجایی که کاربرد کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش اجزای

عملکرد گیاه کاملینا و همچنین عملکرد دانه این گیاه شده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد تلفیقی کودهای ذکر شده با تاثیرگذاری بر تخصیص زیست توده بین ساقه و ریشه و با افزایش جذب عناصر غذایی منجر به بیشتر شدن میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به مقصد (دانه‌ها) شده و از این طریق شاخص برداشت افزایش یافته است (احمدیان و همکاران ۲۰۲۱).



شکل ۹- شاخص برداشت کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

درصد روغن

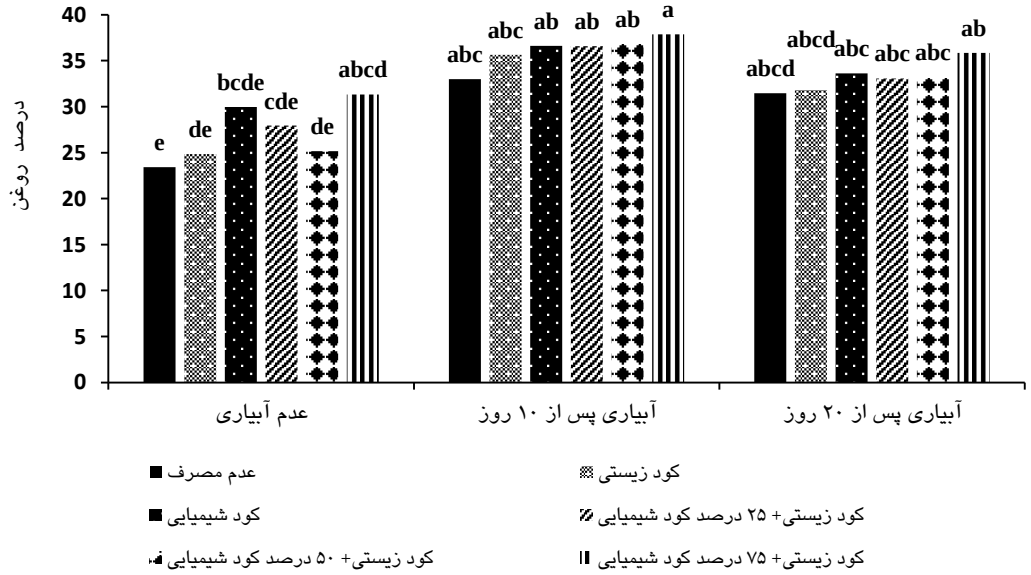
نتایج تجزیه واریانس نشان داد درصد روغن استخراج شده از گیاه کاملینا تحت تاثیر اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود و همچنین اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین (۳۷/۸۸ درصد) و کمترین (۲۳/۴۱ درصد) درصد روغن به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی و عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. میزان روغن استخراج شده در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز نسبت به عدم آبیاری به ترتیب ۳۳/۱ و ۲۲/۳ درصد افزایش یافت. کاهش درصد روغن کاملینا در شرایط تنش خشکی به اکسیداسیون برخی اسیدهای چرب غیر اشباع چند گانه و کاهش قابلیت تبدیل هیدرات‌های کربن به روغن در شرایط تنش نسبت داده می‌شود (ال صباغ و همکاران ۲۰۱۹). گو و همکاران (۲۰۲۰) بیان نمودند که آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز اسیدهای چرب از قبیل استیل کوآ کربوکسیلاز، ۳- کتوسیل ردوکتاز و ... در شرایط کم آبی تجزیه شده و این امر منجر به کاهش میزان اسیدهای چرب تولید شده و در نهایت کاهش میزان روغن تولید شده خواهد شد. ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) دلیل کاهش درصد روغن کلزا در شرایط تنش خشکی را به کاهش غلظت روغن دانه از یک سو به دلیل کاهش اندازه بذرها و از سوی دیگر به کاهش مقدار کربوهیدرات‌های قابل دسترس برای ارسال به اندام‌های ذخیره کننده و همچنین کاهش فعالیت تعدادی از آنزیم‌های سنتزکننده چربی نظیر لیپاز و استیل کوآ کربوکسیلاز نسبت دادند. به طور مشابه، اقدسی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که درصد و عملکرد روغن گیاه کاملینا در شرایط تنش خشکی کاهش

پیدا کرد. علاوه بر این، کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۵، ۱۴، ۱۱/۱، ۸/۴ و ۱۹/۶ درصدی میزان روغن استخراج شده از گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۱۰). به نظر می‌رسد در دسترس قرار عناصر غذایی ماکرو و میکرو با فعال کردن کوفاکتورهای مورد نیاز منجر به افزایش آنزیم‌های دخیل در فرآیند سنتز اسیدهای چرب شده و از این طریق باعث افزایش درصد روغن تولید شده در گیاه کاملینا شده است (محمدی و همکاران ۲۰۱۸). قادری مکری و همکاران (۲۰۲۲) بیان نمودند که کاربرد کودهای زیستی منجر به افزایش ۱۶/۵ درصدی روغن تولید شده توسط گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) گردید. زین الدین و همکاران (۲۰۲۲) نتیجه گرفتند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی منجر به افزایش درصد و عملکرد روغن استخراج شده از گیاه پالم[9] (*Elaeis guineensis*) گردید.

جدول ۴- تجزیه واریانس درصد و عملکرد گیاه کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		درصد روغن	عملکرد روغن
بلوک	۲	۱۶/۳۹^{ns}	۰/۴۰^{ns}
دور آبیاری	۲	۱۵۸/۰۴*	۱۸۴۵۳/۵۱**
خطای اول	۴	۱۶/۴۵	۹۲۵/۸۹
کود	۵	۸۱/۵۵**	۳۰۷۰/۱۴*
دور آبیاری × کود	۱۰	۶۳/۸۸*	۲۵۰۸/۹۵*
خطای کل	۳۰	۲۱/۶۷	۷۹۳/۵۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۴۹	۲۱/۶۹

**معنی داری در سطح احتمال یک درصد، * معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار

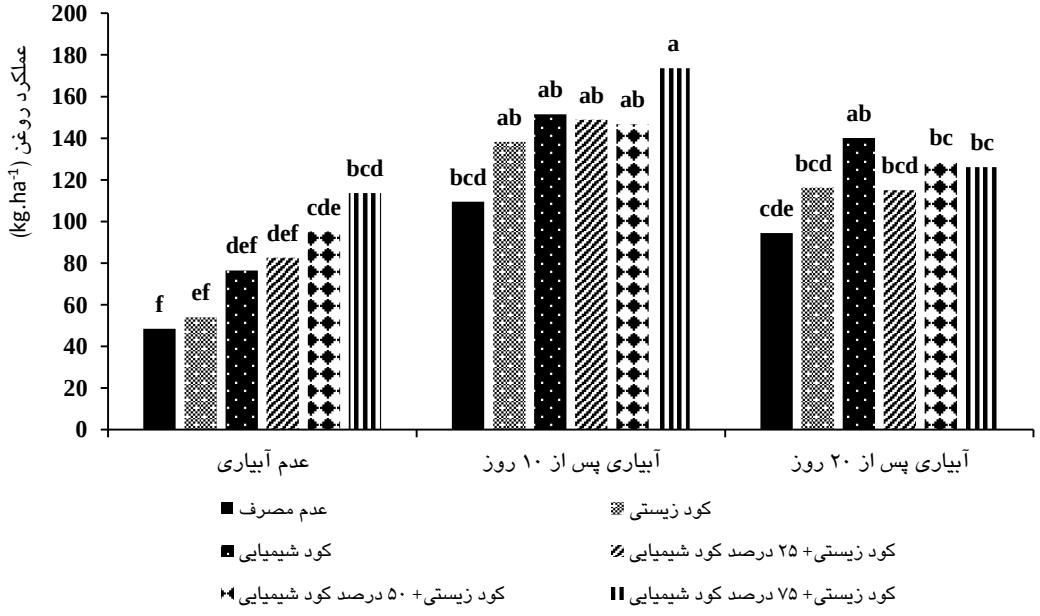


شکل ۱۰- درصد روغن کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

[9]- Palm (*Elaeis guineensis*)

عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود و اثر متقابل دور آبیاری× کود بر عملکرد روغن گیاه کاملینا معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین میزان عملکرد روغن کاملینا (۱۷۳/۶۵ کیلوگرم در هکتار) در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد جداگانه کودهای زیستی شیمیایی و کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی در این دور آبیاری و کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی در دور آبیاری ۲۰ روز نداشت. همچنین، کمترین میزان عملکرد روغن این گیاه (۴۸/۵۶ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. میزان روغن استخراج شده در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز نسبت به عدم آبیاری به ترتیب ۸۴/۶ و ۵۳/۱ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۲۲/۱، ۴۵/۸، ۳۷/۲، ۴۶/۷ و ۶۳/۸ درصدی میزان عملکرد روغن گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۱۱). از آنجایی که عملکرد روغن از حاصلضرب عملکرد دانه در میزان روغن تولید شده توسط گیاه بدست می‌آید و با دو شاخص ذکر شده رابطه مستقیمی دارد. لذا هر عاملی که تاثیر مثبتی بر شاخص‌های ذکر شده داشته باشد منجر به افزایش عملکرد روغن نیز خواهد شد. لذا، افزایش میزان عملکرد روغن در در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی به افزایش عملکرد دانه و درصد روغن تولید شده در تیمار ذکر شده نسبت داده می‌شود.



شکل ۱۱- عملکرد روغن کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

ترکیبات روغن (اسیدهای چرب) کاملینا

کیفیت روغن تولید شده توسط گیاهان روغنی به میزان اسیدهای چرب تولید شده و همچنین نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع به اشباع بستگی دارد. افزایش نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع به اشباع موجب افزایش پایداری و کیفیت روغن تولید شده خواهد شد. آنالیز

شیمیایی روغن کاملینا نشان داد که اسیدهای چرب غالب موجود در روغن این گیاه شامل لینولنیک اسید (۳۴/۵۸-۳۰/۵۹ درصد)، لینولئیک اسید (۱۹/۲۹-۱۶/۹۲درصد)، اولئیک اسید (۱۷/۳۶-۱۴/۱۶درصد) و ایکوزنوئیک اسید (۱۱/۷۴-۸/۹۳) می‌باشد. بیشترین میزان اولئیک، لینولئیک و لینولنیک اسید در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی بدست آمد. همچنین، بیشترین میزان ایکوزنوئیک اسید در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی حاصل شد. شایان ذکر است که کمترین میزان اسیدهای چرب ذکر شده در شرایط عدم آبیاری بدون مصرف کود بدست آمد. با مقایسه بین دورهای مختلف آبیاری می توان نتیجه گرفت که میزان اولئیک، لینولئیک، لینولنیک اسید و ایکوزنوئیک اسید در شرایط عدم آبیاری (دیم) به ترتیب ۱۲/۶، ۷/۵، ۷/۸ و ۱۸/۲ درصد نسبت به دور آبیاری ۱۰ روزه و ۳/۵، ۴/۲، ۳/۴ و ۵/۶ درصد نسبت به دور آبیاری ۲۰ روزه کاهش یافت (جدول ۵). دلیل آن را می‌توان به تاثیرات منفی حاصل از تنش خشکی به مسیرهای بیوسنتزی اسیدهای چرب و تبدیل اسیدهای چرب به ترکیبات سازنده آن‌ها (لیپیدها) ذکر شده نسبت داد (بلالویی و همکاران ۲۰۱۳). گائو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تنش خشکی منجر به کاهش میزان پالمتیک، لینولئیک و لینولیک اسید گردید. علاوه بر این، در بین منابع کودی مختلف کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی بیشترین تاثیر مثبت را بر روی غلظت اولئیک، لینولئیک، لینولنیک اسید و ایکوزنوئیک اسید داشت که به ترتیب منجر به افزایش ۸/۴، ۵/۲، ۵/۴ و ۷/۸ درصدی اسیدهای چرب ذکر شده نسبت به شرایط عدم مصرف کود گردید. کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی (بویژه فسفر) با بهبود شرایط رشدی گیاه، منجر به افزایش فتوسنتز و تولید منابع کربوهیدراتی شده و زمینه لازم جهت تولید ترکیبات پیش ساز اسیدهای چرب (لیپیدها) و همچنین افزایش انرژی لازم (از طریق تولید بیشتر ATP و NADPH) جهت تبدیل لیپیدها به اسیدهای چرب شده است. مرادزاده و همکاران (۲۰۲۱) نتیجه گرفتند که کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش میزان اسیدهای چرب غیر اشباع اولئیک و لینولئیک اسید در روغن سیاهدانه[10] گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن استخراج شده از گیاه کاملینا در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی حاصل شد. همچنین، کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش درصد اسیدهای چرب غیر اشباع از قبیل اولئیک، لینولئیک و لینولنیک اسید و به طبع آن بهبود کیفیت روغن گیاه کاملینا گردید. بنابراین، میتوان نتیجه گرفت که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی علاوه بر کاهش میزان استفاده از نهاده‌های شیمیایی منجر به بهبود کمیت و کیفیت روغن گیاه کاملینا گردید.

سپاسگزاری

از مدیریت پژوهش و فناوری و مدیر آزمایشگاه مرکزی دانشگاه مراغه بابت انجام آزمایش‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

[10]- *Nigella sativa* L.

جدول ۵- درصد اسیدهای چرب موجود در روغن کاملینا تحت تاثیر دورهای آبیاری و منابع کودی مختلف

ترکیبات	دور آبیاری ۲۰ روز						دور آبیاری ۱۰ روز						عدم آبیاری					
	T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1
میریستیک اسید		۰/۰۶	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۴	۰	۰	۰/۰۵	۰/۰۴	۰	۰/۰۲	۰
پالمتیک اسید	۵/۲۲	۵/۰۲	۴/۷۷	۴/۲۷	۴/۵۹	۴/۰۶	۵/۴۶	۵/۷۱	۵/۱۲	۴/۷۸	۴/۹۱	۴/۳۴	۴/۴۱	۴/۶۳	۴/۲۳	۴/۰۱	۳/۷۸	۳/۶۳
استئاریک اسید	۲/۲۹	۲/۳۱	۲/۱۶	۲/۱۴	۲/۳۰	۲/۰۲	۲/۷۱	۲/۶۶	۲/۳۶	۲/۱۹	۲/۲۶	۲/۱۷	۲/۲۱	۲/۳۲	۲/۱۲	۲/۰۱	۱/۶۳	۲/۰۶
اولئیک اسید	۱۵/۸۴	۱۵/۶۶	۱۵/۹	۱۴/۵۹	۱۴/۲۹	۱۴/۷۷	۱۷/۲۶	۱۶/۹۴	۱۶/۶۸	۱۶/۷۸	۱۶/۳۹	۱۵/۶۳	۱۵/۰۶	۱۴/۵۹	۱۴/۷۷	۱۴/۳۱	۱۴/۳۶	۱۴/۱۶
لینولئیک اسید	۱۸/۵۲	۱۸/۷۲	۱۸/۳۴	۱۷/۰۴	۱۷/۴۴	۱۷/۹۲	۱۹/۲۹	۱۹/۱۴	۱۸/۸۲	۱۸/۹۸	۱۸/۵۹	۱۷/۸۲	۱۷/۶۳	۱۷/۵۶	۱۷/۳۴	۱۷/۴۶	۱۷/۲۳	۱۶/۹۲
لینولنیک اسید	۳۳/۳۷	۳۳/۸۹	۳۳/۶۳	۳۲/۱۴	۳۲/۲۳	۳۱/۷۳	۳۴/۵۸	۳۴/۴۳	۳۴/۱۷	۳۴/۲۷	۳۴/۰۲	۳۲/۷۶	۳۲/۰۵	۳۱/۶۶	۳۲/۳۴	۳۰/۶۲	۳۱/۰۶	۳۰/۵۹
آراچیدیک اسید	۱/۳۱	۱/۳۳	۱/۲۷	۱/۱۷	۱/۱۲	۱/۵۴	۱/۳۲	۱/۲۲	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۰۹	۱/۲۲	۱/۱۶	۱/۲۹	۱/۴۳	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۳۸
ایکوزنوئیک اسید	۱۰/۲۵	۱۰/۱	۹/۹۱	۹/۷۸	۹/۶۳	۹/۵۱	۱۱/۶۱	۱۱/۷۴	۱۱/۴۹	۱۱/۲۷	۱۱/۳۴	۱۰/۸۳	۹/۶۲	۹/۴۹	۹/۶۶	۹	۹/۱۸	۸/۹۳
ایکوزادینوئیک اسید	۱/۵۱	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۵	۱/۲۸	۱/۴۱	۱/۱۶	۱/۳۴	۱/۱۴	۱/۶۱	۱/۱۲	۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۲۸	۱/۴۲	۱/۳۱	۱/۲۹	۱/۲۵
بهنیک اسید	۰	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۱۶	۰	۰/۱۱	۰	۰/۴۱	۰	۰/۱۶	۰/۱۹	۰	۰/۲۶	۰/۳۱	۰	۰/۲۳	۰	۰/۳۹
اروسیک اسید	۲/۲۳	۲/۳۷	۲/۵۹	۲/۳۳	۲/۲۷	۲/۵۴	۲/۳۹	۲/۲۶	۲/۵۴	۲/۷۱	۲/۶۱	۲/۰۷	۲/۳۱	۲/۳۹	۲/۱۶	۲/۱۸	۲/۳۱	۲/۶۱
نرونیک اسید	۰	۰/۴۱	۰/۲۵	۰	۰	۰	۰	۰/۳۷	۰	۰	۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۳۹	۰	۰	۰/۲۶	۰	۰/۴۳

عدم مصرف کود (T_1)؛ کود زیستی (T_2)؛ کود شیمیایی (T_3)؛ کود زیستی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (T_4)، کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T_5)، کود زیستی + ۷۵ درصد کود شیمیایی (T_6)

منابع مورد استفاده

Aghdasi S, AghaAlikhani M, Modarres-Sanavy SAM and Kahrizi D. 2021. Exogenously used boron and 24-epibrassinolide improved oil quality and mitigate late-season water deficit stress in camelina. Industrial Crops and Products, 171: 113885. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113885

Ahmadian K, Jalilian J and Pirzad A. 2021. Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. Agriculture Water Management, 244: 106544. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106544

Amani Machiani M, Javanmard A, Morshedloo MR, Janmohammadi M and Maggi F. 2021. *Funneliformis mosseae* application improves the oil quantity and quality and eco-physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water stress conditions. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21: 3076–3090. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00590-1

Bellaloui N, Mengistu A and Kassem, MA. 2013. Effects of Genetics and Environment on Fatty Acid Stability in Soybean Seed. Food Science and Nutrition, 4: 165-175. https://doi.org/10.4236/fns.2013.49A1024

Berti M, Gesch R, Eynck C, Anderson J and Cermak S. 2016. Camelina uses, genetics, genomics, production,

and management. Industrial Crops and Products, 94: 690-710. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.034

Biglari T, Maleksaeidi H, Eskandari F and Jalali M. 2019. Livestock insurance as a mechanism for household resilience of livestock herders to climate change: Evidence from Iran. Land Use Policy, 87: 1-9. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104043

Ebrahimian E, Seyyedi SM, Bybordi A and Damalas CA. 2019. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. Agriculture Water Management, 218: 149-157. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.031

El Sabagh A, Hossain A, Barutçular C, Gormus O, Ahmad Z, Hussain S, Islam MS, Alharby H, Bamagoos A, Kumar N, Akdeniz H, Fahad S, Meena RS, Abdelhamid M, Wasaya A, Hasanuzzaman M, Sorour S and Saneoka H. 2019. Effects of drought stress on the quality of major oilseed crops: Implications and possible mitigation strategies - A review. Applied Ecology and Environmental Research, 17(2): 4019-4043. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1702_40194043

Ergönül P and Özbek Z. 2020. Cold pressed camelina (*Camelina sativa* L.) seed oil, In Ramadan, M.F. (Ed.), Cold Pressed Oils., pp. 255–266. Academic Press. DOI:10.1016/B978-0-12-818188-1.00021-9

Gao J, Hao X, Thelen KD and Robertson GP. 2009. Agronomic management system and precipitation effects on soybean oil and fatty acid profiles. Crop Science, 49: 1049-1057. DOI:10.2135/cropsci2008.08.0497

Gao S, Wang Y, Yu S, Huang Y, Liu H, Chen W and He X. 2020. Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of Two *Adonis* species in Northeast China. Scientia Horticulturae, 259: 108795. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108795

Gholinezhad E, Aynaband A, Hassanzadeh Ghorthapeh A, Noormohamadi G and Bernousi I. 2009. Study of the Effect of Drought Stress on Yield, Yield Components and Harvest Index of Sunflower Hybrid Iroflor at Different Levels of Nitrogen and Plant Population. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37(2): 85-94. https://doi.org/10.15835/nbha3723255

Ghaderimokri L, Rezaei-Chiyaneh E, Ghiyasi M, Gheshlaghi M, Battaglia ML and Siddique KHM. 2022. Application of humic acid and biofertilizers changes oil and phenolic compounds of fennel and fenugreek in intercropping systems. Scientific Reports, 12: 5946. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09645-4

Jankowski KJ, Sokolski M and Kordan B. 2019. Camelina: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. Industrial Crops and Products, 141: 111776. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111776

Manavalan LP, Guttikonda SK, Phan Tran LS and Nguyen HT. 2009. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. Plant and Cell Physiology, 50(7): 1260–1276. DOI:10.1093/pcp/pcp082

Matsura A and Ping A. 2020. Factors related water and dry matter during pre- and post- heading in four millet species under severe water deficit. Plant Production Science, 23(1): 28-38. https://doi.org/10.1080/1343943X.2019.1698969

Mohammadi M, Modarres-Sanavy SAM, Pirdashti H, Zand B and Tahmasebi-Sarvestani Z. 2018. How to change the ratio of unsaturated (omega 3, 6, 7 and 9) to saturated fatty acids in *Oenothera biennis* L. oil under water deficit stress, fertilizers and geographical zones. Plant Physiology and Biochemistry, 133: 71-80. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.024

Moradzadeh S, Siavash Moghaddam S, Rahimi A, Pourakbar L, El Enshasy HA and Sayyed RZ. 2021. Bio-chemical fertilizer improves the oil yield, fatty acid compositions, and macro-nutrient contents in *Nigella sativa* L. Horticulturae, 7(10): 345. https://doi.org/10.3390/horticulturae7100345

Okunlola GO, Olatunji OA, Akinwale RO, Tariq A and Adelusi AA. 2017. Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. Scientia Horticulturae, 224: 198-205. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.020

Ostadi A, Javanmard A, Amani Machiani M, Sadeghpour A, Maggi F, Nouraein M, Morshedloo MR, Hano C and Lorenzo JM. 2022. Co-Application of TiO_2 Nanoparticles and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improves Essential Oil Quantity and Quality of Sage (*Salvia officinalis* L.) in Drought Stress Conditions. Plants, 11(13): 1659. https://doi.org/10.3390/plants11131659

Pandey RK, Marienville JW and Adum A. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in a sahelian environment. I. Grain yield components. Agricultural Water Management, 46: 1-13. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00074-3

Zahedi, H and Pourniazi SE. 2018. Effects of integrated application of biological and chemical fertilizers and their application method on yield and yield components of grain maize (*Zea Mays* L.). Applied Field Crops Research, 30(4): 1-10. https://doi.org/10.22092/AJ.2018.109890.1138

Zainuddin N, Keni MF, Ibrahim SAS and Masri MMM. 2022. Effect of integrated biofertilizers with chemical fertilizers on the oil palm growth and soil microbial diversity. Biocatalysts and Agricultural Biotechnology, 39: 102237. DOI: 10.1016/j.bcab.2021.102237

Zanetti F, Alberghini B, Marjanović Jeromela A, Grahovac N, Rajković D, Kiprovski B and Monti A. 2021. Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review. Agronomy for Sustainable Development, 41(1): 1-18. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00663-y

Zhaoxiang W, Huihu L, Qiaoli L, Changyan Y and Faxin Y. 2020. Application of bio-organic fertilizer, not biochar, in degraded red soil improves soil nutrients and plant growth. Rhizosphere, 16: 100264. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100264

Zhang X, Liu W, Lv Y, Li T, Tang J, Yang X, Bai J, Jin X and Zhou H. 2022. Effects of drought stress during critical periods on the photosynthetic characteristics and production performance of Naked oat (*Avena nuda* L.). Scientific Reports, 12: 11199. https://doi.org/10.1038/s41598-022-15322-3

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 55-68

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

The Effect of Nutrition Management and Planting Pattern on the Quantitative and Qualitative Characteristics of Two Varieties of Virginia Tobacco (*Nicotiana Tabacum* L.)

Masoomeh Rahmatzadeh[1], Hemmatollah Pirdashti[2*], Mohammad Ali Esmaeili [3], Rahmat Abbasi[3], Yaser Yagoubian[4]

Received: 16 April 2023	Accepted: 26 August 2023

1- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Sari, Iran.
2-Prof., Dept., of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Sari, Iran.
3-Associ. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Sari, Iran.
4- Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Sari, Iran.
*Corresponding Author Email: pirdasht@yahoo.com; h.pirdashti@sanru.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: The yield and quality of tobacco depend on three important factors: the genetic potential of the variety, the environmental conditions of growth, and the agricultural practice used to grow the product. The experiments showed that each of the factors mentioned has a role in production efficiency, and it is difficult to determine which factor has more impact. This experiment aimed to investigate the effect of nutrition management and planting arrangement on the quantitative and qualitative characteristics of two cultivars of Virginia tobacco (*Nicotiana Tabacum* L.).

Materials and Methods: The split factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with eight treatments and three replications in 2018-2019. The main plot includes the use of nitrogen fertilizer (from the source of urea, based on the soil test), and potassium (from the source of potassium sulfate, based on the soil test), planting cultivation in two levels (single row and double row) and two varieties of tobacco Virginia (TC100 and NC100) in subplot were considered.

Results: The TC100 cultivar exhibited greater leaf area, plant height, and green yield compared to the NC100 cultivar. The combination of foliar fertilizer and double-row cultivation resulted in higher plant height and SPAD index. Notably, NC100 displayed increased leaf nitrogen in single-row cultivation and higher nicotine percentages in both planting arrangements. In contrast, TC100 had significantly greater leaf potassium and sugar content in the double-row cultivation method. The price of tobacco was influenced solely by the cultivar, with TC100 commanding a higher price per kilogram than NC100. Additionally, TC100 generated greater income than NC100 across all planting and fertilization treatments.

Conclusion: Results showed that the TC100 cultivar in two-row cultivation had higher green yield, income, and quality characteristics than the NC100 cultivar. Among studied treatments, fertilization did not significantly affect the quality properties of tobacco leaves.

Keywords: Foliar Fertilizer, Nicotine, Planting Density, Potassium, Top Dressing Fertilizer, Two-Row Cultivation

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Hemmatollah Pirdashti Email: pirdasht@yahoo.com; h.pirdashti@sanru.ac.ir

https://doi.org/10.22034/saps.2023.56207.3024

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۶۸-۵۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر مدیریت تغذیه و آرایش کاشت بر ویژگی‌های کمّی و شاخص‌های کیفی دو رقم توتون (*Nicotiana tabacum* L.) ویرجینیا

معصومه رحمت‌زاده[۱]، همت‌اله پیردشتی[۲*]، محمدعلی اسماعیلی[۳]، رحمت عباسی[۳]، یاسر یعقوبیان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۷	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۴

۱-دانشجوی دکتری زراعت (فیزیولوژی گیاهان زراعی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
۲-استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
۳-دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
۴-استادیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
*مسئول مکاتبه: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir; pirdasht@yahoo.com

چکیده

مقدمه و اهداف: عملکرد و کیفیت توتون به سه عامل مهم پتانسیل ژنتیکی رقم، شرایط محیطی رشد و عملیات زراعی به‌کار گرفته شده برای رشد محصول بستگی دارد. آزمایش‌هایی که تاکنون صورت گرفته نشان می‌دهد که هر یک از عوامل ذکر شده در راندمان تولید نقش دارند و تشخیص این‌که کدام عامل تاثیر بیشتری دارند دشوار است. هدف از این آزمایش بررسی اثر مدیریت تغذیه و آرایش کاشت بر ویژگی‌های کمّی و کیفی دو رقم توتون ویرجینیا (*Nicotiana tabacum* L.) بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. کرت اصلی شامل نحوه مصرف کود سرک در دو سطح نیتروژن (کود شیمیایی اوره، مصرف طبق آزمون خاک)، پتاسیم (کود شیمیایی سولفات پتاسیم، مصرف طبق آزمون خاک)، آرایش کاشت در دو سطح (تک‌ردیفه و دوردیفه) و دو رقم توتون ویرجینیا (TC100 و NC100) به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد رقم TC100 سطح برگ، ارتفاع و عملکرد سبز بیشتری نسبت به رقم NC100 داشت. همچنین تیمار کود برگی در کاشت دوردیفه از ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل (SPAD) بالاتری برخوردار بود. در کاشت تک‌ردیفه، رقم NC100 نیتروژن برگ بیشتری در هر دو آرایش کاشت تک‌ردیفه و دوردیفه همچنین درصد نیکوتین برگ بالاتری نسبت به رقم TC100 داشت. اما پتاسیم برگ و محتوی قند رقم TC100 در کاشت دوردیفه به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. علاوه بر این، یک کیلوگرم برگ رقم TC100 از قیمت بالاتری نسبت به رقم NC100 برخوردار بوده و در هر دو تیمار آرایش کاشت و کوددهی درآمد بالاتری نسبت به رقم NC100 داشت.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج نشان داد که رقم TC100 در کاشت دوردیفه عملکرد سبز، درآمد و ویژگی‌های کیفی بالاتری نسبت به رقم NC100 داشت. در بین تیمارهای مورد بررسی، کوددهی برگی اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های کیفی برگ توتون ویرجینیا نداشت ولی بر صفات کمیّ و عملکرد برگ تأثیرگذار بود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، کوددهی برگی، کود سرک، کاشت دوردیفه، تراکم کاشت و نیکوتین

مقدمه

توتون در بیش از ۱۲۴ کشور جهان رشد می‌کند (اریکسون و همکاران ۲۰۱۵). در سراسر دنیا ۳/۹ میلیون هکتار اراضی زیر کشت توتون می‌باشد، که از این میزان ۶۰ درصد آن توتون گرم‌خانه‌ای، ۱۳ درصد بارلی و ۱۲ درصد آن‌را توتون شرقی تشکیل می‌دهد (زلکا و همکاران ۲۰۱۹). بر اساس آخرین آمار شرکت دخانیات ایران سطح زیرکشت توتون در کشور ۳۰۰۰ هکتار می‌باشد که از این سطح ۵۰ درصد آن توتون گرم‌خانه‌ای، ۲۴ درصد توتون بارلی و ۲۶ درصد آن‌را توتون تیپ شرقی تشکیل می‌دهد. متوسط عملکرد توتون در ایران ۳/۵ تن برگ عمل‌آوری‌شده در هکتار می‌باشد. استان مازندران با دارا بودن ۴۰۰ هکتار سطح زیر کشت توتون و متوسط عملکرد ۳/۵ تا ۴ تن برگ عمل‌آوری شده دومین مقام را بعد از استان گلستان از نظر سطح زیر کشت در کشور دارد. بیش از ۷۰ درصد سطح زیر کشت توتون در مازندران به تیپ گرم‌خانه‌ای اختصاص دارد (آمارنامه کشاورزی شرکت دخانیات ایران ۲۰۲۰). عملکرد و کیفیت توتون به سه عامل مهم، پتانسیل ژنتیکی رقم، شرایط محیطی رشد و عملیات زراعی به‌کار گرفته شده برای رشد محصول بستگی دارد. آزمایش‌هایی که تاکنون انجام گرفته نشان می‌دهد که هر یک از عوامل ذکر شده در راندمان تولید نقش دارند و تشخیص این‌که کدام عامل تاثیر بیشتری دارند دشوار است (تاباکسی ۲۰۲۱). مهم‌ترین تصمیم زراعی موثر که بر میزان نیکوتین برگ‌های توتون تاثیرگذار است انتخاب نوع رقم است. ژنتیک گیاهی و روش‌های مختلف زراعی تاثیر عمده‌ای بر تجمع و بر غلظت نیکوتین دارد (جاش‌بی و همکاران ۲۰۱۹). در همین‌راستا، یانگ و همکاران (۲۰۱۹) در آزمایشی نشان دادند تعداد برگ توتون و سایر ویژگی‌های برگ به نوع رقم بستگی دارد. کاهش عملکرد توتون به‌عوامل مختلفی بستگی دارد، یکی از آن‌ها فاصله بین بوته‌ها است که منجر به رقابت درون و بین بوته‌ها می‌شود. در همین راستا در صورت رعایت دقیق فاصله کاشت بین بوته‌ها، این گیاه پتانسیل افزایش عملکرد و کیفیت محصول را دارد، زیرا نشان داده شده است که فاصله ردیف سهم بیشتر و بالاتری را در رقابت ایفا می‌کند (ملامبو ۲۰۱۵). در تحقیقی بوکان و همکاران گزارش کردند، با افزایش فاصله بین بوته‌ها از ۴۵ به ۵۵ سانتی‌متر و با فاصله بین ردیف ۱۰۰ سانتی متر (تراکم ۱۸۰۰۰ بوته در هکتار)، عملکرد ۳۹۶/۱۲ کیلوگرم و قیمت محصول تقریباً ۸۶۱/۱۰ دلار افزایش یافت، گرچه قیمت توتون از لحاظ آماری معتی‌دار نشد ولیکن عملکرد و کیفیت محصول افزایش چشمگیری نشان داد (بوکان و همکاران ۲۰۱۰). افزایش فاصله بین بوته در روی ردیف موجب بزرگ شدن، افزایش سطح، افزایش محتوی نیکوتین، محتوی قند در برگ توتون می‌شود. همچنین ملامبو (۲۰۱۵) در تحقیقی گزارش کردند افزایش فاصله بین بوته موجب کاهش رقابت بین آن‌ها برای دسترسی به منابع، افزایش وزن‌تر گیاه، برگ‌هایی استاندارد با درجه ارزش خرید بالا و در نتیجه بهبود کیفیت برگ خشک خواهد شد. به‌طور کلی فاصله نزدیک‌تر گیاهان کاهش اندازه، سطح، ضخامت و وزن برگ گیاهان را در پی خواهد داشت (تیسئو ۱۹۹۰).

از سوی دیگر کیفیت و ترکیب شیمیایی برگ توتون گرم‌خانه‌ای به‌اندازه عملکرد کمی آن مهم است. در برگ‌های توتون با کیفیت بالا محتوای قند احیا کننده ۱۶ – ۲۰ درصد، قند کل ۱۸– ۲۲ درصد، محتوی نیکوتین ۲ – ۳ درصد، نسبت قند به ساکارید بیش‌تر و مساوی ۰/۹، نسبت قند به آلکالوئید بین ۸–۱۰ و نسبت پتاسیم به کلر بیش‌تر و مساوی ۰/۹ گزارش شده‌است (کورت ۲۰۱۹). جاش‌بی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی عنوان داشتند نبود یا نسبت‌های نامتعادل عناصر غذایی باعث ایجاد تغییرات غیرعادی در رشد و متابولیسم فیزیولوژیک توتون می‌شود. مناسب‌ترین مقدار کود نیتروژنه برای توتون گرم‌خانه‌ای معمولاً بین ۴۰ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار و میزان پتاسیم ۷۵ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار متناسب با انواع خاک و تنش‌هایی است که یک محصول متحمل می‌شود (دینش‌کومار و همکاران ۲۰۱۳). استفاده بیش از حد و نامناسب از نیتروژن ممکن است بر عملکرد و کیفیت توتون گرم‌خانه‌ای تاثیر

بگذارد (دورسان ۲۰۲۱). زلکا و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی بیان داشتند، اثر متقابل بین میزان نیتروژن و تراکم بوته بر محتوی قند برگ تاثیر معنی‌داری داشت. پتاسیم یک عنصر غذایی ضروری برای رشد توتون می‌باشد و به‌عنوان یک شاخص مهم کیفیت توسط صنعت دخانیات شناخته شده است. برگ‌های توتون با محتوی پتاسیم بالا، خاصیت الاستیسیته زیاد، برگ‌هایی محکم دارند. غلظت بالای این عنصر در توتون باعث ایجاد عطر، طعم، خوش‌سوزی و بالا رفتن ارزش درجه خرید برگ می‌شود (تنگ و همکاران ۲۰۱۹). قندها مواد اصلی تشکیل دهنده برگ توتون هستند. ترکیب قند رابطه مستقیمی با طعم و بوی توتون دارد (کینای و همکاران ۲۰۲۱). از آن‌جا که طی تحقیقات صورت گرفته عملکرد و کیفیت برگ‌های توتون تحت تأثیر سه عامل رقم، محیط رشد و عملیات زراعی آن قرار می‌گیرد (وانگ ۲۰۲۱). بنابراین هدف از این آزمایش بررسی اثر مدیریت تغذیه و آرایش کاشت بر ویژگی‌های کمّی و کیفی دو رقم توتون ویرجینیا به‌منظور افزایش عملکرد کمی، کیفی و افزایش درآمد توتون کاران درنظر گرفته‌شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش واقع در شرق مازندران به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و در سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل نحوه مصرف کود سرک نیتروژن و پتاسیم در دو سطح (به‌صورت خاکی و برگی)، آرایش کاشت در دو سطح (کاشت دوردیفه با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متری و کاشت تک‌ردیفه با فاصله ردیف ۱۰۰ سانتی‌متر به‌ترتیب با تراکم ۲۴۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ بوته در هکتار) و دو رقم توتون ویرجینیا (TC100 اولین هیبرید نرعقیم داخلی ثبت‌شده در ایران) و (NC100 هیبرید نرعقیم خارجی) با مشخصات ظاهری شبیه به‌هم به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. در اواخر بهمن ماه سال ۱۳۹۸ بذرپاشی درون خزانه انجام و پس از سبزشدن نشاها هنگامی‌که ارتفاع آن به ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر رسید، در اردیبهشت ماه سال بعد (۱۳۹۹) در زمین اصلی کاشته شدند. پس از مشخص نمودن مزرعه، آزمایش نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر جهت تعیین مشخصات فیزیکی-شیمیائی خاک صورت گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

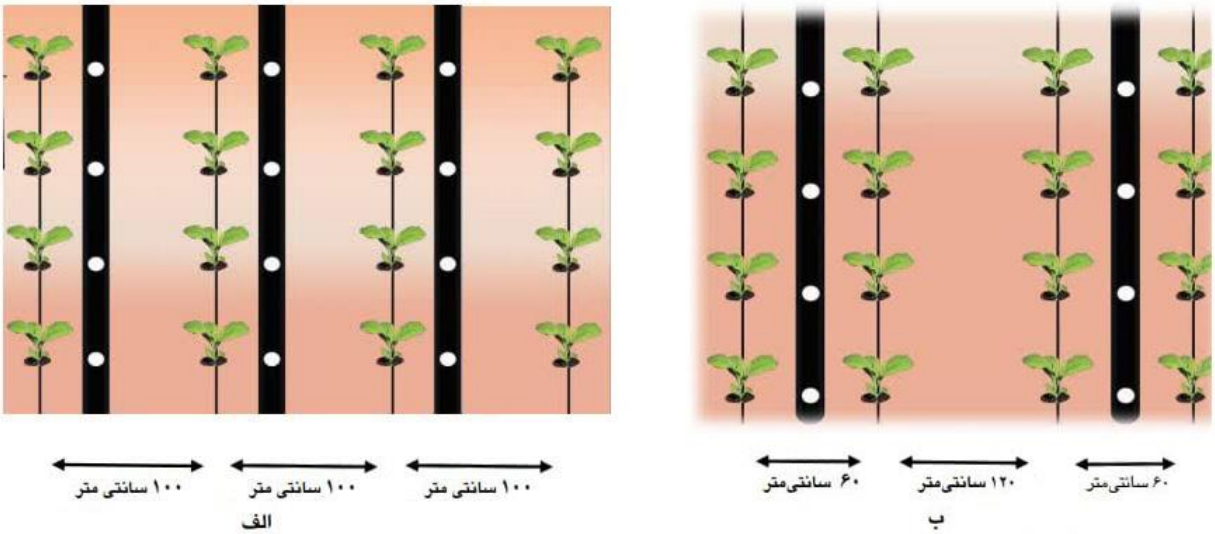
عمق خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته گل اشباع	نقطه پژمردگی	ظرفیت مزرعه‌ای	نیتروژن کل	کربن آلی	مواد خنثی شونده	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب
cm	$dS.m^{-1}$		٪					$mg.kg^{-1}$	
۰-۳۰	۰/۵	۷/۶	۲۱	۲۵/۵	۰/۰۶۸	۰/۵۷	۱۱/۵	۲۲۰	۲۰

جدول ۲- توصیه مقادیر کودهای شیمیایی کشت یک هکتار توتون ویرجینیا بر مبنای درجات حاصلخیزی خاک (براساس آزمون خاک)

کربن آلی	اوره	پتاسیم قابل جذب	سولفات پتاسیم	فسفر قابل جذب	سوپر فسفات تریپل
(%)	($Kg.ha^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($Kg.ha^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($Kg.ha^{-1}$)
۰/۵۷	۱۰۰	۲۲۰	۳۰۰	۲۰	۵۰

سپس بادستگاه روتیواتور زمین شخم زده شد. از مقدار کود توصیه‌شده در آزمون خاک (جدول ۲)، نیمی از نیتروژن (کود اوره)، نیمی از پتاسیم (کود سولفات پتاسیم) و تمامی فسفر (کود سوپرفسفات تریپل) به عنوان کود پایه به زمین داده شد. نیمی دیگر از کود نیتروژن و پتاسیم توصیه‌شده در آزمون خاک ۳۵ روز بعد از کاشت هنگام رشد سریع توتون در سه مرحله به فاصله هر ۱۵ روز به‌صورت کوددهی خاکی و در تیمارهای کوددهی برگی، با نسبت سه در هزار محلول‌پاشی گردید. حد بحرانی توتون برای عناصر اصلی N, P, K در خاک به‌ترتیب ۰/۲ درصد، ۱۴ و ۲۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می باشد (قلی‌زاده و همکاران ۱۳۹۲). آبیاری پیش از کاشت و بعد از کاشت برای تمامی تیمارها انجام شد. وجین علف‌های هرز هنگام خاک‌دهی پای بوته‌ها با دست انجام گرفت. برای اندازگیری صفات طول برگ، عرض برگ و قطر ساقه، یک ماه پس از عمل سرزنی و رسیدگی فیزیولوژیک از هر کرت پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و طول و عرض دو برگ از کمربرگ بوته (کمربرگ بزرگ‌ترین و پهن‌ترین برگ‌های هر بوته) با متر اندازگیری شد. ارتفاع بوته و تعداد برگ در پایان فصل رشد گیاه توتون اندازه‌گیری و شمارش شد. برای اندازگیری کلروفیل و سطح برگ یک ماه پس از عمل سرزنی، در زمان رشد سریع و رسیدگی فیزیولوژیک برگ، تعداد دو بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب، نخست کلروفیل آن با دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD- 502, MinoHa, Japan) اندازه گرفته شد. سپس طول و عرض برگ با اندازگیری و با استفاده از رابطه ۱ سطح برگ محاسبه شد (صلواتی ۲۰۰۰).

رابطه (۱) $سطح\ برگ = طول\ برگ \times عرض\ برگ \times 0.57$



شکل۱- الف : کشت تک ردیفه (مرسوم) ب: کشت دوردیفه

جهت تعیین عملکرد تر و خشک توتون در ساعات اولیه صبح برگ‌های رسیده در هر چین برداشت و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن و سپس به گرم‌خانه منتقل شدند. عملکرد وزن سبز برای هر چین به‌طور جداگانه محاسبه و در پایان جمع شد. مدت زمان عمل‌آوری توتون در گرم‌خانه بسته به جایگاه برگ روی بوته (پابرگ، کمربرگ و لچه برگ) و زمان برداشت برگ (هوای خشک یا مرطوب) از پنج تا هفت روز متغیر است. پس از عمل‌آوری و خارج کردن برگ‌ها از گرم‌خانه بر حسب کیفیت ظاهری توسط کارگران زبده به ۳۲ درجه مختلف جدا شده و توتون‌های هر درجه به‌منظور تعیین عملکرد توزین

شدند. متوسط قیمت یک کیلوگرم برگ توتون با استفاده از مجموع قیمت درجات یک تیمار و تبدیل آن بر حسب کیلوگرم، بر اساس جدول نرخ خرید تضمینی که از طرف شرکت دخانیات ایران برای سال ۱۳۹۹ ارزش گذاری گردید، به‌دست آمد. درآمد ریالی که گویای درآمد حاصل از فروش محصول (برگ‌های استحصالی) توتون می‌باشد از حاصل ضرب عملکرد در هکتار در قیمت یک کیلوگرم توتون مشخص گردید (زمانی ۲۰۱۰). از برگ‌های عمل‌آوری شده ناحیه کمر برگ چین سوم که دارای بزرگ‌ترین و بهترین برگ‌ها از لحاظ رشدی بودند، درصد قند کل با روش کرستا (no. 38 ISO/DIS 15154 ۱۹۹۴a) و درصد نیکوتین با روش کرستا (no. 35 ISO/DIS 15152 ۱۹۹۴b) توسط دستگاه اتوآنالیزر مدل ایکس ال ۱۰۰، نیتروژن (روش کجلدال)، فسفر و پتاسیم (روش تصویری کیت نلسون) تعیین شدند. پس از وارد کردن داده‌ها و آزمون فرضیات تجزیه واریانس و اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها و آنالیز آماری با نرم افزار SAS (SAS Institute, 2004) نسخه ۹/۱ انجام شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح آماری پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد صفت سطح برگ تحت تاثیر اثر ساده‌ی روش کوددهی و برهم‌کنش رقم × آرایش کاشت قرار گرفت (جدول ۳).

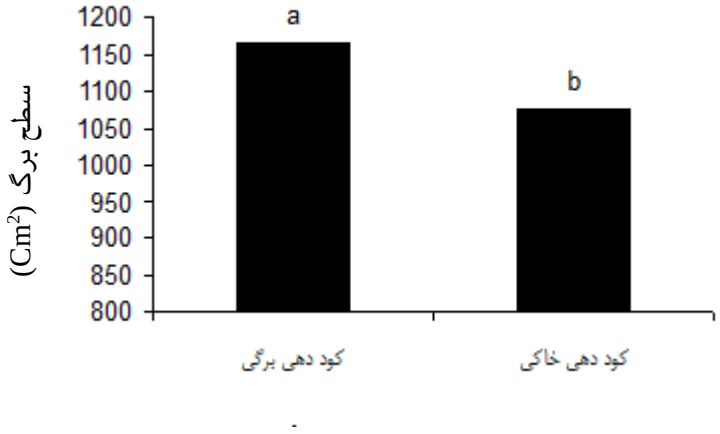
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه توتون ویرجینیا

منابع تغییر	درجه آزادی	سطح برگ	عملکرد سبز	کلروفیل برگ	ارتفاع بوته
بلوک	۲	۰/۲۰	۴۵۰۳۷	۲/۷۲	۵۰/۳۷
روش کوددهی (A)	۱	۱۱۲/۹ **	۷۴۷۳۱۸۲۴**	۵/۷۵**	۳۹۲/۰۴**
خطای a	۲	۰/۱	۱۰۴۴۸۸	۰/۳۴	۲۰/۰۴
رقم (B)	۱	۱۵۴۷/۹۰**	۳۲۴۸۷۰۴۱۶**	۵/۵۹*	۴۲۴۰/۰۴**
خطای b	۲	۰/۹۹	۵۲۲۷۹	۰/۲۸	۱۵/۲۹
A×B	۱	۳/۲ns	۲۴۱۴۰۲۰۴**	۲۷۳/۵۷**	۰/۰۴ns
آرایش کاشت (C)	۱	۳۷۹/۲۸**	۱۲۹۷۵۶۹۲۰۴**	۳۷۱۷/۸۱**	۷۳۷/۰۴**
A×C	۱	۰/۸۶ns	۳۳۵۲۵۳۷۵۰**	۱۲۳/۹۸**	۷۷/۰۴*
B×C	۱	۲۸/۰۳**	۲۱۱۴۶۴۰**	۷۴۳/۸۱**	۱۸/۳۷ns
A×B×C	۱	۴/۲۳ns	۱۲۱۹۷۷۴۶۸**	۶۷/۲۳**	۳۵/۰۴ns
خطای آزمایشی	۱۲	۱/۲۰	۱۴۲۰۰۲	۰/۵۶	۱۲/۴۲
ضریب تغیرات (٪)		۳/۴	۱/۱	۱/۳	۳/۲
برش‌دهی اثر متقابل: مجموع مربعات اثر برهم‌کنش آرایش کاشت و رقم در دو روش کوددهی					
کوددهی خاکی	۳	۳۰۶/۲۱**	۱۵۵۳۰۱۰۹۸ *	۵۰۸/۱۰ **	۷۷۵/۸۶ *
کوددهی برگی	۳	۳۴۸/۳۲ **	۵۴۶۶۷۴۱۳۰ *	۱۱۳۵/۹۰ **	۹۲۶/۶۶ *

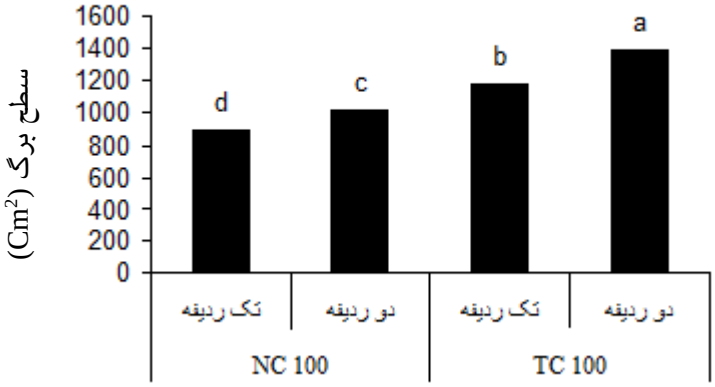
*، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح پنج و یک درصد و غیر معنی دار می باشد.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میزان سطح برگ در تیمارهای کوددهی برگی بیشتر از کوددهی خاکی بود (شکل ۲). همچنین تاباکسی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی نشان دادند کاربرد کود برگی نیتروژن، عملکرد و اندازه برگ توتون را افزایش داد. هازم و همکاران (۲۰۱۲) نیز در تحقیقی گزارش کردند که کاربرد کودهای برگی اثر مثبت و قابل‌توجهی بر کیفیت ظاهری برگ‌های توتون داشت. به‌نظر می‌رسد پذیرفته

شده‌ترین دلیل در این رابطه مطابق با پژوهش کالیسکان و همکاران (۲۰۱۷) است. این محققین بیان داشتند کاربرد کودهای برگی با افزایش فتوسنتز و تبادل سرعت گازی در برگ‌های توتون، میزان فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای را که عاملی برای افزایش سطح برگ می‌باشد، در شرایط محلول‌پاشی برگی بیشتر از موارد بدون محلول‌پاشی افزایش می‌دهد. شکل ۳ نشان می‌دهد، سطح برگ در رقم TC100 در هر دو روش کاشت بیشتر از رقم NC100 بود. رقم TC100 در کشت دوردیفه بیش‌ترین سطح برگ را داشت. اونلاز (۲۰۱۵) نیز در تعیین مناسب‌ترین فضای برداشت و تأثیر آن بر ویژگی‌های کمی و کیفی کوکر ۳۴۷ افزایش سطح برگ را با کاهش فاصله بوته گزارش نمود. در پژوهشی دیگر سطح برگ افزایش یافت. افزایش تراکم گیاه موجب افزایش سطح برگ در توتون گرم‌خانه‌ای شد (زوکسین تنگ ۲۰۲۰).



شکل۲ -مقایسه میانگین سطح برگ تحت تأثیر تیمار ساده روش کوددهی



شکل ۳- مقایسه میانگین سطح برگ در برهم‌کنش رقم و آرایش کاشت

عملکرد سبز

عملکرد سبز تحت تأثیر تیمار ساده و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). در تیمار کوددهی برگی و کشت دوردیفه، عملکرد سبز رقم NC100 حدود ۵۷ درصدی نسبت به کشت مرسوم (تک‌ردیفه) بیشتر بود. این مقدار در کاشت دوردیفه رقم NC100 تنها ۰/۵

درصد بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد وضعیت فیزیولوژیک گیاه و ویژگی‌های فیزیکی از جمله شکل برگ، ترکیب کوتیکول، ساختار مومی سطح برگ، ساختار سطح برگ، وجود کرک‌های برگ، مرحله فنولوژیکی گیاه و تحرک ماده غذایی در داخل گیاه عامل اصلی اختلاف در جذب برگی توسط این ارقام باشد (جاش‌بی و همکاران ۲۰۱۹). آزادبخت (۲۰۱۶) در تحقیقی نشان داد عملکرد و ابعاد برگ توتون با کاهش فاصله کاشت بیش‌تر می‌شود. به‌نظر می‌رسد زمانی که فاصله نزدیک‌تر و تراکم بیشتر شود میزان رشد توتون به منظور دریافت نور زیادتر و در نتیجه عملکرد بیشتری به‌دست می‌آید. افزایش شاخص سطح برگ بر اثر سایه‌اندازی یکی از راه‌هایی است که برای افزایش سطح فتوسنتزکننده به‌منظور تضمین عملکرد در شدت‌های نوری پایین رخ می‌دهد. بنابراین، جبران فتوسنتز پایین در واحد سطح برگ، از ویژگی برگ‌های قرار گرفته در سایه محسوب می‌شود (دارابی و همکاران ۲۰۱۴). در تیمار کوددهی خاکی بیش‌ترین عملکرد سبز از رقم TC100 در کاشت دوردیفه و کم‌ترین عملکرد سبز از رقم NC100 در کاشت تک‌ردیفه به‌دست آمد (جدول ۴). در مطالعه حاضر رقم TC100 در کاشت دوردیفه عملکرد سبز برگ بیشتری نسبت به رقم NC100 در هر دو روش کاشت داشت. این نتیجه بیان‌گر پتانسیل تولید برگ سبز بیشتر رقم TC100 نسبت به رقم NC100 می‌باشد.

شاخص کلروفیل برگ (SPAD)

در تیمار کود برگی، رقم TC100 در کاشت دوردیفه شاخص کلروفیل برگ بیش‌تری داشت. همچنین در تیمار کوددهی خاکی کاشت دوردیفه، رقم TC100 افزایش حدود ۲۸ درصدی این صفت را نسبت به کاشت تک‌ردیفه موجب شد (جدول ۴). کاهش فاصله ردیف و افزایش تراکم بوته‌ها موجب سایه‌اندازی برگ‌ها روی هم، افزایش عدد کلروفیل‌مترو هم‌زمان تخصیص نیتروژن بیشتری به کمپلکس‌های برداشت نور می‌شود (مارشنر ۲۰۱۲).

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات کمّی عملکرد سبز، کلروفیل برگ و درآمد توتون تحت برهم‌کنش رقم، آرایش کاشت و روش کوددهی.

منابع تغییر		عملکرد سبز ($Kg.ha^{-1}$)		درصد تغییر	شاخص کلروفیل برگ (SPAD)		درصد تغییر	درآمد (تومان در هکتار)		درصد تغییر
		آرایش کاشت			آرایش کاشت			آرایش کاشت		
روش کوددهی	رقم	تک‌ردیفه	دوردیفه		تک‌ردیفه	دوردیفه		تک‌ردیفه	دوردیفه	
خاکی	NC100	۱۹۸۶۷^{d}	۲۱۰۵۰^{c}	+۵/۹۵	۴۵/۱۰^{c}	۴۷/۱۶^{b}	+۴/۵۶	۶۵۲۴۸۲۲۱^{d}	۷۵۰۱۸۷۳۷^{c}	+۱۴/۹۷
	TC100	۲۵۳۱۶^{b}	۳۱۵۰۵^{a}	+۲۴/۴۴	۳۱/۲۳^{d}	۷۱/۳۰^{a}	+۲۸/۳۰	۷۷۸۸۵۵۲۵^{b}	۹۳۹۶۶۲۱۳^{a}	+۲۰/۶۴
برگی	NC100	۲۳۱۸۳^{c}	۳۶۴۶۲^{b}	+۵۷/۲۷	۵۹/۰۸^{d}	۷۳/۳^{b}	+۲۴/۰۶	۷۴۳۰۱۷۳۴^{d}	۱۱۸۱۳۱۳۷۶^{c}	+۵۸/۹۸
	TC100	۴۸۳۳۳^{a}	۴۸۵۸۳^{a}	+۰/۵۱	۶۸/۴۷^{c}	۷۵/۱۷^{a}	+۹/۷۸	۱۵۸۱۰۰۲۶۱^{b}	۱۷۰۶۲۲۴۲۲^{a}	+۷/۹۲

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار کوددهی براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. درصد تغییر بیانگر میزان افزایش (+) یا کاهش (-) صفات مورد مطالعه در کاشت دوردیفه در مقایسه با کاشت تک‌ردیفه در هر رقم و روش کوددهی است.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد ارتفاع بوته تحت تأثیر روش کوددهی، رقم، آرایش کاشت و برهم‌کنش دو عامل قرار گرفت (جدول ۳). ارتفاع بوته در رقم TC100 بالاتر از رقم NC100 بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به‌ترتیب در تیمار کوددهی برگی و در الگوی کاشت دوردیفه و تیمار کوددهی خاکی در الگوی کاشت تک‌ردیفه به‌دست آمد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد دریافت نور عاملی برای بلندتر شدن طول بوته در آرایش کاشت دوردیفه نسبت به کاشت تک‌ردیفه

باشد. همچنین در تحقیقی کالیسکان و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که ارتفاع توتون در تیمارهای محلول‌پاشی‌شده بیشتر از تیمار شاهد بود ولی کیفیت برگ تحت تأثیر محلول‌پاشی قرار نگرفت.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات ارتفاع بوته و قیمت در دو رقم توتون ویرجینیا

رقم	ارتفاع بوته (cm)	قیمت واحد (ریال در کیلوگرم برگ)
NC100	۹۸/۳۳^{b}	۱۵۵۵۱۷^{b}
TC100	۱۲۴/۹۱^{a}	۱۷۱۵۲۷^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات ارتفاع بوته تحت اثر برهم‌کنش روش کوددهی و آرایش کاشت

روش کوددهی	آرایش کاشت	ارتفاع بوته (cm)
خاکی	**تک‌ردیفه**	۱۰۳/۸۳^{d}
	دوردیفه	۱۱۱/۳۳^{b}
برگی	**تک‌ردیفه**	۱۰۸/۳۳^{c}
	دوردیفه	۱۲۳/۰۰^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

نیتروژن کل برگ

نیتروژن کل برگ تنها تحت تأثیر آرایش کاشت و برهم‌کنش آن با رقم قرار گرفت (جدول ۷). رقم NC100 در کاشت تک‌ردیفه نیتروژن کل بیشتر و رقم TC100 در کاشت دوردیفه نیتروژن کل کم‌تری داشت (جدول ۸). به‌نظر می‌رسد در آرایش کاشت دوردیفه و فاصله کم‌تر رقابت گیاه برای دریافت کود افزایش یافته از این‌رو نیتروژن کم‌تری از سوی گیاه جذب و در برگ‌ها مشاهده شده‌است. نتیجه به‌دست آمده با نتایج کاپر (۲۰۱۰) مطابقت دارد. ایشان در تحقیقی بیان داشتند که با افزایش تراکم کاشت، توده ریشه گیاه نیز به همین نسبت کاهش می‌یابد. در نتیجه نیتروژن جذب‌شده توسط ریشه توتون کاهش می‌یابد. همچنین دلیل این کاهش را می‌توان به‌اثر رقت نیتروژن ناشی از افزایش سطح برگ در تیمار رقم TC100 در کاشت دوردیفه مربوط دانست (شکل ۲). در توجیه این مطلب می‌توان گفت، با افزایش سطح برگ در گیاه و جذب عنصر، مقدار آن در بافت گیاه در سطح بیشتری پخش شده در نتیجه غلظت نیتروژن کاهش می‌یابد (جاریل و برلی ۱۹۸۱). از آن‌جا که در این پژوهش رقم NC100 در هر دو آرایش کاشت نسبت به رقم TC100 نیتروژن کل بیشتری داشته است بنابراین به‌نظر می‌رسد نیتروژن کل برگ بیش از آن‌که از آرایش کاشت متأثر باشد تحت تأثیر رقم قرار گرفته است. در همین ارتباط بیلاتس و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند کیفیت توتون را می‌توان به‌طور قابل‌توجهی توسط رقم و شیوه‌های رشد تغییر داد. پیش‌تر گزارش شده بود که ترکیب شیمیایی برگ توتون از رقم و ویژگی‌های بیولوژیکی گیاه بیشتر از شرایط محیطی تأثیر می‌پذیرد (جِنگ و همکاران ۲۰۱۹).

درصد نیکوتین برگ

براساس یافته‌ها نیکوتین برگ جز در برهم‌کنش آرایش کاشت و رقم تفاوت معنی‌داری نداشته است (جدول ۷). درصد نیکوتین برگ در تیمار ترکیبی رقم NC100 در هر دو شرایط آرایش کاشت نسبت به تیمار ترکیبی رقم TC100 در شرایط مشابه مقدار بالاتری داشت (جدول ۸). در همین ارتباط جاش‌بی و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی بیان داشتند مهم‌ترین تصمیم زراعی که بر میزان نیکوتین برگ‌ها تأثیرگذار است انتخاب نوع

رقم است. تراکم گیاه در مزرعه تاثیر قابل توجهی بر میزان نیکوتین دارد. با افزایش تراکم غلظت نیکوتین برگ کاهش می‌یابد. زلکا (۲۰۱۹) در تحقیقی بیان داشت، گیاهان با فاصله نزدیک‌تر به‌دلیل رقابت برای دریافت

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه توتون ویرجینیا در روش‌های کوددهی و آرایش کاشت

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن کل	نیکوتین	پتاسیم	قند	قیمت یک کیلوگرم توتون	درآمد
بلوک	۲	۳/۶۶	۰/۰۸۵	۰/۰۷	۱/۲۳	۷۱۵۰۲۳۸۰۹	۳/۶۸
روش کوددهی (A)	۱	۱۹/۸۵^{ns}	۰/۵۱^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۲۴^{ns}	۵۷۲۳۵۲۸۸۰۶^{ns}	۱/۰۵^{ns}
خطایa	۲	۱۲/۱۵	۰/۰۹	۰/۲۳	۸/۳۰	۹۳۸۸۰۹۲۶۶	۳/۸۸
رقم (B)	۱	۱۱/۶۶^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۱/۷۰^{ns}	۱۵۳۷۹۰۱۴*	۱/۲۲**
خطایb	۲	۶/۳۹	۰/۱۱	۰/۰۶	۳/۳۸	۳۱۳۱۲۰۶۲۳	۱/۰۷
A×B	۱	۳۲/۳۶^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۴۷۷۹۰۱۰۰۹^{ns}	۹/۳۹*
آرایش کاشت (C)	۱	۴۵/۷۳**	۱/۷۰^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۸/۱۶^{ns}	۸۱۶۶۰۱۸۳^{ns}	۱/۶۳**
A×C	۱	۲۹/۶۳^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۱۰/۴۰^{ns}	۹۶۵۲۸۸۴^{ns}	۴/۱۱**
B×C	۱	۱۱۷/۷۹**	۲/۹۹**	۰/۳۵*	۲۳/۶۰*	۶۰۱۹۹۹۰۷۷^{ns}	۱/۱۱^{ns}
A×B×C	۱	۹/۴۱^{ns}	۰/۵۵^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۳/۲^{ns}	۸۴۵۰۲۵۷^{ns}	۱/۴۷**
خطای آزمایشی	۱۲	۲/۱۷	۰/۱	۰/۰۳	۲/۷	۲۷۷۳۰۵۳۳	۱/۰۵
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۱	۱۶/۱	۱۶/۶	۱۰/۶	۱۰/۱	۹/۸
برش‌دهی اثر متقابل: مجموع مربعات اثر برهم‌کنش آرایش کاشت و رقم در دو روش کوددهی							
کود خاکی	۳	۷۰/۹۴ **	۱/۴۰ **	۰/۰۸۰ ^{ns}	۷/۵۴ *	۱۵۲۷۴۴۶۶۴ *	۱/۶۸ **
کود برگی	۳	۱۱/۲۵ **	۰/۴۰ **	۰/۱۵ *	۸/۱۹ *	۷۵۳۱۱۰۲۷۸ *	۶/۳۵ **

*، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح پنج و یک درصد و غیر معنی دار می باشد.

نیتروژن، محتوی نیکوتین کم‌تر تولید می‌کنند. در توجیه این مطلب مجید و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند، نیتروژن جزیی از مولکول نیکوتین است، هنگامی‌که نیتروژن در خاک به‌مقدار زیادی موجود باشد نیکوتین بیشتری در گیاه تولید می‌شود. در پژوهشی دیگر دلیل این امر را احتمالاً به سبب رقابت زیاد بین ریشه‌هایی که در آن آلکالوئید ساخته می‌شود دانستند (بیلاتس و همکاران ۲۰۱۵). تراکم گیاه در مزرعه تاثیر قابل‌توجهی بر میزان نیکوتین برگ دارد. با افزایش تراکم غلظت نیکوتین برگ کاهش می‌یابد (جاش‌بی و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین در گیاهانی که با فاصله کمتر کشت می‌شوند به‌دلیل رقابت برای دریافت مواد غذایی، نیتروژن به اندازه کافی در دسترس قرار نمی‌گیرد در نتیجه منجر به کاهش محتوی نیکوتین برگ می‌شود. اما در فاصله بیشتر بین ردیف‌ها رقابت برای دریافت نیتروژن وجود ندارد و این امر موجب بالا رفتن میزان نیکوتین در برگ می‌شود (بیلالیس و همکاران ۲۰۱۵). مشابه پژوهش‌های قبلی همبستگی مثبت (r= +۰/۲۸) بین غلظت نیتروژن در برگ با نیکوتین مشاهده شد (جدول ۹). همچنین غلظت نیتروژن در برگ با نیکوتین همبستگی مثبت دارد (کریشنا و همکاران ۲۰۱۶، مجید و همکاران ۲۰۲۰). این محققین دلیل این همبستگی مثبت وجود نیتروژن در ساختار مولکول نیکوتین دانستند. بنابراین هنگامی‌که نیتروژن در خاک موجود باشد نیکوتین بیشتری در گیاه تولید خواهد شد.

درصد پتاسیم برگ

براساس یافته‌ها، تنها برهم‌کنش رقم و آرایش کاشت بر پتاسیم برگ اثر معنی‌داری داشت (جدول ۷). در رقم TC100، استفاده از کاشت دوردیفه موجب افزایش معنی‌دار پتاسیم برگ شد (جدول ۸). مشابه پژوهش‌های گذشته (زلکا ۲۰۱۹، کریشنا و همکاران ۲۰۱۶) محتوی پتاسیم برگ با میزان فراهمی نیتروژن از همبستگی منفی (r= -۰/۲۸) برخوردار بود (جدول ۹). دلیل این امر استفاده موثر از نیتروژن و تبدیل سریع آن به پروتئین توسط گیاه توتون در حضور یون پتاسیم گزارش شد (کریشنا و همکاران ۲۰۱۶).

جدول ۸- مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم و آرایش کاشت بر صفات نیکوتین، پتاسیم و نیتروژن کل و قند برگ توتون

رقم	آرایش کاشت	نیکوتین	پتاسیم	نیتروژن کل	قند
		درصد			
NC100	تک‌ردیفه	۲/۶۵^{a}	۱/۰۳^{b}	۲۲/۳۹^{a}	۱۳/۸۰^{c}
	دوردیفه	۱/۹۷^{b}	۱/۱۱^{b}	۱۶/۵۶^{bc}	۱۶/۳۱^{ab}
TC100	تک‌ردیفه	۱/۸۰^{bC}	۱/۱۶^{b}	۱۸/۲۳^{b}	۱۵/۵۰^{b}
	دوردیفه	۱/۴۱^{c}	۱/۴۵^{a}	۱۵/۲۰^{c}	۱۶/۹۵^{a}

میانگین‌های دارای حروف یا حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

جدول ۹-همبستگی صفات نیتروژن کل برگ، نیکوتین، قند، پتاسیم برگ با سایر صفات مورد بررسی در این آزمایش

	نیتروژن کل برگ	نیکوتین	قند	پتاسیم
نیکوتین	۰/۲۸	۱		
قند	-۰/۰۱	-۰/۱۴	۱	
پتاسیم	-۰/۲۸	۰/۰۷	۰/۲۳	۱
کلروفیل	-۰/۱۶	-۰/۲۸	۰/۷۵**	۰/۴۱
عملکرد سبز	۰/۲۸	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۷۸**
سطح برگ	۰/۳۱	۰/۵۵	-۰/۶۶*	-۰/۰۶
ارتفاع بوته	۰/۱۵	-۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۰۵
قیمت	۰/۵۶*	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۹۵**
درآمد	۰/۲۳	۰/۰۷	۰/۳۴	۰/۰۴۲

*، ** و بدون علامت به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار

محتوی قند

تنها برهم‌کنش رقم × آرایش کاشت بر محتوی قند برگ معنی‌دار شد (جدول ۶). در پژوهش حاضر، محتوی قند در محدوده بین ۱۶/۹۵ – ۱۳/۸۰ درصد قرار گرفت. کاشت دوردیفه رقم TC100 بیش‌ترین و کاشت تک‌ردیفه رقم NC100 کم‌ترین محتوی قند را داشت (جدول ۷). برخی پژوهش‌گران گزارش کردندکه افزایش تراکم کاشت افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش محتوی قند برگ را به‌همراه دارد (لویز ۲۰۱۹، کینای ۲۰۲۱). در همین راستا کاپر (۲۰۱۰) بیان داشتند که با افزایش تراکم کاشت ضریب سطح برگ توتون افزایش یافت و در نتیجه محتوی قند برگ در تراکم بالا افزایش یافت (زاهو و همکاران ۲۰۱۹). نیتروژن کمتر به گیاه باعث ساختن زودرس نشاسته در گیاهان می‌شود و به تجمع نشاسته در گیاه کمک می‌کند. محتوی قند با در دسترس بودن نیتروژن نسبت عکس دارد (زلکا و همکاران ۲۰۱۹). به‌نظر می‌رسد این اختلاف به‌دلیل میزان تجزیه بیشتر نشاسته و تبدیل آن به قند و میزان رسیدگی برگ‌ها باشد از این‌رو تیمار ترکیبی(کاشت دوردیفه × رقم TC100) به‌دلیل دارا بودن برگ‌های رسیده‌تر و تجزیه بیشتر نشاسته به‌قند طی عمل‌آوری برگ‌ها، دارای درصد قند بیشتری بوده و تیمار ترکیبی (کاشت تک‌ردیفه × رقم NC100) به‌دلیل عدم رسیدگی مناسب برگ‌ها و تجزیه کمتر نشاسته به قند، دارای درصد قند کمتری در برگ‌ها بوده است.

عملکرد اقتصادی

قیمت

بر اساس یافته‌ها قیمت توتون تنها تحت تأثیر اثر ساده رقم قرار گرفت (جدول ۷). نتایج میانگین داده‌ها بیانگر آن بود رقم TC100 قیمت بالاتری نسبت به رقم NC100 داشت (جدول ۵). توتون ویرجینیا بر اساس ۳۶ درجه بین‌المللی که در آن‌ها چین، کیفیت و رنگ برگ ملاک ارزیابی می‌باشد قیمت‌گذاری می‌شود. کلروفیل از

جمله رنگ‌دانه‌های اصلی برگ توتون است و به‌هنگام رنگ‌آوری برگ کلروفیل آن شکسته شده و به زانتوفیل (رنگ زرد) و کاروتن (رنگ قرمز) تبدیل می‌شود. برگ‌هایی با حداقل ۳۰ سانتی‌متر طول، رنگ زرد مایل به قرمز، بدون صدمه مکانیکی و دارای بافت الاستیسیته کافی از قیمت بالایی برخوردار خواهند بود (زمانی ۲۰۱۰). غلظت بالای پتاسیم در توتون باعث ایجاد عطر، طعم، خوش‌سوزی بهتر و بالا رفتن ارزش درجه خرید برگ توتون می‌شود (تنگ و همکاران ۲۰۱۹). از این‌رو این افزایش قیمت را می‌توان به درصد قند بالاتر، کلروفیل بیشتر و رنگ‌آوری بهتر رقم TC100 نسبت به رقم NC100 مربوط دانست.

درآمد

درآمد توتون تحت تأثیر تیمار ساده رقم، آرایش کاشت و برهم‌کنش تیمار دوگانه و سه گانه قرار گرفت (جدول۷). میزان درآمد رقم TC100 در هر دو تیمار کاشت و کوددهی از رقم NC100 بالاتر بود (جدول ۴). برش‌دهی فیزیکی نشان داد کودبرگی در رقم TC100 در کاشت دوردیفه، موجب افزایش حدود ۸ درصد و در کوددهی خاکی افزایشی در حدود ۲۱ درصد درآمد نسبت به کاشت تک‌ردیفه شد (جدول ۴). درآمد ریالی در هکتار از حاصل‌ضرب عملکرد در هکتار در قیمت یک کیلوگرم برگ توتون محاسبه می‌گردد (زمانی ۲۰۱۰). از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت، قیمت و عملکرد توتون هر دو بر درآمد تأثیرگذار هستند. همچنین کم‌شدن فاصله بین ردیف در کاشت دوردیفه موجب رشد برگ‌ها به سمت خارج ردیف‌ها گشته و برداشت برگ‌ها را آسان‌تر کرده، از این‌رو کم‌ترین صدمه مکانیکی و بالاترین کیفیت برگ‌ها به‌دست می‌آید (میرسولاو ۲۰۱۰).

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد عملکرد برگ سبز رقم NC100 در برهم‌کنش تیمار کود برگی و کشت دوردیفه حدود ۵۷ درصد نسبت به کشت مرسوم (تک‌ردیفه) بیشتر بود. در برهم‌کنش تیمار کوددهی خاکی در کاشت دوردیفه، رقم TC100 افزایش حدود ۲۸ درصدی شاخص کلروفیل را نسبت به کاشت تک‌ردیفه نشان‌داد. همچنین، سطح برگ در تیمارهای کوددهی برگی بیش‌تر از کوددهی خاکی بود. درصد نیکوتین برگ در برهم‌کنش رقم NC100 در هر دو شرایط آرایش کاشت تک‌ردیفه و دوردیفه نسبت به برهم‌کنش رقم TC100 در شرایط مشابه کاشت، افزایش داشت. کاشت دوردیفه موجب افزایش معنی‌دار پتاسیم برگ در رقم TC100 شد و برهم‌کنش رقم و آرایش کاشت بر پتاسیم برگ اثر معنی‌داری داشت. همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین محتوی قند به ترتیب از رقم TC100 با آرایش کاشت دوردیفه و NC100 با آرایش کاشت تک‌ردیفه به‌دست‌آمد. در پایان نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌داد، با تغییر آرایش کاشت از کشت مرسوم تک‌ردیفه به‌کاشت دوردیفه می‌توان کیفیت و کمّیت توتون را افزایش داد. همچنین توتون‌کاران می‌توانند با تغییر در روش نحوه اعمال کود سرک و مصرف آن به‌صورت برگی، ضمن حفظ خواص کیفی و کمّی عملکرد توتون با کاهش میزان کود مصرفی گام بلندی در جهت کاهش هزینه‌های تولید و آسیب‌های زیست‌محیطی بردارند.

سپاسگزاری

به‌این وسیله از حمایت‌های مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در طول اجرای این پژوهش قدردانی به‌عمل می‌آید..

منابع مورد استفاده

Al-Majdi MH, Ghobadi M and Honarmand SJ. 2020. Effect of light intensity and nitrogen addition on some growth parameters of pea (Pisum sativum L.). Plant Archives, 20: 975-980. https://doi.org/10.1104/pp.60.6.868

Azadbakht M, Ghajarjazi E, Kiapei A, Jafari H, Salehi E and Pishgar R. 2016. Effects of variety and plant spacing on weight, surface and yield of tobacco leaf (K326 and 347 Var). Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 8(3): 220-224.

Basha S, Manjunath J, Bai P and Rao C. 2019. Response of bidi tobacco (Nicotiana tabacum L.) to foliar nutrition with nitrogen and potassium under rain fed conditions. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(1): 205-207. https://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810176550

Bilalis DJ, Travlos IS, Portugal J, Tsioros S, Papatheohari YY, Avgoulas C, Tabaxi I, Alexopoulouc E and Kanatas PJ. 2015. Narrow row spacing increased yield and decreased nicotine content in sun-cured tobacco (Nicotiana tabacum L.). Industrial Crops and Products, 75: 212-217. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.057

Caliskan O, Dursun K and Ahmet K. 2017. Effects of different levels of foliar NPK fertilizer on agronomic properties of two oriental tobacco varieties. Тутун/Tobacco. 67: 65-71.

Copper V.L. 2010. Effects of plant spacing and height of topping at two nitrogen rates on some agronomic characteristics on bright tobacco. Tobacco Science, 13:150-152**.**

Coresta, 1994a. Coresta recommended method no. 35. Determination of total alkaloids (as nicotine) in tobacco by continuous flow analysis. Available from: http://www.coresta.org/ Recommended_Methos/ CRM_35.pdf.

Coresta. 1994b. Coresta recommended method no. 38. Determination of reducing carbohydrates in tobacco by continuous flow analysis. Available from: http:// www.coresta.org/ Recommended_Methos/ CRM_38.pdf.

Darabi F, Hatami A, Zare M.Z and Naseri R. 2014. Effect of shading on some important physiological traits in lentil crop. Journal of Crop Ecophysiology, 9(1): 109-122. https://sanad.iau.ir/en/Article/956498?FullText=FullText

Dursun K. 2021. Impacts of environmental variations on quality and chemical contents of oriental tobacco. Contributions to Tobacco and Nicotine Research, 30: 50-62. https://doi.org/10.2478/cttr-2021-0006

Eriksen M, Mackay J, Schluger N, Gomeshtapeh F.I, Drope J. 2015. The Tobacco Atlas, Fifth Edition. Atlanta, GA, USA: American Cancer Society. 46pp

Geng Y, Cao G, Wang L and Wang S. 2019. Effects of equal chemical fertilizer substitutions with organic manure on yield, dry matter, and nitrogen uptake of spring maize and soil nitrogen distribution. Plos One, 14: 1-16. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219512

Hazem, M.K, Carpentier R, Allakhverdiev S and Karolina B. 2012. Fluorescence parameters as early indicators of light stress in barley. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 112: 1–6. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2012.03.009

Hodgson J.F, Lindsay W.L and Trierweiler J.F. 1966. Micronutrient cation complexing in soil solution: II complexing of zinc and copper in dis placed solution from calcareous soils. Soil Science Society America Proceeding, 30: 723 -726.

Iran Tobacco Company. 2020. Statistics report of cultivation of Iran Tobacco Company. Iran Tobacco Company.31Pp. (In Persian).

Jarrell W.M and Beverly R.B. 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. Advances in Agronomy. 34: 197-224. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60887-1

Josh BH, Matthew CV and Ramswy SL. 2019. Agronomic practices affecting nicotine concentration in flue cured tobacco. Agronomy Journal, 3067-3075. https://doi.org/10.2134/agronj2019.04.0268

Josh BH, Matthew CV, Ingram MC, Paul C and Brian E. 2018. Nutrient disorders of burley and flue-cured tobacco. Crops Soils Magazine, 4(1). 1–9. https://doi.org/10.2134/cftm2017.11.0076

Kınay A and Kurt D. 2021. Chemical content and quality of sun cured tobacco lines. Anadolu Journal of Agricultural Sciences, 36(2): 282-292. https://doi.org/10.7161/omuanajas.872885

Kınay A, Güngör Y and Nejdet K. 2020. Yield and quality properties of some oriental tobacco (Nicotiana tabacum L.) hybrids. Genetika, 52(2): 735-750. https://doi.org/10.2298/GENSR2002735K

Krishna reddy s v, Kasturi k, krishnamurthy v, chandrasekhara rao c and anuradha m. 2016. Effect of N and K levels on growth, yield and nutrient uptake of FCV tobacco cv. Kanchan. Indian Journal of Agricultural Sciences, 86 (5): 691–5. https://doi.org/10.56093/ijas.v86i5.58357

Lewis RS. 2018. Potential mandated lowering of nicotine levels in cigarettes. A plant perspective. Nicotine Tobacco Research, 21 (7): 991–995. https://doi.org/10.1093/ntr/nty022

Mirsolav B, Ankica B, Mirko B, Hrvoje S and vinko K. 2010. Effect of within-row spacing on agronomic and morphological characteristics of the flue-cured cultivars. Tobacco Conspectus Scientificus Agricultural, 75(1):27-31.

Mlambo O. 2015. Effects of intra row spacing on growth, yield and quality of selected new flue cured tobacco (Nicotiana tabacum L.) varieties. A research project submitted in partial fulfilment of the requirements for the Bachelor of Science Agronomy Honours Degree. Department of Agronomy, Faculty of Natural Resources Management and Agriculture Midlands State University. 46p.

Mudzengerere I.E. 2013. Corn and soybean response to rotation sequence, row spacing, and tillage system. Crop Science. 95: 965-971. https://doi.org/10.2134/agronj2003.9650

Radoukova T.I and Dyulgerski Y.K. 2014. Comparative study on the effect of the climatic conditions on biological, economic and chemical characteristics of large-leaved tobacco samples of burley and Virginia groups. Ecologia Balkanica 5:49–54. http://eb.bio.uni-plovdiv.b

Salvati M.R. 2000. Determination of dry weight and leaf area using some morphological characteristics in commercial tobacco cultivars. Research Report of Iran Tobacco Company (79- 201- 2). 32-45 Pp. (In Persian).

Shakhzeinoddin A and Elahi M. 2021. Agricultural sustainability assessment in the Iranian provinces. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 32 (2): 349-366. (In Persian). https://doi.org/10.22034/saps.2021.46430.2690

Shamel rostami M.T, Nicmaram J, Ahifar H and Fattahi A. 2000. Effects of potassium rates in different fertile soils on flue-cured tobacco. Bull. Spec. CORESTA, 2000, Lisbon Congress, P 116, abstr. APOST15

Tabaxi L, Charikleia Z, Stella K, Antigoni-Eleni F, Ioanna K, Apostolos K and Dimitrios B. 2021. Effect of organic fertilization on quality and yield of oriental tobacco (Nicotiana tabacum L.) under Mediterranean conditions. Asian Journal Agriculture and Biology, (1): 1-7. https://doi.org/10.35495/ajab.2020.05.274

Tang H, Wang J, Li X, Zeng Zh, Liu L, Liu L and Yan H. 2019. The effect of water-nitrogen coupling on growth, yield and quality of flue-cured tobacco. Journal of Irrigation and Drainage, 38(6). 17–24. https://doi.org/10.3390/w14223665

Tso TC. 1990. Production, Physiology and Biochemistry of Tobacco Plant. Publisher: Ideals. 32. Pp

Wu Y.S, Gong W.Y and Yang W.Y. 2017. Shade inhibits leaf size by controlling cell proliferation and enlargement in soybean. Scientific Reports, 7: 9259. 10.1038/s41598-017-10026-5

Yang Y, Zhang S, Li N, Chen H, Jia H, Song X, Liu G, Ni Ch, Wang Zh, Shao H and Zhang S. 2019. Metagenomic insights into effects of wheat straw compost fertiliser application on microbial community composition and function in tobacco rhizosphere soil. Scientific Reports, 9: 6168. https://doi.org/10.1038/s41598-019-42667-z

Yemanne O.N. 2013. Response of soybean cultivars to narrow rows and planting rates under weed free conditions. Agronomy Journal, 69:89-92.

Zamani P. 2010. Cultivation and processing of tobacco. Iran Tobacco Company, 160 pp. (In Persian).

Zeleke M, Dawit D and Dereje S.K. 2019. Effect of nitrogen rate and intra-row spacing on yield components and quality of tobacco (Nicotiana tabacum L.) under irrigation condition at Achura in Wolaita zone, southern Ethiopia. International Journal of Research in Agriculture and Forestry, 6 (9): 13-22.

Zuoxin T, Lulu C.h, Zebin C.h, Yali F, Xiaolu S, Binbin W and Tiyuan X. 2020. Climatic factors determine the yield and quality of Honghe flue-cured tobacco. Scientific Reports, 10:1986.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 69-84

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

Assessment of some Integrated Weed Management Methods in Dryland chickpea in Eslamabad-Gharb, Kermanshah

Hazhir Yousefi[1], Jafar Asghari[2]*, Elmira Mohammadvand[3]

Received: 21 September 2021	Accepted: 31 August 2023

1. MSc. Graduated, Faculty of Agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Rasht, Iran
2. Prof., and Assist. Prof., Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Rasht, Iran.
*Corresponding Author Email: jafasghr@guilan.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The objective of this study was to evaluate the effectivity of combination of some integrated weed management methods on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietimum* L.) cv. Bivanij.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a factorial in completely randomized block design with 15 treatments each in four replications. The experimental factors included herbicide applications consisting of untreated herbicide, and pyridate; plant densities of 30, 40, and 50 plants m^{-2}; and cultivations including uncultivated and cultivated for once. In addition, three full-season handweedings each for corresponding plant density treatment was applied.

Results: The dry weight of weed biomass was decreased respectively 95 and 60%, 30 days after pyridate application and cultivation; while using combination of these two methods reduced them up to 99 percent. Pyridate application increased height and grain yield by 1.3 and 2.5 times, and cultivation increased pod number per plant and grain yield by 37 and 31%, respectively. In pyridate treated of 30 plants m^{-2} treatment, the highest pods per plant, seeds number and weight per plant, and plant dry weight were respectively 2.7, 3.1, 3.9, and 2.6 times more than those of untreated pyridate treatments. Seed yield of chickpea with the combined application of pyridate and cultivation at the density of 50 plants m^{-2} did not have significant differences with weed free treatments (all three densities of 30, 40 and 50 plants.m^{-2}).

Conclusion: Integrated application of pyridate and cultivation at the chickpea density of 50 plants m^{-2} can be beneficial to achieve the desired yield in dryland conditions, and, hence, is recommendable.

Keywords: Cultivation, Integrated Weed Management, Planting Density, Pyridate

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Jafar Asghari Email: jafasghr@guilan.ac.ir

https://doi.org/10.22034/saps.2022.47806.2737

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۸۴-۶۹

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی برخی روش‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز در نخود دیم شهرستان اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه

هژیر یوسفی[۱]، جعفر اصغری*[۲]، المیرا محمدوند[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۳۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
۲- استاد، استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
*مسئول مکاتبه: Email: jafasghr@guilan.ac.ir

چکیده

اهداف: هدف این تحقیق بررسی اثرات کاربرد تلفیقی شیوه‌های مختلف مدیریت علف‌های هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود دیم (*Cicer arietinum* L.) رقم بیونیج بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۵ تیمار و چهار تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی عبارت از کاربرد علف‌کش شامل عدم کاربرد و کاربرد علف‌کش پیریدیت، تراکم گیاه زراعی شامل ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع و کولتیواسیون شامل کاربرد و عدم‌کاربرد کولتیواسیون بودند. همچنین سه تیمار وجینِ کامل متناظر با هریک از تراکم‌های نخود در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: زیست‌توده علف‌های هرز ۳۰ روز پس از سمپاشی، با کاربرد انفرادی پیریدیت و کولتیواسیون به‌ترتیب ۹۵ و ۶۰ درصد و با کاربرد توام دو روش تا ۹۹ درصد کاهش یافت. با کاربرد پیریدیت به‌ترتیب ارتفاع بوته و عملکرد دانه نخود ۱/۳ و ۲/۵ برابر شد و با یک‌بار کولتیواسیون تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه ۳۷ و ۳۱ درصد افزایش یافت. تعداد غلاف در بوته، تعداد و وزن دانه در بوته و وزن خشک تک‌بوته در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع بیشترین مقدار و به‌ترتیب ۲/۷، ۳/۱، ۳/۹ و ۲/۶ برابر بیشتراز میانگین تیمارهای تراکم و کولتیواسیون بدون کاربرد پیریدیت بود. عملکرد دانه نخود با کاربرد تلفیقی پیریدیت و کولتیواسیون در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع تفاوت معنی‌داری با تیمار عاری از علف‌هرز (هر سه تراکم ۳۰ و ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع) نداشت.

نتیجه‌گیری: تلفیق کاربرد پیریدیت و کولتیواسیون، با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در شرایط دیم می‌تواند به منظور دست‌یابی به عملکرد مطلوب نخود، سودمند و لذا قابل توصیه باشد.

واژه های کلیدی: پیریدیت، تراکم کاشت، عملکرد، کولتیواسیون، مدیریت تلفیقی علف‌های هرز

مقدمه

سطح زیر کشت (حدود ۵۷۹ هزار هکتار) و نیز تولید (حدود ۲۸۶ هزار تن) نخود در کشور از سایر حبوبات بیشتر است، درحالی‌که نزدیک به ۹۹ درصد سطح زیرکشت و ۹۶ درصد تولید نخود در ایران مربوط به کشت دیم با میانگین عملکرد ۴۸۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (سازمان جهاد کشاورزی ۲۰۲۰). کنترل علف‌های هرز از جمله مهم‌ترین چالش‌های کشت نخود به‌شمار می‌رود (منصوریان و همکاران ۲۰۲۱؛ بابایی‌نژاد و دادخواه ۲۰۱۸)؛ زیرا سرعت رشد نخود در ابتدای رشد رویشی بسیار کم است؛ بنابراین، گیاه در مرحله جوانی از قدرت رقابتی بسیار ضعیفی با علف‌های‌هرز برخوردار است (اسدی و همکاران ۲۰۱۵؛ اصغری و آرمین ۲۰۱۵؛ مقصودی و همکاران ۲۰۲۰) و کاهش عملکرد محصول تا ۹۰ درصد نیز گزارش شده است (موسوی و همکاران ۲۰۰۷). علاوه بر آن، وجود علف‌های هرز سبب کاهش کیفیت محصول شده و آن‌ها می‌توانند میزبان آفات و بیماری‌های گیاهی نیز باشند (دایان ۲۰۰۹؛ عباسیان و همکاران ۲۰۱۸)؛ لذا کنترل علف‌های هرز در زراعت نخود ضرورت دارد.

گونه‌های زراعی اگر زودتر از علف‌های‌هرز و به‌نحو مناسبی استقرار یابند، نقش زیادی در بازدارندگی رشد علف‌های‌هرز خواهند داشت؛ زیرا با رشد سریع‌تر کانوپی گیاهی زودتر بسته شده و گیاه در جذب منابع بهتر عمل کرده و در رقابت با علف‌های‌هرز از توان رقابتی بالاتری برخوردار خواهد بود (رشیدزاده و همکاران ۲۰۱۹). علف‌های هرزی که پس از بسته‌شدن کانوپی نخود ظاهر می‌شوند، زیست‌توده کمی تولید کرده و اثری بر عملکرد دانه نخود ندارند (استگنری و پیسانت ۲۰۱۱). تنظیم تراکم گیاه زراعی از جمله روش‌های زراعی مدیریت علف‌های هرز به‌شمار می‌رود (قاسمی و همکاران ۲۰۲۲). با افزایش جمعیت گیاه زراعی تا حد مشخص توانایی رقابت گیاه زراعی بدون داشتن اثرات مضر بر عملکرد افزایش می‌یابد (مک‌دونالد و همکاران ۲۰۰۷)؛ زیرا در ابتدای فصل رویش امکان تصرف سریع‌تر و بیشتر منابع موجود توسط گیاه زراعی فراهم شده و درنتیجه منابع از دسترس علف‌های هرز خارج می‌گردند (رشیدزاده و همکاران ۲۰۱۹). تراکم مناسب گیاهی نقش مهمی در تولید محصول نخود به‌خصوص تحت شرایط دیم دارد (موسوی و احمدی ۲۰۰۹).

امروزه حصول عملکرد بهینه محصولات زراعی مختلف بدون کاربرد روش‌های شیمیایی یا تلفیق آن با سایر روش‌ها به‌سختی امکان‌پذیر است. در سیستم‌های تلفیقی مدیریت علف‌های هرز بهره‌گیری از مدیریت شیمیایی با تاکید بر حداقل مصرف علف‌کش یکی از انتخاب‌های متداول است (غلام‌پور شمامی و همکاران ۲۰۱۳). به‌علاوه، روش‌های مکانیکی کنترل علف‌های هرز در تولید نخود نقش تعیین‌کننده‌ای دارد (عباسیان و همکاران ۲۰۱۸)؛ چنانکه استفاده از کولتیواسیون در مدیریت علف‌های هرز نخود سبب کاهش حضور آنها می‌شود (ختاک و خان ۲۰۰۵). در بررسی نصرتی و همکاران (۲۰۱۷) یکبار اعمال کولتیواتور سبب کاهش ۶۶ درصدی تراکم علف‌های هرز شد. از آنجا که استفاده مکرر از روش‌های مکانیکی در برخی موارد موجب آسیب به گیاه زراعی می‌شود و از طرفی عموماً تنها یک مرتبه کاربرد علف‌کش برای کنترل علف‌های هرز نخود کافی نیست (سیدشریفی و همکاران ۲۰۰۷؛ رادیستی و همکاران ۲۰۱۲)؛ لذا استفاده تلفیقی از کولتیواسیون + علفکش برای کنترل علف‌های هرز نخود، روش مدیریتی مناسبی به‌نظر می‌رسد.

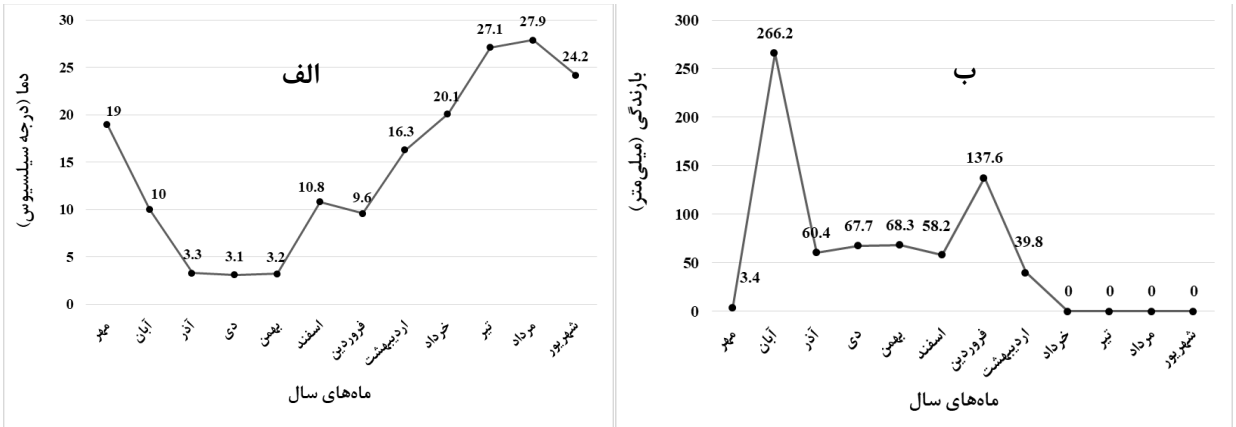
تعداد علف‌کش‌های ثبت شده نخود در سطح دنیا محدود و در کشور ایران محدودتر است (عباسیان و همکاران ۲۰۱۸). علف‌کش پیریدیت (لنتاگران) علف‌کش اختصاصی توصیه‌شده در کشت نخود می‌باشد. این علف‌کش پس‌رویشی، پهن‌برگ‌کش و بازدارنده فتوسیستم دو در علف‌های هرز بوده و بدین‌ترتیب مانع فتوسنتز در گیاهان هدف می‌شود. این علف‌کش، علف‌های‌هرز تاجریزی سیاه (*Solanum nigrum*)، سلمه‌تره (*Chenopodium album*)، خردل وحشی (*Sinapis arvensis*)، تاج‌خروس خوابیده (*Amaranthus blitoides*) و خرفه (*Portulaca oleracea*) را در مزارع نخود به‌صورت مناسبی کنترل می‌کند (زند و همکاران ۲۰۱۹). گیمنز و همکاران (۱۹۹۴) با بررسی پاسخ ۱۵ رقم نخود به علف‌کش پیریدیت مشاهده کردند که ۱۳ رقم تحمل بالایی به علف‌کش داشتند و دو رقم مقاومت متوسط نشان دادند. با دوبار وجین علف‌های هرز و

کاربرد ۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار علف‌کش پیریدیت، کمترین تراکم علف‌های هرز (۳/۵ بوته در مترمبع) ثبت شده است (سیدشریفی و همکاران ۲۰۰۷). تیمارهای تلفیقی پندی‌متالین+پیریدیت، تری فلورالین+ یکبار وجین دستی و تری‌فلورالین+پیریدیت و کاربرد انفرادی پندی‌متالین مناسب‌ترین برنامه مدیریتی علف‌های هرز نخود معرفی شدند (یوسفی و همکاران ۲۰۰۶). یکباروجین دستی بعلاوه کاربرد پیریدیت کاهش ۸۵ و ۷۴ درصدی تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز را سبب شد (نصرتی و همکاران ۲۰۱۷). در ازمایش دیگری کاربرد علف‌کش پیریدیت بعلاوه کنترل مکانیکی سبب کاهش ۸۶ درصدی زیست‌توده علف‌های هرز شد (غلام‌پور شمامی و همکاران ۲۰۱۳).

نظر به اهمیت نخود دیم در استان کرمانشاه، این تحقیق با هدف بررسی واکنش اجزای عملکرد و عملکرد دانه نخود دیم به مدیریت تلفیقی علف‌های هرز به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قطعه زمینی واقع در اسلام‌آباد غرب استان کرمانشاه با عرض جغرافیایی ′۱۵ °۳۴ شمالی و طول جغرافیایی ′۳۲ °۴۶ شرقی به‌صورت کشت دیم نخود طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. متوسط دما و بارندگی به‌ترتیب برای سال زراعی ۱۴/۶ درجه سیلسیوس و ۷۰۲ میلی‌متر و از ابتدای فروردین تا تیرماه ۲۰/۹ درجه سیلسیوس و ۱۷۷ میلی‌متر بود (شکل ۱). آنالیز بافت خاک با تهیه نمونه مرکبی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری نقاط تصادفی بر روی الگوی ضربدری انجام شده و برای توصیه کودی مورد استفاده قرار گرفت. خاک منطقه با ۴۰ درصد رس، ۳۴ درصد سیلت و ۲۶ درصد شن دارای بافت رسی لومی بود (جدول ۱). برای آماده‌سازی زمین زراعی در اواخر مهرماه شخم به وسیله گاوآهن برگردان‌دار انجام شد. در اواسط اسفند قبل از شروع آزمایش پس از کوددهی نیتروژن به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار (اوره، ۴۶ درصد نیتروژن)، دو دیسک عمود برهم اعمال شده و تسطیح با ماله صورت گرفت و سپس اقدام به تهیه جوی و پشته شد. مساحت هر کرت ۶ × ۱/۵ متر معادل ۹ مترمربع بود. هر کرت آزمایشی شامل ۶ ردیف کاشت هریک به طول ۶ متر و فاصله بین ردیف ۲۵ سانتی‌متر بود. یک متر فاصله بین بلوک‌ها و نیم‌متر فاصله بین کرت‌ها جهت تمایز آنها از یکدیگر در نظر گرفته شد.



شکل ۱- میانگین دمای روزانه (الف) و بارندگی (ب) طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴

جدول ۱- مشخصات فیزیکی شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	اسیدیته خاک	کربن آلی	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل‌جذب ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل‌جذب ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی
رسی لومی	۴۰	۳۴	۲۶	۷/۶۶	٪۲/۳	٪۴/۲	۴۰	۲۴۰	۱/۳۰

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل ترکیب فاکتوریل سه عاملِ کاربرد پس‌رویشی علف‌کش پیریدیت (دو سطح کاربرد و عدم کاربرد)، تراکم کاشت گیاه زراعی (سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته نخود در مترمربع) و کولتیواسیون (یک‌بار کولتیواسیون و بدون کولتیواسیون) بود. همچنین سه تیمار وجین دستی علف‌های هرز نیز متناظر با هریک از تراکم‌های نخود به‌عنوان شاهد اعمال شد.

عملیات کاشت نخود رقم بیونیج پس از ضدعفونی بذور با قارچ‌کش کربوکسین تیرام (پودر وتابل ۷۵٪) به نسبت دو در هزار، در وسط جوی‌های ایجادشده به عمق ۵ سانتی‌متر به صورت دستی و به فاصله روی ردیف ۸، ۱۰ و ۱۳/۳۳ سانتی‌متر به‌ترتیب برای ایجاد تراکم‌های ۵۰، ۴۰ و ۳۰ بوته در مترمربع در اواسط اسفند ۱۳۹۴ انجام شد. کاربرد پس‌رویشی علف‌کش پیریدیت (لنتاگران، امولسیون‌شونده غلیظ ۶۰٪) براساس دز توصیه‌شده به میزان ۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار بود. سمپاشی با استفاده از سمپاش پشتی مجهز به نازل تخت بادبزنی با فشار دو بار که برای سمپاشی ۳۰۰ لیتر در هکتار محلول سم کالیبره شده بود، در مرحله دو تا چهاربرگی علف‌های هرز نخود در اواخر فروردین (ارتفاع نخود حدود ۸ سانتی‌متر) صورت گرفت. کولتیواسیون ۵۰ روز پس از کاشت در اوایل اردیبشهت (ارتفاع نخود حدود ۱۰ سانتی‌متر)، به وسیله کولتیواتور اعمال شد. جهت مبارزه با آفت کرم پیله‌خوار نخود، نسبت به سمپاشی مزرعه با استفاده از سم کاربارایل (سوین، پودر وتابل ۸۵٪) به نسبت ۴ کیلوگرم در هکتار در زمان تشکیل غلاف اقدام گردید.

نمونه‌برداری از جمعیت علف‌های هرز در کوادراتی به ابعاد ۲۵×۱۰۰ سانتی‌متر در امتداد ردیف کاشت نخود ۱۵ و ۳۰ روز پس از سمپاشی صورت گرفت. علف‌های هرز درون کوادرات به تفکیک گونه شمارش و سپس کف‌بُر و به آزمایشگاه منتقل شده و در آون الکتریکی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و با ترازوی دیجیتال توزین شدند. فراوانی (معادله۱) و چیرگی (معادله ۲) گونه‌های علف‌هرز و کارایی کنترل علف‌های هرز توسط علف‌کش (معادله ۳) محاسبه شد.

معادله [۱] درصد فراوانی علف‌هرز = (تراکم هر گونه علف‌هرز)/(تراکم کل علف‌های هرز) × 100

معادله [۲] درصد چیرگی علف‌هرز = (زیست‌توده هر گونه علف‌هرز)/(زیست‌توده کل علف‌های هرز)×100

معادله [۳] $$WCE = \frac{A-B}{A} \times 100$$

که در آن، WCE[۱] کارایی کنترل علف‌هرز به‌وسیله علف‌کش؛ A تراکم یا زیست‌توده علف‌های هرز در کرت آلوده به علف‌هرز؛ B تراکم یا زیست‌توده علف‌های هرز در کرت تیمارشده می‌باشد (سومانی ۱۹۹۲).

برداشت در هنگام رسیدگی گیاه زراعی در تاریخ ۲۰ تیرماه صورت گرفت. جهت تعیین صفات رویشی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های اولیه و ثانویه در بوته و نیز صفات زایشی شامل تعداد غلاف در بوته، در شاخه اولیه و در شاخه ثانویه، تعداد غلاف دو دانه‌ای و پوک در بوته، تعداد و وزن دانه در بوته، وزن صد دانه، وزن خشک تک‌بوته، ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت انتخاب شده و اندازه‌گیری صفات مذکور در آنها انجام شد. جهت تعیین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (با رطوبت ۱۲ درصد)، بوته‌های مساحت ۴ مترمربع از مرکز هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای برداشت و در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس توزین شدند.

تجزیه آماری داده‌های مربوط به زیست‌توده علف‌های هرز و صفات نخود جهت درک اثر عوامل آزمایشی به‌صورت فاکتوریل سه عامله با ۱۲ تیمار (سه تیمار عاری از علف‌هرز منظور نشدند) برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی (درجه آزادی خطا =۳۳) صورت گرفت. همچنین جهت مقایسه هر یک از تیمارها با شرایط عاری از علف‌هرز، انالیز واریانس دیگری با ۱۵ تیمار (شامل سه تیمار عاری از علف‌هرز) نیز انجام شد (درجه آزادی خطا =۴۲). تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از

[۱] Weed control efficacy

رویه مدل خطی عمومی و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) محافظت‌شده در سطح احتمال ۵ درصد در نرم‌افزار SAS, 9.2 انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های جامعه علف‌های هرز

علف‌های‌هرز غالب مزرعه نخود عبارت از شیرپنیر (بی‌تی‌راخ)، کنگر صحرایی و غربیلک بودند. فراوانی (درصد تراکم علف‌هرز موردنظر نسبت به کل گونه‌های علف هرز) و چیرگی (درصد زیست‌توده علف‌هرز موردنظر نسبت به کل گونه‌های علف هرز) این گونه‌های هرز به‌ترتیب برای شیرپنیر ۴۹ و ۵۹، کنگر صحرایی ۲۸ و ۳۰ و غربیلک ۲۳ و ۱۱ درصد بود (جدول ۲).

جدول ۲- نام علمی، ویژگی، فراوانی و چیرگی علف‌های‌هرز غالب مشاهده شده در مزرعه نخود

نام رایج	نام علمی	نام تیره	چرخه‌زندگی	گروه‌های کارکردی: شکل‌رویشی	گروه‌های کارکردی: مسیرفتوسنتزی	گروه‌های کارکردی: درجه سماجت	درصد فراوانی	درصد چیرگی
شیرپنیر	*Galium aparine* L.	Rubiaceae	یکساله	پهن‌برگ	C3	سمج	۴۹	۵۹
کنگرصحرایی	*Cirsium arvense* (L.) Scop	Asteraceae	چندساله	پهن‌برگ	C3	سمج	۲۸	۳۰
غربیلک	*Lamium amplexicaule* L.	Lamiaceae	یکساله	پهن‌برگ	C3	سمج	۲۳	۱۱

زیست‌توده کل علف‌های هرز طی مراحل نمونه‌برداری

۱۵ و ۳۰ روز پس از سم‌پاشی، اثرات علف‌کش پیریدیت (F_{15day}=22.16, F_{30day} =44.05, P<0.01, df=33) و کولتیواسیون (F_{15day} =12.94, F_{30day} =21.63, P<0.01, df=33) و اثرمتقابل این دو عامل (F_{15day} =3.47, F_{30day} =9.43, P1= 0.035, P2<0.01, df=33) بر وزن خشک علف‌های هرز معنی‌دار بود؛ در حالی‌که تراکم گیاه زراعی اثر معنی‌داری نداشت. کاربرد علف‌کش پیریدیت زیست‌توده علف‌های هرز را در مراحل نمونه‌برداری بین ۹۵ تا ۹۹ درصد کاهش داد؛ درحالی‌که اثر کولتیواسیون تحت تاثیر کاربرد یا عدم کاربرد پیریدیت متفاوت بود؛ به‌نحوی‌که فقط در شرایط عدم کاربرد پیریدیت، اثر کولتیواسیون در کاهش وزن خشک علف‌های هرز معنی‌دار بود و منجر به ۵۵ و ۶۰ درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز به‌ترتیب ۱۵ و ۳۰ روز بعد از سمپاشی شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد با پیشرفت فصل رشد و ظهور موج‌های جدید جوانه‌زنی بذور علف‌های هرز، یک‌بار کولتیواسیون جهت کنترل کامل علف‌های هرز طی فصل رشد کافی نباشد. در بررسی دیگری نیز یکباروجین دستی بعلاوه کاربرد پیریدیت کاهش ۸۵ درصدی و یکبار اعمال کولتیواتور کاهش ۶۶ درصدی تراکم علف‌های هرز را سبب شد. همچنین، یکباروجین دستی یا کولتیواتور به‌همراه کاربرد پیریدیت به‌میزان ۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار کاهش ۷۴ و ۷۳ درصدی، ولی بدون کاربرد پیریدیت کاهش ۴۸ و ۳۱ درصدی زیست‌توده علف‌های هرز را سبب شد (نصرتی و همکاران ۲۰۱۷).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات نحوه مدیریت بر زیست‌توده کل علف‌های هرز (گرم بر مترمربع) طی مراحل نمونه‌برداری

علف‌کش	کولتیواسیون	نمونه برداری اول (۱۵ روز پس از سم‌پاشی)	نمونه برداری دوم (۳۰ روز پس از سم‌پاشی)
پیریدیت [a]	یک‌بار	۱/۶ (۹۸/۷) c	۶/۶ (۹۸/۹) c
پیریدیت	عدم	۲/۳ (۹۸/۲) c	۳۳/۶ (۹۴/۵) c
آلوده به‌علف‌هرز	یک‌بار	۵۶/۵ (۵۵/۴) b	۲۴۲/۱ (۶۰/۴) b
آلوده به‌علف‌هرز	عدم	۱۲۶/۷ (۰) a	۶۱۲ (۰) a

[a] کاربرد دز توصیه‌شده (۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار) علف‌کش پس‌رویشی پیریدیت، اعداد میانگین مدیریت زراعی شامل تراکم کاشت ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته نخود در مترمربع هستند؛ اعداد داخل پرانتز بیانگر کارایی مدیریت اعمال‌شده در کاهش زیست‌توده علف‌های هرز هستند. اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال۰/۰۵تفاوت معنی‌داری ندارند.

صفات نخود

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته با کاربرد پیریدیت نسبت به عدم کاربرد علفکش ۱۳ درصد افزایش یافت (میانگین تیمارهای تراکم و کولتیواسیون) (جدول‌های ۴ و ۵). کنترل علف‌های هرز با کاهش اثرات رقابت می‌تواند توانایی رشد گیاه زراعی را افزایش دهد. در مراحل اولیه رشد که فضا و مواد غذایی کافی برای رویش گیاه زراعی و علف‌های هرز وجود دارد، تداخل چندانی بین آنها رخ نمی‌دهد و هر گونه‌ای با توجه به بنیه و خصوصیات ژنتیکی خود شروع به رشد و گسترش می‌نماید. رشد هر گیاه با اشغال فضا و تغذیه امکانات رویشی به وسیله گیاهان مجاور تحت تنش قرار می‌گیرد و در مراحل پیشرفته‌تر رشدی که نیاز گیاه به این مواد بیشتر می‌گردد، رقابت افزایش می‌یابد. به‌همین دلیل کنترل علف‌های هرز به وسیله علف‌کش یا کولتیواسیون سبب حذف علف‌های هرز و افزایش ارتفاع نخود گردید. علف‌های هرز با رقابت بر سر آب، نور و موادغذایی رشد و عملکرد گیاه زراعی را کاهش می‌دهند. آلودگی تمام‌فصل علف‌های هرز، ارتفاع بوته نخود را ۹ درصد افزایش داد (غلام‌پور شمامی و همکاران ۲۰۱۳). تداخل علف‌های هرز تا ۴۵ روز پس از کاشت سبب افزایش ۲۰ درصدی ارتفاع گردید؛ اگرچه تداخل بیشتر سبب کاهش ارتفاع نخود شد؛ به‌نحوی‌که تداخل تمام‌فصل علف‌های هرز، ارتفاع نخود را ۴۳ درصد نسبت به تیمار عاری از علف‌هرز کاهش داد (اصغری و آرمین ۲۰۱۵). کاهش ارتفاع نخود با افزایش طول دوره تداخل علف‌های هرز ۴۱ درصد (محمدی و همکاران ۲۰۰۴) و با عدم کاربرد علفکش ۴۰ درصد در میانگین روش‌های کنترل غیرشیمیایی (نصرتی و همکاران ۲۰۱۷) گزارش شد. دلایل فقدان روند یکسان افزایش ارتفاع گیاه به مجموعه‌ای از عوامل رشدی و تراکم کاشت و حضور علف‌های هرز و نیز مراحل رشد گیاه ارتباط دارد. اصولاً گونه‌های گیاهی یک جمعیت به‌نحوی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند که از امکانات موجود محیط استفاده نمایند و رقابت بین آنها به حداقل برسد.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مدیریت* علف‌های هرز بر صفات رویشی و عملکردی نخود در شرایط مزرعه‌ای

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	تعداد شاخه اولیه در بوته	تعداد شاخه ثانویه در بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد غلاف شاخه اولیه	تعداد غلاف شاخه ثانویه	تعداد غلاف دودانه‌ای
تکرار	۳	۲۸/۳۳۰^{ns}	۵/۳۱۲^{ns}	۴/۰۹۴^{ns}	۳۹/۰۲۰**	۱/۴۲۰**	۵/۴۶۵*	۰/۰۸۵^{ns}
علف‌کش پیریدیت	۱	۳۶۸/۵۲۱**	۷۰/۵۶۷**	۶۵/۵۶۷**	۹۷۷/۱۳۷**	۱۹/۸۶۶**	۴۹/۸۱۷**	۱/۴۹۱**
تراکم نخود	۲	۱۴/۲۲۶^{ns}	۱۳/۷۷۶**	۱۱/۱۸۷**	۱۲۱/۰۴۲**	۱/۸۷۹**	۹/۳۶۳**	۰/۱۵۲^{ns}
پیریدیت× تراکم	۲	۲۷/۲۹۱^{ns}	۱۴/۳۴۳**	۱۰/۶۱۷**	۶۶/۲۱۷**	۰/۶۵۶^{ns}	۱۰/۹۷۷**	۰/۰۰۴^{ns}
کولتیواسیون	۱	۱۹۶/۰۲۱^{ns}	۳۶/۴۰۱**	۱۴/۱۹۲**	۱۹۱/۶۴۰**	۴/۱۸۹**	۱۹/۶۳۵**	۰/۲۷۶^{ns}
پیریدیت × کولتیواسیون	۱	۰/۰۰۱^{ns}	۱/۴۰۱^{ns}	۰/۰۱۰^{ns}	۰/۲۳۴^{ns}	۰/۳۱۰^{ns}	۱/۱۱۰^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
تراکم × کولتیواسیون	۲	۹/۸۵۶^{ns}	۳/۷۳۶^{ns}	۰/۲۲۹^{ns}	۰/۴۵۷^{ns}	۰/۰۴۳^{ns}	۰/۲۵۳^{ns}	۰/۱۰۰^{ns}
پیریدیت×تراکم×کولتیواسیون	۲	۷/۷۰۱^{ns}	۱/۳۳۶^{ns}	۰/۲۶۳^{ns}	۱/۴۸۴^{ns}	۰/۰۵۷^{ns}	۲/۶۹۰^{ns}	۰/۰۷۵^{ns}
خطا	۳۳	۱۸/۵۱۵	۲/۲۲۲	۱/۶۸۱	۸/۴۱۷	۰/۲۰۱	۱/۷۳۲	۰/۱۲۱
ضریب تغییرات (%)		۹/۱۶	۲۳/۱۸	۱۶/۴۸	۲۲/۴۳	۱۶/۳۴	۱۶/۸۶	۱۷/۵۹

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد غلاف پوک	تعداد دانه در بوته	وزن دانه در بوته	وزن صد دانه	زیست‌توده تک‌بوته	عملکرد دانه
تکرار	۳	۰/۳۹۹^{ns}	۲۵/۷۳۵*	۲/۵۲۲**	۱۲/۲۸۴^{ns}	۳۳/۱۶۹**	۴۲۷۴۶/۲۲۴*
علف‌کش پیریدیت	۱	۴۵/۶۶۹**	۷۹۲/۸۳۸**	۶۳/۲۹۶**	۷۵/۳۰۰**	۶۹۳/۳۸۴**	۱۸۱۰۴۸۷/۸۲**
تراکم نخود	۲	۰/۸۴۵^{ns}	۹۲/۳۱۱**	۱۰/۳۰۹**	۲۹/۴۳۱**	۹۱/۱۲۰**	۱۷۰۳۴/۰۸۴^{ns}
پیریدیت× تراکم	۲	۰/۹۷۴^{ns}	۵۸/۹۵۱**	۴/۵۳۵**	۷/۸۴۴^{ns}	۵۳/۱۶۹**	۱۷۳۸۰/۳۹۹^{ns}
کولتیواسیون	۱	۰/۰۲۹^{ns}	۱۲۲/۷۵۲**	۷/۸۵۷**	۹۰/۳۱۱**	۸۴/۹۸۷**	۱۸۵۵۳۰/۲۰۴**
پیریدیت × کولتیواسیون	۱	۳/۲۲۴^{ns}	۰/۱۲۸^{ns}	۰/۱۲۲^{ns}	۳/۰۲۰^{ns}	۱/۸۶۰^{ns}	۳۴۶۴/۶۰۰^{ns}
تراکم × کولتیواسیون	۲	۱/۶۹۷^{ns}	۰/۰۲۰^{ns}	۰/۱۵۳^{ns}	۲/۲۰۲^{ns}	۹/۰۰۴^{ns}	۳۹۷۹/۱۴۱^{ns}
پیریدیت×تراکم×کولتیواسیون	۲	۰/۲۲۲^{ns}	۲/۸۸۴^{ns}	۰/۳۴۰^{ns}	۱/۹۷۰^{ns}	۹/۱۲۲^{ns}	۲۵۷۹/۳۰۲^{ns}
خطا	۳۳	۱/۱۶۱	۶/۱۴۱	۰/۵۴۳	۴/۹۲۱	۴/۸۵۵	۱۴۳۱۹/۲۰۵
ضریب تغییرات (%)		۲۰/۰۸	۲۴/۲۲	۱۵/۹۳	۸/۹۳	۲۰/۹۸	۲۵/۸۳

* مدیریت شیمیایی شامل کاربرد و عدم‌کاربرد دز توصیه‌شده (۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار) علف‌کش پس‌رویشی پیریدیت، مدیریت زراعی شامل تراکم کاشت ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته نخود در مترمربع و مدیریت مکانیکی شامل کاربرد و عدم‌کاربرد کولتیواسیون؛ *،** و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده نحوه مدیریت* بر صفات نخود

		ارتفاع (cm)	تعداد شاخه اولیه در بوته	تعداد شاخه ثانویه در بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد غلاف شاخه اولیه	تعداد غلاف شاخه ثانویه	تعداد غلاف دو دانه‌ای
علف‌کش پیریدیت	کاربرد	۴۹/۹a	۷/۶a	۳/۹a	۱۷/۴a	۳/۳a	۳/۰a	۰/۵a
	عدم‌کاربرد	۴۴/۲b	۵/۲b	۱/۵b	۸/۴b	۲b	۱/۰b	۰/۲b
تراکم نخود								
(بوته‌درمترمربع)	۳۰	۴۴/۸	۷/۵a	۳/۶a	۱۵/۸a	۳a	۲/۷a	۰/۴
	۴۰	۴۷/۱	۶/۵a	۲/۵b	۱۲/۵a	۲/۸b	۲/۳ ab	۰/۴
	۵۰	۴۶/۹	۵/۲b	۲b	۱۰/۳b	۲/۳b	۱/۲b	۰/۳
کولتیواسیون								
	یک‌بار	۴۹/۰	۷/۳ a	۳/۲ a	۱۴/۹a	۳a	۲/۶a	۰/۴
	عدم‌کاربرد	۴۴/۹	۵/۵ b	۲/۲ b	۱۰/۹b	۲/۴b	۱/۳b	۰/۳

		تعداد غلاف پوک	تعداد دانه در بوته	وزن دانه در بوته (g)	وزن صددانه (g)	زیست‌توده تک‌بوته (g)	عملکرد دانه ($Kg.ha^{-1}$)
علف‌کش پیریدیت	کاربرد	۲/۰b	۱۴/۳ a	۳/۸a	۲۶/۱a	۱۴/۳a	۶۵۷/۵a
	عدم‌کاربرد	۳/۹a	۶/۱b	۱/۵b	۲۳/۶b	۶/۷b	۲۶۸/۹b
تراکم نخود							
(بوته‌درمترمربع)	۳۰	۲/۸	۱۲/۸a	۳/۵a	۲۶/۲a	۱۳/۱a	۴۳۰/۱
	۴۰	۲/۹	۹/۹b	۲/۵b	۲۴/۸ ab	۱۰/۱b	۴۶۴/۱
	۵۰	۳/۲	۷/۹c	۲c	۲۳/۵b	۸/۴b	۴۹۵/۴
کولتیواسیون							
	یک‌بار	۲/۹	۱۱/۸ a	۳/۱ a	۲۶/۲a	۱۱/۹ a	۵۱۸/۶a
	عدم‌کاربرد	۳/۰	۸/۶ b	۲/۳ b	۲۳/۵b	۹/۱ b	۴۰۷/۸ a

* مدیریت شیمیایی شامل کاربرد و عدم‌کاربرد دز توصیه‌شده (۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار) علف‌کش پس‌رویشی پیریدیت، مدیریت زراعی شامل تراکم کاشت ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته نخود در مترمربع و مدیریت مکانیکی شامل کاربرد و عدم‌کاربرد کولتیواسیون؛ اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال۰/۰۵تفاوت معنی‌داری ندارند. در مواردی‌که آنالیز واریانس معنی‌دار نشد، حروف معنی‌داری نیز استفاده نشد.

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثرات دوگانه نحوه مدیریت* بر صفات نخود

علف‌کش پیریدیت	تراکم نخود (بوته در مترمربع)	تعداد شاخه اولیه در بوته	تعداد شاخه ثانویه در بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد غلاف شاخه ثانویه	تعداد دانه در بوته	وزن دانه در بوته (g)	زیست‌توده تک‌بوته (g)
کاربرد	۳۰	۹/۲a	۵/۷a	۲۲/۵a	۴/۳a	۱۸/۹a	۵/۲a	۱۷/۱ a
کاربرد	۴۰	۸/۰a	۳/۵b	۱۶/۷b	۳/۴a	۱۳/۶b	۳/۷b	۱۴/۱ b
کاربرد	۵۰	۵/۶b	۲/۵ bc	۱۳c	۱/۳ b	۱۰/۳ c	۲/۶ c	۱۱/۸ c
عدم‌کاربرد	۳۰	۵/۷b	۱/۶ c	۹/۱d	۱/۱ b	۶/۶ d	۱/۹ d	۹/۱ d
عدم کاربرد	۴۰	۵/۰b	۱/۵ c	۸/۳d	۱/۱ b	۶/۲ d	۱/۴ e	۶/۱ d
عدم کاربرد	۵۰	۴/۸b	۱/۵ c	۷/۶d	۰/۸ b	۵/۶ d	۱/۳ e	۵/۰ d

* مدیریت شیمیایی شامل کاربرد و عدم‌کاربرد دز توصیه‌شده (۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار) علف‌کش پس‌رویشی پیریدیت، مدیریت زراعی شامل تراکم کاشت ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته نخود در مترمربع و مدیریت مکانیکی شامل کاربرد و عدم‌کاربرد کولتیواسیون؛ اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال۰/۰۵تفاوت معنی‌داری ندارند.

تعداد شاخه‌های اولیه و ثانویه در بوته

با کاربرد علفکش پیریدیت، تعداد شاخه‌های اولیه در تراکم‌های ۳۰ و ۴۰ بوته ۱/۵ برابر و تعداد شاخه‌های ثانویه در تراکم ۳۰ بوته ۲/۳ برابر تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و نیز بیشتر از کلیه تیمارهای عدم کاربرد علف‌کش (به‌ترتیب ۱/۷ و ۳/۷ برابر) بود. در تیمارهای عدم کاربرد پیریدیت، تراکم‌های نخود تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نداد و در میانگین تیمارها، کاربرد پیریدیت سبب به‌ترتیب ۱/۵ و ۲/۶ برابر شدن تعداد شاخه اولیه و ثانویه در بوته نخود شد (جدول‌های ۴ و ۶). یک‌بار کولتیواسیون نسبت به عدم انجام آن تعداد شاخه اولیه و ثانویه در بوته را به ترتیب ۳۳ و ۴۵ درصد افزایش داد (میانگین تیمارهای کاربرد علف‌کش و تراکم) (جدول‌های ۴ و ۵).

کنترل علف‌های هرز، با کاهش رقابت بین‌گونه‌ای و افزایش فضای قابل دسترس برای بوته‌های نخود منجر به تسهیل گسترش بوته و ایجاد شاخه بیشتر می‌شود. به نظر می‌رسد که با کاربرد علفکش، در تراکم‌های کمتر گیاه زراعی فضا و منابع بیشتری برای رشد و توسعه گیاه زراعی فراهم شده است. با افزایش تراکم گیاه زراعی، به دلیل نزدیکی بوته‌ها بر روی ردیف، رقابت درون‌گونه‌ای افزایش می‌یابد. کاهش ۱۶ درصدی تعداد شاخه در بوته با افزایش تراکم نخود از ۲۵ به ۷۵ بوته در مترمربع گزارش شد (موسوی و احمدی ۲۰۰۹). رقابت تمام‌فصل نسبت به شرایط عدم حضور علف‌های هرز، تعداد شاخه جانبی نخود را ۲۳ درصد (اصغری و آرمین ۲۰۱۵)، تعداد شاخه اصلی و فرعی را ۳۳ و ۴۴ درصد (غلام‌پور شمامی و همکاران ۲۰۱۳) کاهش داد.

تعداد غلاف در بوته، در شاخه اولیه و ثانویه، دودانه‌ای و پوک

تعداد غلاف در بوته در شرایط کاربرد علفکش پیریدیت با کاهش تراکم نخود افزایش یافت؛ درحالی‌که تغییر تراکم در شرایط عدم کاربرد علف‌کش اثری بر این صفت نداشت. تعداد غلاف در بوته نخود در تراکم ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع ۲/۷ برابر، ۲ برابر و ۱/۶ برابر میانگین تیمارهای عدم کاربرد علفکش بود (جدول ۶). با یک‌بار کولتیواسیون تعداد غلاف در بوته ۳۷ درصد افزایش یافت (میانگین تیمارهای کاربرد علف‌کش و تراکم) (جدول‌های ۴ و ۵). تعداد غلاف شاخه اولیه با اعمال علف‌کش پیریدیت و کولتیواسیون به‌ترتیب ۶۵ و ۲۵ درصد نسبت به عدم مدیریت افزایش یافت. همچنین در تراکم ۳۰ بوته در مربع ۱۸ درصد بیشتر از تراکم‌های ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع بود(جدول‌های ۴ و ۵). تعداد غلاف شاخه ثانویه در شرایط کاربرد علفکش پیریدیت، در تراکم‌های ۳۰ و ۴۰ بوته در مترمربع حدود سه برابر تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و نیز ۳/۹ برابر تیمارهای عدم کاربرد علف‌کش بود (جدول‌های ۴ و ۶). با یک‌بار کولتیواسیون نسبت به عدم انجام آن تعداد غلاف شاخه ثانویه ۱۰۰ درصد افزایش یافت و دو برابر شد (میانگین تیمارهای کاربرد علف‌کش و تراکم) (جدول‌های ۴ و ۵). تعدادغلاف دو دانه‌ای و پوک با کاربرد علفکش پیریدیت به‌ترتیب افزایش ۲/۵ برابری و کاهش ۵۱ درصدی نشان داد (جدول‌های ۴ و ۵). به نظر می‌رسد افزایش فراهمی فضا و منابع تنها در شرایط کنترل علف‌های هرز می‌تواند سبب افزایش تولید زایشی گیاه زراعی شود و در حضور علف‌های هرز منابع موجود توسط علف‌های هرز جذب می‌شوند و اثری بر افزایش تولید گیاه زراعی ندارند. در شرایط مدیریت علف‌های هرز، تراکم کمتر با ایجاد فضای بیشتر، رشد وتولید بهتر گیاه را به همراه داشته است.

تعداد غلاف در بوته حساس‌ترین جزء عملکرد نخود به تداخل علف‌های هرز بوده و با افزایش طول دوره تداخل کاهش می‌یابد (تپ و همکاران ۲۰۱۱؛ محمدی و همکاران ۲۰۰۵). تعداد غلاف در بوته نخود با افزایش تراکم کاشت از ۲۵ به ۵۰ و ۷۵ بوته در مترمربع به‌ترتیب ۱۹ و ۳۹ درصد و با افزایش تراکم کاشت از ۵۰ به ۷۵ بوته در مترمربع ۲۴ درصد کاهش یافت؛ درحالی‌که با افزایش تراکم نخود، تعداد غلاف پوک در بوته ۱۱ درصد افزایش یافت. همچنین، تداخل علف‌های هرز در تراکم کاشت ۲۵ بوته در مترمربع، سبب کاهش ۲۹ درصدی تعداد غلاف در بوته نخود شد، در حالی که در تراکم کاشت ۵۰ و ۷۵ بوته در مترمربع تأثیر تداخل

علف‌های هرز بر تعداد غلاف در بوته نخود از نظر آماری معنی‌دار نبود (موسوی و احمدی ۲۰۰۹). اثر تراکم نخود بر تعداد غلاف بارور در ساقه اصلی، شاخه اولیه و ثانویه و بوته معنی‌دار بود، به‌نحوی‌که با کنترل علف‌های هرز و افزایش تراکم نخود از ۱۶ تا ۶۴ بوته در مترمربع تعداد غلاف به‌ترتیب ۲۶، ۵۶، ۷۱ و ۵۸ درصد کاهش یافت (محمدنژاد و همکاران ۲۰۰۶). در شرایط دو بار وجین علف‌های هرز، با افزایش تراکم نخود از ۲۰ و ۳۰ به ۴۰ بوته در مترمربع، تعداد غلاف در بوته نخود رقم آرمان به ترتیب از ۱۶ و ۱۷ به ۱۰ غلاف در بوته کاهش یافت (بیات و همکاران ۲۰۱۲). رقابت تمام‌فصل علف‌های هرز تعداد غلاف در بوته نسبت به تیمار عاری از علف‌هرز را حدود ۶۰ درصد (نصرتی و همکاران ۲۰۱۷) و ۴۷ درصد (غلام‌پور شمامی و همکاران ۲۰۱۳) کاهش داد. در بررسی دیگری تعداد غلاف در بوته در تیمار کم‌نهاده و تداخل علف‌های هرز ۶۶ درصد کمتر از تیمار پرنهاده و کنترل علف‌های هرز بود (اصغری و آرمین ۲۰۱۵).

تعداد و وزن دانه در بوته

تعداد و وزن دانه در بوته در شرایط کاربرد علف‌کش پیریدیت نسبت به عدم کاربرد بیشتر بود. در شرایط کاربرد علفکش پیریدیت، کاهش تراکم کاشت نخود سبب افزایش این صفات شد؛ ولی با عدم کاربرد علف‌کش، تراکم اثری بر این صفات نداشت (بجز برای وزن دانه در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع که با افزایش ۴۱ درصدی همراه بود). تعداد و وزن دانه در بوته با کاربرد پیریدیت، در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع ۳/۹ برابر، تراکم ۴۰ بوته در مترمربع ۲/۷ برابر و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع ۱/۹ برابر میانگین تیمارهای عدم کاربرد علف‌کش بود (جدول‌های ۴ و ۶). یک‌بار کولتیواسیون تعداد و وزن دانه در بوته را ۳۷ و ۲۲ درصد نسبت به عدم اعمال کولتیواسیون در میانگین تیمارهای کاربرد علف‌کش و تراکم افزایش داد (جدول‌های ۴ و ۵).

میزان تولید بذر هر گونه در واحد سطح نسبتًا ثابت و مستقل از تراکم است و هر چه تراکم کمتر باشد تولید مقدار بذر هر بوته افزایش یافته و گیاه از پتانسیل آب و خاک در محل رویش بهره می‌گیرد. از این روست که گیاهان در تراکم بالا با تنک‌شدن خود بخودی (خود تُنُکی) و بدون توجه به تراکم کشت، میزان یکسانی بذر تولید می‌نمایند (نصرتی و همکاران ۲۰۱۷). با کاهش جذب منابع توسط گیاه زراعی به علت اثرات تداخلی حضور علف‌های هرز، تولید گیاه زراعی در بوته و واحد سطح نیز کاهش می‌یابد و از آنجا که نخود توانایی رقابت پایینی با علف‌های هرز دارد، در شرایط آلوده به علف‌هرز، کاهش تراکم نخود اثری بر افزایش تولید تک‌بوته ندارد و نیز افزایش تراکم نخود کمکی به افزایش تولید در واحد سطح نمی‌کند. در چنین شرایط نقصان عملکرد قابل پیش‌بینی است. در بررسی نصرتی و همکاران (۲۰۱۷) رقابت تمام‌فصل علف‌های هرز سبب ۲۶ درصد کاهش تعداد دانه در غلاف نسبت به تیمار عاری از علف‌هرز شد.

وزن صددانه

وزن صددانه با کاربرد پیریدیت، نسبت به عدم کاربرد علف‌کش، ۱۱ درصد (میانگین تیمارهای تراکم و کولتیواسیون) افزایش یافت. وزن صددانه در تراکم ۳۰ بوته تفاوت معنی‌داری با ۴۰ بوته در مترمربع نشان نداد؛ اما ۱۱ درصد بیشتر از وزن صد دانه در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع بود. کولتیواسیون سبب افزایش وزن صددانه به‌میزان ۱۱ درصد نسبت به عدم کولتیواسیون شد. هر عاملی که سبب بهبود رشد گیاه زراعی گردد، می‌تواند بر تولید بذر آن نیز اثر بگذارد. بنابراین با مدیریت شیمیایی و زراعی علف‌های هرز می‌توان تولید بذر نخود را افزایش داد. گزارشاتی وجود دارد که در شرایط کنترل علف‌های هرز، افزایش تراکم اثری بر وزن صددانه نخود نداشت (محمدنژاد و همکاران ۲۰۰۶؛ بیات و همکاران ۲۰۱۲). در مطالعه‌ای دیگر بیشترین وزن صد دانه در تیمار دوبار وجین وکاربرد ۹۰۰ و ۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار از علف‌کش پیریدیت ثبت شد و عدم کنترل علف‌های هرز، وزن صددانه را ۳۲ درصد کاهش داد (سیدشریفی و همکاران ۲۰۰۷). آلودگی علف‌های هرز

طی فصل رشد وزن صد دانه نخود را ۳ درصد کاهش داد (غلام‌پور شمامی و همکاران ۲۰۱۳).

زیست‌توده

در شرایط کاربرد علفکش پیریدیت، زیست‌توده تک‌بوته نخود با کاهش تراکم افزایش یافت؛ اما با عدم کاربرد پیریدیت تفاوتی بین تراکم‌های مختلف کاشت نخود مشاهده نشد (۷ گرم). زیست‌توده تک‌بوته با کاربرد پیریدیت، در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع ۲/۶ برابر، تراکم ۴۰ بوته در مترمربع ۲/۱ برابر و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع ۱/۸ برابر میانگین تیمارهای عدم کاربرد علف‌کش بود (جدول‌های ۴ و ۶). با یک‌بار کولتیواسیون نسبت به عدم انجام آن زیست‌توده تک‌بوته ۳۱ درصد افزایش یافت (میانگین تیمارهای کاربرد علف‌کش و تراکم) (جدول‌های ۴ و ۵). به نظر می‌رسد کاهش تراکم تنها در شرایط کنترل علف‌های هرز می‌تواند منابع بیشتری را برای هر بوته نخود فراهم کرده و سبب افزایش ماده خشک تک‌بوته شود و علف‌های هرز با توانایی بیشتر جذب و حتی جذب لوکس منابع از تخصیص بیشتر منابع به بوته‌های نخود جلوگیری می‌کنند. رقابت علف‌های هرز سبب کاهش توان رشد رویشی تک‌بوته نخود می‌شود. کاهش خطی عملکرد زیست‌توده نخود با افزایش طول دوره رقابت علف‌های هرز و کاهش ۲۵ درصدی عملکرد بیولوژیک با حضور تمام‌فصل علف‌های هرز گزارش شده است (اصغری و آرمین ۲۰۱۵). همچنین در آلودگی تمام‌فصل علف‌های هرز کاهش زیست‌توده نخود به‌میزان ۵۵ درصد (نصرتی و همکاران ۲۰۱۷)، ۶۵ درصد (محمدی و همکاران ۲۰۰۴) و ۵۴ درصد (غلام‌پور شمامی و همکاران ۲۰۱۳) گزارش شده است.

عملکرد دانه در واحد سطح

با کاربرد علف‌کش پیریدیت و کولتیواسیون عملکرد دانه بهبود یافته و نسبت به عدم اعمال این تمهیدات ۲/۵ و ۱/۳ برابر شد (جدول‌های ۴ و ۵). اگرچه مقادیر بسیاری از صفات مرتبط با عملکرد تک‌بوته در تراکم کمتر کاشت گیاه زراعی بیشتر بود، اما عملکرد دانه در میانگین سطوح کاربرد علف‌کش پیریدیت و کولتیواسیون، تحت تأثیر تراکم کاشت نخود در شرایط دیم قرار نگرفت (جدول‌های ۴، ۵ و ۶)؛ به نظر می‌رسد در واحد سطح، کاهش عملکرد دانه تک‌بوته در تراکم بالاتر با تعداد بوته بیشتر جبران شده است. روند تغییرات عملکرد واحد سطح نیز، اگرچه معنی دار نبود، ولی در تراکم ۵۰ > ۴۰ > ۳۰ بوته در مترمربع بود. در مقایسات تیمارهای مدیریت با عاری از علف‌هرز (جدول ۷) نیز فقط تیمار تراکم ۵۰ بوته در مترمربع نخود با اعمال علفکش پیریدیت و کولتیواسیون توانست عملکردی در حد تیمارهای عاری از علف‌هرز تولید کند.

گزارشات متناقضی در مورد تأثیر افزایش تراکم بر عملکرد دانه نخود وجود دارد. در بعضی مطالعات افزایش تراکم نخود تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نداشته و علت آن حساسیت پایین نخود به تراکم بوته و افزایش رقابت درون گونه‌ای با زیاد شدن تراکم بیان شده است (براری ۲۰۰۳؛ جلیلیان و همکاران ۲۰۰۵؛ محمد نژاد و همکاران ۲۰۰۶). در حالی‌که موسوی و احمدی (۲۰۰۹) گزارش نمودند که افزایش تراکم کشت از ۲۵ به ۵۰ و ۷۵ بوته در متر مربع به طور معنی‌داری سبب افزایش عملکرد دانه نخود به میزان ۲۴ و ۲۷ درصد شد. درحالی‌که افزایش تراکم از ۵۰ به ۷۵ بوته در مترمربع افزایش معنی‌دار عملکرد را در پی نداشت؛ اگرچه در شرایط تداخل علف‌هرز افزایش تراکم کشت از ۲۵ به ۵۰ و ۷۵ بوته در متر مربع به طور معنی‌داری سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۳۵ و ۵۳ درصد شد. خندان بجندی و همکاران (۲۰۱۰) نتیجه گرفتند که عملکرد تک بوته در تراکم پائین بیشتر بوده، ولی به دلیل افزایش تعداد بوته در واحد سطح میزان عملکرد نهایی در تراکم‌های بالا افزایش یافت. در مطالعه‌ای دیگر نیز عملکرد دانه با افزایش تراکم کاشت ارقام نخود کاهش یافت؛ چنانکه در تراکم های کاشت ۳۸/۵ و ۵۰ بوته در متر مربع، به ترتیب ۲۴ و ۳۹ درصد، نسبت به تراکم کاشت ۳۱/۳ بوته در متر مربع کاهش در عملکرد اقتصادی ثبت شد (فلاحی و همکاران ۲۰۲۱).

کاهش عملکرد دانه نخود بواسطه حضور علف‌های هرز تا ۵۸ درصد (بیات ۲۰۱۲)، ۶۶ درصد (غلام‌پور شمامی و همکاران ۲۰۱۳)، ۴۵ درصد (اصغری و آرمین ۲۰۱۵)، ۶۰ درصد (نصرتی و همکاران ۲۰۱۷)، ۴۱ درصد (عباسیان و همکاران ۲۰۱۸) به ترتیب ۵۹/۱، ۵۱/۹، ۶۱/۲ و ۴۶/۳ درصد در ارقام آزاد، آرمان، هاشم و عادل (فلاحی و همکاران ۲۰۲۱) گزارش شده است. بیشترین عملکرد نخود برای تیمار وجین دو مرحله‌ای گزارش شد و بین تیمارهای وجین دومرحله‌ای، وجین زودهنگام و کاربرد پیریدیت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و در شرایط آلوده به علف‌هرز کاهش عملکرد ۶۴ درصد ثبت شد (موسوی ۲۰۱۰). افزایش عملکرد ناشی از کنترل علف‌های هرز در یک پژوهش دو ساله ۱۹۹و ۹۲ درصد (موسوی و همکاران ۲۰۰۷) و در پژوهشی دیگر ۵۸ درصد (موسوی و همکاران ۲۰۰۹) گزارش شد.

مقایسه عملکرد دانه تیمارهای مدیریت و عاری از علف‌هرز

اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود ($F=16.95, P<0.0001, df=14$). بیشترین عملکرد دانه در شرایط عاری از علف‌هرز با تراکم‌های ۵۰، ۴۰ و ۳۰ بوته در مترمربع و نیز تیمار مدیریت تلفیقی کاربرد پیریدیت و یک‌بار کولیتواسیون و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع حاصل شد. کمترین عملکرد نیز در تیمار عدم کاربرد پیریدیت و عدم کولتیواسیون با تراکم‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته، عدم کاربرد پیریدیت و کاربرد کولتیواسیون با تراکم‌های ۳۰ و ۴۰ بوته در مترمربع مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثرات نحوه مدیریت علفهای هرز بر عملکرد دانه نخود

علف‌کش	تراکم نخود	کولتیواسیون	عملکرد دانه ($Kg.ha^{-1}$)
پیریدیت [a]	۳۰	یک‌بار کاربرد	۶۷۵/۵ bcd
پیریدیت	۳۰	عدم کاربرد	۵۷۲/۳ de
پیریدیت	۴۰	یک‌بار کاربرد	۶۸۶/۲ bcd
پیریدیت	۴۰	عدم کاربرد	۵۹۸/۵ cde
پیریدیت	۵۰	یک‌بار کاربرد	۷۶۱/۳ abc
پیریدیت	۵۰	عدم کاربرد	۶۵۱/۰ bcd
عدم کاربرد	۳۰	یک‌بار کاربرد	۲۹۸/۲ fg
عدم کاربرد	۳۰	عدم کاربرد	۱۷۴/۲ g
عدم کاربرد	۴۰	یک‌بار کاربرد	۳۲۷/۵ fg
عدم کاربرد	۴۰	عدم کاربرد	۲۴۴/۲ fg
عدم کاربرد	۵۰	یک‌بار کاربرد	۳۶۲/۸ ef
عدم کاربرد	۵۰	عدم کاربرد	۲۰۶/۴ fg
عاری از علف هرز	۳۰	-	۸۵۳/۶ ab
عاری از علف هرز	۴۰	-	۹۱۶/۳ a
عاری از علف هرز	۵۰	-	۹۳۲/۸ a

[a] کاربرد دز توصیه‌شده (۱۲۰۰ گرم ماده موثره در هکتار) علف‌کش پس‌رویشی پیریدیت؛ اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال۰/۰۵تفاوت معنی‌داری ندارند.

جمع‌بندی

کاربرد پیریدیت درمقایسه با عدم کاربرد علف‌کش، ارتفاع بوته، تعداد غلاف شاخه اولیه و دودانه‌ای، وزن صد دانه و عملکرد دانه را به‌ترتیب ۱۳، ۶۵، ۱۵۰ (۲/۵ برابر)، ۱۱، ۱۵۰ (۲/۵ برابر) درصد افزایش و تعداد غلاف پوک را ۵۱ درصد کاهش داد. همچنین، با یک‌بار

کولتیواسیون در مقایسه با عدم کولتیواسیون، تعداد شاخه‌های اولیه و ثانویه در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد غلاف شاخه اولیه و ثانویه، تعداد و وزن دانه در بوته، وزن صد دانه، وزن خشک تک‌بوته و عملکرد دانه به‌ترتیب ۳۳، ۴۵، ۳۷، ۲۵، ۱۰۰، ۳۷، ۲۲، ۱۱، ۳۱ و ۳۱ درصد افزایش یافتند. در شرایط حضور علف‌های هرز، مجموع تراکم گیاهان و رقابت بین گونه‌ای افزایش می‌یابد؛ افزایش تراکم گیاهی از عوامل ایجاد رقابت جهت دریافت منابع مشترک اعم از عناصر غذایی، نور و فضای رویش است. با مدیریت علف‌های هرز کل این منابع در اختیار گیاه زراعی قرار می‌گیرد تا گیاه بتواند از حداکثر توان خود در رشد و تولید بهره گرفته و نمود بهتری داشته باشد (محمدی و همکاران ۲۰۰۵؛ حبیب زاده ۲۰۰۶). علفکش پیریدیت با کاهش تراکم و تداخل علف‌های هرز و کاهش تراکم کل گیاهی سبب فراهمی بیشتر فضا و منابع قابل دسترس، امکان تجمیع بیشتر ماده خشک در اندام‌های رویشی و زایشی نخود شده و اعمال کولتیواسیون نیز با کنترل علف‌های هرز در بین ردیف‌های کشت و کاهش تداخل علف‌های هرز موجب افزایش توان گیاه زراعی در استفاده از منابع محیطی گردید. از آنجا که کاربرد علفکش پیریدیت و کولتیواسیون علف‌های هرز تاثیر مثبتی بر بیشتر صفات مربوط به رشد رویشی و عملکرد نخود همراه با کاهش معنی‌دار زیست‌توده و تراکم علف‌های هرز داشت، لذا می‌توان اظهار داشت که کاربرد پیریدیت و بهره‌گیری از کولتیواسیون جهت بهبود مدیریت و حفظ عملکرد ضروری است.

با کاربرد علفکش پیریدیت تعداد شاخه اولیه در میانگین تراکم‌های ۳۰ و ۴۰ بوته ۱/۵ برابر، تعداد شاخه ثانویه در تراکم ۳۰ بوته ۲/۳ برابر و تعداد غلاف شاخه ثانویه در میانگین تراکم‌های ۳۰ و ۴۰ بوته ۳/۰ برابر تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و نیز بیشتر از کلیه تیمارهای عدم کاربرد علف‌کش (به‌ترتیب ۱/۷، ۳/۷ و ۳/۹ برابر) بود؛ در حالی‌که در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع، کاربرد علفکش تاثیری بر این صفات نداشت. همچنین در شرایط کاربرد علفکش پیریدیت، تعداد غلاف در بوته، تعداد و وزن دانه در بوته و وزن خشک تک‌بوته در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع بیشترین مقدار و به‌ترتیب ۲/۷، ۳/۱، ۳/۹ و ۲/۶ برابر بیشتراز میانگین تیمارهای تراکم و کولتیواسیون بدون کاربرد پیریدیت بود. مقادیر این صفات در تراکم ۴۰ بوته نخود در مترمربع به‌ترتیب ۲/۰، ۲/۲، ۲/۷ و ۲/۱ برابر و در تراکم ۵۰ بوته نخود در مترمربع به‌ترتیب ۵۷، ۶۸، ۹۳ و ۷۶ درصد بیشتر از میانگین تیمارهای تراکم و کولتیواسیون بدون کاربرد پیریدیت بود. بدون کاربرد علف‌کش، تراکم نخود اثری بر این صفات نداشت (بجز وزن دانه در بوته در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع). تراکم ۳۰ بوته در مترمربع دارای بیشترین تعداد غلاف شاخه اولیه (۱۸ درصد بیشتر از میانگین تراکم ۳۰ و ۴۰ بوته) و وزن صددانه در تراکم ۳۰ بوته فاقد تفاوت معنی‌دار با ۴۰ بوته و ۱۱ درصد بیشتر از تراکم ۵۰ بوته در مترمربع بود.

نتیجه گیری

به نظر می‌رسد کاهش تراکم نخود و درنتیجه امکان بهره‌برداری بیشتر هر بوته از منابع موجود تنها در صورتی که مدیریت علف‌های هرز به نحو مطلوبی صورت گیرد می‌تواند موجب افزایش رشد و عملکرد تک‌بوته شود؛ به نحوی‌که در شرایط آلودگی، از آنجا که بوته‌های نخود رقابت‌کننده‌های ضعیفی در مقابل علف‌های هرز هستند، افزایش تراکم این گیاه زراعی سبب رقابت کنندگی بهتر آنها و فرونشانی علف‌های هرز نشد. با این وجود، از آنجا که عملکرد دانه تیمار تراکم ۵۰ بوته نخود در مترمربع همراه با کاربرد پیریدیت و کولتیواسیون معادل تیمارهای عاری از علف‌هرز (هر سه تراکم ۳۰ و ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع) بود، و نیز با توجه به این واقعیت که همواره بخشی از جمعیت علف‌های هرز از عملیات مدیریتی فرار می‌کنند و طی فصل رشد در مزرعه حضور دارند، لذا می‌توان اظهار داشت که در شرایط آلودگی پایین علف‌های هرز، بهره‌گیری از حد بالایی تراکم قابل‌قبول کاشت نخود می‌تواند در دست‌یابی به عملکرد مطلوب راهگشا باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه گیلان و مرکز آموزش علمی کاربردی جهاد کشاورزی ماهیدشت کرمانشاه به جهت همکاری در اجرای این پروژه تحقیقاتی سپاسگزاری می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Abbasian A, Rashed Mohassel MH, Nezami A and Izadi Darbandi E. 2018. Photocontrol of weed and application reduced dosage of imazethapyr and trifuralin on weed management of chickpea. Journal of Plant Protection, 31(4): 548-557. https://doi: 10.22067/jpp.v31i4.23450 (In Persian).

Agricultural Statistics. 2020. Annual Agricultural Statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. Available online at: https://www.maj.ir (In Persian).

Asadi GA, Khorramdel S and Mahmoudi G. 2015. Impact of sunflower (Helianthus annuus) residue levels on characteristics of weed population and yield and yield components of chickpea (Cicer arietinum). Iranian Journal of Pulses Research, 6(2): 151-163. https://doi: 10.22067/ijpr.v1394i2.27768 (In Persian).

Asghari M and Armin M. 2015. Effect of weed interference in different agronomic managements on grain yield and yield components of chickpea (Cicer arietinum L.). Journal of Crop Ecophysiology, 8(4): 407-422. Available online at: https://sanad.iau.ir/fa/Article/956715 (In Persian).

Babaei-nejad B and dadkhah A. 2018. Effect of sugar beet (Beta vulgaris) and canola (Brassica napus) residue on weeds, yield and yield components of chickpea (Cicer arietinum). Iranian Journal Pulses Research, 9(1): 204-220. https://doi: 10.22067/ijpr.v9i1.56050 (In Persian).

Barary M, Mazaheri D and Banai T. 2003. The effect of row and plant spacing on the growth and yield of chickpea. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2(12): 241-261.

Bayat R, Sabaghpour SH, Hatami A and Mehrabi A.A. 2012. Study on effect of sowing date and plant density on grain yield and yield components of improved chickpea (Cicer arietinum L.) Kabuli type var. Arman. Iranian Journal of Pulses Research, 3(2): 65-72. https://doi: 10.22067/ijpr.v1391i2.24700 (In Persian).

Datta A, Sindel BM, Jessop RS, Kristiansen P and Felton WL. 2007. Phytotoxic response and yield of chickpea (Cicer arietinum) genotypes with pre-emergence application of isoxaflutole. Australian Journal of Experimental Agriculture, 47: 1460-1467. https://doi: 10.1071/EA07036

Dayan FE, Cantrell CL and Duke SO. 2009. Natural products in crop protection. Bioorganic and Medicinal Chemistry, 17: 4022–4034. https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.01.046

Fallahi A, Ahmadvand G, Mondani F and Aliverdi A. 2021. Response of yield and yield compounds of chickpea rain-fed cultivars to plant density and weed interference. Iranian Journal of Pulses Research, 12(1): 41-57. https://doi: 10.22067/ijpr.v12i1.74983 (In Persian).

Ghasemi F, Weisany W, Diyanat M and Moradi M. 2022. Effect of planting density on increasing the competitive ability of chickpea (Cicer arietinum L.) cultivars against weeds. Journal of Crops Improvement, 4(3): 841-853. https://doi: 10.22059/jci.2022.327605.2586 (In Persian).

Gimenez R, Jimenez R, Garrido RG, Parda R and De-Parado R. 1994. Effect of Lentageran in different varieties of chickpea (Cicer arietinum L.). 46th International Symposium on Crop Protection Gent. Belgium.

Ghollampoor Shemami Y, Majnoun Hosseini N and Alizadeh H. 2013. Effects of plant population density and weed management on chickpea yield (Cicer arietinum L.). Iranian Journal of field crop science, 44(1): 147-158. https://doi: 10.22059/ijfcs.2013.30491 (In Persian).

Habibzadeh Y, Mameghani R, Kasani A and Mesgharbashi M. 2006. Effect of density on yield and some vegetative and reproductive characters of three mungbean genotypes in Ahvaz area. Iranian Journal of Agricultural Science, 37-1 (3): 227-335. Available online at: https://jijas.ut.ac.ir/article_17731.html (In Persian).

Khandan Bejandi T, Seyed Sharifi R, Sedghi M, Asgari Zakaria R, Namvar A and Jafari Moghaddam M. 2010. Effect of plant density, rhizobia and microelements on yield and some of morph physiological characteristics of pea. Electronic Journal of crop production, 3(1): 139-157. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1389.3.1.9.4 (In Persian).

Khattak MK and Khan M.J. 2005. Effect of different tillage practices on weeds and yield of chickpea under sandy loam soil conditions. Pakistan Journal of Weed Science and Research, 11: 67-74. Available online at: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20063062650

Jalilian J, Modarres Sanavy SAM and Sabaghpour SH. 2005. Effect of plant density and supplemental irrigation on yield, yield components and protein content of four chickpea (Cicer arietinum) cultivars under dryland condition. Journal of Agricultural Science and Natural Resource, 12(5): 1-9. Available online at: https://sid.ir/paper/9679/fa (In Persian).

Mansourian S, izadi E, Rashed-Mohassel M, Rastgo M, and Kanouni H. 2021. Weed mapping for dryland chickpea (Cicer arietinum L.) fields in Kurdistan province using geographic information system. Journal of Iranian Plant Protection Research, 35(1): 69-89. https://doi: 10.22067/JPP.2021.30942.0 (In Persian).

Maghsoudi A, Izadi-Darbandi E, and Nezami A. 2020. Evaluation of mulch combination with Trifluralin and Imazethapyr for chickpea (Cicer arietinum L.) weed control. Iranian Journal Pulses Research, 11(1): 12-25. https://doi: 10.22067/ijpr.v11i1.70011 (In Persian).

McDonald GK, Hollaway KL and McMurray L. 2007. Increasing plant density improves weed competition in lentil (Lens culinaris). Australian Journal of Experimental Agriculture, 47: 48-56. https://doi: 10.1071/EA05168

Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. 2020. Annual Agricultural Statistics. (Available at https://www.maj.ir/).

Mohammadi GR, Javanshir A, Rahimzadeh-Khoie F, Mohammadi A and ZehtabSalmasi S. 2004. The effect of weed interference on shoot and root growth and harvest index in chickpea. Iranian Journal of Crop Sciences, 6(3): 181-191. http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1383.6.3.1.0 (In Persian).

Mohammadi G, Javanshir A, Khooie FR, Mohammadi SA and Zehtab Salmasi S. 2005.Critical period of weed interference in chickpea. Weed Research, 45(1): 57-63. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00431.x

Mohammad Nejad y, Soltani A, Sayyedi F, Zeinali E and Faraji A. 2006. The proportion of main stem and branches on yield of chickpea at various planting dates and densities. Journal of Agricultural Science and Natural Resource, 13: 115-122. Available online at: https://www.sid.ir/paper/9399/fa (In Persian).

Mousavi SK, Pezeshkpour P and Shahverdi M. 2007. Weed population response to planting date and cultivar chickpea (Cicer arietinum). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 40: 167-177. http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1386.11.40.14.4 (In Persian).

Mousavi SK. 2010. Chemical weed control in autumn sowing of chickpea (Cicer arietinum L.) at Lorestan province. Iranian Journal of Pulses Research, 1(2): 131-142. https://doi.org/10.22067/ijpr.v1i2.9223 (In Persian).

Mousavi SK and Ahmadi A. 2009. Response of chickpea (Cicer arietinum L.) yield and yield components to sowing date, crop density and weed interference in Lorestan province. Journal of Plant Protection, 23(2): 1-13. https://doi.org/10.22067/jpp.v23i2.2542 (In Persian).

Mousavi SK, Ahmadi A and Ghorbani R. 2009. Evaluation the effects of sowing date and plant population on morphological characteristics and yield of chickpea (Cicer arietinum L.) and its weed population under dryland condition of Lorestan province. Iranian Journal of Field Crops Research, 7(1): 241-254. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20081472.1388.7.1.24.2 (In Persian).

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): 87-102. Available

online at: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_6639.html?lang=fa (In Persian).

Radicetti E, Mancinalli R, and Campiglia E. 2012. Combined effect of genotype and inter-row tillage on yield and weed control of chickpea (Cicer arietinum L.) in a rainfed mediterranean environment. Field Crop Research, 127: 161-169. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.013

Rashidzadeh B, Elahifard E, Siahpoush A, and Farkhari M. 2019. Effect of crop density and sowing date on the growth indices and weed control of chickpea (Cicer arietinum L.). Journal of Crop Production, 12(3): 53-68. https://doi. 10.22059/jci.2022.327605.2586 (In Persian).

Seyed Sharifi R, Farzaneh S and Seyed Sharifi R. 2007. Comparison of chemical control and allelopathic effect of weeds in chickpea under rainfed conditions. Iranian Journal of Biology (Journal of Plant Research), 20(4): 334-343. Available online at: https://www.sid.ir/paper/21288/fa (In Persian).

Somani LI. 1992. Dictionary of Weed Science. Agronomy Publishing Academy (India). 256 pp.

Stagnari F, and Pisante M. 2011. The critical period for weed competition in French bean (Phaseolus vulgaris L.) in mediterranean areas. Crop Protection, 30(2): 179-184. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.11.003

Tepe I, Erman M, Yergin R and Bükün B. 2011. Critical period of weed control in chickpea under non-irrigated conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 35: 525-534. https://doi. 10.3906/tar-1007-956

Yousefi A, Alizadeh H, Rahimian H and Jahansooz MR. 2006. Effects of chemical control and hand weeding on broadleaf weed on entezari sowing of chickpea. Iranian Journal of Agricultural Science, 37-1(2): 337-346. Available online at: https://jijas.ut.ac.ir/article_17732.html (In Persian).

Zand E, Nezamabadi N, Baghestani MA, Shimi P and Mousavi SK. 2019. A Guide to Chemical Control of Weeds in Iran, Sixth edition. Jdmpress. 216pp. (In Persian).

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 85-97

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

The Effect of Transplanting, Planting Arrangement and Plant Density on forage corn Yield and Yield Components in Delayed Cultivation Conditions

Mehdi Mottaghi

Received: 18 January 2023	Accepted: 31 August 2023

Assist. Prof., Horticulture Crops Research Dept, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Hamedan, Iran.
*Corresponding Author Email: m.motaghi@areeo.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The present study was performed to determine the effect of planting arrangement and plant density in transplanting method on forage corn yield and yield components and water consumption indicators for delayed cultivation in Hamadan province.

Materials and Methods: This study was carried out as split-plot factorial based on randomized complete block design at the Ekbatan station of Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Hamedan. The planting arrangement in three levels including a one- row with spacing of 70 cm, two- row with spacing of 70 cm and two- row with spacing of 140 cm as the main factor and plant density in three levels including 85000, 110000 and 135000 plants per hectar, along with the planting method in two levels, including direct seed cultivation and transplanting were considered as secondary factors.

Results: The highest yield of fresh forage with 75661 and 72359 $kg.ha^{-1}$ belonged to the planting arrangments of two- row with spacing of 70 and 140 cm, respectively. However, the highest values of protein yield (2694.78 $kg.ha^{-1}$), ear to fresh forage weight ratio (33.53 %), as well as water use efficiency and economic water productivity (22.33 $kg.m^{-3}$ and 10048.9 $toman.m^{-3}$ of water) were belonged to the planting arrangement of two-row with spacing of 140 cm. Among the different plant densities, the density of 110000 plants per hectar, despite the relatively lower values of fresh and dry forage compared to the density of 135000 plants, in terms of the ear to fresh forage weight ratio and protein content (32.80 and 12.54 %, respectively) and protein yield (2789.86 $kg.ha^{-1}$) was superior to the density of 135000 plants which indicated its high nutritional value for livestock. Appropriate values of height and diameter of stem (273.13 and 2.65 cm, respectively) in the density of 110000 plants can maintain plant resistance against lodging. The transplanting showed higher quantities of fresh and dry forage and protein yield (72160, 22066 and 2585 $kg.ha^{-1}$, respectively) compared to direct seeding, also, it improved the amount of water use efficiency (WUE) and economic water productivity by 19.3 and 19.2 %, respectively.

Conclusion: In the conditions of delayed cultivation of forage corn, transplanting under the density of 110000 plants per hectar in the planting arrangement of two- row with spacing of 140 cm, in addition to maintaining the resistance of plants against lodging, caused harvesting forage with high yield and optimal nutritional value before the autumn cold and significantly increased the water use efficiency.

Keywords: Economic Water Productivity, Ear to Fresh Forage Weight Ratio, Protein Yield, Two- Row Arrangement, Use Efficiency Water

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Mehdi Mottaghi Email: m.motaghi@areeo.ac.ir

https://doi.org/10.22034/saps.2023.54990.2976

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۹۷-۸۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تأثیر نشاکاری، آرایش کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای در شرایط کشت تأخیری

مهدی متقی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: m.motaghi@areeo.ac.ir

چکیده

اهداف: این تحقیق با هدف تعیین اثرگذاری آرایش کاشت و میزان تراکم بوته در شرایط کشت نشایی بر عملکرد و اجزای عملکرد علوفه تولیدی و شاخص‌های مصرف آب در کشت تأخیری ذرت در استان همدان انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب کرت‌های خرد شده فاکتوریل برپایه بلوک‌های کامل تصادفی در ایستگاه اکباتان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان اجرا شد. آرایش کاشت در سه سطح شامل یک ردیفه معمول با فاصله کاشت بین ردیف ۷۰ سانتیمتر، ۷۰ سانتیمتر دو ردیفه و ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه به عنوان عامل اصلی و تراکم بوته در سه سطح شامل ۸۵۰۰۰، ۱۱۰۰۰۰ و ۱۳۵۰۰۰ بوته در هکتار، به همراه شیوه کاشت در دو سطح، شامل کشت مستقیم بذر و کشت نشایی به‌عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شدند.

یافته‌ها: بیشترین میزان عملکرد علوفه تر به ترتیب با ۷۵۶۶۱ و ۷۲۳۵۹ کیلوگرم در هکتار متعلق به آرایش ۷۰ سانتی‌متر دوردیفه و آرایش ۱۴۰ سانتی‌متر دوردیفه بود. با این همه، بالاترین مقادیر عملکرد پروتئین (۲۶۹۴/۷۸ کیلوگرم در هکتار)، نسبت وزن بلال به علوفه تر (۳۳/۵۳ درصد) و همچنین کارایی مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آن (به ترتیب ۲۲/۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱۰۰۴۸/۹ تومان بر مترمکعب آب) متعلق به آرایش ۱۴۰ سانتی‌متر دوردیفه به دست آمد. در میان تراکم‌های مختلف، تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته در هکتار علیرغم کمتر بودن نسبی مقادیر عملکرد تر و خشک آن در مقایسه با تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته، از نظر مقادیر نسبت وزن بلال به علوفه تر و میزان پروتئین (به ترتیب ۳۲/۸۰ و ۱۲/۵۴ درصد) و عملکرد پروتئین (۲۷۸۹/۸۶ کیلوگرم در هکتار) برتر از تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته بود که نشان دهنده ارزش غذایی بالای علوفه آن برای دام بود. مقادیر مناسب ارتفاع و قطر ساقه (به ترتیب ۲۷۳/۱۳ و ۲/۶۵ سانتیمتر) در تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته، از مقاومت نسبی آن به ورس حکایت داشت. بهره گیری از کشت نشایی، سبب دستیابی به مقادیر بالاتر علوفه تر و خشک و عملکرد پروتئین (به ترتیب ۷۲۱۶۰، ۲۲۰۶۶ و ۲۵۸۵ کیلوگرم در هکتار) و بهبود کارایی مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آن به ترتیب به میزان ۱۹/۳ و ۱۹/۲ درصد در مقایسه با کشت بذری گردید.

نتیجه گیری: در شرایط کشت تأخیری، نشاکاری ذرت علوفه‌ای تحت تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته در هکتار در آرایش ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه، می تواند علاوه بر حفظ مقاومت بوته ها به ورس، عامل برداشت علوفه با عملکرد بالا و ارزش غذایی مطلوب پیش از وقوع سرمای پاییزه باشد که این امر همراه با افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب است.

واژه‌های کلیدی: آرایش دوردیفه، بهره‌وری اقتصادی آب، عملکرد پروتئین، کارایی مصرف آب، نسبت وزن بلال به علوفه

مقدمه

محدودیت منابع آبی در استان همدان سبب شده است که علیرغم دماهای پایین شبانه در فصول گرم سال، سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای در بازه سالهای ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ خورشیدی بدون تغییر چندانی، در سطح حدود ۴۰ هزار هکتار باقی مانده باشد (بی‌نام ۲۰۲۱). علاوه بر مشکل کم‌آبی، زراعت ذرت در استان همدان با مشکلات دیگری نیز مواجه است. به‌عنوان مثال، عموماً کشاورزان اقدام به کشت تأخیری ذرت پس از برداشت محصولات پاییزه می کنند که با توجه به زودرس بودن سرمای پاییزه در همدان، این امر سبب محدودیت فصل رشد می‌شود که عدم توجه به آن، آثار نامطلوبی بر عملکرد و کیفیت علوفه تولیدی خواهد داشت. افزون بر آن، برداشت دیرهنگام ذرت سبب تاخیر و ایجاد مشکل برای آماده سازی زمین جهت کشت گیاهان پاییزه می‌شود.آرایش کاشت در توزیع نور در کانوپی گیاهی، رقابت بین گیاهی و تعیین عملکرد نهایی موثر است. در دهه‌های اخیر جایگزینی آرایش کاشت سنتی ۷۰ سانتیمتر یک ردیفه با آرایش‌های جدید، بخصوص کشت دو ردیفه بذر در فاصله ردیف ۷۰ سانتیمتر مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات نشان می‌دهد که در آرایش کشت دو ردیفه ذرت، توزیع بوته ها روی پشته به صورت متوازی الاضلاع خواهد بود که این امر فاصله و فضای مناسب تری را برای هر بوته جهت بهره گیری از نور و جذب رطوبت و کود و سایر عناصر فراهم می‌آورد که نهایتا سبب افزایش عملکرد دانه و علوفه ذرت در آرایش کاشت دو ردیفه می‌گردد. برای مثال رمضانی و همکاران (۲۰۰۹) از افزایش ۸ درصدی وزن علوفه تر تولیدی ذرت و افراسیاب و همکاران (۲۰۱۶) از افزایش ۳/۷ درصدی عملکرد دانه در آرایش کاشت دوردیفه نسبت به یک ردیفه خبر داده اند. اگرچه کشت ذرت با تراکم بالا در آرایش دوردیفه، سبب افزایش قابلیت رقابت ذرت با علف‌های هرز و در نتیجه کاهش نیاز به استفاده از علف‌کش های شیمیایی می‌شود (صفدری منفرد و همکاران ۲۰۱۳)، در صورت عدم رعایت تراکم مطلوب در کشت دو ردیفه، افزایش رقابت بین بوته ها سبب رشد بیش از حد آنها و افزایش شدید ارتفاع ساقه می‌شود که این امر در کنار کاهش قطر ساقه، سبب افزایش نسبت ارتفاع به قطر ساقه و در نتیجه افزایش حساسیت بوته به ورس می‌شود. ورس بوته با توجه به ایجاد مشکل در برداشت مکانیزه محصول، از عوامل کاهش عملکرد ذرت در واحد سطح است. علاوه بر این رشد بیش از حد ارتفاع ساقه، سبب افزایش شدید وزن ساقه و متعاقباً افزایش میزان لیگنین (از عوامل کاهنده قابلیت هضم علوفه) و کاهش نسبت وزن بلال به علوفه می‌گردد (یلماز و همکاران ۲۰۰۸). با توجه به اهمیت تعیین تراکم مناسب بوته در آرایش‌های مختلف کشت ذرت، تحقیقات مختلفی در این زمینه انجام گرفته است. رمضانی و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی برهمکنش تراکم‌های ۷۰۰۰۰ و ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار با آرایش‌های کشت یک و دو ردیفه در منطقه قائم‌شهر، بیشترین عملکرد دانه ذرت را به میزان ۱۰۲۹۰ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۸۰۰۰۰ بوته در آرایش دو ردیفه و کمترین را به میزان ۷۹۴۲ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۷۰۰۰۰ بوته در آرایش یک ردیفه گزارش کردند. همچنین در حالی که علیپور ابوخیلی و همکاران (۲۰۱۵) تراکم ۹۰۰۰۰ بوته را برای دستیابی به حداکثر علوفه تولیدی در آرایش یک ردیفه ذرت در منطقه قراخیل استان گیلان توصیه کرده اند، شاه کرمی و رفیعی (۲۰۰۹) از امکان افزایش تراکم مطلوب تا صدهزار بوته در کشت دوردیفه ذرت دانه‌ای خبر داده‌اند.

از روش‌های موثر در افزایش عملکرد ذرت در شرایط کشت تأخیری، نشاکاری است که در مقایسه با کاشت مستقیم بذر، زمان برداشت را بسته به سن گیاهچه دو تا سه هفته کاهش داده و افزایش معنی‌داری در زودرسی گیاه ایجاد می‌کند (دی بندنتو و راتین ۲۰۰۸). سردار و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کشت نشایی ذرت باعث افزایش جذب تابش شده و گیاه سریع‌تر به شاخص سطح برگ نهایی می‌رسد. این موضوع سبب می‌شود که گیاه عملکرد بالاتری در شرایط کشت دوم (تأخیری) داشته باشد.

صادقی و ماهرخ (۲۰۲۰) با اجرای آزمایشی، عملکرد دانه ذرت در دو شیوه کشت نشایی و کشت مستقیم بذر تحت شرایط کاشت تأخیری (تابستانه) را به ترتیب ۱۰۴۶۶ و ۱۰۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرده و از زودرسی محصول به میزان ۱۲ روز در کشت نشایی خبر دادند. همچنین قلخانی و همکاران (۲۰۲۲) با اشاره به افزایش میزان عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک ذرت به ترتیب به میزان ۱۵/۴ و ۱۱/۴ درصد در شرایط کشت نشایی نسبت به کشت مستقیم بذر، افزایش ۱۵/۱ درصدی کارایی مصرف آب در نشاکاری را گزارش کردند. صرفه جویی در مصرف آب، امکان کاشت حتی در شرایط نامساعد آب و هوایی، بهبود استقرار گیاهچه ها و یکنواختی بیشتر مزرعه، عدم آسیب پذیری در مقابل آفت آگروتیس و مقابله با خسارت پرندگان در مراحل ابتدایی رشد از دیگر مزایای کشت ذرت به صورت نشایی است. اگرچه معایبی همچون نیاز به سینی کاشت و افزایش مدت و هزینه کاشت (به خصوص در صورت انتقال دستی نشا به خاک مزرعه) برای کشت نشایی ذرت قابل ذکر است.

تحقیق حاضر با هدف تعیین اثرگذاری نوع آرایش کاشت و تراکم بوته در شرایط کشت نشایی بر عملکرد و اجزای عملکرد علوفه تولیدی و شاخص‌های مصرف آب برای کشت تأخیری ذرت در استان همدان انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب کرت‌های خردشده فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۹ در ایستگاه اکباتان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه و ۴۰ ثانیه عرض شمالی اجرا شد. ارتفاع ایستگاه اکباتان همدان از سطح دریا حدود ۱۷۵۰ متر بوده و این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک و سرد کوهستانی است. داده‌های هواشناسی شهرستان همدان در جدول ۱ نشان داده شده است (بی نام ۲۰۲۰). شایان ذکر است که در طول انجام آزمایش، هیچ‌گونه بارندگی موثر وجود نداشت.

جدول ۱- درجه حرارت کمینه و بیشینه در دهه‌های مختلف ماه‌های رشد و نمو ذرت طی سال ۱۳۹۹ در شهرستان همدان

ماه	دهه اول ماه		دهه دوم ماه		دهه سوم ماه	
	دمای کمینه (سانتی‌گراد)	دمای بیشینه (سانتی‌گراد)	دمای کمینه (سانتی‌گراد)	دمای بیشینه (سانتی‌گراد)	دمای کمینه (سانتی‌گراد)	دمای بیشینه (سانتی‌گراد)
تیر	۱۶/۳	۳۸/۳	۱۷/۱	۳۸/۱	۱۶/۶	۳۷/۵
مرداد	۱۵/۱	۳۶/۲	۱۴/۸	۳۷	۱۴	۳۶/۷
شهریور	۱۲/۹	۳۵	۱۱/۲	۳۳/۴	۱۰/۶	۳۲/۴
مهر	۹/۴	۲۹/۵	۷/۴	۲۷/۲		

آرایش کاشت در سه سطح شامل یک ردیفه معمول با فاصله کاشت بین ردیف ۷۰ سانتیمتر، ۷۰ سانتیمتر دو ردیفه و۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه به عنوان عامل اصلی در کرت اصلی و تراکم در سه سطح شامل ۸۵۰۰۰، ۱۱۰۰۰۰ و۱۳۵۰۰۰ بوته در هکتار، به همراه شیوه کاشت در دو سطح، شامل کشت مستقیم بذر و کشت نشایی به‌عنوان عوامل فرعی به صورت فاکتوریل در کرت فرعی قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول پنج متر بود. بین کرت‌های اصلی دو ردیف نکاشت و بین کرت‌های فرعی یک ردیف نکاشت در نظر گرفته شد. هیبرید ذرت مورد استفاده، تری وی کراس میان رس ۶۴۷ بود و عملیات تهیه بستر شامل شخم، روتیواتور، دیسک و تسطیح مزرعه بود. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲)، ۱۵۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم، ۱۰۰ کیلوگرم فسفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار در زمان کاشت به زمین اضافه شد. همچنین ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در مرحله ۸-۶ برگی همزمان با آبیاری به خاک اضافه شد.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

پتاسیم	فسفر	کربن آلی	نیتروژن کل	شن	لای	رس	اسیدیته	هدایت الکتریکی
($mg.kg^{-1}$)		(٪)						($dS.m^{-1}$)
۳۴۸	۵	۰/۵۳	۰/۰۵	۴۹	۲۴	۲۷	۷/۸۸	۱/۰۸

ترکیب بستر کاشت نشاها شامل خاک زارعی، کود حیوانی کاملا پوسیده و ماسه بادی به نسبت ۳، ۱ و ۱ بود. سینی‌های نشا در فضای باز نگهداشته شده و روزانه یک‌بار آبیاری می‌شدند. در مرحله دو برگی، محلول‌پاشی کود نیتروژن (از منبع اوره) به میزان دو در هزار و کود کامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم به میزان سه در هزار انجام شد. گیاهچه‌ها در سن ۲۰ روزگی (چهار برگی) به زمین اصلی منتقل و بلافاصله پس از نشاکاری، آبیاری زمین انجام شد. در کشت ۷۰ سانتیمتر یک ردیفه، یک نوار تیپ در کنار هر ردیف کاشت قرار داده شده و در کشت ۷۰ و ۱۴۰ سانتیمتر دو ردیفه، یک نوار تیپ از میان دو خط کاشت مجاور که از یکدیگر ۲۰ سانتیمتر فاصله داشتند، عبور داده شد. میزان نیاز آبی بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرستان همدان و با در نظر گرفتن ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد محاسبه و بر اساس نتایج حاصله میزان آب آبیاری در هر آبیاری تعیین شد. وجین علف های هرز در طول رشد گیاه به طور مرتب انجام شد. جهت مبارزه با آفات کارادرینا و آگروتیس، در مرحه ۴ تا ۶ برگی ذرت از حشره‌کش لاروین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و برای مبارزه با شته ذرت از آفت‌کش کنفیدور به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار در مرحله ۱۰ تا ۱۲ برگی گیاه استفاده شد.

از دو ردیف میانی هر کرت تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته و قطر ساقه (در نیمه طول ساقه) اندازه‌گیری شدند. در مرحله خمیری شدن دانه (زمان مناسب برداشت ذرت علوفه‌ای)، از وسط هر کرت نمونه‌ای به مساحت چهار متر مربع برداشت و مقادیر وزن تر برگ، ساقه و بلال و مجموع وزن تر علوفه تعیین گردید. جهت تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشکانده شده و مجدداً توزین شدند. اندازه‌گیری میزان پروتئین خام علوفه خشک با روش کجلدال انجام شد. عملکرد پروتئین از حاصل‌ضرب میزان پروتئین در وزن علوفه خشک به دست آمد.

با در نظر گرفتن میانگین قیمت فروش هر کیلوگرم علوفه‌تر ذرت در سال ۱۳۹۹ برابر با ۴۵۰ تومان، برای محاسبه کارایی مصرف آب (WUE= Water Use Efficiency) و بهره‌وری اقتصادی آب، از روابط زیر استفاده شد:

$$\text{کارایی مصرف آب} = \frac{\text{علوفه تر (kg)}}{\text{میزان آب مصرفی } (m3)} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$\text{بهره‌وری اقتصادی آب} = \frac{\text{درآمد حاصل از فروش محصول}}{\text{میزان آب مصرفی } (m3)} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

(رابطه ۳) بهای فروش علوفه‌تر (تومان) × میزان علوفه‌تر (کیلوگرم در هکتار) = درآمد حاصل از فروش محصول

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت‌های معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۳ بیانگر معنی‌دار بودن اثر آرایش کاشت، تراکم بوته و شیوه کاشت بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد است. در مورد قطر ساقه، اثر ساده آرایش و شیوه کاشت در سطح پنج درصد و اثر تراکم بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود. از میان آرایش‌های کاشت، آرایش ۷۰ سانتیمتر دو ردیفه با ۲۶۹/۳۳ سانتیمتر از بیشترین ارتفاع بوته و در عین حال کمترین قطر ساقه (۲/۶۹ سانتی متر) نسبت به سایرین برخوردار بود (جدول ۴). بیشتر بودن طول ساقه در آرایش کاشت ۷۰ سانتیمتر دوردیفه

نسبت به آرایش کاشت یک ردیفه توسط رمضانی و همکاران (۲۰۰۹) نیز مورد اشاره قرار گرفته است، اگرچه آنها قطر ساقه در آرایش ۷۰ سانتیمتر دو ردیفه را اندکی بیشتر از یک ردیفه اعلام کرده اند. از میان تراکم‌های مختلف بوته، بیشترین میزان تراکم (۱۳۵۰۰۰ بوته در هکتار)، حداکثر ارتفاع بوته (۲۷۳/۱۷ سانتیمتر) را نشان داد که به ترتیب حدود ۴/۷۹ و۱۰/۱۵ درصد بیشتر از ارتفاع بوته‌ها در تراکم ۱۱۰۰۰۰ و ۸۵۰۰۰ بوته بود. در مقابل، کمترین تراکم (۸۵۰۰۰ بوته در هکتار) بیشترین قطر ساقه (۲/۸۱ سانتیمتر) را نشان داد که به ترتیب حدود ۲/۹۳ و۶/۰۴ درصد بیشتر از قطر ساقه ها در تراکم ۱۱۰۰۰۰ و ۱۳۵۰۰۰ بوته بود. افزایش ارتفاع و کاهش قطر ساقه ذرت در شرایط افزایش تراکم، توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (افراسیاب و همکاران ۲۰۱۶، رحمانی و همکاران ۲۰۱۰). نسبت بین نور قرمز (طول موج ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) و نور قرمز دور (طول موج ۷۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر) از عوامل موثر در جذب نور توسط فیتوکروم ها و فتوسنتز بهینه گیاه است. در شرایط تراکم مناسب جامعه گیاهی، علاوه بر مقدار مطلوب نور دریافتی، نسبت بین نور قرمز و نور قرمز دور نزدیک به یک است که نشان دهنده کیفیت مناسب نور دریافتی گیاه است که سبب رشد بهینه گیاه می گردد. در شرایط تراکم بیش از حد، سایه اندازی متقابل گیاهان سبب می‌شود که گیاهانی که در زیر یا در اشکوب گیاهان دیگر رشد می کنند، نور قرمز دور بیشتری دریافت کنند که این امر سبب کاهش نسبت نور قرمز به نور قرمز دور و در نتیجه کاهش کارایی فتوسنتز گیاه می‌شود. در این شرایط گیاه برای افزایش دریافت نور قرمز، اقدام به بیوسنتز هورمون اکسین می کند که سبب افزایش ارتفاع ساقه بر اثر افزایش فاصله میانگره ها و همزمان بدلیل محدودیت مواد فتوسنتزی تولیدی، موجب کاهش قطر ساقه می‌گردد (راجکان و سوانتون ۲۰۰۱). ورس ساقه با طول میانگره‌ها (ارتفاع بوته) رابطه مستقیم و با قطر ساقه رابطه عکس دارد (چنگ و همکاران ۲۰۱۱) و بنابراین می‌توان گفت که در میان برهمکنش‌های مختلف سطوح آرایش کاشت و تراکم بوته، تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته در آرایش ۷۰ سانتیمتر دوردیفه از کمترین مقاومت به ورس برخوردار است. در حالی که قلخانی و همکاران (۲۰۲۲) از افزایش ارتفاع بوته و کاهش قطر ساقه در شرایط کشت نشایی خبر داده اند، صادقی و ماهرخ (۲۰۲۱) کاهش ارتفاع بوته در شرایط نشاکاری نسبت به شرایط کشت مستقیم بذر را گزارش کرده اند. در تحقیق حاضر کشت نشایی سبب کاهش حدود ۶/۸ سانتیمتری ارتفاع بوته نسبت به کشت مستقیم بذرگردید و در عین حال افزایش اندک و غیر معنی‌دار قطر ساقه به میزان ۰/۰۵ سانتیمتر را در پی داشت. لازم بذکر است که در کشت تأخیری ذرت، عموماً کشاورزان برای تسریع در رشد گیاهچه های حاصل ازکشت مستقیم بذر از مقادیر بیش از حد کود ازته استفاده می کنند که این امر خود سبب افزایش حساسیت بوته ها به ورس می‌شود. استفاده از نشاکاری در کشت تأخیری ذرت، می تواند به دلیل تسریع در زودرسی گیاه، موجب کاهش تمایل کشاورزان به استفاده بیش از حد از کودهای ازته گردد. با توجه به بادخیزبودن منطقه همدان در اواخر فصل تابستان و اوایل فصل پاییز که مصادف با اوج ارتفاع و وزن بوته ذرت است، بلند بودن بیش از حد بوته سبب افزایش حساسیت آن به ورس می‌شود که می تواند سبب کاهش قابل توجه درآمد ذرتکاران گردد. زیرا در صورت وقوع ورس، برداشت بوته‌های خوابیده توسط چاپرهای برداشت بسیار دشوار می‌شود که این امر کاهش میزان برداشت علوفه تر ذرت در واحد سطح را به دنبال دارد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر اختلاف آماری بین آرایش‌ها و مقادیر مختلف تراکم بوته از نظر صفات وزن برگ، ساقه و بلال در سطح یک درصد بود (جدول ۳)، در عین حال علیرغم معنی‌دار بودن اثر شیوه های کاشت بر صفات وزن برگ و بلال در سطح یک درصد، اثر این عامل بر وزن ساقه غیرمعنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که از نظر وزن برگ و بلال بیشترین مقادیر متعلق به آرایش ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه بود (به ترتیب ۱۵۰۰۱ و ۲۳۹۸۳ کیلوگرم در هکتار) و در مقابل آرایش ۷۰ سانتیمتر دو ردیفه از بیشترین وزن ساقه (۴۰۸۶۱ کیلوگرم در هکتار) برخوردار بود. اگرچه ساقه به دلیل ذخیره مواد فتوسنتزی در شرایط رشد زایشی، امکان تداوم تولید را در گیاه فراهم آورده و نقشی کلیدی در تولید علوفه دارد، اما به دلیل دارا بودن بافت لیگینی، مقادیر زیاد آن سبب کاهش قابلیت هضم علوفه می‌شود. در مقابل علوفه با مقادیر بالای برگ و بلال، به عنوان علوفه ایده‌آل از نظر ارزش غذایی معرفی‌شده است، زیرا بیشترین قابلیت هضم علوفه مربوط به بلال و پس از آن برگ است (آلبایراک و همکاران ۲۰۱۱). با توجه به این امر می‌توان گفت که آرایش

کشت ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه علوفه با ارزش غذایی بالاتری نسبت به سایر آرایش‌ها (به خصوص آرایش ۷۰ سانتیمتر دو ردیفه که وزن ساقه آن نسبت به سایرین، به نحو چشمگیری بیشتر است) تولید می کند. وزن برگ، ساقه و بلال در تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته به ترتیب از افزایش ۲۹، ۴۲/۶ و ۲۸/۱ درصدی نسبت به تراکم ۸۵۰۰۰ بوته برخوردار بود. علیرغم افزایش ۲۲/۷ درصدی تعداد بوته در تراکم ۱۳۵۰۰۰، وزن برگ و ساقه به ترتیب ۱۴/۱ و ۱۵/۵ درصد نسبت به تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته افزایش پیدا کرد، درحالیکه درصد افزایش وزن بلال تنها ۸/۱ درصد بود. علت افزایش قابل توجه وزن برگ و ساقه در مقایسه با وزن بلال در مقادیر بسیار بالای تراکم بوته، افزایش شدید رشد رویشی گیاه در این شرایط است. علاوه بر این، در تراکم‌های بیش از حد، سایه اندازی برگ های بالایی روی برگ های قسمت میانی و پایینی گیاه بیشتر می‌شود. با سایه اندازی برگ ها روی هم، میزان مواد حاصل از فتوسنتز برگ‌های تحت سایه از مقدار کربوهیدرات های مصرف شده در تنفس آنها کمتر شده (برگ‌های پایینی حالت انگلی پیدا می کنند) و در نتیجه این برگ ها به جای ارسال مواد به دانه‌ها، به صورت یک مخزن رقیب برای دانه در مصرف کربوهیدرات های ساخته شده به وسیله برگ های بالایی درآمده و بنابراین مقدار آسیمیلات های انتقالی به دانه کاهش می یابد که این امر منجر به کاهش وزن دانه و متعاقباً کاهش وزن بلال می‌شود (راجکان و سوانتون ۲۰۰۱). کشت نشایی ذرت سبب افزایش ۸/۹ و ۳/۷ درصدی وزن برگ و بلال و در مقابل کاهش ۱/۳ درصدی وزن ساقه در مقایسه با کشت مستقیم بذر گردید. افزایش وزن برگ و بلال در کشت نشایی ذرت شیرین پیش از این توسط راتین و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شده بود و علت آن افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش جذب تابش خورشید و بهبود فتوسنتز و افزایش وزن دانه ها اعلام شده است. اثر متقابل آرایش کاشت و تراکم بوته بر وزن برگ و بلال در سطح یک درصد و اثر متقابل آرایش کاشت و شیوه کاشت بر وزن برگ و اثر متقابل تراکم بوته و شیوه کاشت بر وزن بلال در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان وزن برگ و بلال با به ترتیب ۱۸۱۷۲ و ۲۸۳۸۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به برهمکنش آرایش کشت ۱۴۰ سانتیمتر دو ردیفه و تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین میزان وزن برگ در برهمکنش‌های آرایش و شیوه کاشت، به ترتیب با ۱۵۴۷۳ و ۱۰۴۶۹ کیلوگرم درهکتار متعلق به کشت نشایی در آرایش ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه و بذرکاری در آرایش ۷۰ سانتیمتر دوردیفه بود و بیشترین و کمترین میزان وزن بلال در برهمکنش‌های تراکم بوته و شیوه کاشت، نیز با به ترتیب ۱۸۵۵۸ و ۲۷۱۱۵ کیلوگرم درهکتار متعلق به کشت مستقیم بذر در تراکم ۸۵۰۰۰ بوته و کشت نشایی در تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) بیانگر اثر معنی‌دار انواع آرایش کاشت و تراکم بوته بر میزان عملکرد علوفه تر در سطح یک درصد است، در حالی که شیوه کاشت اثر معنی‌داری بر میزان علوفه تر تولیدی نداشت. آرایش ۷۰ سانتیمتر دوردیفه با ۷۵۶۶۱ کیلوگرم در هکتار از برتری معنی‌دار از نظر عملکرد علوفه تر نسبت به سایر آرایش‌های کاشت برخوردار بود (جدول۴)، به نظر می رسد که این امر بیش از هرچیز بدلیل مقادیر بالای وزن ساقه در این آرایش کاشت است، زیرا از نظر سایر اجزای عملکرد علوفه (وزن برگ و بلال)، این آرایش کاشت از مقادیر کمتری نسبت به آرایش کاشت ۱۴۰ سانتیمتر دوطرفه برخوردار بود. باید توجه داشت که اگرچه بهره‌گیری از آرایش کاشت ۷۰ سانتیمتر دوردیفه ممکن است سود بیشتری برای کشاورز به همراه داشته باشد، اما با توجه به ارتفاع زیاد بوته و قطر کم ساقه، بوته های کشت شده در این آرایش کاشت با خطر ورس مواجه خواهند بود، همچنین مقادیر زیاد ساقه باعث کاهش ارزش غذایی آن برای دام می‌شود. تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته، با ۸۵۱۲۲ کیلوگرم در هکتار از بیشترین میزان علوفه تر تولیدی برخوردار بود و پس از آن تراکم‌های ۱۱۰۰۰۰ و ۸۵۰۰۰ بوته با به ترتیب ۷۴۱۰۸ و ۵۴۸۵۰ کیلوگرم در هکتار قرار داشتند. باید توجه داشت که در تراکم‌های بیش از حد، وزن تک بوته کاهش می یابد، اما افزایش قابل توجه تعداد بوته ها در واحد سطح، سبب افزایش نسبی وزن کل بوته های برداشتی می‌شود. عملکرد علوفه تر در کشت نشایی ۷۲۱۶۰ کیلوگرم در هکتار و حدود ۲/۳ درصد بیشتر از عملکرد علوفه تر کشت مستقیم بذر بود. پیش از این، بهبود عملکرد بلال ذرت شیرین توسط راتین و همکاران (۲۰۱۵) و افزایش عملکرد دانه ذرت توسط صادقی و ماهرخ (۲۰۲۱) و قلخانی و همکاران (۲۰۲۲) در شرایط نشاکاری نسبت به بذرکاری گزارش شده بود.

با وجود اهمیت میزان برداشت علوفه ذرت برای کشاورزان، دامداران بیشتر به ارزش غذایی آن توجه

می‌کنند (چوکان ۲۰۱۲). با توجه به اینکه بلال به دلیل حضور نشاسته در دانه ها، از ارزش غذایی بالایی برخوردار است و میزان اسید استیک و اسید لاکتیک علوفه را در طی سیلو کردن بالا می‌برد (خندانی ۲۰۱۷)، نسبت وزن بلال به علوفه تر از اهمیت بالایی برخوردار است. مطابق جدول ۳، آرایش کاشت و تراکم بوته به ترتیب در سطح پنج و یک درصد اثر معنی‌دار بر نسبت وزن بلال به علوفه تر داشته‌اند، در حالیکه اثر شیوه کاشت غیرمعنی‌دار بوده است. با توجه به اینکه نسبت مطلوب وزن بلال به علوفه تر ذرت حدود ۳۳ درصد گزارش شده است (خندانی ۲۰۱۷)، آرایش‌های کاشت ۷۰ سانتیمتر یک ردیفه و ۱۴۰ سانتیمتر دو ردیفه با به ترتیب ۳۳/۲۱ و ۳۳/۵۳ درصد، علوفه با ارزش غذایی بالاتری نسبت به آرایش ۷۰ سانتیمتر دوردیفه با نسبت ۳۱/۳۹ درصد تولید کرده اند (جدول ۴). از میان تراکم‌های کاشت، ارزش غذایی علوفه تراکم‌های ۸۵۰۰۰ و ۱۱۰۰۰۰ بوته با نسبت وزن بلال به علوفه تر ۳۴/۴۳ و ۳۲/۸۰ درصد برتر از تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته با نسبت ۳۰/۹۰ درصد ارزیابی می‌شود. نسبت بلال به علوفه تر در کشت نشایی ۳۳ درصد و اندکی بیشتر از کشت مستقیم بذر بود که نشان دهنده بهبود نسبی ارزش غذایی علوفه در شرایط کشت نشایی بود. راتین و همکاران (۲۰۱۵) علت کمتر بودن وزن بلال (و متعاقباً نسبت وزن بلال به علوفه تر) در شرایط کشت مستقیم بذر نسبت به نشاکاری را به دلیل طولانی‌تر بودن زمان رشد رویشی در شرایط کشت بذری دانسته‌اند که سبب کاهش دوره رشد زایشی گیاه و در نتیجه فرصت محدود گیاه برای انتقال مواد فتوسنتزی ذخیره شده از برگ و ساقه به بلال می‌شود.

اثر آرایش و شیوه کاشت به همراه تراکم بوته در سطح یک درصد بر عملکرد علوفه خشک معنی‌دار بود (جدول۳). احتشامی و همکاران (۲۰۱۳) از همبستگی مستقیم و ۸۱ درصدی میزان علوفه خشک ذرت و وزن تر بلال خبر داده‌اند. در تحقیق حاضر نیز آرایش کشت ۱۴۰ سانتیمتر دو ردیفه که از بیشترین مقدار وزن بلال برخوردار بود با ۲۲۹۰۸ کیلوگرم در هکتار علوفه خشک تولیدی، در رتبه اول قرار گرفت و پس از آن آرایش‌های ۷۰ سانتیمتر دو ردیفه و یک ردیفه که از وزن بلال کمتری برخوردار بودند با به ترتیب ۲۱۹۰۴ و ۱۹۹۲۰ کیلوگرم در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۴). تراکم بوته ۱۳۵۰۰۰ نیز که از بالاترین وزن بلال بهره می‌برد با ۲۴۶۷۲ کیلوگرم در هکتار، بیشترین میزان علوفه خشک میان تراکم‌های مورد بررسی را به خود اختصاص داد و کمترین میزان نیز با ۱۷۸۲۵ کیلوگرم در هکتار متعلق به تراکم ۸۵۰۰۰ بوته بود. افزایش عملکرد علوفه خشک ذرت در شرایط کشت متراکم، توسط علیپور ابوخیلی و همکاران (۲۰۱۵) مورد اشاره قرار گرفته است. کشت نشایی با ۲۲۰۶۶ کیلوگرم در هکتار برتری حدود یک درصدی نسبت به کشت مستقیم بذر نشان داد که احتمالا به دلیل مقادیر بالاتر وزن بلال آن بود. اثر متقابل آرایش کاشت و تراکم بوته بر عملکرد علوفه خشک در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنانکه جدول ۵ نشان می دهد بیشترین مقدار عملکرد علوفه خشک با ۲۶۱۲۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به برهمکنش آرایش ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه با تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته و کمترین با ۱۶۲۱۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به برهمکنش آرایش ۷۰ سانتیمتر یک ردیفه و تراکم ۸۵۰۰۰ بوته بود.

تعیین عملکرد خشک علوفه، امکان برآورد میزان رطوبت علوفه تر که از عوامل مؤثر در فرایند سیلاژ کردن علوفه است، را فراهم می‌سازد. با توجه به افزایش شدید فعالیت بیولوژیکی باکتری‌های مؤثر در تخمیر علوفه (باکتری‌های تولیدکننده اسید بوتیریک) در شرایط رطوبت بیش از ۷۰ درصد علوفه، سیلاژ ذرت با ماده خشک کمتر از ۳۰ درصد سبب تخمیر نامطلوب علوفه و اتلاف میزان قابل‌توجهی از مواد معدنی، ویتامین‌ها، قند محلول و آنزیم‌های ارزشمند گیاهی به صورت پساب و یا بر اثر تخریب باکتریایی می‌شود که در نهایت عملکرد گاو به عنوان مصرف‌کننده را کاهش می‌دهد (خندانی ۲۰۱۷). در تحقیق حاضر درصد ماده خشک آرایش‌های ۷۰ سانتیمتر یک ردیفه و ۱۴۰ سانتیمتر دو ردیفه با به ترتیب ۳۰/۱۵ و ۳۱/۶۶ درصد ماده خشک، مطلوب بود، اما ماده خشک آرایش ۷۰ سانتیمتر دو ردیفه ۲۸/۹۵ درصد بود که نشان دهنده رطوبت بیش از حد علوفه حاصل بود. در میان تراکم‌های مختلف بوته، تراکم‌های ۸۵۰۰۰ و ۱۱۰۰۰۰ بوته با به ترتیب ۳۲/۵۰ و ۳۰ درصد ماده خشک، از مقادیر قابل قبول رطوبت علوفه برخوردار بودند اما درصد ماده خشک تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته حدود ۲۸/۹۸ درصد بود که کمتر از حدنصاب بود. هر دو شیوه کاشت (کشت مستقیم بذر و کشت نشایی) از مقادیر قابل قبول ماده خشک علوفه برخوردار بودند (به ترتیب ۲۹/۹۳ و ۳۰/۵۸ درصد) و

بنابراین شیوه کاشت تأثیر چندانی بر درصد رطوبت علوفه برداشتی نداشت.

با توجه به قابلیت بالای هضم پروتئین و تأثیر آن بر افزایش شاخص قابلیت هضم علوفه، اندازه‌گیری درصد پروتئین علوفه به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای علوفه مورد توجه قرار دارد (چوکان ۲۰۱۲). با این همه، درصد پروتئین به تنهایی نمی‌تواند معرف قابلیت هضم علوفه باشد، زیرا ممکن است بالاتر بودن میزان پروتئین در صورت پایین بودن عملکرد علوفه خشک، کم ارزش شمرده شود و در مقابل پایین بودن میزان پروتئین و بالا بودن علوفه خشک، باعث افزایش عملکرد پروتئین در واحد سطح گردیده و در نتیجه اهمیت بیشتری داشته باشد (داربی و لاور ۲۰۰۲). میزان و عملکرد پروتئین تحت تأثیر شیوه های مختلف کاشت و مقادیر متفاوت تراکم بوته در سطح یک درصد قرار گرفت، همچنین اثر آرایش کاشت بر درصد پروتئین و عملکرد پروتئین به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار گشت (جدول ۳). با توجه به جدول ۴، بیشترین میزان پروتئین با ۱۱/۸۸ درصد مربوط به آرایش کاشت ۷۰ سانتیمتر دو ردیفه بود و آرایش ۷۰ سانتیمتر یک ردیفه با ۱۱/۶۸ درصد، از کمترین میزان پروتئین بهره مند گردید. درصد پروتئین علوفه تا حدود زیادی تابع شرایط رشدی برگ است و به نظر می رسد به دلیل به طول انجامیدن رشد رویشی در آرایش ۷۰ سانتیمتر دوردیفه، لطافت برگها بیشتر حفظ شده و عدم خشبی شدن بافتها، درصد پروتئین بالاتر را به همراه داشته است. با این همه، میزان بالای عملکرد علوفه خشک آرایش کاشت ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه سبب شده است که علیرغم مقدار نه چندان بالای درصد پروتئین این آرایش کاشت، بیشترین عملکرد پروتئین با ۲۶۹۴/۷۸ کیلوگرم در هکتار متعلق به آن باشد. در میان تراکم‌های مختلف، تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته با ۱۲/۵۴ درصد و تراکم ۸۵۰۰۰ با ۱۱/۱۷ درصد به ترتیب از بیشترین و کمترین میزان پروتئین برخوردار بودند. به نظر می‌رسد که حد آستانه افزایش پروتئین علوفه در ذرت بر اثر افزایش تراکم، تعداد ۱۱۰۰۰۰ بوته در هکتار است و در تراکم‌های بالاتر، روند افزایش پروتئین علوفه ذرت ادامه نمی یابد، همچنانکه در تحقیق حاضر میزان پروتئین تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته، ۱۱/۱۱ درصد بود. گفتنی است که تراکم‌های بیش از حد، سبب تسریع در پیری برگ‌های پایینی می‌شود که این امر سبب خشبی شدن آنها و کاهش درصد پروتئین علوفه می‌گردد. علاوه بر این سایه و تراکم بالا، مقدار آنزیم نیترات رداکتاز که آنزیم مهمی در سنتز اسیدهای آمینه است را کاهش می‌دهد که این امر نیز بر کاهش درصد پروتئین خام ذرت اثرگذار است (راجکان و سوانتون ۲۰۰۱). درصد بالای پروتئین تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته در هکتار سبب شد که علیرغم میزان نه چندان بالای عملکرد علوفه خشک، این تراکم با ۲۷۸۸/۳۹کیلوگرم در هکتار، بالاترین میزان عملکرد پروتئین را به خود اختصاص دهد. از میان روش های کاشت، میزان پروتئین علوفه بذرکاری با ۱۱/۸۴ درصد، ۰/۱۱ واحد بیشتر از نشاکاری بود. با این همه، بالا بودن میزان علوفه خشک کشت نشایی سبب شد که میزان عملکرد پروتئین آن با ۲۵۸۴/۷۲ کیلوگرم در هکتار حدود ۳/۶۷ درصد بالاتر از کشت بذری باشد. اثر متقابل آرایش کاشت و تراکم بوته بر درصد پروتئین و عملکرد آن به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار گشت (جدول ۳). در حالی که بیشترین میزان پروتئین و عملکرد آن با به ترتیب ۱۲/۶۸ درصد و ۲۹۸۱/۰۴ کیلوگرم در هکتار متعلق به تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته در آرایش ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه بود، کمترین میزان پروتئین با ۱۱ درصد متعلق برهمکنش تراکم ۱۳۵۰۰۰بوته و آرایش ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه و کمترین میزان عملکرد پروتئین مربوط برهمکنش تراکم ۸۵۰۰۰ بوته و آرایش ۷۰ سانتیمتر یک ردیفه با ۱۸۷۵/۸۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵).

کارایی مصرف آب، نسبت میزان علوفه تر تولیدی به آب مصرفی و بهره‌وری اقتصادی آب نسبت درآمد حاصل از فروش محصول به آب مصرفی را نشان می دهند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف آرایش و شیوه کاشت و همچنین تراکم بوته بر روی صفات کارایی مصرف و بهره‌وری اقتصادی آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). علیرغم برتری نسبی عملکرد علوفه تر آرایش ۷۰ سانتیمتر دوردیفه نسبت به سایر آرایش‌های کاشت، آرایش کاشت ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه به دلیل کاهش قابل توجه مصرف آب، با ۲۲/۳۳ کیلوگرم علوفه ذرت بر مترمکعب آب بیشترین میزان کارایی مصرف آب و به تبع آن با حدود ۱۰۰۴۹ تومان بر مترمکعب آب بیشترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب را به خود اختصاص داد و پس از آن آرایش‌های ۷۰ سانتیمتری دو و یک ردیفه با به

ترتیب ۱۰/۸۵ و ۹/۴۷ کیلوگرم محصول بر مترمکعب آب از نظر کارایی مصرف آب و ۴۸۸۱ و ۴۲۶۱ تومان بر مترمکعب آب از نظر بهره‌وری اقتصادی آب قرار گرفتند (میانگین مصرف آب در آرایش‌های ۷۰ سانتیمتری یک و دوطرفه برابر با ۷۰۰۰ مترمکعب و در آرایش ۱۴۰ سانتیمتری دو طرفه ۳۳۰۰ مترمکعب بود). مقادیر بالای عملکرد علوفه تر در تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته سبب گردید که این تراکم، بیشترین کارایی مصرف آب به میزان ۱۶/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب آب (و بیشترین بهره‌وری اقتصادی آب با ۷۶۳۸ تومان بر مترمکعب آب) را نشان دهد و تراکم‌های ۱۱۰۰۰۰ و ۸۵۰۰۰ بوته با به ترتیب ۱۴/۸۶ و ۱۰/۸۰ کیلوگرم محصول بر مترمکعب آب (و ۶۶۸۹ و ۴۸۶۳ تومان بر مترمکعب آب) از نظر کارایی مصرف و بهره‌وری اقتصادی آب در رتبه‌های بعدی قرار گیرند (میانگین مصرف آب برای تمامی تراکم‌های بوته برابر و معادل ۵۷۶۷ مترمعکب در هکتار بود). همچنانکه انتظار می‌رفت عدم نیاز کشت نشایی به دو دور اول آبیاری و بالاتر بودن عملکرد علوفه تر آن سبب شد که نشاکاری با کارایی مصرف آب برابر با ۱۵/۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب آب و بهره‌وری اقتصادی آب برابر با ۵۷۱۸ تومان بر مترمکعب آب، از نظر صفات فوق الذکر، به ترتیب ۳/۰۳ کیلوگرم و ۱۳۶۲ تومان بر متر مکعب آب برتر از کشت بذری باشد (میانگین آب مصرفی برای کشت های بذری و نشایی به ترتیب ۶۱۶۷ و ۵۳۶۷ مترمکعب در هکتار بود). افزایش کارایی مصرف آب در شرایط کشت نشایی ذرت دانه‌ای نسبت به کشت بذری، توسط قلخانی و همکاران (۲۰۲۲) مورد اشاره قرار گرفته بود. اثر متقابل آرایش کاشت و تراکم بوته و همچنین اثر متقابل آرایش کاشت و شیوه کاشت بر کارایی مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در میان برهمکنش‌های آرایش کاشت و تراکم بوته، از نظر مقادیر کارایی مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آن، تفاوت معنی‌داری میان تراکم‌های ۱۱۰۰۰۰ و ۱۳۵۰۰۰ در آرایش ۱۴۰ سانتیمتر دو ردیفه مشاهده نشد و این دو برهمکنش، بالاترین مقادیر را به خود اختصاص دادند و کمترین مقادیر صفات یاد شده با به ترتیب ۷/۲۶ کیلوگرم و ۳۲۶۷ تومان بر متر مکعب آب مربوط به تراکم ۸۵۰۰۰ بوته در آرایش ۷۰ سانتیمتر یک ردیفه بود (جدول ۵). در میان برهمکنش‌های آرایش و روش کاشت، بیشترین مقادیر کارایی مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آن با به ترتیب ۲۵/۶۶ کیلوگرم و ۱۱۵۴۸/۱ تومان بر متر مکعب آب مربوط به کشت نشایی در آرایش ۱۴۰ سانتیمتر دو ردیفه بود و کمترین مقادیر نیز با به ترتیب ۸/۹۲ کیلوگرم و ۴۰۱۲/۹ تومان بر متر مکعب آب مربوط به کشت مستقیم بذر در آرایش ۷۰ سانتیمتر یک ردیفه بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات کمی هیبریدهای ذرت علوفه‌ای تحت آرایش‌های کاشت، تراکم‌های بوته و روش‌های مختلف کاشت در کشت تأخیری

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		ارتفاع بوته	قطر ساقه	وزن برگ	وزن ساقه	وزن بلال	عملکرد علوفه تر	نسبت وزن بلال به علوفه تر	عملکرد علوفه خشک	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین	کارایی مصرف آب	بهره‌وری اقتصادی آب
تکرار	۲	۵۵/۰۵	۰/۰۱۶	۷۶۷۲۴	۲۰۹۸۹۸۰۷	۱۹۶۵۵۶۰	۱۱۳۸۳۶۸۸	۹/۵۱	۱۷۴۱۸۷۵	۰/۰۲۸	۳۳۶۵۲/۰۱	۱/۵۸	۳۱۸۲۸۱
آرایش کاشت	۲	۱۰۳۷/۱۷**	۰/۰۳۵*	۷۱۱۳۸۲۰۱**	۳۹۱۱۰۱۱۸۳**	۲۱۱۷۶۸۶۱**	۴۲۸۲۷۳۵۰۹**	۲۴/۰۱*	۴۱۶۱۳۰۰۴**	۰/۱۸۲*	۶۷۷۴۹۱/۱۲**	۸۹۷/۵۱**	۱۸۱۷۸۳۹۷۱**
خطای اصلی	۴	۴۸/۶۴	۰/۰۰۳	۱۶۲۲۴۹	۱۶۳۳۱۲۰۳	۲۱۱۳۶۶	۱۹۷۰۸۳۲۲	۱/۸۴	۲۷۱۵۲	۰/۰۱۴	۹۲۴/۲۸	۱/۹۹	۴۰۳۱۳۱
تراکم بوته	۲	۲۸۵۰/۱۷**	۰/۱۱۵**	۱۱۶۰۱۲۲۳۵**	۱۴۵۲۲۶۰۴۰۵**	۲۶۲۹۳۹۶۵۰**	۴۲۲۵۸۰۹۰۲۷**	۵۶/۳۵**	۲۱۶۸۲۳۹۲۸**	۰/۳۲۷**	۲۷۷۶۸۳۰/۲۰**	۱۷۶/۹۴**	۳۵۸۰۸۷۴۷**
شیوه کاشت	۱	۶۲۰/۱۷**	۰/۰۳۵*	۱۹۱۶۳۷۸۸**	۲۷۶۲۱۷۴ns	۱۰۰۱۹۸۹۱**	۳۴۵۸۵۶۰۵ns	۴/۴۷ns	۱۲۹۰۵۶۸۸**	۰/۱۵۹**	۱۱۲۸۱۳/۲۰**	۱۲۳/۸۲**	۲۵۰۵۲۸۴۷**
آرایش کاشت× تراکم بوته	۴	۶/۱۷ ns	۰/۰۰۹ns	۳۲۰۹۲۳۱**	۱۴۱۱۷۴۸۸ ns	۱۱۱۸۷۵۴۱**	۳۱۲۷۱۳۳۹ns	۵/۹۹ ns	۹۸۹۸۷۵*	۰/۱۱۷**	۱۲۰۹۸/۷۶*	۲۰/۷۰**	۴۱۹۱۶۶۶**
آرایش کاشت× شیوه کاشت	۲	۷/۵۸ns	۰/۰۰۲ns	۵۳۱۳۷۲*	۲۰۸۱۱۱۷۷ns	۲۸۲۸۲۹ns	۲۱۶۶۷۶۰۸ns	۱/۱۱ns	۸۷۸۴۸۶ ns	۰/۰۰۳ns	۹۹۴۲/۷۶ ns	۴۴/۷۰**	۹۰۴۵۶۸۹**
تراکم بوته × شیوه کاشت	۲	۲۹/۴۴ ns	۰/۰۰۱ ns	۴۵۷۱۷ns	۱۳۲۶۱۴۹۱ ns	۲۲۲۴۱۸۴*	۸۷۰۵۲۰۴ns	۵/۳۲ns	۸۶۶۷۸۸ ns	۰/۰۰۹ns	۱۰۲۲۳/۶۵ ns	۳/۲۶ns	۶۶۰۱۸۳ns
آرایش کاشت× تراکم بوته× شیوه کاشت	۴	۷/۶۷ns	۰/۰۰۱ ns	۲۵۳۱۳۷ns	۱۵۷۹۲۱۵۴ns	۱۳۷۷۲۶ns	۱۳۹۳۶۸۳۰ns	۱/۸۹ns	۴۵۸۵۵۳۰ns	۰/۰۰۶ns	۳۷۷۹/۰۶ns	۱/۹۶ns	۳۹۴۹۶۰ns
خطای فرعی	۳۰	۹/۳۸	۰/۰۰۵	۱۰۵۶۲۵	۱۵۱۵۴۲۵۶	۴۲۴۱۸۱	۱۵۱۲۷۲۳۹	۲/۰۷	۲۶۳۶۳۱	۰/۰۱۴	۴۲۳۰/۱۷	۱/۷۲	۳۴۸۷۹۱
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۰۳	۳/۸۱	۲۱/۹۰	۲۵/۷۷	۱۵/۲۱	۱۹/۳۸	۷/۲۳	۱۴/۹۳	۵/۲۴	۱۴/۶۴	۱۸/۵۳	۱۸/۵۲

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده آرایش‌های کاشت، تراکم‌های بوته و روش‌های مختلف کاشت بر صفات کمی هیبریدهای ذرت علوفه‌ای در کشت تأخیری

تیمارها	ارتفاع بوته	قطر ساقه	وزن برگ	وزن ساقه	وزن بلال	عملکرد علوفه تر	نسبت وزن بلال به علوفه	عملکرد علوفه خشک	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین	کارایی مصرف آب	بهره‌وری اقتصادی آب
	cm		Kg.ha^{-1}				%	Kg.ha^{-1}		Kg.ha^{-1}	Kg.m^{-3}	تومان بر متر مکعب آب
۷۰ سانتیمتر یک ردیفه	۲۵۷/۰۰	۲/۷۳	۱۱۹۶۳	۳۲۳۰۶	۲۱۷۹۱	۶۶۰۶۰	۳۳/۲۱	۱۹۹۲۰	۱۱/۶۸	۲۳۲۱/۷۰	۹/۴۷	۴۲۶۰/۹
۷۰ سانتیمتر دو ردیفه	۲۶۹/۳۳	۲/۶۹	۱۱۲۶۱	۴۰۸۶۱	۲۳۵۳۹	۷۵۶۶۱	۳۱/۳۹	۲۱۹۰۴	۱۱/۸۸	۲۶۰۰/۵۵	۱۰/۸۵	۴۸۸۰/۸
۱۴۰ سانتیمتر دو ردیفه	۲۵۵/۵۰	۲/۷۷	۱۵۰۰۱	۳۳۳۷۶	۲۳۹۸۳	۷۲۳۵۹	۳۳/۵۳	۲۲۹۰۸	۱۱/۷۹	۲۶۹۴/۷۸	۲۲/۳۳	۱۰۰۴۸/۹
LSD (٪ ۵)	۶/۴۵	۰/۰۶	۳۷۳	۳۷۴۰	۴۲۵	۴۱۰۹	۱/۲۶	۱۵۲	۰/۱۱	۲۸/۱۴	۱/۳۱	۵۸۷/۶
تراکم ۸۵۰۰۰ بوته	۲۴۸/۰۰	۲/۸۱	۱۰۰۸۱	۲۵۹۰۴	۱۸۸۶۵	۵۴۸۵۰	۳۴/۴۳	۱۷۸۲۵	۱۱/۷۱	۲۰۸۶/۳۶	۱۰/۸۰	۴۸۶۳/۱
تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته	۲۶۰/۶۷	۲/۷۳	۱۳۰۰۶	۳۶۹۴۳	۲۴۱۶۰	۷۴۱۰۸	۳۲/۸۰	۲۲۲۳۶	۱۲/۵۴	۲۷۸۹/۸۶	۱۴/۸۶	۶۶۸۹/۵
تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته	۲۷۳/۱۷	۲/۶۵	۱۵۱۳۸	۴۳۶۹۷	۲۶۲۸۷	۸۵۱۲۲	۳۰/۹۰	۲۴۶۷۲	۱۱/۱۱	۲۷۴۰/۸۱	۱۶/۹۷	۷۶۳۸/۱
LSD (٪ ۵)	۲/۰۸	۰/۰۵	۲۲۱	۲۶۵۰	۴۴۳	۲۶۴۸	۰/۹۸	۳۵۰	۰/۰۸	۴۴/۲۸	۰/۸۹	۴۰۲/۱
کشت مستقیم بذر	۲۶۴/۰۰	۲/۷۱	۱۲۱۴۳	۳۵۷۴۱	۲۲۶۷۳	۷۰۵۶۰	۳۲/۴۲	۲۱۰۸۹	۱۱/۸۴	۲۴۹۳/۳۰	۱۲/۷۰	۵۷۱۵/۷
کشت نشایی	۲۵۷/۲۲	۲/۷۶	۱۳۳۳۷	۳۵۲۸۸	۲۳۵۳۵	۷۲۱۶۰	۳۳/۰۰	۲۲۰۶۶	۱۱/۷۳	۲۵۸۴/۷۲	۱۵/۷۳	۷۰۷۸/۰
LSD (٪ ۵)	۱/۷۰	۰/۰۴	۱۸۱	۲۱۶۴	۳۶۲	۲۱۶۲	۰/۸۰	۲۸۶	۰/۰۷	۳۶/۱۵	۰/۷۳	۳۲۸/۳

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات دو گانه آرایش‌های کاشت، تراکم‌های بوته و روش‌های مختلف کاشت بر برخی صفات هیبریدهای ذرت علوفه‌ای در کشت تأخیری

تیمارها		وزن برگ	وزن بلال	عملکرد علوفه خشک	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین	کارایی مصرف آب	بهره‌وری اقتصادی آب
		Kg.ha^{-1}				Kg.ha^{-1}	Kg.m^{-3}	تومان بر مترمکعب آب
۷۰ سانتیمتر یک ردیفه	تراکم ۸۵۰۰۰	۹۴۳۶	۱۷۵۱۷	۱۶۲۱۲	۱۱/۵۷	۱۸۷۵/۸۵	۷/۲۶	۳۲۶۷/۰
	تراکم ۱۱۰۰۰۰	۱۲۰۷۷	۲۲۲۹۲	۲۰۲۰۷	۱۲/۴۸	۲۵۲۰/۷۸	۹/۵۴	۴۲۹۲/۴
	تراکم ۱۳۵۰۰۰	۱۴۳۷۸	۲۵۵۶۳	۲۳۳۴۳	۱۱/۰۱	۲۵۶۸/۴۷	۱۱/۶۱	۵۲۲۳/۲
۷۰ سانتیمتر دو ردیفه	تراکم ۸۵۰۰۰	۹۱۶۸	۲۰۱۷۹	۱۸۱۷۷	۱۱/۸۵	۲۱۵۲/۹۶	۸/۶۳	۳۸۸۴/۱
	تراکم ۱۱۰۰۰۰	۱۱۷۵۰	۲۵۵۲۵	۲۲۹۸۹	۱۲/۴۹	۲۸۶۷/۷۶	۱۱/۳۷	۵۱۱۵/۲
	تراکم ۱۳۵۰۰۰	۱۲۸۶۴	۲۴۹۱۳	۲۴۵۴۵	۱۱/۳۳	۲۷۸۰/۹۴	۱۲/۵۴	۵۶۴۳/۳
۱۴۰ سانتیمتر دو ردیفه	تراکم ۸۵۰۰۰	۱۱۶۴۰	۱۸۹۰۰	۱۹۰۸۵	۱۱/۶۹	۲۲۳۰/۲۸	۱۶/۵۳	۷۴۳۸/۱
	تراکم ۱۱۰۰۰۰	۱۵۱۹۲	۲۴۶۶۲	۲۳۵۱۲	۱۲/۶۸	۲۹۸۱/۰۴	۲۳/۶۹	۱۰۶۶۰/۹
	تراکم ۱۳۵۰۰۰	۱۸۱۷۲	۲۸۳۸۶	۲۶۱۲۹	۱۱/۰۰	۲۸۷۳/۰۳	۲۶/۷۷	۱۲۰۴۷/۷
LSD (٪ ۵)		۴۰۵	۷۱۲	۵۵۳	۰/۱۴	۷۱/۱۲	۳/۴۶	۱۵۷۳/۲
۷۰ سانتیمتر یک ردیفه	کشت مستقیم بذر	۱۱۴۴۰	۲۱۴۳۳	۱۹۵۴۶	۱۱/۷۵	۲۲۹۰/۳۱	۸/۹۲	۴۰۱۲/۹
	کشت نشایی	۱۲۴۸۷	۲۲۱۴۸	۲۰۲۹۵	۱۱/۶۲	۲۳۵۳/۰۹	۱۰/۰۲	۴۵۰۸/۸
۷۰ سانتیمتر دو ردیفه	کشت مستقیم بذر	۱۰۴۶۹	۲۳۱۸۰	۲۱۵۲۸	۱۱/۹۴	۲۵۶۷/۶۶	۱۰/۱۹	۴۵۸۴/۶
	کشت نشایی	۱۲۰۵۲	۲۳۸۹۸	۲۲۲۷۹	۱۱/۸۲	۲۶۳۳/۴۵	۱۱/۵۰	۵۱۷۷/۰
۱۴۰ سانتیمتر دو ردیفه	کشت مستقیم بذر	۱۴۵۲۹	۲۳۴۰۷	۲۲۱۹۲	۱۱/۸۳	۲۶۲۱/۹۵	۱۸/۹۹	۸۵۴۹/۷
	کشت نشایی	۱۵۴۷۳	۲۴۵۵۸	۲۳۶۲۵	۱۱/۷۵	۲۷۶۷/۶۱	۲۵/۶۶	۱۱۵۴۸/۱
LSD (٪ ۵)		۲۵۰	۵۳۲	۴۲۵	۰/۱۱	۵۷/۱۱	۱/۲۳	۹۵۷/۳
تراکم ۸۵۰۰۰ بوته	کشت مستقیم بذر	۹۴۵۸	۱۸۵۵۸	۱۷۵۰۷	۱۱/۷۸	۲۰۶۳/۲۰	۹/۷۷	۴۳۹۹/۶
	کشت نشایی	۱۰۷۰۴	۱۹۱۷۳	۱۸۱۴۳	۱۱/۶۲	۲۱۰۹/۵۳	۱۱/۸۴	۵۳۲۶/۵
تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته	کشت مستقیم بذر	۱۲۳۸۰	۲۴۰۰۲	۲۱۸۲۰	۱۲/۵۸	۲۷۴۶/۵۷	۱۳/۰۳	۵۸۶۵/۹
	کشت نشایی	۱۳۶۳۳	۲۴۳۱۷	۲۲۶۵۱	۱۲/۵۰	۲۸۳۳/۱۴	۱۶/۷۰	۷۵۱۳/۱
تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته	کشت مستقیم بذر	۱۴۶۰۰	۲۵۴۶۰	۲۳۹۳۹	۱۱/۱۵	۲۶۷۰/۱۴	۱۵/۲۹	۶۸۸۱/۶
	کشت نشایی	۱۵۶۷۵	۲۷۱۱۵	۲۵۴۰۵	۱۱/۰۷	۲۸۱۱/۴۸	۱۸/۶۵	۸۳۹۴/۵

LSD (٪ ۵)	۶۷۵	۶۴۲	۴۸۹	۰/۱۱	۶۰/۱۱	۱/۲۵	۷۷۳/۹

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که آرایش ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه با وجود بالا بردن نسبی عملکرد علوفه، سبب افزایش ارزش غذایی و قابلیت هضم علوفه تولیدی از طریق بهبود نسبت بلال به علوفه و همچنین عملکرد پروتئین در واحد سطح گردید. دیگر مزیت عمده آرایش ۱۴۰ سانتیمتری دوردیفه را می توان افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آن، به دلیل کاهش قابل توجه آب مصرفی نسبت به دیگر آرایش‌های کاشت، دانست. تعیین تراکم مطلوب بوته در واحد سطح و برهمکنش آن با آرایش کاشت، از عوامل موثر بر عملکرد و ارزش غذایی علوفه تولیدی است. براساس نتایج تحقیق حاضر، حدبهینه تراکم برای دستیابی به علوفه با عملکرد بالا در منطقه همدان، تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته در هکتار دیده شد و در تراکم‌های بالاتر، روند افزایشی وزن علوفه تولیدی کند می‌شود و این امر در کنار کاهش نسبت وزن بلال به بوته و درصد پروتئین و متعاقباً کاهش عملکرد پروتئین در واحد سطح، سبب کاهش ارزش غذایی و قابلیت هضم علوفه می‌گردد. همچنین افزایش بیش از حد ارتفاع بوته در تراکم ۱۳۵۰۰۰ بوته که با کاهش قطر ساقه همراه است، سبب افزایش حساسیت بوته به ورس، بویژه در مناطق بادخیز می‌شود.

با توجه به مطالب فوق، به نظر می رسد که بهره‌گیری از تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته در آرایش کشت ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه قابل توصیه باشد، زیرا در کنار مقادیر قابل توجه علوفه تر و خشک تولیدی، در مقایسه با سایر برهمکنش‌های آرایش کاشت و تراکم بوته بالاترین درصد و عملکرد پروتئین مربوط به آن بود و همچنین این برهمکنش از مقادیر مطلوب مولفه‌های مصرف آب (کارایی و بهره‌وری اقتصادی آب) نیز بهره‌مند بود.

به نظر می‌رسد که در شرایط کشت تأخیری، نشاکاری ذرت علوفه‌ای تحت تراکم ۱۱۰۰۰۰ بوته در آرایش ۱۴۰ سانتیمتر دوردیفه، می تواند علاوه بر افزایش مقاومت بوته‌ها به ورس، موجب برداشت علوفه با عملکرد بالا و ارزش غذایی مطلوب پیش از وقوع سرمای پاییزه گردد که این امر همراه با افزایش کارایی مصرف آب، از مزایای این روش به حساب می‌آید.

سپاسگزاری

از سازمان جهاد کشاورزی استان همدان به دلیل حمایت مالی از اجرای این پروژه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Afrasiab P, Delbari M and Jafari H. 2016. Effect of different levels of irrigation, planting density, planting pattern in drip irrigation on yield, yield components and water use efficiency of corn. Iranian Journal of Soil and Water Research, 47(4): 731-741. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijswr.2016.59980

Albayrak S, Türk M., Yüksel O and 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.org/10.15835/nbha3915853

Alipour Abokhely F, Rahimi Petroudi E and Mobasser HR. 2015. Effect of seed priming, plant density and planting date on silage corn yield in summer delayed planting. Cereal Research, 5(2): 189-202. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.22520163.1394.5.2.7.0

Anonymous. 2020. Meteorological statistics of Hamadan province. 23 p. (In Persian).

Anonymous. 2021. Statistics and information of Hamedan agricultural jihad organization. 45 p. (In Persian).

Cheng FL, Du X, Liu MX, Jin XL, Cui YH. 2011. Lodging of summer maize and the effects on grain yield. Journal Maize Scince, 19(1):105-108.

Choukan, R. 2012. Maize and maize properties. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) press, Tehran, Iran. 427 pp (In Persian).

Darby HM and Lauer JG. 2002. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality, and preservation. Agronomy Journal, 94(3): 559-566. https://doi.org/10.2134/agronj2002.5590

Di Benedetto, A. and J. Rattin. 2008. Transplant in sweet maize: A tool for improving productivity. Americas Journal Plant Scince Biotechnology, 2(2): 96-108.

Ehteshami SMR, Ebrahimi P and Zand B. 2013. Investigation of quantitative and qualitative characteristics of silage corn genotypes in Varamin region. Electronic Journal Crop Production, 5(4): 19-38. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.4.2.7

Ghalkhani A, Paknejad F, Mahrokh A, Ardakani MR and Golzardi F. 2022. Effects of planting method and sowing date on yield, water use efficiency and morphological traits of two grain maize cultivars. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32(1): 1-16. (In Persian). https://doi.org/10.22034/saps.2021.44751.2644

Khandani AR. 2017. 101 questions about silage forage corn. Avay fahim press, Tehran, Iran. 120 p. (In Persian).

Ramezani M, Mobasser HR, Mohseni M and Rezaei Sokht -Abandani R. 2009. Effect of distances between row, density and cultivation pattern on 704 single crass forage corns with summery dilatory cultivation after harvest rice. New Finding in Agriculture, 3(3): 249-261. (In Persian).

Ramezani M and Rezaei Sokht-Abandani R. 2012. The Effect of row spacing, plant population and planting pattern on yield and yield components of corn (SC 704) in double cropping. Journal of Crop Ecophysiology, 6(3): 249-264. (In Persian).

Rahmani A, Nasrollah Al-Hosseini M and Khavari Khorasani S. 2010. Effects of sowing date and plant density on morphological triats, yield and yield components of sweet corn. Journal of Agroecology, 7(2): 302-312. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v2i2.7637

Rajcan I and Swanton CJ. 2001. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. Field Crops Research, 71: 139-150. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00159-9

Rattin J, Valinote JP, Gonzalo R and Di Benedetto A. 2015. Transplant and change in plant density improve sweet maize (*Zea mays* L.) yield. Australian Journal of Experimental Agriculture, 5(4): 336-351. https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/13172

Sadeghi F and Mahrokh A. 2020. Effect of transplanting and seed hydropriming on grain yield of maize (*Zea mays* L.) as second crop in temperate region of Kermanshah, Iran. Iranian Journal of Crop Sciences, 22(1): 50-65. (In Persian). http://dx.doi.org/10.29252/abj.22.1.50

Safdari Monfared N, Allahdadi I, Baghestani MA, Irannejad H and Zand E. 2013. Effect of planting pattern and herbicide application on corn (*Zea mays* l.) grain yield and weeds control. Iranian Journal of Field Crops Research, 11(1): 131-140. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v11i1.24087

Sardar S, Patra M, Mandal B and Patra B. 2020. An overview on problems and prospects of transplanted maize with special reference to India. Journal of Applied and Natural Science, 12(1): 59-65. https://doi.org/10.31018/jans.v12i1.2217

Shahkarami G and Rafiee M. 2009. Response of corn (*Zea mays* L.) to planting pattern and density in Iran. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science 5: 69-73.

Yilmaz S, Erayman M, Gozubenli H and Can E. 2008. Twin or narrow-row planting patterns versus conventional planting in forage maize production in the Eastern Mediterranean. Cereal Research Communication, 36(1): 189-199. https://doi.org/10.1556/CRC.36.2008.1.19

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 99-119

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

The Effect of Chemical and non-chemical Weed Control on the Growth Characterist ics and Yield of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.)

Jalil Shafagh-Kolvanagh[1]*, Mohsen Sabzi-Nojadeh[2], Hedayat Derakhshani[3], Mina Amani[4]

Received: 20 February 2023	Accepted: 31 August 2023

1- Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Dept. of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Assoc. Prof., Dept. of Horticultural Science and Engineering, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Tabriz, Tabriz, Iran.
3-Graduated from Dept. of Plant Ecophysiology, Dept. of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Tabriz, Iran.
4- PhD Student of the Physiology of Production and Postharvest of Horticultural Plants, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: shafagh.jalil@gmail.com

Abstract

Background & Objective: Considering the increase in world population in recent years and the growing need of human societies, especially in our country, for oilseed products, proper agricultural management is very important to increase yield. The present study was conducted with the aim of the effect of different weed control methods on the growth traits and yield of safflower.

Materials & Methods: An experiment in the form of a randomized complete block design with four replications was conducted to investigate the effect of straw and stubble mulch, cover plants, and herbicides in the management of spring safflower weeds in Jihad Agriculture Kalibar Farm, located in East Azarbaijan Province. Evaluation of growth traits and safflower yield was measured during the growing season and after harvest.

Results: Based on the results obtained from this study, weed control methods had no significant effect on the number of leaves and the number of secondary stems. Other investigated traits were significantly affected by weed control methods. Apart from weed control, the greatest increase in plant height (38.5%), number of leaves (32%), stem dry weight (22.9%), shoot dry weight (48.5%) and harvest index (5 54.0%) was obtained in the treatment of trifluralin herbicide + straw mulch and wheat stubble. While the highest leaf dry weight (18.3%), secondary stem diameter (14.4%) and secondary stem length (26.7%) belonged to trifluralin herbicide treatment. These results show that trifluralin herbicide + straw mulch and wheat stubble were the most effective among the non-mechanical weed control treatments in the safflower field. The results showed that among the traits affected by weed control, the diameter of the main stem with 8.6% and the diameter of the secondary stem with 14.4% showed the least fluctuations in the studied treatments.

Conclusion: The results of the study showed that the control of weeds in the safflower field in the early stages of growth is more effective than in the more advanced stages, and it can indicate the sensitivity of safflower to the competition of weeds in the early stages of safflower growth. Because treatments with more effective control of weeds in the early stages of growth (mulch and trifluralin) were more effective in improving safflower growth.

Keywords: Cover Plants, Harvest Index, Herbicide, Straw And Stubble Mulch, Weeds

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Jalil Shafagh-Kolvanagh Email: shafagh.jalil@gmail.com
https://doi.org/10.22034/saps.2023.55500.3003

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۱۱۹-۹۹

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تأثیر کنترل غیرشیمیایی علف‌های هرز بر صفات رشدی و عملکرد گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.)

جلیل شفق کلوانق[1*]، محسن سبزی نوجه‌ده[2]، هدایت درخشانی[3]، مینا امانی[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

۱- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲-دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳-دانش‌آموخته گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۴-دانشجوی دکتری 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

اهداف: باتوجه‌به افزایش جمعیت جهان در سال‌های اخیر و نیاز روزافزون جوامع بشری به‌ویژه کشور ما به فراورده‌های دانه‌های روغنی، مدیریت صحیح زراعی برای افزایش عملکرد، از اهمیت زیادی برخوردار است. مطالعه حاضر باهدف تأثیر روش‌های مختلف کنترل علف‌های هرز بر صفات رویشی و شاخص برداشت گلرنگ انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به‌منظور بررسی اثر مالچ کاه و کلش، گیاهان پوششی و علف‌کش‌ها در مدیریت علف‌های هرز گلرنگ بهاره در مزرعه جهاد کشاورزی کلیبر، واقع در استان آذربایجان شرقی انجام شد. ارزیابی صفات رشدی و عملکرد گلرنگ در فصل رشد و بعد از برداشت اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: بر اساس یافته‌های این بررسی، به‌غیراز تیمار وجین کامل علف‌های هرز اغلب تیمارهای مورد بررسی کنترل یکسان و مطلوبی را بر تعداد و بیوماس علف‌های هرز داشتند و این صفت‌ها را به ترتیب تا ۶۹ و ۵۹/۹ درصد کاهش دادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی، روش‌های کنترل علف‌های هرز تأثیر معنی‌داری بر صفات تعداد برگ و تعداد ساقه فرعی گلرنگ نداشت، ولی سایر صفات مورد بررسی به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر روش‌های کنترل علف هرز قرار گرفت. بیشترین افزایش در ارتفاع بوته (۳۸/۵ درصد) تعداد برگ (۳۲ درصد)، وزن خشک ساقه (۲۲/۹ درصد)، وزن خشک اندام هوایی (۴۸/۵ درصد) و شاخص برداشت (۵۴/۵ درصد)، در تیمار علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم حاصل شد، درحالی‌که بیشترین وزن خشک برگ (۱۸/۳ درصد)، قطر ساقه فرعی (۱۴/۴ درصد) و طول ساقه فرعی (۲۶/۷ درصد) متعلق به تیمار علف‌کش تریفلورالین بود. این نتایج نشان می‌دهد در بین تیمارهای غیرمکانیکی کنترل علف‌های هرز مزرعه گلرنگ، علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم، مؤثرترین بود. نتایج نشان داد که در بین صفات متأثر از کنترل علف‌های هرز، قطر ساقه اصلی با ۸/۶ درصد و قطر ساقه فرعی با ۱۴/۴ درصد تغییرات کمترین نوسان تغییرات را به تیمارهای مورد بررسی نشان دادند.

نتیجه‌گیری: در کل نتایج مطالعه نشان داد که کنترل علف‌های هرز در مزرعه گلرنگ در مراحل اولیه رشدی مؤثرتر از مراحل پیشرفته‌تر است و می‌تواند بیانگر حساسیت گلرنگ به رقابت علف‌های هرز در مراحل اولیه رشد گلرنگ باشد.

چرا که تیمارهای با کنترل مؤثرتر علف‌های هرز در مراحل اولیه رشد (مالچ و تریفلورالین) در بهبود رشد گلرنگ مؤثرتر بود.

واژه های کلیدی: شاخص برداشت، علف‌کش، علف‌های هرز، گیاهان پوششی، مالچ کاه و کلش

مقدمه

امروزه ۳۰۰۰۰ گونه علف هرز گزارش شده است که بیشتر از تعداد گونه‌های گیاهان زراعی از نظر تنوع گونه‌ای، اندازه و توزیع آن‌ها است و بعد از پوشش طبیعی، دومین پوشش گیاهی عمده به شمار می‌روند. علف‌های هرز گیاهانی ناخواسته، غیرمطلوب و مضر هستند که می‌توانند با گیاه زراعی برای آب، مواد غذایی و نور خورشید رقابت کنند. علف‌های هرز مشکلی جدی برای کشاورزان در سرتاسر جهان هستند، چرا که میزان تولید را کاهش می‌دهند. کاهش عملکرد ناشی از علف‌های هرز در سطح جهانی هر ساله حدود ۱۰ درصد است. خسارت وارده از علف‌های هرز، متفاوت از سایر آفات و بیماری‌ها است. زیرا علف‌های هرز همیشه در مزارع حضور دارند (مگوییني و همکاران ۲۰۱۱). علف‌های هرز خصوصیات فیزیولوژیکی، زراعی و تولیدمثلی خاصی دارند که باعث شده در مقایسه با گیاهان زراعی موفق‌تر باشند. سرعت رشد و تولید بذر بالا، سازگاری بیشتر آن‌ها و توانایی تداخل با گیاهان دیگر از طریق رقابت و آللوپاتی، استقرار موفق علف‌های هرز را در هر محلی تضمین می‌کند (باگاواتیانان و همکاران ۲۰۲۰).

امروزه روش عمدهٔ مبارزه با علف‌های هرز، روش شیمیایی است، اما این روش مشکلات فراوانی را همچون مشکلات زیست‌محیطی، آلودگی آب‌های زیرزمینی و مقاومت علف‌های هرز به علف‌کش‌ها به همراه دارد (ایمولام ۲۰۱۴، گاگ و همکاران ۲۰۱۹). تریفلورالین، علف‌کشی است انتخابی از گروه دی‌نیترو-آنیلین که علیه بسیاری از علف‌های هرز کشیده برگ و پهن‌برگ یک‌ساله به‌صورت قبل از رویش در مزارع پنبه، سویا، آفتاب‌گردان، حبوبات، چغندرقند، هویج، کلزا و کنجد توصیه شده و همچنین می‌توان در نخود، کاهو، گوجه‌فرنگی، پیاز، سیر، انگور، توت‌فرنگی، نیشکر و گیاهان زینتی نیز استفاده نمود (فرناندز و همکاران ۲۰۱۳، سیلوا و همکاران ۲۰۱۷). این علف‌کش با ورود به بذر جوانه‌زده علف هرز از تقسیم سلولی در هیپوکوتیل و همچنین از توسعه سیستم ریشه‌ای جلوگیری می‌نماید. تریفلورالین را باید قبل از کاشت و قبل از رویش علف‌های هرز در سطح خاک‌پاشید و تا عمق ۱۰ – ۵ سانتیمتری خاک مخلوط کرد. بدین ترتیب بذر علف‌های هرز متعدد را پس از جوانه‌زدن در خاک از بین می‌برد، ولی روی علف‌های‌هرزی که قبل از پاشش آن در خاک سبز شده‌اند، تأثیری ندارد (ادی گوزل و چاواش ۲۰۱۷). گاالنت یا هالوکسی‌فوپ علف‌کشی است پس‌رویشی که علف‌های‌هرز یکساله و چندساله متعلق به دولپه‌ای‌ها را کنترل می‌کند (یه و همکاران ۲۰۱۶). گولوجه و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیق خود مشاهده نمودند که گاالنت کاهشی بیش از ۹۰ درصدی بر جمعیت علف‌های‌هرز علف چمنی داشت. در ایران نیز هالوکسی‌فوپ برای کنترل علف‌های‌هرز پهن برگ و باریک برگ توصیه می‌شود (پارسا و همکاران ۲۰۱۳). هالوکسی‌فوپ علف‌های‌هرز را با رقابت برای اتصال به استیل کوآنزیم‌آکربوکسیلاز که آنزیم مهم در تولید اسیدهای چرب است، متوقف می‌کند (یه و همکاران ۲۰۱۶).

مالچ‌دهی، ابزاری مفید برای کنترل جمعیت علف‌های هرز در مزارع و باغات است (احمد و همکاران ۲۰۲۰). وقتی مالچ در سطح خاک پخش می‌شود، آن‌ها به‌عنوان موانعی در برابر نور خورشید عمل می‌کنند که باعث کاهش جوانه‌زنی بذور علف‌های هرز ریزدانه می‌شود. انواع مختلفی مالچ (۱۵ نوع مالچ مختلف) در مقایسه با عدم کاربرد مالچ مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج مطالعات نشان داده است که اغلب این مالچ‌ها تأثیر مشابهی از نظر کاهش جمعیت علف‌های هرز داشتند، ولی همه این نوع مالچ‌ها از نظر جمعیت علف‌های هرز

با تیمار عدم کاربرد مالچ اختلاف زیادی داشتند (کادر و همکاران ۲۰۱۹). بعضی از مالچ‌های آلی نیز دارای خاصیت آللوپاتیکی هستند و بعضی از مواد شیمیایی سمی آزاد می‌کنند که در کاهش جمعیت علف‌های هرز مفید است. از سوی دیگر محیطی که توسط مالچ ایجاد می‌شود، برای میکروب‌های مفید که از بذور علف‌های هرز تغذیه می‌کنند، مؤثر خواهد بود (احمد و همکاران ۲۰۲۰). به طور مشابهی مالچ زنده از طریق رقابت برای منابع عمده مانند نور، رطوبت، مواد غذایی و اکسیژن، در کاهش جمعیت علف‌های هرز مفید است (اقبال و همکاران ۲۰۱۹).

استفاده از گیاهان پوششی از عملیات زراعی قدیمی است که مزایای بسیاری را برای کشاورزان و محیط دارد (کای و گوئمادا ۲۰۱۷). در کشاورزی ارگانیک نیز، استفاده از گیاهان پوششی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. گیاهان پوششی، گیاهانی هستند کوتاه و سریع‌الرشد که حداکثر رشد طولی آن‌ها یک متر است. هرچه گیاه کوتاه‌تر باشد به‌عنوان پوشش استفاده بیشتری دارد. اکثر آن‌ها در زمان بسیار کوتاهی، سطح خاک را فراگرفته و زمین را به‌خوبی می‌پوشانند. این گیاهان نسبت به مواد غذایی پر توقع نبوده و آب زیادی لازم ندارند. درعین‌حال به توجه و مراقبت کمی نیاز دارند (استورم ۲۰۱۸؛ تورسون و همکاران ۲۰۱۸). زمانی که گیاهان پوششی به‌خوبی رشد کنند و به‌صورت متراکم و انبوه دربیایند، مانع از رشد علف‌های هرز می‌شوند و به‌این‌ترتیب با آن‌ها رقابت می‌کنند (شاپرت و همکاران ۲۰۱۹). گیاهان پوششی می‌توانند فرسایش را کاهش داده و نیتروژن اتمسفری را تثبیت کنند. گیاهان پوششی همچنین شستشوی نیتروژن را کاهش می‌دهند و باعث بهبود سلامت خاک می‌شوند (کای و گوئمادا ۲۰۱۷). یک گیاه پوششی که به‌عنوان کود سبز و مالچ زنده نیز شناخته می‌شود، گیاهان دانه‌ریزی از گیاهان علفی، لگوم‌ها، براسیکاها یا مخلوطی از آن‌ها هستند که در تناوب با گیاه اصلی جهت بهبود و حفاظت خاک کاشته می‌شوند. گیاهان پوششی می‌توانند تأثیر تنش کم‌آبی را تعدیل نمایند. این گیاهان همچنین می‌توانند کیفیت خاک را با بهبود کیفیت خاک از طریق افزایش ماده آلی خاک و فشردگی خاک و فرسایش بهبود بخشند. از مزایای مهم دیگر گیاهان پوششی، جلوگیری از رشد علف‌های هرز، کاهش کیفیت آب، افزایش چرخه کارایی مواد غذایی و بهبود نیروی تولید گیاهان زراعی اصلی قابل‌ذکر هستند (برگتولد و همکاران ۲۰۱۷). آتر و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای در شرایط مزرعه‌ای انجام دادند تا اثر تیمارهای مختلف کنترل علف‌های هرز مانند مالچ کاه و کلش گندم، وجین دستی کنترل علف‌های هرز، علف‌کش استاکلر و پندی‌متالین + پرومترین بر جمعیت علف‌های هرز، تولید بیوماس و نیروی تولید پنبه را مورد بررسی قرار دادند. پلات‌های مالچ کاه و کلش گندم ۵۹/۲۵ درصد کارایی کنترل علف هرز بیشتری نسبت به مابقی تیمارهای مورداستفاده داشتند. نتایج مشابهی توسط گارسیامورنو و همکاران (۲۰۱۳) به‌دست‌آمده است. نصرالله و همکاران (۲۰۱۱) اثر تیمارهای مالچ مختلف (مالچ زراعی، مالچ کاه و کلش، ورقه پلاستیکی و مالچ شیمیایی) را بر رشد و نمو پنبه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در بین مالچ‌ها، از نظر خصوصیات رشدی و عملکردی پنبه، بیشترین مقدار در مالچ پلاستیکی و کمترین آن در مالچ کاه و کلش به دست آمد. جوردن و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر مالچ کاه و کلش گندم را بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی نمودند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که کاه و کلش گندم خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشید. مالچ کاه و کلش گندم مقدار کربن خاک را افزایش داد. ضمیر و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر روش خاک‌ورزی و کاربرد مالچ را بر رشد و عملکرد ذرت و خصوصیات خاک موردمطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که شخم صفر همراه با مالچ کاه و کلش گندم، بیشترین عملکرد را داشتند و وزن هزار دانه تولیدی افزایش یافت؛ بنابراین باتوجه‌به اهمیت مبارزه با علف‌های هرز و وجود مطالعات اندک دربارهٔ مقایسه روش‌های مختلف کنترل علف‌های هرز گلرنگ، این آزمایش باهدف مقایسه تأثیر روش‌های مختلف کنترل علف هرز در مزارع گلرنگ اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش

به‌منظور بررسی اثر مالچ کاه و کلش، گیاهان پوششی و علف‌کش‌ها در مدیریت علف‌های هرز گلرنگ بهاره در شرایط آب‌وهوایی کلیبر، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه جهاد کشاورزی کلیبر، واقع در استان آذربایجان شرقی انجام شد. در این مطالعه تیمارهای آزمایش شامل کاربرد انواع روش‌های کنترل علف‌های هرز در ۹ سطح شامل ۱. وجین کامل علف‌های هرز در کل دوره رشد گلرنگ (شاهد کنترل)، ۲. مالچ کاه و کلش گندم (۳ تن در هکتار)، ۳. گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای (۵۰ کیلوگرم در هکتار)، فاصله کاشت روی ردیف ۱۰ سانتیمتر و بین ردیف ۲۰ سانتیمتر، ۴. گیاه پوششی گاودانه (۵۰ کیلوگرم در هکتار)، فاصله کاشت روی ردیف ۱۰ سانتیمتر و بین ردیف ۲۰ سانتیمتر، ۵. کاربرد علف‌کش تریفلورالین ۱۰۰ درصد دز توصیه شده (۲/۵ لیتر در هکتار) قبل از کاشت، ۶. کاربرد علف‌کش گاالنت سوپر ۱۰۰ درصد دز توصیه شده (یک لیتر در هکتار) در مرحله ۵برگی علف‌های هرز گیاهان باریک برگ، ۷. کاربرد ۵۰ درصد دز توصیه شده علف‌کش تریفلورالین (۱/۲۵ لیتر در هکتار) همراه با مالچ کاه و کلش قبل از کاشت، ۸. کاربرد ۵۰ درصد دز توصیه شده علف‌کش گاالنت سوپر (۰/۵ لیتر در هکتار) همراه با مالچ کاه و کلش در مرحله ۵برگی علف‌های هرز گیاهان باریک برگ، ۹. عدم کنترل علف‌های هرز در کل دوره رشد (شاهد عدم کنترل) بود.

عملیات زراعی

در قطعه زمین موردنظر پس از برداشت محصول سال قبل (سبزی و صیفی) و در پاییز، عملیات شخم‌زنی و برگرداندن خاک صورت‌گرفته و در پانزدهم اردیبهشت به‌محض مساعد شدن شرایط آب‌وهوایی عملیات شخم بهاره و دیسک‌زنی به‌منظور خردکردن کلوخه‌ها صورت گرفت و کاشت بذور گلرنگ، به‌صورت دستی انجام پذیرفت. کاشت بذر گلرنگ بافاصله بین ردیف ۲۰ سانتیمتر و روی ردیف ۵/۵ سانتیمتر و با تراکم نهایی ۸۰ بوته در مترمربع انجام پذیرفت. کاشت گیاه پوششی گاودانه و ماشک گل خوشه‌ای هم‌زمان با کاشت گلرنگ به‌صورت ردیفی، هر کدام بافاصله بین ردیف ۲۰ سانتیمتر و روی ردیف ۱۰ سانتیمتر و با تراکم نهایی ۵۰ بوته در مترمربع در بین ردیف‌های گلرنگ انجام شد. برای گلرنگ از بذور رقم صفه و برای گاودانه (*Vicia ervilia*) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa*) از بذور محلی رایج در بین کشاورزان منطقه استفاده شد. عمق کاشت بذور گلرنگ ۳ تا ۵ سانتیمتر و برای گاودانه و ماشک گل خوشه‌ای ۲ تا ۳ سانتیمتر در نظر گرفته شد. بعد از به‌اتمام‌رسیدن مراحل آماده-سازی زمین، کرت‌هایی به‌اندازه دو مترمربع به ابعاد (۲×۱ متر) به‌صورت دستی آماده شده و بذور در روی ردیف‌ها کشت شد. بستر کشت به‌صورت کرتی مسطح در نظر گرفته شد و مساحت کل زمین زیر کشت برای این پژوهش ۲۷۳ مترمربع بود. کوددهی باتوجه‌به دستورالعمل فنی کشت دانه روغنی گلرنگ که توسط جهاد کشاورزی ارائه شده بود و نیز باتوجه‌به آزمایش‌های قبلی از خاک مزرعه موردنظر انجام گرفت. براین‌اساس کودهای فسفره و نیتروژنه به ترتیب ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه گردید. کود فسفره یکبار و قبل از کشت و در موقع آماده‌سازی زمین و کود نیتروژنه به‌صورت سرک و در دو نوبت در موقع کاشت و ساقه دهی به ترتیب ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اعمال شد. آبیاری اولیه بلافاصله بعد از کشت بذور و دفعات بعدی آبیاری باتوجه‌به وضعیت جوی و میزان بارندگی صورت گرفت. عملیات کنترل علف‌های هرز باتوجه‌به تیمارهای مختلف کنترل علف‌های هرز بدین صورت که سم‌پاشی ترفلان به‌صورت پیش‌کاشت و گاالنت سوپر به‌صورت پس رویشی انجام پذیرفت.

اندازه‌گیری صفات و عملیات برداشت

جهت ارزیابی شاخص‌های زراعی و عملکردی گلرنگ در فصل رشد و بعد از برداشت، برخی صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شد. جهت نمونه‌برداری، تعداد ۱۰ بوته، به‌صورت تصادفی، قبل از گلدهی انتخاب و با روبان نشان شدند. حذف اثر حاشیه‌ای جهت بهبود

نمونه‌برداری انجام شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیکی عملیات برداشت آغاز شد. پس از حذف ردیف‌های کناری هر کرت، تعداد ۱۰ نمونه از ردیف میانی با حذف ۰/۵ متر از حاشیه‌ها برداشت شد و به تفکیک هر کرت جهت اندازه‌گیری‌های لازم به آزمایشگاه منتقل شد. همچنین تعداد گونه‌های موجود علف‌های هرز مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت شمارش تعداد علف‌های هرز و تعیین وزن خشک آن‌ها، از کوادرات ۱×۱ استفاده شد. کوادرات به طور تصادفی در بخشی از کرت‌ها قرار داده شد و تعداد علف‌های هرز داخل کوادرات شمارش گردید. پس از آن علف‌های هرز داخل کوادرات چیده شدند تا تعداد، بیوماس و نوع گونه آن‌ها تعیین شود. صفات مختلف در این بررسی به شرح زیر بود.

ارتفاع بوته: ارتفاع بوته در زمان برداشت در ۱۰ بوته از هر کرت، از طوقه تا انتهای بوته اندازه‌گیری شد. سپس میانگین اعداد برحسب سانتی‌متر در محاسبات آماری استفاده شد.

تعداد شاخه فرعی: در ۱۰ بوته از هر کرت تعداد شاخه در زمان برداشت شمارش شد. سپس میانگین اعداد در محاسبات آماری مورداستفاده قرار گرفت.

تعداد برگ: در ۱۰ بوته تعداد برگ‌های سبز شمارش گردید و میانگین آن‌ها به‌عنوان تعداد برگ در بوته در محاسبات آماری استفاده شد.

قطر ساقه در قاعده بوته: در ۱۰ بوته در هر کرت قطر ساقه در قاعده بوته با کولیس برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید و میانگین آن‌ها در محاسبات آماری استفاده شد.

وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه: برای تعیین وزن خشک برگ و ساقه، هر یک از این اجزا جداگانه در پاکت کاغذی با ذکر نام نمونه (کد تیمار) و ردیف و تکرار در آون الکتریکی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از آون خارج و وزن خشک هر بخش به طور مجزا با ترازوی دیجیتال بادقت اندازه‌گیری یک‌صدم و برحسب گرم اندازه‌گیری شد.

وزن خشک گلبرگ: گلبرگ‌های ۵ نمونه گیاهی در پاکت کاغذی با ذکر نام نمونه (کد تیمار) و ردیف و تکرار در آون الکتریکی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از آون خارج و وزن خشک آن به طور مجزا با ترازوی دیجیتال بادقت اندازه‌گیری یک‌صدم و برحسب گرم اندازه‌گیری شد.

وزن خشک اندام هوایی: جهت محاسبه وزن خشک اندام هوایی ۵ نمونه گیاهی خرد شد و داخل پاکت‌های کاغذی قرار داده شد. پاکت‌ها در داخل آون الکتریکی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت نگه داشته شد. پس از ۴۸ ساعت نمونه‌ها از پاکت خارج و نمونه‌های داخل آن توزین شد.

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.

شاخص برداشت: شاخص برداشت با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

رابطه [۱]

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد اقتصادی}}{\text{وزن خشک اندام هوایی} + \text{عملکرد اقتصادی}} \times 100$$

محاسبات آماری

تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت. قبل از تجزیه واریانس، برقراری فرض‌های نرمال بودن توزیع انحرافات، یکنواختی واریانس‌های درون تیماری و جمع‌پذیر بودن اثرات بلوک و تیمار با آزمون توکی مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای تجزیه‌های آماری و

رسم نمودارها از نرم‌افزارهای MStat-C، SPSS و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

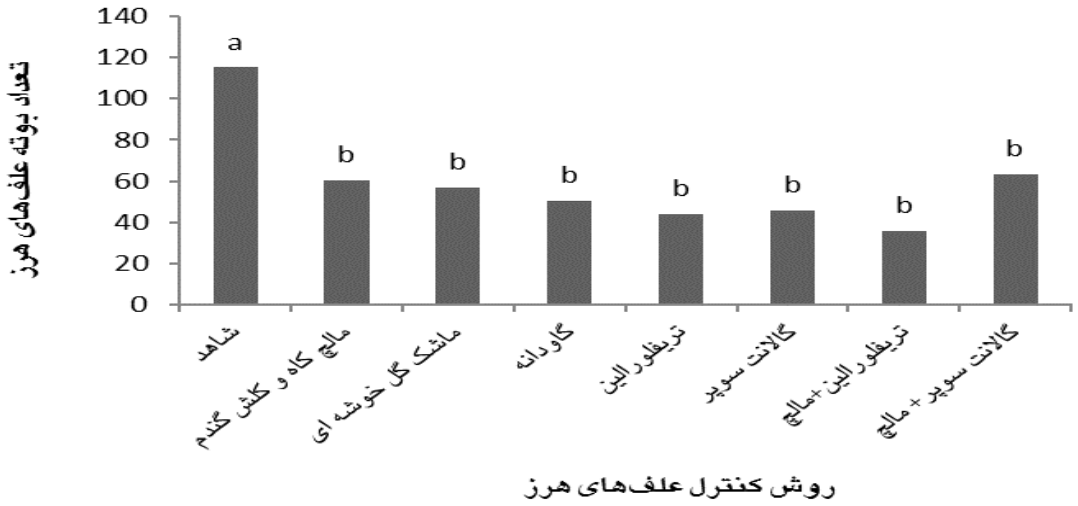
تراکم علف‌های هرز

بر اساس نتایج این مطالعه، تعداد علف‌های هرز به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر روش کنترل علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین تعداد علف‌های هرز با ۱۱۵ عدد در مترمربع در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز به دست آمد. تیمارهای کاربرد مالچ کاه و کلش گندم، گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای، گیاه پوششی گاودانه، علف‌کش تریفلورالین، علف‌کش گالانت سوپر، علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم و علف‌کش گالانت سوپر + مالچ کاه و کلش گندم کاهشی به ترتیب ۴۷/۸، ۵۱/۳، ۵۶/۵، ۶۲/۶، ۶۰/۸، ۶۹/۵ و ۴۵/۲ درصدی را در تراکم علف‌های هرز باعث گردید (شکل ۱). محضری و باغستانی میبدی (۲۰۱۳) نشان دادند که کاربرد علف‌کش تریفلورالین از تعداد بوته علف‌های هرز در واحد سطح مزرعه سیر (*A. sativum*) می‌کاهد. به تعویق‌انداختن جوانه‌زنی بذور علف‌های هرز تحت مصرف تریفلورالین سبب تولید شاخساره کمتری توسط علف‌های هرز گردید.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مربوط به علف‌های هرز

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		تراکم علف‌های هرز	بیوماس علف‌های هرز
بلوک	۳	۳۷۱/۲^{ns}	۸۱۲۵/۳^{ns}
روش‌های کنترل علف‌های هرز	۷	۳۶۳۶/۵**	۱۹۵۶۱/۴**
خطا	۲۱	۳۸۱/۲	۴۳۲۳/۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۳۷/۲۷	۲۷

**، * و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

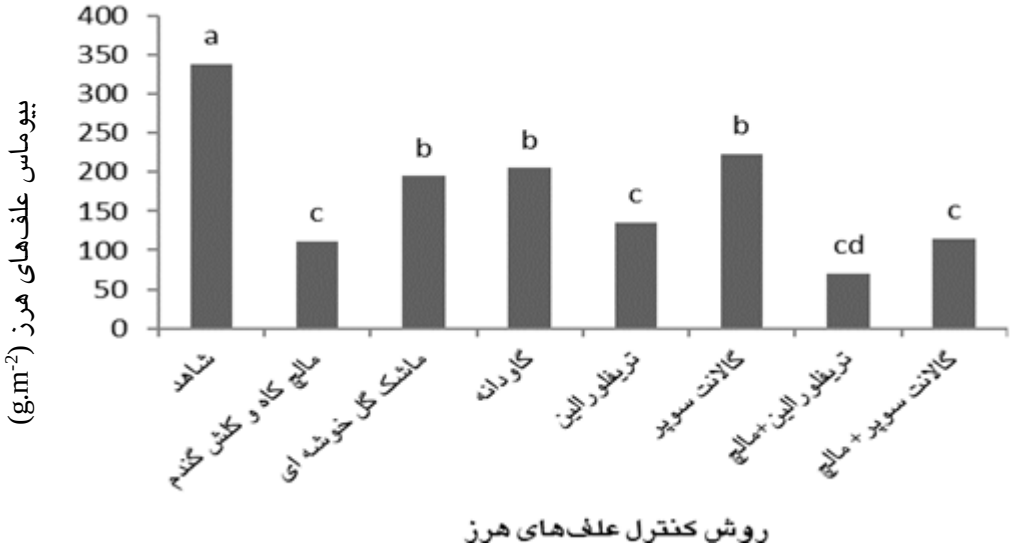


شکل ۱- مقایسه میانگین‌های تراکم علف‌های هرز (بوته در مترمربع) تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

وزن خشک علف‌های هرز (بیوماس)

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات، بیوماس علف‌های هرز تأثیر معنی‌داری بر بیوماس علف‌های هرز داشت. بر اساس نتایج تیمارهای کاربرد مالچ کاه و کلش گندم، گیاه پوششی ماشک گل خوشه-ای، گیاه پوششی گاودانه، علف‌کش تریفلورالین و علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم کاهشی به ترتیب ۵۵/۱، ۴۸/۳، ۴۶/۲، ۵۹/۹ و ۵۲/۸ درصدی را در بیوماس علف‌های هرز باعث شد. تیمارهای گالانت سوپر و گالانت سوپر + مالچ نیز از بیوماس علف‌های هرز به ترتیب به میزان ۳۴/۱ و ۶۵/۸ از بیوماس علف-های هرز کاست (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های بیوماس علف‌های هرز گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

علف‌های هرز شناسایی شده در مزرعه

براساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه علف‌های‌هرز غالب شناسایی شده در سطح مزرعه محل مورد بررسی ۱۱ گونه بود که در این بین تاج خروس و سلمه تره بیشترین تراکم را در سطح مزرعه به خود اختصاص داد. علف هرز عمومی شناسایی شده شامل تاج خروس، سلمه تره، چچم، یولاف وحشی، خرفه، کیسه کشیش، توق، هفت بند، پیچک، قاصدک و پنیرک بودند. سایر علف‌های‌هرز موجود در زیر کانوپی گلرنگ به‌دلیل تراکم بسیار کم و اهمیت کمتر و رشد بسیار بطئی و اندازه بسیار کوچک گزارش نشده‌اند (جدول ۲). سایر علف‌های‌هرز موجود در زیر کانوپی گلرنگ به-دلیل تراکم بسیار کم و اهمیت کمتر و رشد بسیار بطئی و اندازه بسیار کوچک در این جدول گزارش نشده‌اند.

ارتفاع بوته

مقایسه میانگین ارتفاع بوته‌های گلرنگ تحت‌تأثیر روش‌های مختلف کنترل علف‌های هرز نشان داد که تیمارهای کاربرد مالچ کاه و کلش گندم، گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای، گیاه پوششی گاودانه، علف‌کش گالانت سوپر و علف‌کش گالانت سوپر + مالچ کاه و کلش گندم در مقایسه با عدم کنترل علف‌های هرز تأثیر معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته‌های گلرنگ نداشت، ولی تیمارهای علف‌کش تریفلورالین، علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم و وجین کامل علف‌های هرز افزایش معنی‌داری را در ارتفاع بوته‌های گلرنگ باعث شد و این صفت را تا ۵۴/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین افزایش در ارتفاع بوته‌های گلرنگ

جدول ۲- علف‌های هرز شناسایی شده در منطقه مورد بررسی

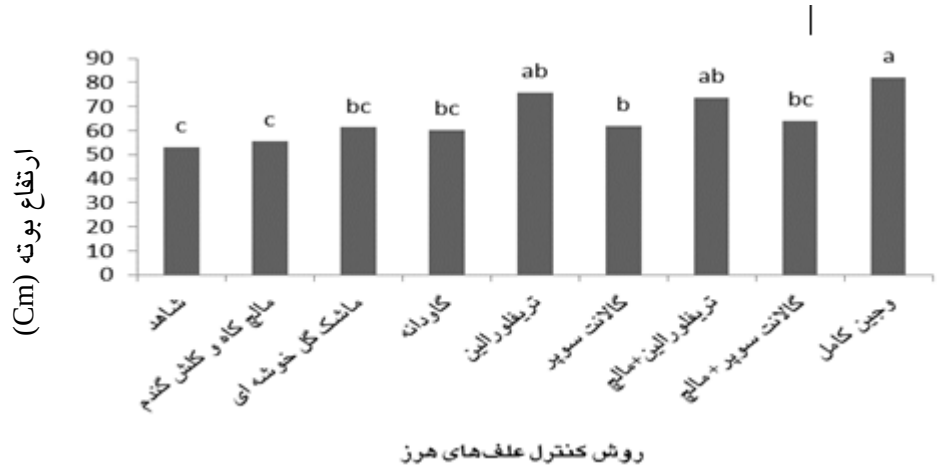
ردیف	نوع علف هرز	نام تیره	اسم علمی
۱	تاج‌خروس	*Amaranthaceae*	*Amaranthus retroflexus*
۲	سلمه تره	*Amaranthaceae*	*Chenopodium album*
۳	چچم	*Poaceae*	*Lolium temulentum*
۴	یولاف وحشی	*Poaceae*	*Avena fatua*
۵	خرفه	*Portulacaceae*	*Portulaca oleracea*
۶	کیسه کشیش	*Brassicaceae*	*Capsella bursa-pastoris*
۷	توق	*Asteraceae*	*Xanthium strumarium*
۸	هفت‌بند	*Polygonaceae*	*Polygonum aviculare*
۹	پیچک	*Convolvulaceae*	*Convolvulus arvensis*
۱۰	قاصدک	*Asteraceae*	*Taraxacum officinale*
۱۱	پنیرک	*Malvaceae*	*Malva sylvestris*

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گلرنگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		ارتفاع بوته	قطر ساقه اصلی	تعداد ساقه فرعی	قطر ساقه فرعی	طول ساقه فرعی	تعداد برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک گلبرگ‌ها	وزن خشک اندام هوایی	شاخص برداشت	عملکرد دانه
بلوک	۳	۸۷/۰۲^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}	۱/۲۰^{ns}	۰/۰۳۶^{ns}	۱/۵۴^{ns}	۵۸/۸۹^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۱۸/۳^{ns}	۲/۳۶^{ns}	۰/۳۷^{ns}
روش‌های کنترل	۸	۳۷۸/۳۳^{ns}	۰/۱۱۱*	۰/۷۴^{ns}	۰/۰۸۳*	۱۰/۹۵*	۲۲۱/۸۲*	۰/۶۱**	۲/۴۸*	۰/۰۹۶**	۵۲/۳**	۶۷/۹۵**	۶/۴۸**
خطا	۲۴	۱۰۷/۹۸	۰/۰۳۶	۰/۵۷	۰/۰۲۷	۳/۷۷	۷۱/۹۱	۰/۰۶۳	۰/۸	۰/۰۲	۱۳/۶	۱۳/۵۹	۰/۶۶
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۵/۹	۲/۹۷	۱۰/۶۳	۵/۵۹	۱۰/۵۴	۱۲/۷۸	۷/۱۸	۹/۶۸	۱۱/۸۱	۱۴/۳۴	۲۱/۱۵	۱۸/۲۵

**، * و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

با کنترل علف‌های هرز مربوط به وجین کامل علف‌های هرز بود. تیمارهای علف‌کش تریفلورالین و علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم نیز به ترتیب ۴۲/۹ و ۳۸/۵ درصد بر ارتفاع بوته‌های گلرنگ افزود (شکل ۳). نتایج این مطالعه نشان داد که در تیمارهای تریفلورالین و تریفلورالین + مالچ، کنترل مطلوبی از علف‌های هرز حاصل شد و ارتفاع بوته‌های گلرنگ به طور مطلوبی، بدون اختلاف معنی‌داری با دفع کامل علف‌های هرز افزایش یافت. این نتایج نشان داد که با به‌کاربردن مالچ کاه و کلش، می‌توان میزان استفاده از علف‌کش تریفلورالین را به میزان ۵۰ درصد کاهش داد و اثر سوء ناشی از استفاده از این علف‌کش را تا حد قابل‌توجهی کنترل نمود. تریفلورالین علف‌کش پیش رویشی است که علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک برگ را کنترل می‌کند. تریفلورالین در بررسی‌های مختلف نیز نشان داده که جمعیت علف‌های هرز ظاهر شده در مزرعه را به‌شدت کاهش می‌دهد (کارا اسماعیل اوغلو ۲۰۱۴) و از طریق کاهش رقابت بر ارتفاع بوته‌های گلرنگ می‌افزاید. عبدالرحمنی (۲۰۱۴) نیز نشان دادند که ارتفاع بوته های گلرنگ با کاربرد علف کش تریفلورالین افزایش می یابد.

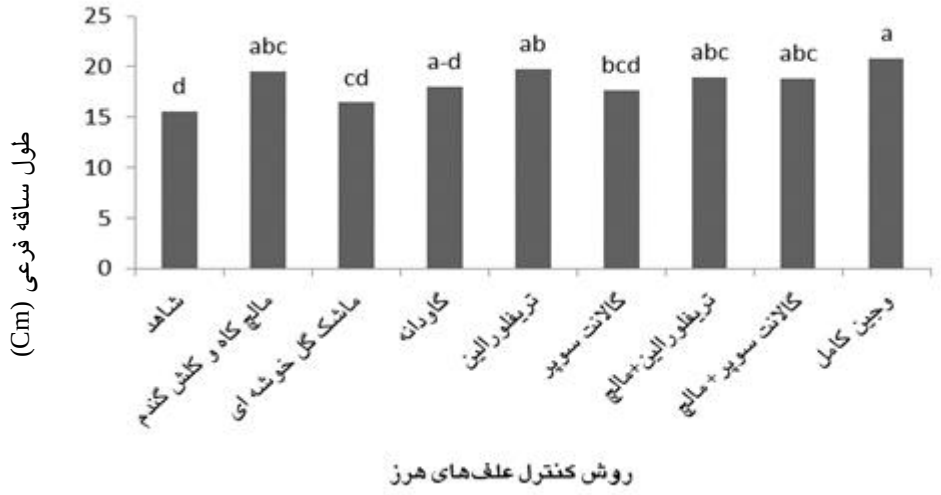


شکل ۳- مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

طول ساقه فرعی

طول ساقه‌های فرعی گلرنگ به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر روش‌های کنترل علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۳). در این بررسی تیمارهای گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای، گیاه پوششی گاودانه و علف‌کش گالانت سوپر تأثیر معنی‌داری بر طول ساقه‌های گلرنگ نداشت، ولی سایر تیمارها اثر افزایش معنی‌داری بر طول ساقه‌های فرعی گلرنگ داشت. تیمارهای کاربرد مالچ کاه و کلش گندم، علف‌کش تریفلورالین، علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم، علف‌کش گالانت سوپر + مالچ کاه و کلش گندم و وجین کامل علف‌های هرز اثر افزایش معنی‌داری بر طول ساقه‌های فرعی گلرنگ داشت و به ترتیب ۲۵، ۲۶/۷، ۲۱/۵، ۲۱ و ۳۳/۵ درصد بر این صفت افزود. هر پنج تیمار از نظر آماری افزایش مشابهی را در طول ساقه‌های فرعی گلرنگ باعث شد. در مورد این صفت مشاهده شد که استفاده از مالچ کاه و کلش گندم می‌تواند استفاده از سموم تریفلورالین و گالانت سوپر را به نصف کاهش دهد (شکل ۴).

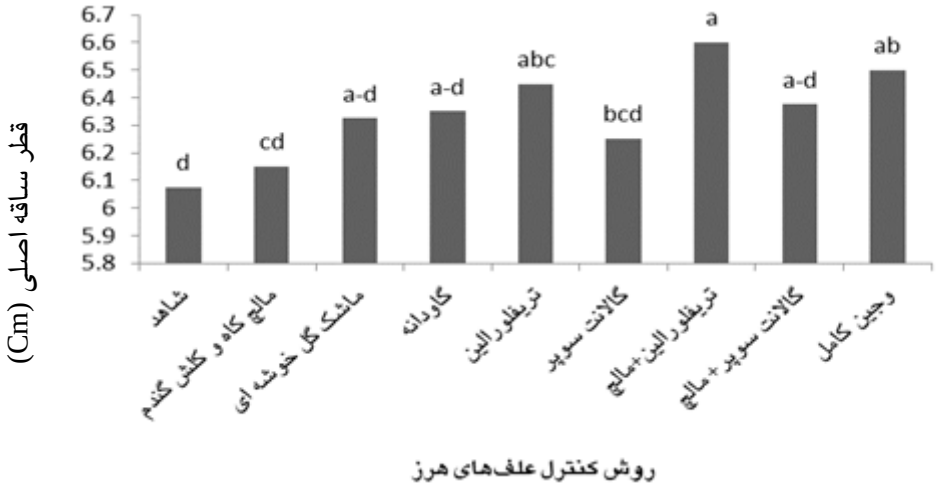


شکل ۴- مقایسه میانگین‌های طول ساقه فرعی گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

قطر ساقه اصلی

در این بررسی قطر ساقه گلرنگ به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر روش‌های کنترل علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۳). بر اساس نتایج حاصل، در بین تیمارهای کنترل علف‌های هرز، تیمارهای علف‌کش تریفلورالین، علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم و وجین کامل علف‌های هرز تأثیر معنی‌دار افزایشی بر قطر ساقه اصلی گلرنگ داشت، ولی سایر تیمارها تأثیری بر این صفت نداشت. در این سه تیمار قطر ساقه اصلی به ترتیب ۶/۴۵، ۶/۶ و ۶/۵ میلی‌متر بود که در مقایسه با عدم کنترل علف‌های هرز به ترتیب به میزان ۶/۲، ۸/۶ و ۷ درصد بیشتر بود. هر سه تیمار از نظر آماری افزایش مشابهی را در قطر ساقه اصلی گلرنگ باعث شدند (شکل ۵). رشد ساقه‌ها در گلرنگ وابسته به انتقال آسیمیلات‌ها از برگ‌ها به ساقه‌ها است. حضور علف‌های هرز با کاستن از رشد برگ‌ها، میزان تولید آسیمیلات‌ها را کاهش داده و در نتیجه رشد قطری ساقه‌ها نیز کاهش می‌یابد (قادری و همکاران ۲۰۱۹). سائلی (۲۰۱۵) برای بهبود عملکرد و کارایی استفاده از منابع رشدی با استفاده از مدیریت زراعی علف‌های هرز در کشت مخلوط گلرنگ و کلزا (*Brassica napus*) آزمایشی انجام دادند. این پژوهشگر نشان داد که کنترل علف‌های هرز باعث افزایش معنی‌دار قطر ساقه‌های گلرنگ می‌شود.

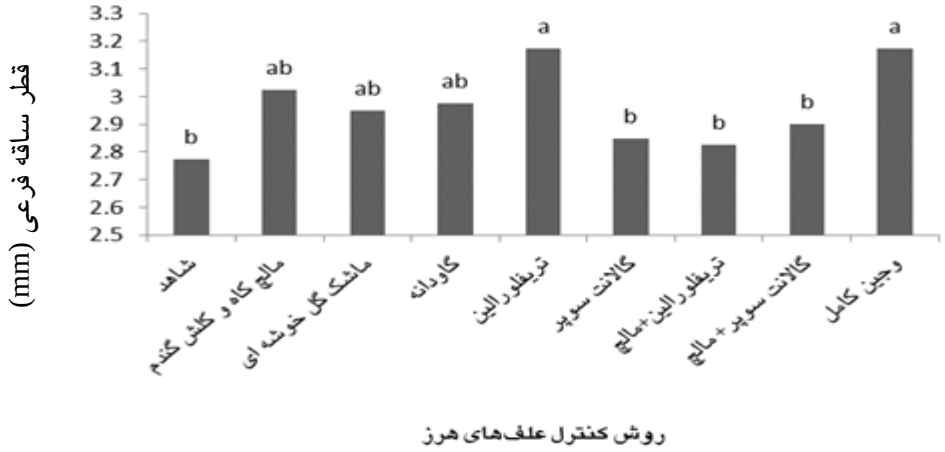


شکل ۵- مقایسه میانگین‌های قطر ساقه اصلی گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

قطر ساقه فرعی

در این بررسی قطر ساقه‌های فرعی گلرنگ به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر روش‌های کنترل علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۳). در این مطالعه در بین تیمارهای روش‌های کنترل علف‌های هرز، تنها دو تیمار علف‌کش تریفلورالین و وجین کامل علف‌های هرز اثر افزایش معنی‌داری را بر قطر ساقه‌های فرعی گلرنگ داشت. در این دو تیمار قطر ساقه‌های فرعی گلرنگ ۳/۱۷ میلی‌متر بود که در مقایسه با عدم کنترل علف‌های هرز به میزان ۱۴/۴ درصد بیشتر بود، سایر تیمارهای مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر قطر ساقه‌های فرعی گلرنگ نداشت (شکل ۶). گودا و حسنین (۲۰۱۱) تأثیر روش‌های مختلف کنترل علف‌های هرز را در گلرنگ بررسی نمودند. این محققین مشاهده نمودند که قطر ساقه‌های گلرنگ با کاربرد مالچ و علف‌کش افزایش می‌یابد.



شکل ۶- مقایسه میانگین‌های قطر ساقه فرعی گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

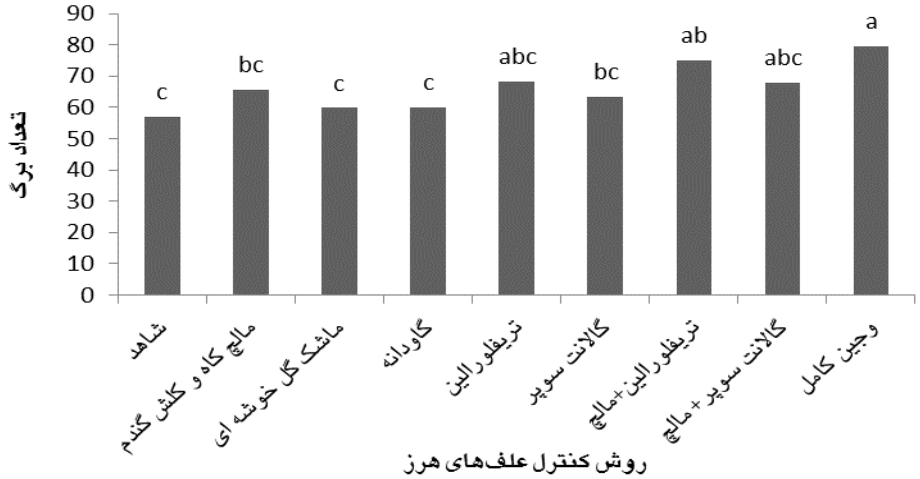
تعداد برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفات، تیمارهای کنترل علف‌های هرز اثر معنی‌داری را بر تعداد برگ‌های گلرنگ داشت (جدول ۳). در این مطالعه تنها دو تیمار علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم و وجین کامل علف‌های هرز اثر افزایش معنی‌داری را بر تعداد برگ‌های گلرنگ داشت. در دو تیمار علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم و وجین کامل علف‌های هرز تعداد برگ به ترتیب ۷۵/۱ و ۷۹/۷ بود که در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۳۲ و ۳۹/۹ درصد بیشتر بود (شکل ۷). نتایج این مطالعه حاکی از این مطلب است که علف‌کش تریفلورالین به همراه مالچ کنترل مطلوبی را بر علف‌های هرز داشته و از این طریق بر تعداد برگ‌های گلرنگ افزوده است. تریفلورالین در بسیاری از تحقیقات کنترل مطلوبی را بر جمعیت علف‌های هرز داشته است (خلیل ۲۰۱۸)، کاربرد مالچ نیز بعد از کاربرد این علف‌کش از جوانه‌زنی بعدی علف‌های هرز جلوگیری نموده (الصداوی و همکاران ۲۰۱۷) و درنتیجه باعث بهبود خصوصیات رشدی گلرنگ شده است. رودی و همکاران (۲۰۰۹) طی بررسی که در گیاه سویا انجام دادند، نشان دادند که کاربرد تریفلورالین در زمان مناسب، به طور مطلوبی توانست تعداد برگ‌های سویا (*Glycine max*) را افزایش دهد. افزایش تعداد برگ گلرنگ با کاربرد تریفلورالین، ناشی از افزایش دسترسی گیاه گلرنگ به منابع رشدی، بیشتر در اثر ازبین‌رفتن علف‌های هرز و افزایش تولید برگ و کاهش سرعت پیری برگ‌های گلرنگ است.

وزن خشک برگ

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی وزن خشک برگ‌های گلرنگ به طور مطلوبی تحت‌تأثیر کنترل علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۳). بر اساس نتایج تیمارهای گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای، گیاه پوششی گاودانه، علف‌کش گالانت سوپر، علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم و علف‌کش گالانت-سوپر + مالچ کاه و کلش گندم تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک برگ‌های گلرنگ نداشت، ولی تیمارهای کاربرد مالچ کاه و کلش گندم، علف‌کش تریفلورالین و وجین کامل علف‌های‌هرز اثر افزایشی معنی‌داری را بر وزن خشک برگ‌های گلرنگ داشت، براساس نتایج این مطالعه بیشترین افزایش نیز متعلق به تیمار وجین کامل علف‌های‌هرز بود. در تیمار وجین کامل علف‌های‌هرز وزن خشک برگ ۴/ گرم بود که در مقایسه با شاهد به میزان ۳۹/۷ درصد بیشتر بود. تیمارهای کاربرد مالچ

کاه و کلش گندم و علف‌کش ۴ تریفلورالین نیز افزایشی به ترتیب ۱۴/۳ و ۱۸/۳ درصدی را در وزن خشک برگ‌های گلرنگ باعث گردید (شکل ۸). در این بررسی تیمارهای مالچ و علف‌کش تریفلورالین افزایش قابل ملاحظه‌ای را در وزن خشک برگ‌های گلرنگ باعث شدند که ناشی از کنترل مطلوب جمعیت علف‌های‌هرز در اوایل دوره رشدی گیاه زراعی است. علف‌کش تریفلورالین و مالچ جمعیت علف‌های هرز را در اوایل



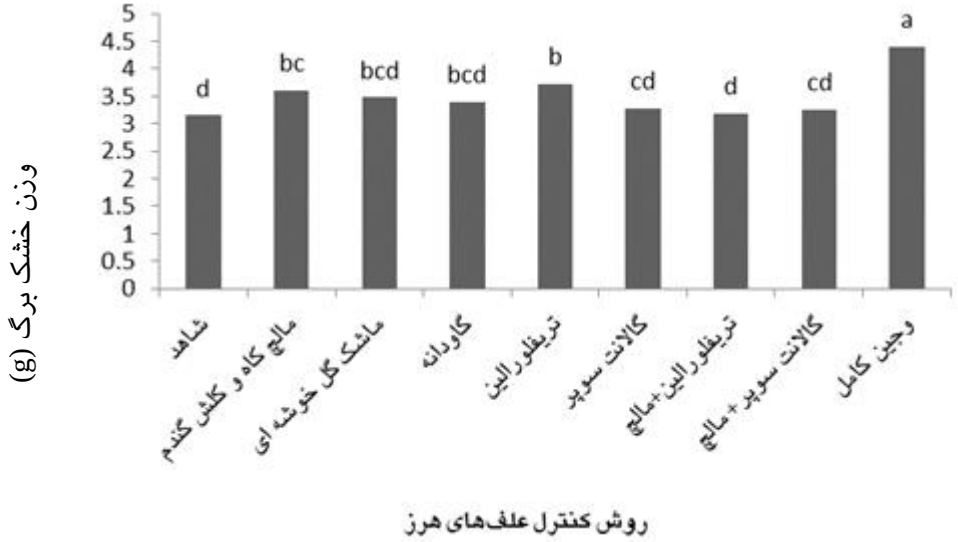
شکل ۷- مقایسه میانگین‌های تعداد برگ گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

دوره رشدی که حساس‌ترین مرحله رشدی گیاه به رقابت است، کاهش می‌دهد. پتانسیل جمعیت علف‌های‌هرز در اوایل دوره رشدی تحت تأثیر دو تیمار مالچ و علف‌کش تریفلورالین بهبود می‌یابد (اندر و همکاران ۲۰۱۷)، که این مسئله بهبود رشد گیاه را در اوایل دوره رشدی باعث می‌شود. احمدی (۲۰۱۵) تأثیر کاربرد علف‌کش تریفلورالین را در گیاه ماش (*Vigna radiata*) مورد مطالعه قرار داد. این محققین نشان دادند که کاربرد علف‌کش تریفلورالین وزن خشک برگ‌های ماش را افزایش می‌دهد. بیسواس (۲۰۱۸) نیز نتایج مشابهی را در گیاه هویج (*Daucus carota* Subsp. Sativus) درخصوص مالچ به‌دست آوردند. مالچ با پوشش سطح خاک از جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز جلوگیری می‌کند، چرا که اغلب علف‌های هرز برای جوانه‌زنی به نور نیاز دارند. از سوی دیگر مالچ با کاهش نفوذ نور به خاک و کاهش دمای خاک نیز از جوانه‌زنی بذر علف‌های‌هرز جلوگیری می‌کند.

وزن خشک ساقه

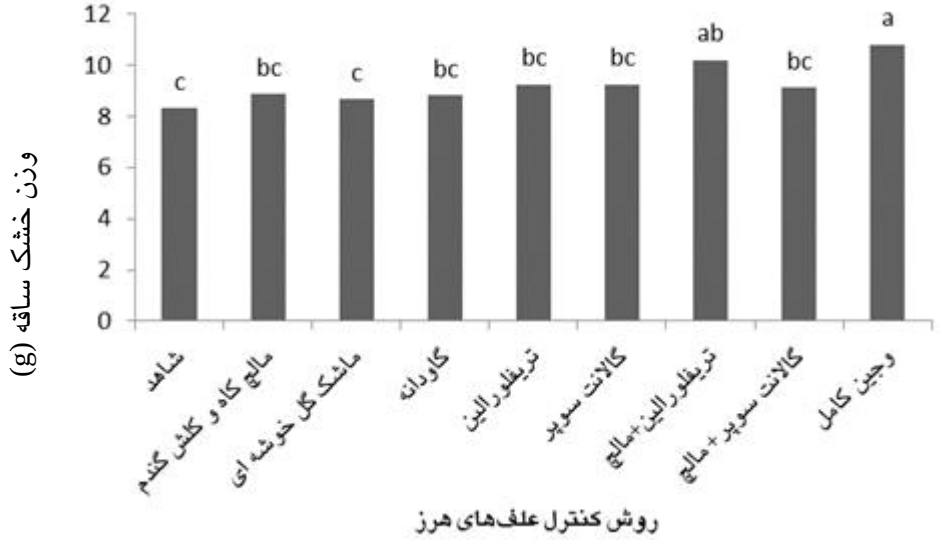
وزن خشک ساقه‌های گلرنگ به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمار کنترل علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۳). در این صفت نیز تنها دو تیمار علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم و وجین کامل علف‌های هرز اثر افزایش معنی‌داری را بر وزن خشک ساقه‌های گلرنگ داشت، ولی سایر تیمارها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. در دو تیمار علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم و وجین کامل علف‌های هرز، وزن خشک ساقه‌های گلرنگ به ترتیب ۱۰/۲ و ۱۰/۸ گرم بود که در مقایسه با عدم کنترل علف‌های هرز به ترتیب به میزان ۲۲/۹ و ۳۰/۱ درصد بیشتر بود. هر دو تیمار علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم و وجین کامل علف‌های هرز از نظر آماری افزایش مشابهی را در وزن خشک ساقه‌های گلرنگ باعث گردید (شکل ۹). علف‌های هرز، رشد کلی بوته‌های گیاهان زراعی مانند رشد ساقه‌ها را کاهش می‌دهند. در این مطالعه علف‌کش تریفلورالین، علف‌کش مؤثری در کنترل علف‌های هرز در مزرعه گلرنگ بود، ولی کاربرد مالچ تأثیر آن را



شکل ۸- مقایسه میانگین‌های وزن خشک برگ گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

بهبود بخشید و به‌شدت تعداد علف‌های هرز ظاهر شده در مزرعه را کاهش داد. مالچ و علف‌کش تریفلورالین با جلوگیری از استقرار بوته علف‌های هرز در سطح مزرعه از رقابت علف‌های هرز در اوایل دوره رشدی جلوگیری می‌کنند (جان‌محمدی و همکاران ۲۰۱۷)؛ بنابراین تحت این شرایط از تأثیر منفی علف‌های هرز بر رشد گلرنگ کاسته می‌شود. نصیری دهسرخی و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند که کاربرد علف‌کش ترفلان از وزن خشک لوبیای چشم‌بلبلی *Vigna unguiculate*) می‌کاهد.

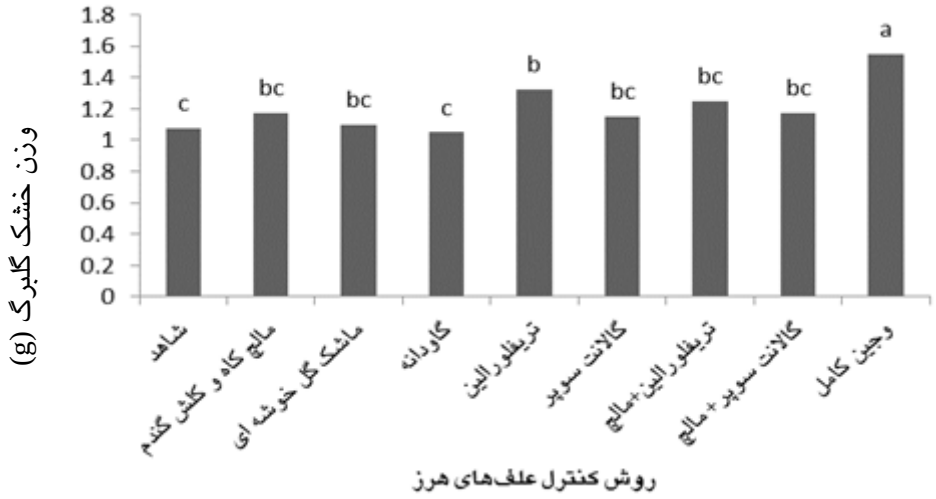


شکل ۹- مقایسه میانگین‌های وزن خشک ساقه گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

وزن خشک گلبرگ‌ها

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات، وزن خشک گلبرگ‌ها به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر روش‌های کنترل علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۳). در این صفت تیمارهای علف‌کش تریفلورالین و وجین کامل علف‌های هرز اثر افزایش معنی‌داری را در وزن خشک گلبرگ‌های گلرنگ باعث شد، ولی سایر تیمارهای مورد بررسی، تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. در تیمارهای علف‌کش تریفلورالین و وجین کامل علف‌های هرز وزن خشک گلبرگ‌های گلرنگ به ترتیب ۱/۳۲ و ۱/۵۵ گرم بود که در مقایسه با تیمار عدم کنترل علف‌های هرز به ترتیب به میزان ۲۳/۳ و ۴۴/۲ درصد بیشتر بود. تیمار وجین کامل علف‌های هرز در مقایسه با علف‌کش تریفلورالین افزایش بیشتری را در وزن خشک گلبرگ‌ها در مقایسه با عدم کنترل علف‌های هرز باعث شد (شکل ۱۰). افزایش رشد بخش‌های زایشی گیاه متأثر از وضعیت عمومی گیاه است. تحت شرایط عدم رقابتی، عوامل مستعد رشد مانند کاربرد کودها با افزایش رشد عمومی گیاه بر وزن خشک اندام‌های زایشی گیاه می‌افزاید، ولی تحت شرایط رقابت، تشدید رشد رویشی از رشد زایشی می‌کاهد (منالد و همکاران ۲۰۲۰)؛ بنابراین کنترل علف‌های هرز می‌تواند تأثیر مثبتی بر وزن خشک گلبرگ‌ها داشته باشد.



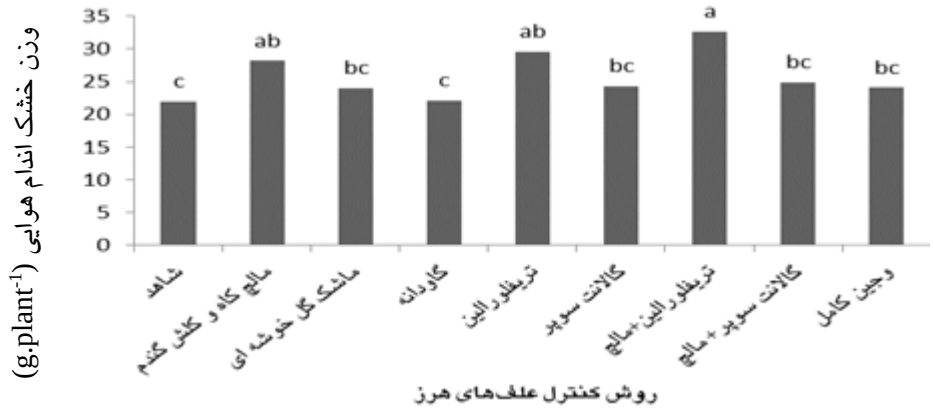
شکل ۱۰- مقایسه میانگین‌های وزن خشک گلبرگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی گلرنگ به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های وزن خشک اندام هوایی گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز نشان داد که تیمارهای کاربرد مالچ کاه و کلش گندم، علف‌کش تریفلورالین و علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم اثر افزایش معنی‌داری را در وزن خشک اندام هوایی گلرنگ باعث شد. این سه تیمار وزن خشک اندام هوایی گلرنگ را به ترتیب به میزان ۲۸/۲، ۳۴/۲ و ۴۸/۵ درصد افزایش داد؛ بنابراین تیمار علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم بیشترین افزایش را در وزن خشک اندام هوایی گلرنگ باعث شد (شکل ۱۱). تأثیر کاربرد مالچ و علف‌کش تریفلورالین در وزن خشک اندام هوایی گیاهان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مالچ‌ها تأثیر عمده‌ای را بر روی رشد گیاهان می‌گذارند. به‌طوری‌که بهزاد نژاد و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی که بر روی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) انجام دادند، نشان داد که کاربرد مالچ وزن خشک اندام هوایی کنجد را به میزان ۳۷ درصد افزایش می‌دهد. در بررسی دیگری گیتیکا و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که کاربرد مالچ وزن خشک اندام هوایی بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) را به میزان ۴۸ درصد افزایش می‌دهد. مالچ‌ها مکانیسم‌های مختلفی را برای این تأثیر

مثبت دارند که یکی از آن‌ها کنترل علف‌های هرز است. از سوی دیگر تریفلورالین نیز با کاهش پتانسیل علف‌های هرز در سطح مزرعه، باعث بهبود رشد گیاهان می‌شود. به‌طوری‌که کریم‌مجنی و همکاران (۲۰۱۴) طی بررسی که بر روی عدس (*Lens culinaris*) انجام داد، نشان داد که کاربرد علف‌کش تریفلورالین وزن خشک اندام هوایی را تا ۳۹ درصد افزایش می‌دهد. محضری و باغستانی میبدی (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که کاربرد علف‌کش تریفلورالین با کنترل مطلوب علف‌های هرز بر بیوماس سیر (*Allium sativum*) می‌افزاید. باتوجه‌به درنظرگرفتن پتانسیل این دو تیمار در افزایش رشد گیاهان، کاربرد توأم این دو، بی‌شک تأثیر بیشتری را می‌تواند بر رشد گیاهان داشته باشد.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین‌های وزن خشک اندام هوایی گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

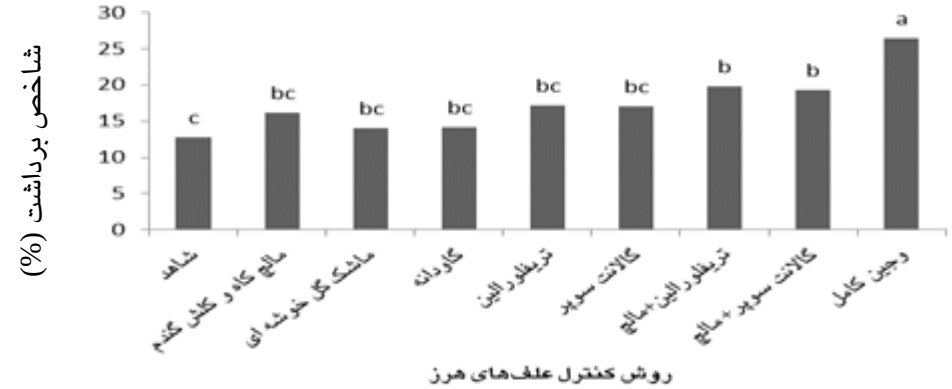
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

شاخص برداشت

در این مطالعه شاخص برداشت بوته‌های گلرنگ به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۳). تنها سه تیمار علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم، علف‌کش گالانت سوپر + مالچ کاه و کلش گندم و وجین کامل علف‌های هرز اثر مثبت افزایش بر شاخص برداشت گلرنگ داشت. این سه تیمار به میزان قابل‌ملاحظه‌ای بر شاخص برداشت گلرنگ افزودند و این صفت را به ترتیب به میزان ۵۴/۵، ۵۰/۸ و ۱۰۶/۶ درصد افزایش دادند. باتوجه‌به این نتایج، بیشترین افزایش متعلق به وجین کامل علف‌های هرز بود (شکل ۱۲). حضور علف‌های هرز از شاخص برداشت گیاهان می‌کاهد. چرا که رقابت علف‌های هرز رشد رویشی را افزایش می‌دهد و رشد زایشی با تأخیر مواجه شده و تضعیف می‌شود (مارتینز و همکاران ۲۰۲۰). اما نتایج این مطالعه نشان داد که به‌غیراز کنترل دستی علف‌های هرز، تنها کاربرد توأم هر یک از علف‌کش‌ها با مالچ باعث بهبود شاخص برداشت می‌شود که دلیل آن را تکمیل تأثیر علف‌کش‌ها و تأثیرهای مثبت مالچ به‌غیراز نقش آن در کنترل علف‌های هرز می‌توان بیان کرد (داتا و همکاران ۲۰۱۷). سینگ و کومار (۲۰۲۰) نیز طی مطالعه‌ای بر روی برنج نشان دادند که کاربرد توأم مالچ و علف‌کش‌ها، افزایش معنی‌داری را در شاخص برداشت بوته‌های برنج باعث می‌شود. در بررسی دیگری محضری و باغستانی میبدی (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که کاربرد علف‌کش تریفلورالین شاخص برداشت سیر (*A. sativum*) را کاهش می‌دهد. در بررسی دیگری کریم مجنی و همکاران (۲۰۱۴) افزایش شاخص برداشت عدس (*L. culinaris*) را با کاربرد تریفلورالین گزارش نمودند.

عملکرد دانه

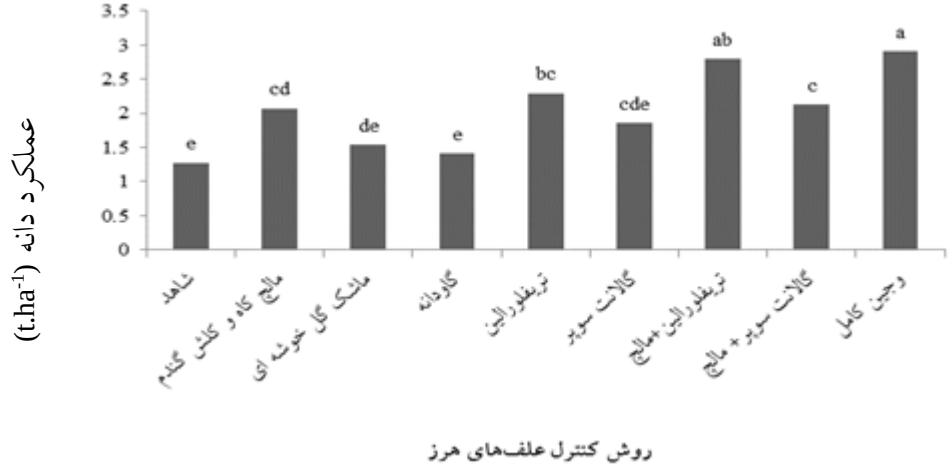
بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات، عملکرد دانه گلرنگ به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمار کنترل علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۳). عملکرد دانه تحت‌تأثیر تیمارهای گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای، گیاه پوششی گاودانه و علف‌کش گالانت سوپر قرار نگرفت، ولی سایر تیمارهای مورد بررسی افزایش معنی‌داری را در عملکرد دانه گلرنگ باعث گردید.



شکل ۱۲- مقایسه میانگین‌های شاخص برداشت گلرنگ تحت‌تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

بیشترین افزایش نیز با ۱۲۸ درصد متعلق به وجین کامل علف‌های هرز بود. اختلاف بین وجین کامل علف‌های هرز و عدم کنترل علف‌های هرز از نظر عملکرد دانه به میزان ۳/۶ تن در هکتار بود که اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای به شمار می‌رود. تیمارهای کاربرد مالچ کاه و کلش گندم، علف‌کش تریفلورالین، علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم و وجین کامل علف‌های هرز نیز افزایشی به ترتیب ۶۲/۵، ۸۰/۴، ۱۱۹/۶ و ۶۷ درصدی را در عملکرد دانه گلرنگ باعث شد؛ بنابراین در بین روش‌های کنترل علف‌های هرز که از نظر عملکرد دانه با وجین کامل علف‌های هرز اختلاف معنی‌داری نداشت، تیمار علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم بهترین تیمار بود (شکل ۱۳). متین‌فر و همکاران (۲۰۱۸) نیز تأثیر کاربرد توأم مالچ و علف‌کش تریفلورالین را بررسی نموده و مشاهده نمودند که این تیمار ترکیبی، به میزان قابل‌ملاحظه‌ای بر عملکرد دانه گلرنگ می‌افزاید و این تیمار مؤثرتر از کاربرد علف‌کش‌های پس رویشی است. داتا و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند که کاربرد تلفیقی مالچ و علف‌کش مؤثرتر از کاربرد هریک به‌تنهایی، در افزایش عملکرد دانه سویا (*G. max*) است. هر دو تیمار کنترل علف‌های هرز رقابت علف‌های هرز را از همان ابتدای دوره رشدی گیاهان کاهش می‌دهند.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه گلرنگ تحت تأثیر تیمارهای کنترل علف‌های‌هرز

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی، روش-های کنترل علف‌های هرز تأثیر معنی‌داری بر صفات تعداد برگ و تعداد ساقه فرعی تأثیر معنی‌داری نداشت، ولی سایر صفات مورد بررسی به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر روش‌های کنترل علف‌های هرز قرار گرفت. به‌غیراز کنترل علف‌های هرز، بیشترین افزایش در ارتفاع بوته (۳۸/۵ درصد) تعداد برگ (۳۲ درصد)، وزن خشک ساقه (۲۲/۹ درصد)، وزن خشک اندام هوایی (۴۸/۵ درصد)، شاخص برداشت (۵۴/۵ درصد) و قطر اصلی (۸/۶ درصد) در تیمار علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم حاصل شد، درحالی‌که بیشترین وزن خشک برگ (۱۸/۳ درصد)، قطر ساقه فرعی (۱۴/۴ درصد) و طول ساقه فرعی (۲۶/۷ درصد) متعلق به تیمار علف‌کش تریفلورالین بود. این نتایج نشان می‌دهد در بین تیمارهای غیرمکانیکی کنترل علف‌های هرز مزرعه گلرنگ، علف‌کش تریفلورالین + مالچ کاه و کلش گندم، مؤثرترین بود. باتوجه‌به نتایج میزان تغییرات وزن خشک اندام هوایی گلرنگ با کنترل علف‌های هرز کمتر از عملکرد دانه بود که می‌تواند ناشی از تأثیرات رقابت علف‌های هرز بر رشد رویشی و درنتیجه کاهش رشد زایشی گلرنگ در حالت عدم کنترل علف‌های هرز باشد؛ بنابراین این نتایج درنهایت با افزایش شاخص برداشت با کنترل علف‌های هرز نمود می‌یابد. در کل نتایج مطالعه نشان داد که کنترل علف‌های هرز در مزرعه گلرنگ در مراحل اولیه رشدی مؤثرتر از مراحل پیشرفته‌تر است و می‌تواند بیانگر حساسیت گلرنگ به رقابت علف‌های هرز در مراحل اولیه رشد گلرنگ باشد. چراکه تیمارهای با کنترل مؤثرتر علف‌های هرز در مراحل اولیه رشد (مالچ و تریفلورالین) در بهبود رشد و عملکرد دانه گلرنگ مؤثرتر بود.

سپاسگزاری

از دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز به‌خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Adıgüzel S and Çavaş T. 2017. Trifluralin,treflan ve etil metan sülfonatın oreochromis niloticus'ta oluşturduğu genotoksik hasar üzerine askorbik asitin antigenotoksik etkisi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt, 6(1): 10-19. https://doi.org/10.17100/nevbiltek.331407

Ahmad S, Raza MA, Saleem MF, Zaheer MS, Iqbal R, Haider I, Aslam MU, Ali M and Khan IH. 2020. Significance of partial root zone drying and mulches for water saving and weed suppression in wheat. Journal of Animal and Plant Sciences, 30(1): 154–162. https://doi.org/10.36899/japs.2020.1.0018

Ahmadi A. 2015. Integrated management of mung bean weeds in the Suleiman Mosque area. Applied Research of Plant Ecophysiology, 5, 56-67. (In Persian).

Alsaadawi IS, Tawfiq AA and Malih HM. 2017. Effect of allelopathic sorghum mulch on growth and yield of faba bean (*Vicia faba*) and companion weeds. Tunisian Journal of Plant Protection, 12, 123-127.

Andr J, Kočárek M, Jursík M, Fendrychová V and Tichý L. 2017. Effect of adjuvants on the dissipation, efficacy and selectivity of three different pre-emergent sunflower herbicides. Plant Soil Environment, 63(9), 409-415. http://dx.doi.org/10.17221/365/2017-PSE

Ather MN, Idrees NM, Ayub M, Tanveer A and Mubeen K. 2013. Effect of different weed control practices and sowing methods on weeds and yield of cotton. Pakistan Journal of Botany, 45, 1321–1328.

Bagavathiannan MV, Beckie HJ, Chantre GR, Gonzalez-Andujar JL, Leon RG, Neve P, Poggio SL, Schutte BJ, Somerville GJ, Werle R and Van Acker A. 2020. Simulation models on the ecology and

management of arable weeds: structure, quantitative insights, and applications. Agronomy, 10, 1611-1618. https://doi.org/10.3390/agronomy10101611

Behzadnejad J, Tahmasebi-Sarvestani Z, Aein A and Mokhtassi-Bidgoli A. 2020. Wheat straw mulching helps improve yield in sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. International Journal of Plant Production, 14(2), 389–400. (In Persian https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2020IJPP...14..389B/doi:10.1007/s42106-020-00091-8)

Bergtold JS, Ramsey S, Maddy L and Williams JR. 2017. A review of economic considerations for cover crops as a conservation practice. Renewable Agriculture and Food Systems, 34(1), 62-76. http://dx.doi.org/10.1017/S1742170517000278

Biswas BR. 2018. Effect of manure and mulching on growth and yield of carrot (*Daucus carota* L.). department of horticulture. Sher-E-Bangla Agricultural University.

Datta D, Saxena SC and Ghosh S. 2017. Mulch and herbicide impact on weed management, nodulation and quality of soybean [*Glycine max* L. Merrill]. Annals of Agricultural Research, 38(4), 1-5.

Fernandes TC, Pizano MA, Marin-Morales MA. 2013. Characterization, modes of action and effects of trifluralin: A Review. Herbicides - Current Research and Case Studies in Use.

Gage KL and Schwartz-Lazaro LM. 2019. Shifting the Paradigm: An Ecological Systems Approach to Weed Management. Agriculture, 9(8), 179-185. https://doi.org/10.3390/agriculture9080179

García-Moreno J, Gordillo-Rivero ÁJ, Zavala LM, Jordán A and Pereira P. 2013. Mulch application in fruit orchards increases the persistence of soil water repellency during a 15-years period. Soil and Tillage Research, 130, 62–68. http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.02.004

Geethika N, Subramanyam D. Tirumala Reddy S and Umamahesh V. 2020. Effect of plant extracts and rice straw mulch on weed growth and yield of groundnut. Indian Journal of Weed Science, 52(3), 292–295.

Gollojeh K, Ebadi A, Mohebian M and Sabaghnia N. 2013. Herbicide effects on weed control and yield of lentil (*Lens cullinaris*) in dryland condition. Natura Montenegrina, 12(1), 151-163. (In Persian). http://dx.doi.org/10.3923/ajps.2002.275.276

Gowda AA and Hassanein AMA. 2011. Efeect of mulching and glyphosate herbicide on growth and fruiting of kadota fig cultivar (*Ficus Carica* L.) and Growth of Associated Weeds. Assiut Journal of Agricultural Sciences, 42(5), 97-124. http://dx.doi.org/10.21608/ajas.2024.284169.1355

Iqbal R, Raza MA, Saleem MF, Khan IH, Ahmad S, Zaheer MS, Aslam MU and Imran H. 2019. Physiological and biochemical appraisal for mulching and partial rhizosphere drying of cotton. Journal of Arid Land, 11(5), 785–794. http://dx.doi.org/10.1007/s40333-019-0014-9

Imoloame EO. 2014. The effect(s) of different weed control methods on weed infestation, growth and yield of soybeans (*Glycine max* (l) merril) in the southern guinea savanna of nigeria. Agrosearch, 14(2), 129-143. http://dx.doi.org/10.4314/agrosh.v14i2.4

Janmohammadi M, Nouraein M and Sabaghnia N. 2017. Influence of different weed management techniques on the growth and essential oils of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Romanian Biotechnological Letters, 22, 56-67. (In Persian)

Jordan A, Zawala LM and Gill L. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. Catena, 81(1), 77–85. http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.007

Kader MA, Singha A, Begum MA, Jewel A, Khan FH and Khan NI. 2019. Mulching as water-saving technique in dry land agriculture. Bulletin of the National Research Centre, 43(1), 1–6. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0186-7

Karaismailoglu MC. 2014. Evaluation of potential genotoxic effect of trifluralin in *Helianthus annuus* L. (Sunflower). Caryologia, 67(3), 216-221. https://doi.org/10.1080/0144235X.2014.974348

Karim Mojeni H, Mohammad Alizadeh H, Majnoon Hosseini N and Peyghambarı S. 2014. The effect of separate and combined application of different herbicides on yield, yield components, important agronomic characteristics of late-cultivation and spring lentils. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 36, 209-218. (In Persian). https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i1.84970

Kaye JP and Quemada M. 2017. Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. Agronomy for Sustainable Development, 37(1), 1-17. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0410-x

Khalil Y. 2018. Interaction of pre-emergence herbicides and crop residues in western Australian no-tillage system. Dr thesis. University of Western Australia. (In Persian)

Qaderi MM, Martel AB and Dixon SL. 2019. Environmental factors influence plant vascular system andwater regulation. Plants, 8(3), 1-23. (In Persian) https://doi.org/10.3390/plants8030065

Mahzari S and Baghestani M. 2013. Use of two herbicides, oxyfluorfen and trifluralin, in weed control and Mazand garlic yield. Ecophysiology Scientific Research Journal of Agricultural Plants, 8, 71-82. (In Persian) http://dx.doi.org/10.18869/IJABBR.2016.136

Martínez JM, Raquel Picornell Buendía M, 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

Matinfar M, Saifzadeh S, Shiranirad A, Baghestani M and Metinfar M. 2018. Effects of chemical weed control in different irrigation regimes on weed biomass and safflower yield. Scientific Research Journal of Crop Plants and Weeds Ecophysiology, 17, 53-64.

Megueni C, Ngakou A, Mabong MR and Abdoulaye B. 2011. Weed control and yield improvement of *Solanum tuberosum* (L.) in Adamawa region (Cameroon) by soil solarization and chicken manure. Journal of Applied Biosciences, 7, 122-132.

Menalled UD, Bybee-Finley KA, Smith RG, DiTommaso A, Pethybridge SJ and Ryan MR. 2020. Soil-mediated effects on weed-crop competition: elucidating the role of annual and perennial intercrop diversity legacies. Agronomy, 10(9), 17-24. https://doi.org/10.3390/agronomy10091373

Nasiri Dehsarkhi A, Makarian H, Qolipour M and Abbas Dekht M. 2016. Investigating the effect of ultrasonic waves and seed priming on seed germination and growth of cowpea under the conditions of trifluralin application. Journal of Plant Protection (Agricultural Sciences and Industries), 31, 40-51. (In Persian) https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i2.53957

Nasrullah M, Khan MB, Ahmad R, Ahmad S, Hanif M and Nazeer W. 2011. Sustainable cotton production and water economy through different planting methods and mulching techniques. Pakistan Journal of Botany, 43(4), 1971–1983.

Parsa M, Aliverdi A and Hammami H. 2013. Effect of the recommended and optimized doses ofhaloxyfop-P-methyl or imazethapyr on soybean-Bradyrhizobiumjaponicum symbiosisMehdi. Industrial Crops and Products, 50, 197-202. (In Persian)http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.019

Roodi D, Ghadiri H and Maftoon M. 2009. Effect of Trifluralin and Iron on Morphological Characteristics and Iron Absorption of Soybeans. Weed Research Journal, 1, 56-61.

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)

Schappert A, Schumacher M and Gerhards R. 2019. Weed control ability of single sown cover crops compared to species mixtures. Agronomy, 9, 1-12. https://doi.org/10.3390/agronomy9060294

Silva JM, de Brito Santos FL, Santos RV, de Oliveira Barreto E, Santos EL, Santana AE, Rodarte RS, Machado SS and Goulart Santana AE. 2017. Determination of genotoxic effect of trifluralin on *Colossoma macropomum* (Teleostei: Characidae: Serrasalminae, Cuvier, 1816) using a

multibiomarker approach. Ecotoxicology and Environmental Contamination, 12, 85-93. https://doi.org/10.5132/eec.2017.01.11

Singh L and Kumar S. 2020. Effect of live mulches and herbicides on weeds and yield of direct-seeded rice under irrigated conditions. Indian Journal of Weed Science, 52(2), 183–186. http://dx.doi.org/10.5958/0974-8164.2020.00033.7

Sturm DJ. 2018. Cover cropping in integrated weed management. University of Hohenheim, Faculty of Agricultural Sciences. Institute of Phytomedicine, Department of Weed Science.

Tursun N, Işık D, Demir Z and Jabran K. 2018. Use of living, mowed, and soil-incorporated cover crops for weed control in apricot orchards. Agronomy, 8(8), 150-157. https://doi.org/10.3390/agronomy8080150

Ye F, Cao HF, Fu Y, Zhao LX and Gao S. 2016. The safener effect of chiral derivatives of 3-dichloroacetyl oxazolidine against haloxyfop-P-methyl-induced toxicity in maize. Zemdirbyste-Agriculture, 103(1): 29-34. http://dx.doi.org/10.13080/z-a.2016.103.004

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 121-135

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

The effect of Biofertilizer Application and Cultivars on Yield and Growth Characteristics of Barley in Tabriz Plain

Hassan Monirifar[1*], Arezoo Mirmozaffari Roudsari[2], Habibolah Ghazvivi[3], Ali Reza Tavasolee[4]

Received: 19 May 2023	Accepted: 31 August 2023

1-Horticulture and Crops Research Dept., East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Tabriz, Iran
2- East Azerbaijan Province Agricultural Jihad Organization, , Iran.
3- Cereal Research Dept, Seed and Plant mprovement, AREEO, Karaj, Karaj, Iran.
4- Soil and Water Research Department, East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: monirifar@yahoo.com

Abstract

Background & Objective: This study was conducted to evaluate the effect of biofertilizer application on the performance of barley common cultivars and new line in the Tabriz plain.

Materials & Methods: The factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design in the lands of Mamaghan city, East Azerbaijan Province. Experimental factors include: biofertilizer treatment at two levels, application of Barvar 2 with an approximate population of $1*10^8$ bacteria cells per gram of inoculum suspension and non-application. The investigated barley cultivars were SE-96-4- a new promising line, which was selected from the evaluation test of the performance of advanced lines in cold regions, Jolghe and Qara-arpa cultivars.

Results: Based on the results of analysis of variance, the interaction of cultivar and biofertilizer had a significant effect on barley grain yield. The highest seed yield was obtained with 5.9 tons per hectare in the new promising line and with Barvar 2 biofertilizer application. In Qararpa variety, the use of Barvar 2 did not have a significant effect on barley grain yield, but in the new promising line and Jolghe cultivar, with the use of Barvar 2 bifertilizer, an increase in grain yield was observed by 36.6% and 55.2%, respectively. Therefore, Barvar 2 fertilizer caused a significant increase in barley grain yield, especially the new promising line. The yield components showed a better response to the application of Barvar 2 biofertilizer. This new line had more leaf area index (6.67), chlorophyll content index (51.17) and number of days to maturity (278) compared to the other two cultivars, so it had more photosynthetic capacity to produce yield.

Conclusion: Using Barvar 2 biofertilizer at the rate of 0.5 (lit. ha^{-1}) in the new promised and improved lines increased the yield in the semi- arid and low potential Tabriz plain, but it did not show an effect on the yield of the native cultivar, so the use of Barvar 2 biofertilizer for the new promising line can increase the yield of barley seeds.

Keywords: Tabriz Plain, Barley, Grain Yield, Variety, Biofertilizer

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Hassan Monirifar Email: monirifar@yahoo.com
https://doi.org/sps10.22034/saps.2023.56663.3047

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۱۳۵-۱۲۱

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تاثیر رقم و کود زیستی بر عملکرد و صفات رشدی جو در دشت تبریز

حسن منیری‌فر[۱*]، آرزو میرمظفری رودسری[۲]، حبیب اله قزوینی[۳]، علی رضا توسلی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۹	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

۱- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.
۲- سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی
۳- بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.
*مسئول مکاتبه: Email: monirifar@yahoo.com

چکیده

اهداف: این پژوهش جهت ارزیابی تاثیر کاربرد کودزیستی بر عملکرد ارقام رایج و لاین در دست معرفی جو در دشت تبریز صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در اراضی شهرستان ممقان استان آذربایجان شرقی انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل: تیمار کود زیستسی در دو سطح کاربرد کود بارور ۲ با جمعیت تقریبی $۱۰^{۸}$*۱ سلول باکتری در هر گرم سوسپانسیون مایه تلقیح و عدم کاربرد آن و تیمارهای رقم جو در سه سطح لاین امید بخش، ارقام جلگه و قره آرپا بود. لاین مورد بررسی، لاین امیدبخش SE-96-4 بود که از آزمایش مقایسه عملکرد یکنواخت لاین‌های پیشرفته جو مناطق سرد انتخاب گردید.

یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، بر هم کنش رقم و بارور ۲ اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه جو داشت. بیشترین عملکرد دانه با ۵/۹ تن در هکتار در لاین امید بخش و با کود کاربرد بارور ۲ به دست آمد. در رقم قره‌آرپا کاربرد بارور ۲ تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه جو نداشت، ولی در لاین امید بخش و جلگه با کاربرد بارور ۲ به ترتیب ۳۶/۶ و ۵۵/۲ درصد افزایش در عملکرد دانه مشاهده شد. لذا بارور ۲ افزایش قابل ملاحظه ای را در عملکرد دانه جو به ویژه لاین امید بخش باعث شد. لاین امید بخش از نظر اجزای عملکرد دانه، پاسخ بهتری را به کاربرد کود زیستی بارور ۲ نشان داد. این رقم از شاخص سطح برگ (۶،۶۷)، شاخص محتوای کلروفیل (۵۱،۱۷) و تعداد روز تا رسیدگی (۲۷۸) بیشتری نیز در مقایسه با دو رقم دیگر برخوردار بود، لذا از ظرفیت فتوسنتزی بیشتری جهت تولید عملکرد برخوردار است.

نتیجه‌گیری: استفاده از کود زیستی بارور ۲ به میزان نیم لیتر در هکتار و به صورت بذرمال در رقم اصلاح شده و لاین در دست معرفی جو موجب افزایش عملکرد در دشت نیمه خشک و کم بازده تبریز شد ولی تاثیری بر عملکرد رقم بومی نشان نداد، لذا کاربرد بارور ۲ برای لاین امید بخش می‌تواند بیشترین عملکرد دانه جو را در منطقه تولید کند.

واژه های کلیدی: دشت تبریز، جو، عملکرد دانه، رقم، کود زیستی

مقدمه

جو گیاهی است بسیار سازگار به شرایط آب و هوایی مختلف و از نظر تولید بیوماس در بین گیاهان زراعی در مقام پنجم قرار دارد. در بین غلات این گیاه مقاوم‌ترین گیاه به شوری و خشکی است. این گیاه جهت رشد و تولید عملکرد مطلوب، نیاز بالایی را به کاربرد کودها دارد (یوسف نیا و همکاران ۲۰۱۲).

در طی زمان، اصرار بر کاربرد کودهای شیمیایی باعث آسیب‌های جدی زیست محیطی از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، از بین رفتن میکروارگانیسم‌ها و حشرات مفید، افزایش حساسیت گیاهان به حملات آفات و بیماری‌ها و کاهش حاصلخیزی خاک گردیده است. لذا کشاورزان و محققان به دنبال استفاده از روش‌های جایگزینی برآمدند (الیتی و همکاران ۲۰۱۴؛ اوفوری بوآتنگ و لی ۲۰۱۴). یک جایگزین برای کودهای شیمیایی، کودهای زیستی است که عملکرد گیاهان زراعی را افزایش می‌دهند و در عین حال از صدمات زیست محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی جلوگیری به عمل می‌آورد (بارمن و همکاران ۲۰۱۷). کودهای زیستی میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که به صورت بذر مال و خاک مال به کار برده می‌شوند و دسترسی مواد غذایی را برای گیاه را افزایش داده و در نتیجه سبب افزایش رشد گیاهان می‌گردند (بابالوآ ۲۰۱۰؛ شوییتیز و همکاران ۲۰۱۴). در بین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان زراعی، نیتروژن یک عنصر ماکروی مهم و محدود کننده ترین آن‌ها برای تولید بیوماس است. دسترسی به نیتروژن بر چندین فرآیند نموی گیاه، تاثیر می‌گذارد (یاداو و همکاران ۲۰۱۷). معمولا کاهش در فتوسنتز کانوپی بعد از کمبود نیتروژن، ناشی از کاهش سطح برگ است و کاهش توسعه سطح برگ ناشی از کاهش تقسیم سلولی در پایه برگ است. رابطه بین شاخص سطح برگ و جذب نیتروژن مستقیم است (انور و همکاران ۲۰۱۱). نیتروژن نقش کلیدی در متابولیسم و تولید انرژی گیاهان دارد و عملکرد دانه، دوام سطح برگ، شاخص سطح برگ و میزان فتوسنتز گیاهان را افزایش می‌دهد. با این حال نیتروژن از گران‌ترین نهاده‌ها است و مصرف بیش از حد آن نیز نه تنها باعث آلودگی محیط زیست می‌شود، بلکه کاهش عملکرد دانه را در پی خواهد داشت (ارشد و همکاران ۲۰۱۳).

فسفر از دیگر عناصر ماکروی ضروری برای رشد و نمو گیاهان است. کمبود فسفر، رشد گیاهان را کاهش می دهد. فسفر در بسیاری از فرآیندهای ضروری گیاهان دخالت دارد. فسفر از اجزایATP بوده و نقش مهمی را در انتقال انرژی دارد (رابینسون و همکاران ۲۰۱۸). فسفر از طریق افزایش رشد ریشه‌ها به جذب مواد غذایی کمک می‌کند، لذا تجمع ماده خشک در گیاه افزایش می‌یابد (نهار و همکاران ۲۰۱۱). کمبود عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، به ویژه نیتروژن و فسفر، می‌تواند به روش های مختلف از جمله کودهای شیمیایی و زیستی تامین شوند. این کودها محتوی تثبیت کننده‌های نیتروژن، باکتری‌های حل کننده فسفر نامحلول خاک، میکروارگانیسم‌های تبدیل عناصر به فرم محلول و میکروارگانیسم‌های معدنی کننده نیتروژن در خاک هستند (زارع دوست و همکاران ۲۰۱۲).

به طور کلی ترکیبات فسفر در خاک در سه گروه ترکیبات معدنی، ترکیبات آلی هوموس و ترکیبات آلی و معدنی همراه با سلول‌های زنده قرار می‌گیرند. در میان اشکال مختلف فسفر، گیاهان بیشتر اشکال $H_2PO_4^-$ و $H_2PO_4^{-2}$ را جذب میکنند. مقدار فسفر قابل استفاده خاک نسبت به فسفر کل بسیار کم است و مقدار بیشتری از فسفر محلول در خاک بصورت فسفاتهای کلسیم و یا در ترکیب با مواد آلی در خاک تثبیت می‌شوند و مقادیر کمی از آن قابل دسترس گیاهان است (یاداو و ورما ۲۰۱۲)

جهت افزایش حلالیت فسفاتهای نامحلول موجود در خاک یا برای جلوگیری از تثبیت فسفر میتوان از ریزجانداران حل کننده فسفات دوستدار محیط زیست و اقتصادی مانند باکتریها، قارچها، اکتینومیستها و جلبکها استفاده کرد. در میان ریزجانداران حل کننده فسفات عمدتا گروهی از میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی وجود دارند که قادرند ترکیبات نامحلول معدنی و آلی فسفر را به ترکیبات محلول تبدیل کنند (فلاح نصرت آباد ۱۴۰۰). کودهای زیستی حل کننده فسفات عمدتا بر پایه باکتریهای حل کننده فسفات و سویه هایی از باکتریهای

سودوموناس و باسیلوس می‌باشند که با حل کردن فسفات قابلیت جذب آن را برای گیاه افزایش می‌دهند.

مصرف کودهای زیستی محیط خاک ریزوسفری اطراف ریشه گیاه را غنی از میکروارگانیسم‌ها می‌کند. علاوه بر آن این میکروارگانیسم‌ها مواد غذایی آلی تولید می‌کنند که رشد گیاه را افزایش می‌دهند (زهیر و همکاران ۲۰۱۸). همچنین میکروارگانیسم‌های مختلف مواد محرک رشدی تولید می‌کنند که رشد گیاه و مقاومت به تنش های محیطی را در گیاهان افزایش داده، و گروهی از میکروارگانیسم ها نیز فرآیند کمپوستی شدن ضایعات آلی را افزایش می‌دهند (کنتا و همکاران، ۲۰۱۸). به این گروه از میکروارگانیسم‌ها، باکتری‌های ریزوسفری افزایش دهنده رشد گیاهی (PGPR) گفته می‌شود. این میکروارگانیسم‌ها در فرآیندهای مهم اکوسیستم‌ها دخالت دارند و فعالیت آن‌ها شامل کنترل بیولوژیکی پاتوژن‌های گیاهی، تثبیت نیتروژن، معدنی شدن مواد غذایی و تولید فیتوهورمون‌ها است که به دلیل این اثرات، این ترکیبات جایگاه ویژه‌ای در پایداری اکوسیستم‌های گیاهی دارند (کنتا و همکاران ۲۰۱۸). منبع اصلی کودهای زیستی، باکتری‌ها، قارچ‌ها و سیانوباکترها (جلبک‌های سبز آبی) هستند. به رابطه‌ای که میکروارگانیسم‌ها در چرخه زندگی با گیاهان دارند، رابطه همزیستی گفته می‌شود. در این رابطه هر دو جز از وجود همدیگر سود می‌برند (بابالوآ و گلیگ ۲۰۱۲؛ سیمونس و همکاران ۲۰۱۴). زرگری و همکاران (۲۰۱۴) گزارش نمودند که علاوه بر نیتروژن و فسفر، میکروارگانیسم‌های افزایش دهنده رشد گیاهی جذب آهن، منگنز و روی را نیز افزایش می‌دهند. تثبیت بیولوژیکی نیتروژن هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهد.

با توجه به مطالعات صورت گرفته، این پژوهش به منظور بررسی اثر کاربرد کود زیستی فسفات بارور ۲ بر رشد و عملکرد ارقام جو (لاین امیدبخش SE-96-4، ارقام جلگه و قره آرپا) در دشت تبریز اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در اراضی زراعی شهر ممقان با طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی اجرا شد. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۲۸۴ متر است. بافت خاک منطقه لومی شنی تشخیص داده شد. اطلاعات هواشناسی منطقه آزمایش در جدول یک ارائه شده است و مجموع بارندگی در فصل زراعی سال آزمایش، ۱۸۰/۶ میلی‌متر بود. جهت تجزیه خاک محل اجرای طرح، یک نمونه خاک از ۶ نقطه‌ی مزرعه از اعماق ۳۰-۰ سانتی‌متر تهیه و به آزمایشگاه ارسال گردید. پس از تجزیه، وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک به شرح زیر تعیین شد (جدول ۲).

در این مطالعه واکنش ۳ ژنوتیپ جو تحت تیمار کودی بارور ۲ مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. هر واحد آزمایشی شامل ۳ ردیف با فاصله ۱۵ سانتی متر از هم و به طول ۳ متر و با فاصله کاشت ۲ سانتی متر روی هر ردیف و فاصله بین کرت ها حدود ۰/۵ متر و فاصله بین هر تکرار حدود یک متر بود. میزان بذر مصرفی بر اساس تراکم ۴۵۰ بوته در هر مترمربع بود. قطعه زمین مورد نظر طبق نقشه کاشت تهیه و پس از آماده سازی و پاک سازی در تاریخ ۹۹/۸/۱۶ کاشت بذر به صورت دستی با توجه به نقشه کاشت در روی ردیف انجام گرفت. سه رقم جو؛ لاین امید بخش SE-96-4، ارقام جلگه و قره آرپا بود. لاین امید بخش حاصل تلاقی ارقام Michailo/Dobrinya می‌باشد که طی بررسی‌های متعدد در آزمایشات یکنواخت کشوری انتخاب شده است. بذور با کودهای زیستی فسفاته بارور ۲ به میزان نیم لیتر در هکتار بذر مال گردید که با جمعیت تقریبی $۱*۱۰^{۸}$ سلول باکتری در هر گرم سوسپانسیون مایه تلقیح مورد استفاده قرار گرفت. این کار در سایه انجام شده و در صبح انجام پذیرفت. نقشه کاشت با برنامه آماری M-STAT-C تهیه و به صورت تصادفی و با دو سطح استفاده از کود زیستی و شاهد کاشت گردید. سایر مراحل داشت از جمله مبارزه با علف های هرز و کوددهی به طور یکسان براساس واحدهای آزمایشی اعمال شد. میزان مصرف کودهای شیمیایی بر اساس نتیجه آزمون خاک تعیین گردید. در زمان کشت از کود اوره و کود گوگرد بنتونیت‌دار از هر کدام به میزان

۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. همچنین به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره بصورت سرک با آب آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت. در مرحله چند برگی با رعایت حاشیه تعداد ۱۰ نمونه از هر واحد آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب و علامت گذاری شدند. برای اندازه‌گیری برخی صفات از این نمونه‌ها و برای عملکرد از کل کرت استفاده شد. در مرحله رسیدگی کامل، ارقام به صورت جداگانه در تاریخ ۱۴۰۰/۰۴/۱۸ برداشت شده و خرمن کوبی به صورت دستی انجام گرفت.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی منطقه آزمایش از شهریور ماه ۱۳۹۹ تا مهر ماه ۱۴۰۰

ماه	کمینه مطلق دما (سانتی‌گراد)	بیشینه مطلق دما (سانتی‌گراد)	میانگین کمینه دما (سانتی‌گراد)	میانگین بیشینه دما (سانتی‌گراد)	میانگین دما (سانتی‌گراد)	مجموع بارش ماهانه (mm)	تعداد روزهای بارندگی	تعداد روزهای همراه با یخبندان
مهر	۴/۷	۳۳/۰	۱۰/۲	۲۵/۳	۱۷/۷	۱/۵	۱	۰
آبان	۰/۴	۲۵/۶	۶/۰	۱۷/۷	۱۱/۸	۳۱	۷	۰
آذر	-۴/۳	۱۱/۶	۰	۶/۵	۳/۳	۲۹/۷	۱۳	۱۴
دی	-۹/۴	۱۳/۴	-۴/۳	۵/۲	۰/۴	۲/۷	۴	۲۵
بهمن	-۱۱/۸	۱۹/۸	-۱/۹	۹/۳	۳/۷	۲۸/۹	۸	۱۴
اسفند	-۵/۷	۲۰/۹	۰/۴	۱۱/۳	۵/۸	۱۵/۶	۵	۳
فروردین	-۰/۷	۲۷/۳	۷/۰	۱۹/۵	۱۳/۳	۸/۸	۶	۰
اردیبهشت	۶/۵	۳۴/۶	۱۲/۹	۲۷/۳	۲۰/۱	۴۹/۳	۱۱	۰
خرداد	۱۰/۵	۳۸/۱	۱۷/۳	۳۲/۶	۲۵/۰	۱/۳	۲	۰
تیر	۱۵/۷	۴۰/۸	۲۰/۸	۳۶/۴	۲۸/۶	۹	۳	۰
مرداد	۱۶/۰	۳۹/۶	۱۹/۴	۳۵/۳	۲۷/۳	۲/۸	۲	۰
شهریور	۱۳/۱	۳۷/۹	۱۶/۷	۳۳/۵	۲۵/۱	۰	۰	۰

جدول ۲- نتیجه‌ی آزمون تجزیه خاک

هدایت الکتریکی $Ec(dS.m^{-})$	اسیدیته (pH)	درصد مواد خنثی شونده	کربن آلی (%)	نیتروژن کل %	فسفر قابل جذب $(mg.kg^{-1})$	پتاسیم قابل جذب $(mg.kg^{-1})$	شن	سیلت	رس
۳/۷۹	۷/۷۵	۴/۷۵	۰/۴	۰/۰۴	۲۲/۵	۳۶۰	٪۵۸	٪۲۶	٪۱۶

تجزیه واریانس داده ها بعد از کنترل نرمال بودن توزیع داده‌ها به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک کامل تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد بررسی، ارتفاع بوته های جو به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثرهای اصلی رقم جو و تیمار بارور ۲ قرار گرفت، با این وجود بر هم کنش تیمارها تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته‌های جو نداشت (جدول ۳). بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته‌های جو تحت تاثیر ارقام جو، بیشترین مقدار با ۶۹/۹ سانتی متر در لاین امید بخش به دست آمد، در حالی که کمترین آن با ۵۹/۵ سانتی متر در قره‌آرپا مشاهده شد. لذا بین ارقام مورد بررسی از نظر ارتفاع بوته اختلافی بیش از ۱۰ سانتی متری وجود داشت. رقم جلگه از نظر ارتفاع بوته با لاین امید بخش و قره‌آرپا اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). اختلاف بین ارقام جو از نظر ارتفاع بوته، در

سایر بررسی‌ها نیز مشاهده شده است. محمدی اقدم و صمدیان (۲۰۱۴) ارقام مختلف جو را از نظر ارتفاع بوته مورد بررسی قرار دادند. این محققین اختلاف بالایی را از نظر ارتفاع بوته در بین ارقام جو مشاهده نمودند. محمدی اقدم و صمدیان (۲۰۱۴) اظهار داشتند که پتانسیل رشد سلول‌های ساقه در ارقام مختلف جو متفاوت است که ناشی از وجود اختلاف در فعالیت هورمونی ارقام مختلف جو است. در بررسی دیگری مادیک و همکاران (۲۰۱۶) نیز اختلاف معنی‌داری را بین ارقام جو از نظر ارتفاع بوته به دست آوردند. ارتفاع بوته یکی از ویژگی های مهم در تولید علوفه است، ولی صفت منفی برای تولید دانه می باشد. ارقام با ارتفاع بوته بیشتر، میزان تولید علوفه بیشتری دارند، با این وجود از آنجائیکه در ارقام پابلند بخشی از اسمیلات‌ها برای افزایش رشد بیشتر ساقه‌ها مصرف می‌شود، لذا سهم دانه از اسمیلات‌ها کاهش یافته و در نتیجه میزان تولید دانه کاهش می‌یابد (مادیک و همکاران ۲۰۱۶). لذا پاکوتاهی می‌تواند مزیتی برای تولید دانه بیشتر باشد (پاتیل و مینا ۲۰۱۸). ولی بررسی‌ها نشان داده که در ارقامی که بین منبع و مخزن تعادل وجود دارد، افزایش ارتفاع همراه با افزایش سطح فتوسنتزی گیاهان است که می تواند منابع بیشتری را در اختیار تولید دانه قرار دهد (ایشاق و همکاران ۲۰۱۸). لذا افزایش ارتفاع خود می تواند به طور غیر مستقیم بر تولید دانه اثر بگذارد.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ارقام جو

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص کلروفیل	ارتفاع بوته	قطر ساقه	شاخص سطح برگ	دمای کانوپی	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۲۵/۶۹*	۴۲/۷۶ns	۰/۷۷**	۱/۲۸ns	۴/۲۱ns	۰/۱۱ns
کود زیستی (A)	۱	۴۱/۴۰*	۶۴/۹۸*	۰/۶۸**	۱۰/۸۹**	۱۲/۵۰	۲/۲۸**
رقم (B)	۲	۱۹۵/۵۸**	۱۶۶/۷۵*	۱/۹۹**	۹/۱۴**	۳۶/۷۲	۱/۵۷**
AB	۲	۶/۲۵ns	۲۸/۹۸ns	۰/۲۲ns	۱/۷۴ns	۵/۹۵ns	۰/۰۷ns
خطا	۱۰	۵/۱۰	۳۶/۳۶	۰/۰۶	۰/۹۹	۱۱/۳۰	۰/۰۸
ضریب تغییرات (٪)		۵/۰۶	۹/۳۸	۷/۷۵	۱۸/۵۴	۱۰/۸۳	۸/۲۵

ns ، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ادامه جدول ۳

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد روزهای تا سنبله‌دهی	تعداد روز تارسیدگی فیزیولوژیکی	تعداد سنبله در بوته	عملکرد دانه	تعداد دانه در سنبله
تکرار	۲	۱۰۷/۳۵ns	۲۴۴/۳۳ns	۰/۰۰۱ns	۰/۱۷ns	۱/۴۶ns
کود زیستی (A)	۱	۵/۰۱ns	۵۸/۶۸ns	۰/۰۲۰**	۶/۴۸**	۱۰/۸۹
رقم (B)	۲	۲۰۳۴/۶۹	۲۸۳۰/۱۲ns	۰/۰۰۹*	۵/۹۸**	۲۶/۵۳**
AB	۲	۹۵۴/۷۴ns	۱۳۲۳/۴۰ns	۰/۰۰۷ns	۱/۱۸*	۱۵/۴۸*
خطا	۱۰	۵۳۴/۴۱	۶۰۲/۲۴	۰/۰۰۲	۰/۲۱	۲/۵۶
ضریب تغییرات (٪)		۱۰/۳	۹/۶۹	۲/۸۶	۱۲/۰۱	

ns ، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های صفات تحت تاثیر ژنوتیپ جو

ژنوتیپ	شاخص کلروفیل	ارتفاع بوته (cm)	قطر ساقه (mm)	شاخص سطح برگ	نسبت برگ به ساقه	وزن هزار دانه (g)	تعداد روز تارسیدگی فیزیولوژیکی	تعداد سنبله در بوته
لاین امید بخش	۵۱/۱۷ a	۶۹/۹۷a	۳/۸۸a	۶/۶۷a	۰/۴۲a	۳۹/۰۳a	۲۷۸/۱ a	۱/۵۷a
جلگه	۴۲/۳۳b	۶۳/۴۳ab	۳/۰۰b	۵/۱۸b	۰/۳۶a	۳۴/۶۷b	۲۴۳/۱b	۱/۵۰b
قره‌آرپا	۴۰/۴۸b	۵۹/۵۳b	۲/۸۰b	۴/۲۲b	۰/۲۶b	۲۸/۸۳c	۲۳۸/۴b	۱/۵۰b

در هر ستون میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌داری می‌باشند.

کاربرد بارور ۲ افزایش معنی‌داری را در ارتفاع بوته‌های جو باعث شد. در تیمار کاربرد بارور ۲ ارتفاع بوته‌های جو ۶۶/۲۱ سانتی متر بود که در مقایسه با عدم کاربرد بارور ۲ به میزان ۶/۱ درصد بیشتر بود(جدول ۵). امینی (۲۰۲۰) در بررسی مشابهی تاثیر کاربرد کود زیستی بارور ۲ را در ماشک بررسی نمودند. این محققین مشاهده نمودند که کاربرد کود زیستی بارور ۲ ارتفاع بوته های ماشک را به میزان ۲۴ درصد افزایش می‌دهد. رشد طولی بوته‌ها وابسته به رشد سلول‌ها در فواصل میانگره‌ها است. رشد سلول‌های ساقه با افزایش منابع غذایی افزایش می یابد (راوی کومار و همکاران ۲۰۱۴). کودهای زیستی میزان تامین منابع غذایی بیشتری را برای گیاهان فرآهم می‌آورد و از این طریق بر رشد گیاهان می‌افزاید (راثور ۲۰۱۴). در اثر فعالیت کود زیستی فسفره، فسفر بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. این عنصر نقش مهمی را چه به طور مستقیم و چه به طور غیر مستقیم در رشد سلول‌ها دارد (گوسای و بهاندرای ۲۰۱۹).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های صفات تحت تاثیر تیمار کود بارور ۲

تیمار بارور ۲	شاخص کلروفیل	ارتفاع بوته	قطر ساقه (mm)	شاخص سطح برگ	نسبت برگ به ساقه	وزن هزار دانه	تعداد سنبله در بوته
تلقیح با فسفات بارور	۴۶/۱۸	۶۱/۲۲	۳/۴۲	۶/۱۳	۰/۳۸	۳۷/۷	۱/۵۵
عدم تلقیح با فسفات بارور	۴۳/۱۴	۶۲/۴۱	۳/۰۳	۴/۵۸	۰/۳۲	۳۰/۶	۱/۵۱

قطر ساقه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات، قطر ساقه‌های جو به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثرهای ساده رقم و تیمار کود زیستی بارور ۲ قرار گرفت. ولی بر هم کنش تیمارها تاثیر معنی‌داری بر قطر ساقه‌های جو نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های قطر ساقه جو در ارقام مورد بررسی نشان داد که بیشترین قطر ساقه با ۳/۸۸ میلی متر متعلق به لاین امید بخش بود. بین رقم جلگه و قره‌آرپا از نظر قطر ساقه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد(جدول ۴). بررسی انجام شده توسط سایر محققان نیز نشان داده است که ارقام مختلف جو از نظر قطر ساقه با هم اختلاف دادند، آویلا و همکاران (۲۰۲۱) ارقام مختلف گندم را از نظر قطر ساقه بررسی نمودند. این محققین مشاهده نمودند که بین ارقام گندم از نظر قطر ساقه اختلاف وجود دارد. قطر ساقه با عملکرد رابطه نزدیکی دارد، چرا که از یک سو ساقه‌ها در جو یکی از اندام های فتوسنتزی هستند و می توانند نقش قابل ملاحظه ای را در بهبود عملکرد داشته باشند. از سوی دیگر با افزایش قطر ساقه میزان ورس کاهش می یابد. ورس می تواند عملکرد را در جو کاهش دهد (ضابط و همکاران ۲۰۱۷). بررسی‌ها نشان داده که رشد ساقه نشان دهنده وضعیت عمومی گیاه است. با بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه، رشد قطری و عملکرد دانه افزایش می یابد (جوییان و همکاران ۲۰۱۵).

در این بررسی قطر ساقه جو به طور معنی‌داری تحت تاثیر بارور ۲ افزایش یافت. با کاربرد بارور ۲ به میزان ۱۲/۸ درصد بر قطر ساقه جو افزوده شد(جدول ۵). سودوموناس‌ها از جمله باکتری‌هایی هستند که نقش مثبت آن‌ها در رشد گیاهان به خوبی به اثبات رسیده است. این باکتری‌ها علاوه بر تامین مواد مورد نیاز گیاهان برای رشد، با آزاد کردن مواد محرک رشد باعث افزایش رشد گیاهان می‌شوند (کومار و همکاران ۲۰۱۴). همچنین کومار و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده نمودند که ازتوباکتر و سودوموناس اکسین آزاد می‌کنند که این هورمون می‌تواند بر رشد گیاهان بیفزاید. یوسفی و برزگر (یوسفی و برزگر ۲۰۱۴) تاثیر باکتری‌های سودوموناس را بر رشد گندم مورد مطالعه قرار دادند. این محققین مشاهده نمودند که باکتری‌های سودوموناس افزایش ۱۳/۸ درصدی را در ارتفاع بوته‌های گندم باعث می‌شوند. یوسفی راد و حشمت پور (یوسفی راد و

حشمت پور ۲۰۱۳) در بررسی دیگری گزارش نمودند که سودوموناس رشد سلول‌های ساقه کلزا را افزایش می‌دهد و از این طریق باعث افزایش رشد ساقه می‌شود. این محققین اظهار داشتند که کود زیستی فسفره، با افزایش تامین فسفر، باعث افزایش فتوسنتز ساقه می‌شود که در نتیجه می تواند رشد قطری ساقه را تحریک کند.

شاخص محتوای کلروفیل

تجزیه واریانس نشان داد که شاخص محتوای کلروفیل به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثرهای اصلی رقم و کود زیستی بارور ۲ قرار گرفت. با این وجود بر هم کنش تیمارها تاثیر معنی‌داری بر شاخص محتوای کلروفیل برگ های جو نداشت (جدول ۳). در لاین امید بخش، شاخص محتوای کلروفیل بیشتری در مقایسه با دو رقم جلگه و قره‌آرپا مشاهده شد در حالی که بین جلگه و قره‌آرپا از نظر شاخص محتوای کلروفیل اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). وجود اختلاف معنی‌دار بین ارقام از نظر شاخص های فیزیولوژیکی به دلیل پیشینه تکاملی ارقام مختلف امری واضح و بدیهی به شمار می رود. ارقام به دلیل برخورد با عوامل محیطی مختلف، توانایی‌های متفاوتی را در بر خورد با آن به دست آورده‌اند. یکی از خصوصیات فیزیولوژیک که در ارقام مختلف گیاهان اختلاف بالایی را نشان می دهد، میزان کلروفیل برگ‌ها است که تحت تاثیر عوامل متعددی قرار می گیرد (کوواسویچ و همکاران ۲۰۱۵). در جو در تحقیقات مختلف اختلاف بالایی بین ارقام مختلف مشاهده شده است. کوواسویچو همکاران (۲۰۱۵) ارقام جو را از نظر شاخص محتوای کلروفیل بررسی نمودند. این محققین نشان دادند که اختلاف بالایی بین ارقام مورد بررسی از نظر شاخص محتوای کلروفیل وجود دارد. در بررسی دیگری اوکاروم و همکاران (۲۰۰۶) نیز نتایج مشابهی را به دست آوردند. این محققین اظهار داشتند که اختلاف در توانایی جذب مواد غذایی ضروری برای تولید کلروفیل در ارقام مختلف، یکی از دلایل مهم این اختلاف به شمار می‌رود.

در این مطالعه بارور ۲ افزایش معنی‌داری را در شاخص محتوای کلروفیل برگ های جو باعث شد. در تیمار کاربرد ۲ شاخص کلروفیل ۴۶/۱ درصد بود که در مقایسه، بارور ۲ به میزان ۶/۹ درصد بیشتر بود (جدول ۵). مهرورز و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تاثیر *Pseudomonas petida* و میکوریز گزارش نمودند که کاربرد باکتری *Pseudomonas petida* به تنهایی موجب افزایش تعداد دانه در سنبله جو گردید. اما اعمال *Pseudomonas petida* به همراه قارچ میکوریزا موجب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل گردید.

شاخص سطح برگ

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات، شاخص سطح برگ های جو به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثرهای اصلی رقم و بارور ۲ قرار گرفت. ولی بر هم کنش تیمارها تاثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ های جو نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های شاخص سطح برگ‌های جو در ارقام مورد مطالعه جو نشان داد که ارقام از نظر شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌داری با یگدیگر داشتند. بیشترین شاخص برگ‌های جو با ۶/۶ در لاین امید بخش به دست آمد. بین ارقام جلگه و قره‌آرپا از نظر شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). نتایج بررسی‌های انجام شده توسط محلوجی (۲۰۲۱) نیز نشان داد که بین ارقام جو از نظر سطح برگ اختلاف بالایی وجود دارد. بررسی‌های انجام شده توسط امان الله و همکاران (۲۰۱۸) نیز نتایج مشابهی را نشان داد. این محققین اظهار داشتند که اختلاف‌های هورمونی بین ارقام جو، مهمترین دلیل اختلاف در سطح برگ‌های ارقام مختلف می‌باشد. چرا که در نهایت اختلاف‌های هورمونی و ظرفیت فتوسنتزی گیاهان مهمترین دلیل ایجاد اختلاف در سطح برگ های گیاهان می‌باشد.

در این بررسی کاربرد بارور ۲ افزایش معنی‌داری را در شاخص سطح برگ ارقام مورد مطالعه جو گردید. در شرایط کاربرد بارور ۲، شاخص سطح برگ جو ۶/۱ به دست آمد که در مقایسه با عدم تلقیح با بارور ۲ به میزان ۳۵/۵ درصد بیشتر بود (جدول ۵). لذا با توجه به نتایج به نتایج کاربرد بارور ۲ ، به میزان قابل ملاحظه ای، سطح برگ های جو را افزایش داد. فسفر از مهمترین مواد

غذایی مورد نیاز برای رشد برگ ها می باشد. کود زیستی فسفره با افزایش دسترسی گیاهان به فسفر بر سطح برگ های گیاهان می افزاید (راوی کومار و همکاران ۲۰۱۴). بررسی‌های مختلف نشان داده که باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش رشد برگ پرچم می‌شود و از این طریق این باکتری‌ها می‌توانند بر عملکرد دانه نیز تاثیر بگذارند (آقامی و همکاران ۲۰۱۲). در یک بررسی مشابه آقامی و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده نمودند که کاربرد باکتری‌های ازتوباکتر، سودوموناس و آزوسپریلیوم باعث افزایش ۵۸ درصدی در طول برگ پرچم گندم می‌شوند. امینی (۲۰۱۵) تاثیر کاربرد کود زیستی فسفره را در جو بررسی نموده و مشاهده نمودند که کود زیستی فسفره افزایش ۳۴ درصدی را در شاخص سطح برگ های جو باعث می‌شود.

نسبت برگ به ساقه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد بررسی، نسبت برگ به ساقه در جو به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثرهای اصلی رقم و کود زیستی بارور ۲ قرار گرفت، ولی بر هم کنش تیمارها تاثیر معنی‌داری بر نسبت برگ به ساقه جو نداشت (جدول ۳). لاین امید بخش و رقم جلگه نسبت برگ به ساقه بیشتری در مقایسه با قره‌آرپا داشتند، ولی بین لاین امید بخش و جلگه از نظر نسبت برگ به ساقه جو اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). امان الله و همکاران (۲۰۱۸) نسبت برگ به ساقه را در ارقام جو مورد بررسی قرار دارند. نتایج بررسی این محققین نشان داد که ارقام جو از نظر نسبت وزن برگ به ساقه با یکدیگر اختلاف دارند.

در این مطالعه بارور ۲ افزایش معنی‌داری را در نسبت برگ به ساقه باعث شد. در شرایط کاربرد بارور ۲ نسبت برگ به ساقه ۰/۳۸ بود که در مقایسه با عدم کاربرد بارور ۲ به میزان ۱۸/۷ درصد بیشتر بود (جدول ۵). بررسی‌ها نشان داده است که کودهای زیستی تولید برگ را در گیاهان افزایش می دهند، چرا که این میکروارگانیسم ها مواد محرک رشد به خاک را آزاد می کنند که باعث تحریک تولید برگ ها می‌شود. از جمله این هورمون ها می توان به سیتوکنین ها اشاره کرد (راوی کومار و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش تولید برگ در گیاهان با کاربرد کودهای زیستی در سایر مطالعات نیز به دست آمده است. آسیفا (۲۰۱۷) تاثیر کاربرد کود زیستی را در جو مطالعه نموده و مشاهده نمودند که کاربرد کود زیستی نسبت برگ به ساقه گیاهان را افزایش می دهد.

تعداد سنبله در بوته

بر اساس نتایج حاصل از این بررسی، تعداد سنبله در بوته به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثرهای اصلی رقم و بارور ۲ قرار گرفت، ولی بر هم کنش تیمارها تاثیر معنی‌داری بر تعداد سنبله در بوته نداشت (جدول ۳). در این بررسی لاین امید بخش از تعداد سنبله در بوته بیشتری در مقایسه با جلگه و قره‌آرپا برخوردار بود، ولی بین جلگه و قره‌آرپا از نظر تعداد سنبله در بوته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). نوورولینک و همکاران (۲۰۱۸) در یک مطالعه ارقام جو را از نظر عملکرد و اجزای عملکرد بررسی نمودند. نتایج بررسی این محققین نشان داد که ارقام جو از نظر تولید سنبله با یکدیگر اختلاف دارند. در بررسی دیگری محمدی اقدم و صمدیان (۲۰۱۴) نیز نشان دادند که تعداد سنبله در بوته در ارقام مختلف جو با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. این محققین اظهار داشتند که اختلاف در تولید پنجه در ارقام مختلف جو، از مهمترین دلایل این اختلاف می باشد.

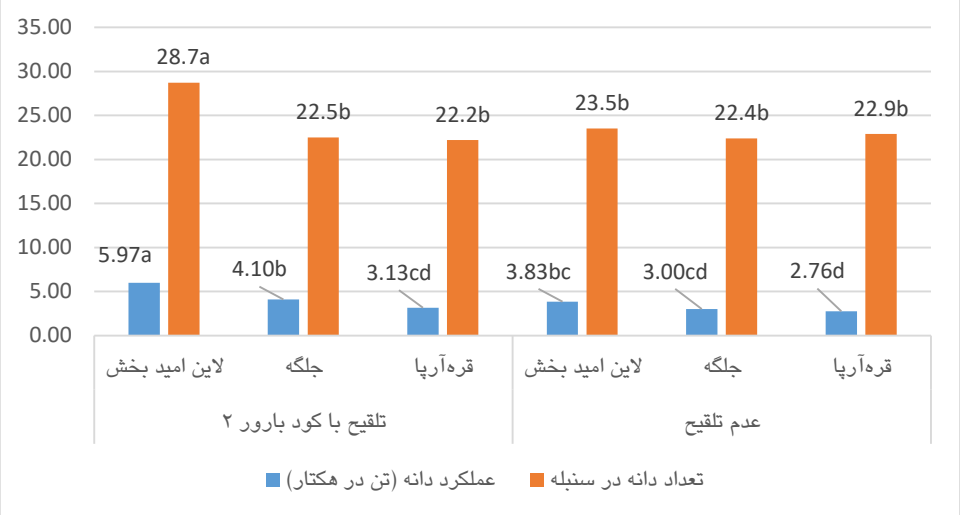
در این مطالعه کاربرد بارور ۲ افزایش معنی‌داری را در تعداد سنبله در بوته جو باعث شد. با کاربرد بارور ۲ تعداد سنبله در بوته ۱/۵۵ عدد به دست آمد که در مقایسه با عدم کاربرد بارور ۲ به میزان ۲/۶ درصد بیشتر بود (جدول ۵). لذا نتایج حاکی از تاثیر مثبت بارور ۲ بر تعداد سنبله در بوته جو است. یوسفی و برزگر (۲۰۱۴) تاثیر سویه‌های مختلف باکتری را بر تعداد پنجه بارور گندم مورد مطالعه قرار دادند. این محققین مشاهده نمودند که سویه‌های باکتریایی سودوموناس و ازتوباکتر افزایش معنی‌داری را در تعداد پنجه بارور گندم باعث می‌گردد. این محققین اظهار داشتند که سویه‌های باکتریایی با افزایش میزان فتوسنتز گندم باعث افزایش تولید سنبله می‌شود و در نتیجه باروری پنجه‌ها نیز افزایش می‌یابد. در بررسی یوسفی و برزگر (۲۰۱۴) تاثیر کاربرد ترکیبی

سودوموناس و ازتوباکتر بر تعداد پنجه بارور نسبت به کاربرد هر یک به تنهایی بیشتر بود. در بررسی دیگری ناصری و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده نمودند که باکتری‌های ازتو باکتر و سودوموناس افزایش معنی‌داری را در تعداد پنجه بارور جو باعث می‌شوند. این محققین مشاهده نمودند که ترکیبی از باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس تعداد پنجه بارور جو را به میزان ۷/۴ درصد افزایش داد. این محققین اظهار داشتند که باکتری های حل کننده فسفر با افزایش دسترسی گیاه به فسفر، باعث افزایش فعالیت جوانه های گل شده و در نتیجه تولید سنبله افزایش می یابد.

تعداد دانه در سنبله

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات، بر هم کنش رقم و کود زیستی بارور ۲ افزایش معنی‌داری را در تعداد دانه در سنبلبه جو باعث گردید (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌های تعداد دانه در سنبله جو تحت تاثیر بر هم کنش کاربرد بارور ۲ و رقم نشان داد که در ارقام جلگه و قره‌آرپا کاربرد بارور ۲ تاثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله جو نداشت و تنها در لاین امید بخش کاربرد بارور ۲ افزایش معنی‌دار ۲۲/۱ درصدی را در تعداد دانه در سنبله جو باعث گردید (شکل ۱). نتایج این مطالعه نشان می دهد ارقام جو از نظر تعداد دانه در سنبله در پاسخ به کاربرد کود زیستی اختلاف وجود دارد. عبادی بیله‌سوار و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش معنی‌دار تعداد دانه گندم را با کاربرد سودوموناس گزارش نمودند. نوورولینک و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که بین ارقام مختلف گیاهان از نظر همزیستی با باکتری ها اختلاف وجود دارد، بنابراین ارقام گیاهان پاسخ متفاوتی را به کاربرد کودهای زیستی نشان می دهند.



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های صفات عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله تحت تاثیر تیمار کود بارور ۲ در ارقام جو

وزن هزار دانه

در این بررسی وزن هزار دانه به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثرات ساده رقم و کاربرد بارور ۲ قرار گرفت. با این وجود بر هم کنش تیمارها تاثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه جو نداشت (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه جو با 39 گرم در لاین امید بخش به دست آمد و کمترین آن با ۲۸ گرم در قره‌آرپا حاصل شد (جدول ۴). وجود اختلاف معنی دار در وزن هزار دانه در بین ارقام جو گزارش شده است (مادیک و همکاران ۲۰۱۶؛ نوسکووا و همکاران ۲۰۲۱). وزن دانه ها نتیجه فعالیت های هورمونی درونی دانه ها است. چرا که هورمون های درونی دانه ها و در نتیجه فعالیت آنزیم ها در نهایت تعیین کننده ظرفیت دانه ها در پذیرش فرآورده‌های فتوسنتزی و در نهایت تعیین وزن دانه ها است (آویلا و

همکاران ۲۰۲۱). بررسی‌ها نشان داده که میزان فعالیت هورمونی دانه بین ارقام مختلف متفاوت است.

در این مطالعه وزن هزار دانه جو به طور معنی‌داری تحت تاثیر کاربرد بارور ۲ افزایش یافت. با کاربرد بارور ۲ به میزان ۲۳/۲ درصد بر وزن هزار دانه جو افزوده شد (جدول ۵). یکی از مهمترین اثرات مشاهده شده تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد، افزایش میزان فتوسنتز جاری است (اللافری و همکاران ۲۰۱۲). بنابراین تلقیح با باکتری‌ها با افزایش میزان فتوسنتزی جاری، می‌تواند بر میزان وزن هزار دانه گیاهان بیفزاید. ناصری و همکاران (۲۰۱۳) نیز تاثیر باکتری‌های سودوموناس را بر وزن هزار دانه جو مطالعه و مشاهده نمودند که کاربرد سودوموناس به میزان ۱۳/۷ درصد بر وزن هزار دانه جو می‌افزاید. عیوضیان و همکاران (۲۰۱۵) تاثیر سویه‌های مختلف سودوموناس را بر وزن هزار دانه جو مورد مطالعه قرار دادند. این محققین مشاهده نمودند که تاثیر سویه‌های مختلف سودوموناس بر وزن هزار دانه جو متفاوت است.

عملکرد دانه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات، بر هم کنش رقم و بارور ۲ اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه جو داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه جو تحت تاثیر بر هم کنش رقم در بارور ۲ نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با ۵/۹ تن در هکتار در لاین امید بخش + کاربرد بارور ۲ به دست آمد. در رقم قره‌آرپا کاربرد بارور ۲ تاثیر معنی‌داری در عملکرد دانه جو نداشت، ولی در لاین امید بخش و جلگه با کاربرد بارور ۲ افزایشی به ترتیب ۳۶/۶ و ۵۵/۲ درصدی به دست آمد. لذا بارور ۲ افزایش قابل ملاحظه ای را در عملکرد دانه جو به ویژه لاین امید بخش باعث شد (شکل ۱). در بررسی مشابهی داوود و همکاران (۲۰۲۰) تاثیر کاربرد کود زیستی فسفره را در ارقام جو مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی این محققین نشان داد که کاربرد کود زیستی فسفره در تعدادی از ارقام افزایش معنی‌داری را در عملکرد دانه جو باعث شد، در حالی که در تعدادی از ارقام کاربرد کود زیستی فسفره اثری بر عملکرد دانه جو نداشت. در بررسی انجام شده توسط اسپیدکار و همکاران (۲۰۱۷) نیز مشاهده شد که کاربرد کود زیستی فسفره افزایش معنی‌داری را در عملکرد دانه ارقام جو باعث شد، ولی پاسخ ارقام به کاربرد کود زیستی فسفره متفاوت بود.

تعداد روز تا رسیدگی

بر اساس تجزیه واریانس صفات رقم تاثیر معنی‌داری بر تعداد روز تا رسیدگی داشت، ولی بارور ۲ تاثیری بر تعداد روز تا رسیدگی نداشت (جدول ۳). بر اساس نتایج این مطالعه، بیشترین تعداد روز تا رسیدگی در لاین امید بخش به دست آمد، در حالی که بین جلگه و قره‌آرپا از نظر تعداد روز تا رسیدگی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). مگرسا و همکاران (۲۰۱۵) نیز ارقام جو را از نظر تعداد روز تا رسیدگی مورد بررسی قرار دادند. این محققین مشاهده نمودند که بین ارقام جو از نظر تعداد روز تا رسیدگی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در بررسی دیگری المنایی و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی را به دست آوردند.

نتیجه گیری کلی

نتایج این بررسی نشان داد که کاربرد کود زیستی فسفات بارور ۲ باعث بهبود خصوصیات رشدی و عملکردی ژنوتیپ‌های جو شد و به ویژه عملکرد و اجزای عملکرد جو بیشترین پاسخ را به کاربرد بارور ۲ نشان دادند. در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، لاین امید بخش هم در شرایط کاربرد و عدم کاربرد کود بارور ۲ بیشترین عملکرد دانه را نشان داد، این رقم همچنین بهترین پاسخ را از نظر عملکرد دانه به کود زیستی بارور ۲ نشان داد. بنابراین این رقم می‌تواند جایگزینی مناسب برای کاشت به جای ارقام مرسوم در منطقه بوده و از طریق سازگاری آن با کودهای زیستی می‌توان کاربرد کودهای شیمیایی را کاهش داد.

سپاسگزاری

از مدیریت هماهنگی و ترویج سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی و همکاران مرکز خدمات کشاورزی شهر ممقان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Agamy RA, Mohamed GF and Rady MM. 2012. Influence of the application of fertilizer type on growth, yield, anatomical structure and some chemical components of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in newly reclaimed soil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(3): 561-570.

Al-Menaie HS, Mahgoub HS, Al-Ragam O and Al-Dosery N. 2013. Yield performance evaluation of forage barley under the desert conditions of Kuwait. American-Eurasian Journal of Agricultural& Environmental Sciences, 13 (3): 330-335. https://doi.org/10.5555/20133172787

Amanullah, BA and Almas LK. 2018. Leaf Growth Analysis of Cool Season Cereals "Wheat, Rye, Barley, and Oats" under Different NPK Sources. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 11: 56-67. https://doi.org/ 10.19080/IJESNR.2018.11.555822

Amini M. 2020. Assessment effect of nitroxin and phosphorus biofertilizer on faba bean (*Vicia faba* L.) crop production, seed protein content and correlation between traits. Journal of Crop Nutrition Science, 6: 71-83.

Anwar F, Siddiqui MH, Alghamdi SS, Al-Whaibi MH and Chandra A. 2011. Nitrogen Use-Efficiency and Crop Production - A Mini Review. International Journal of Environmental Science and Technology, 6: 167-174.

Arshad MJ, Freed S, AkbarS, Akmal M and Tahira GulH. 2013. Nitrogen fertilizer application in maize and its impact on the development of chilopartellus (*Lepidoptera*: Pyralidae). Pakistan Journal of Zoology, 45(1): 141-147.

Asefa SB. 2017. Effects of phosphorus fertilizer and inoculation on yield and nutritive values of grain and haulm of selected grain legumes in mixed crop-livestock production system of Ethiopia. Hawassa University, Hawassa, Ethiopia.

Ávila CM, Dolores Requena-Ramírez M, Rodríguez-Suárez C. 2021. Genome-wide association analysis for stem cross section properties, height and heading date in a collection of Spanish durum wheat landraces. Plants, 10: 1123. https://doi.org/10.3390/plants10061123

Babalola OO. 2010. Beneficial bacteria of agricultural importance. Biotechnology Letters, 32: 1559-1570. https:// doi.org/10.1007/s10529-010-0347-0

Babalola OO and Glick BR. 2012. Indigenous African agriculture and plant associated microbes: Current practice and future transgenic prospects. Scientific Research and Essays, 7: 2431-2439. https://doi.org/10.5897/SRE11.1714

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

Dawood MFA, Moursi YS, AmroA. 2020. Investigation of heat-induced changes in the grain yield and grains metabolites, with molecular insights on the candidate genes in barley. Agronomy, 10: 1730. https://doi.org/10.3390/agronomy10111730

Ebadi Bilehsavar T, Faramarzi A, Hossein Ansari M, Asadi Rahmani H. 2013. Study of the effects of the plant growth promoting bacteria on the yield and yield components of the wheat under the rain fed and irrigated conditions. International journal of Agronomy and Plant Production, 4 (6): 1343-1350.

El-Afry MM, El-Nady MF, Belal Abdelmonteleb E, Salem Metwaly MM. 2012. Anatomical studies on drought-stressed wheat plants (*Triticum aestivum* L.) treated with some bacterial strains. Acta Biologica Szegediensis, 56(2):165-174.

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

Espidkar Z, Yarnia M, Ansari MH, Mirshekari B. 2017. Differences in nitrogen and phosphorus uptake and yield components between barley cultivars grown under arbuscular mycorrhizal fungus and pseudomonas strains co-inoculation in rainfed condition. Applied Ecology and Environmental Research, 15(4):195-216. http://doi.org/10.15666/aeer/1504_195216

Eyvazian MR, Vazan S, Reza Ardakani M, Paknejad F, Khavazi K. 2015. Identifying different effective strains of pseudomonas bacteria (growth stimulants) on yield and yield components of barley in farm conditions. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 5(8S): 179-186.

Fallah AR. 2022. Solubilization mechanisms of insoluble phosphates by phosphate solubilizing microorganisms**.** Journal of Soil Biology, 10 (1): 93-110. (In Persian). https:// doi.org/10.22092/sbj.2022.342964.195

Gusain P and Bhandari BS. 2019. Rhizosphere associated PGPR functioning. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(5): 1181-1191.

Ishaq M, Ahmad M, Hussain Z. 2018. Growth and yield of barley varieties response to micro nutrients. Pure Applied Biology, 7(2): 509-517. http://doi.org/10.19045/bspab.2018.70064

Jouyban A, Sadeghi Give H and Noryan M. 2015. Relationship between agronomic and morphological traits in barley varieties under drought stress condition. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 9: 1507-1511.

Kenneth OC, Chibuzor Nwadibe E, Uchenna Kalu A and Victor Unah U. 2018. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): A Novel Agent for Sustainable Food Production. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 14: 35.54. https://doi.org/10.3844/ajabssp.2019.35.54

Kovačević J, Mazur M, Lalić A and Josipović M. 2015. Photosynthetic performance index in early stage of growth, water use efficiency, and grain yield of winter barley cultivars. Chilean Journal of Agricultural Research, 75(3): 275-283. http://doi. org/10.4067/S0718-58392015000400002

Kumar A, Prasad S and Singh SK. 2014. Screening of free living rhizobacteria associated with wheat rhizosphere for plant growth promoting traits. African Journal of Agricultural research, 9(13): 1094-1100. https:// doi.org/10.5897/AJAR2013. 7660

Madić M, Knežević D, Paunović A. 2016. Plant height and internode length as components of lodging resistance in barley. Acta Agriculturae Serbica, 42: 99-1061.

Mahlooji M. 2021. Agrophysiological barley associated with flag leaf temperature and canopy light interception under salinity and zinc foliar application. Journal of Plant Process and Function. 10: 65-78.

Megersa G, Mekbib F and Lakew B. 2015. Performance of farmers and improved varieties of barley for yield components and seed quality. Journal of plant Breeding and Crop Science, 5: 107-118. https://doi.org/10.5897/JPBCS2013.0436

Mehrvarz S and Chaichi MR. 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barely (*Hordeum vulgare* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 3 (6): 855-860.

Mohammadi Aghdam S and Samadiyan F. 2014. Effect of nitrogen and cultivars on some of traits of barley (*Hordeum vulgare* L.). International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2: 295-299.

Nahar K and Gretzmacher R. 2011. Response of shoot and root development of seven tomato cultivars in hydrophonic system under water stress. Academic Journal of Plant Sciences, 4 (2): 57-63.

Naseri R, Azadi S, Javad Rahimi M, Maleki A and Mirzaei A. 2013. Effects of inoculation with Azotobacter Chroococcum and Pseudomonas Putid on yield and some of the important agronomic traits in barley (*Hordeum vulgar* L). International Journal of Agronomy and Plant Production, 4 (7): 1602-1610.

Noskova EN, Shchennikova IN and Svetlakova EV. 2021. Responsiveness of spring barley cultivars to top-dressing in the conditions of the Volga- Vyatka region. E3S Web of Conferences 254, 07009. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125407009

Noworolnik K, Leszczyńska D and Kostiw P. 2018. The yield of selected cultivars of spring barley depending on the sowing rate. Polish Journal of Agronomy, 33: 3-7. https://doi.org/ 10.26114/pja.iung.354.2018.33.01

Ofori-Boateng C and Lee KT. 2014. An oil palm-based biorefinery concept or cellulosic ethanol and phytochemicals production: Sustainability evaluation using exergetic life cycle assessment. Applied Thermal Engineering, 62: 90-104. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.09.022

Oukarroum A, El Madidi S and Strasser RJ. 2006. Drought stress induced in barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.). Archival Science, 59: 65-74.

Patel NA and Meena M. 2018. Relative performance of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under saline water condition. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(10): 1724-1733.

Rathore P. 2014. A review on approaches to develop plant growth promoting rhizobacteria. International Journal of Recent Scientific Research, 5: 403-407.

Ravikumar S, Shanthy S, Kalaiarasi A and Sumaya M. 2014. The biofertilizer effect of halophilic phosphate solubilising bacteria on *Oryza sativa*. Middle-East Journal of Scientific Research, 19 (10): 1406-1411.

Robinson JS, Baumann K, HuY, Hagemann P, Kebelmann L and Leinweber P. 2018. Phosphorus transformations in plant-based and bio-waste materials induced by pyrolysis. Ambio, 47: S73–S82. https://doi.org/ 10.1007/s13280-017-0990-y

Scervino JM, Papinutti VL, Godoy MS, Rodriguez JM, Monica ID, Recchi M, Pettinari MJ and Godeas AM. 2011. Medium pH, carbon and nitrogen concentrations modulate the phosphate solubilization efficiency of *Penicillium purpurogenum* through organic acid production. Journal of Applied Microbiology, 110: 1215– 1223. https://doi.org/ 10.1111/j.1365-2672.2011.04972x

Schoebitz M, Mengual C and Roldán A. 2014. Combined effects of clay immobilized *Azospirillumbrasilense* and *Pantoeadispersa* and organic olive residue on plant performance and soil properties in the revegetation of a semiarid area. Science Total Environment, 466: 67-73.

Simmons CW, Claypool JT, Marshall MN, Jabusch LK, Reddy AP, Simmons BA, Singer SW, Stapleton JJ, Vander and Gheynst JS. 2014. Characterization of bacterial communities in solarized soil amended with lignocellulosic organic matter. Applied Soil Ecology, 73: 97-104.

Yadav BK and Verma A. 2012. Phosphate solubilization and mobilization in soil through soil microorganisms under arid ecosystems, the functioning of ecosystems. In: Ali, M. (ed) In Tech. ISBN:978-953-51-0573-2, Available from http://www.intechopen.com/books/the-functioning-of ecosystems/phosphatesolubilization-and-mobilization-in-soil-through-microorganismsunder-arid-ecosystems. https://www.nature.com/articles/srep12293

Yadav MR, Rakesh Kumar CM, Parihar RK, Yadav SL, Jat H, Ram RK, Meena M, Singh AP, Verma U, Kumar G and Jat ML. 2017. Strategies for improving nitrogen use efficiency: A review. Agricultural Reviews, 38 (1): 29-40. https://doi.org/0.18805/ag.v0iOF.7306

Yousefi Rad MM and Heshmatpoure N. 2013. 'The role of Pseudomonas fluorescens Strains in growth and phosphate concentration of Rapeseed (*Brassica napus* L.)'. Iranian Journal of Plant Physiology, 3(4): 829-833.

Yousefi AA and Rahman Barzegar A. 2014. Effect of Azotobacter and Pseudomonas bacteria inoculation on wheat yield under field condition. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 7: 616-619.

Yousofinia M, Ghassemian A, Sofalian O and Khomari S. 2012. Effects of salinity stress on barley (*Hordeum vulgare*, L.) Germination and seedling growth. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4: 1353-1357.

Zabet M, Mostafavi K, Karimi H and Khodarahmi M. 2017. Genetic Study of Yield and some Agronomic Traits in Barley using Generation Mean Analysis. Seed and Plant Journal, 33(1): 109- 131. (In Persian).

Zahir Z, Ahmad M, Hilger TH, Dar A, Riaz Malik S, Abbas G and Rasche F. 2018. Field evaluation of multistrain biofertilizer for improving the productivity of different mung bean genotypes. Soil Environment, 37(1): 45-52. https://doi.org/10.25252/SE/18/61488

Zaredost F, Hashemabadi D, BarariZiyabari M, Mohammadi Torkashvand A, Kaviani B, Jadid Solimandarabi M and Zarchini M. 2012. The effect of phosphate bio-fertilizer (Barvar-2) on the growth of marigold. Journal of Environmental Biology, 35: 439-443.

Zargari K, Rahmati Khorshidi Y and Reza Ardakani M. 2014. Growth stimulant bacteria and nitrogen fertilizer effects plant nutrient uptake in rice (*Oryza sativa* L.). International Journal of Biosciences, 4: 218-226. http://doi.org/10.12692/ijb/4.9.218-226.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 137-151

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

Effect of Non-chemical Methods in Integration with Trifluralin on Weeds and Yield of Basil (*Ocimum bacilicum* L.)

Nasrin Ahmadian[1], Rouhollah Amini*[2], Adel Dabbagh Mohammadi Nassab[2]

Received: 30 April 2023	Accepted: 27 July 2023

1-MSc Student in Weed Science, Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran,
2- Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author E-mail: r_amini@tabrizu.ac.ir, ramini58@gmail.com

Abstract

Background and Objective: This research was conducted in order to evaluate the effect of non-chemical methods including living mulch, straw mulch and hand weeding in integration with trifluralin on weed control and basil (*Ocimum bacilicum* L.) yield.

Material and Methods: The experiment was conducted in Research Field of University of Tabriz in 2022 based on randomized complete block design with 12 treatments and three replications. Weed management treatments included weed-free treatment in entire growth season, weed-infested treatment in entire growth season, using the trifluralin herbicide (Treflan EC 48%) at 100% of the recommended dose (2.5 L ha^{-1}), trifluralin herbicide at 50% of the recommended dose (1.25 L ha^{-1}), trifluralin herbicide at 50% of the recommended dose in integration with bitter vetch living mulch, wheat straw mulch and one time hand weeding and using mentioned non-chemical treatments alone (without application of trifluralin).

Results: The results indicated that the weed density and biomass were affected significantly by weed management treatments. The highest weed biomass reduction percentage was observed in trifluralin 50% + one-time hand weeding (85%) that was not significantly different with those in one-time hand weeding (83%), trifluralin 50% + wheat straw mulch (65%) and trifluralin 100%. The effect of weed management treatment was significant on growth traits and dry weight of basil. The highest basil dry weight (260 g m^{-2}) was obtained in trifluralin 50% + one-time hand weeding that was not significantly different with those of one-time hand weeding (218 g m^{-2}) and trifluralin 50% + wheat straw mulch (210 g m^{-2}).

Conclusion: Using weed management treatments including one-time hand weeding and trifluralin 50% + wheat straw mulch could be introduced to the growers in line with reduction of herbicide application and sustainable production of basil

Keywords: Dry weight, Hand Weeding, Living Mulch, Reduced Dose, Straw Mulch, Weed Biomass

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Rouhollah Amini E-mail: r_amini@tabrizu.ac.ir, ramini58@gmail.
https://doi.org/10.22034/saps.2023.56391.3037

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۱۵۱-۱۳۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر روش‌های غیرشیمیایی در تلفیق با علفکش تریفلورالین بر علف های‌هرز و عملکرد ریحان (*Ocimum bacilicum* L.)

نسرین احمدیان[۱]، روح اله امینی*[۲]، عادل دباغ محمدی نسب[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۱۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته اگروتکنولوژی گرایش علوم علف های هرز ، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۲-استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
* مسئول مکاتبه: E-mail: r_amini@tabrizu.ac.ir, ramini58@gmail.com

چکیده

مقدمه و اهداف: تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر روش های غیرشیمیایی شامل مالچ زنده، مالچ کلش گندم و وجین دستی در ترکیب با علف‌کش تریفلورالین بر کنترل علف‌های‌هرز و عملکرد ریحان اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تبریز در سال ۱۴۰۱ بر پایه طرح بلوکهای کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مدیریت علف هرز شامل تیمار عاری از علف‌هرز در کل دوره رشد، تیمار آلوده به علف‌هرز در کل دوره رشد، کاربرد علف‌کش تریفلورالین (ترفلان با فرمولاسیون ۴۸ ٪EC) به مقدار ۱۰۰ درصد توصیه شده (۲/۵ لیتر در هکتار)، کاربرد علف‌کش تریفورالین به مقدار ۵۰ درصد توصیه شده (۱/۲۵ لیتر در هکتار)، کاربرد علف‌کش تریفورالین به مقدار ۵۰ درصد توصیه شده در تلفیق با مالچ زنده گاودانه، مالچ کلش گندم و یک‌بار وجین دستی و استفاده از تیمارهای غیرشیمیایی ذکر شده به تنهایی (بدون کاربرد تریفلورالین) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تراکم کل و زیست توده علف‌های هرز به طور معنی دار تحت تاثیر تیمارهای مدیریت علف هرز قرار گرفتند. بیشترین درصد کاهش زیست توده علف‌های هرز در تیمار تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی (۸۵٪) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای یک بار وجین دستی (۸۳٪)، تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم (۶۵٪) و کاربرد تریفلورالین ۱۰۰٪ (۶۲٪) نداشت. اثر تیمارهای مدیریتی بر صفات رشدی و وزن خشک ریحان معنی دار بود. بیشترین وزن خشک ریحان (۲۶۰ گرم در متر مربع) در تیمار تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی حاصل شد که تفاوت معنی داری با تیمارهای یک بار وجین دستی (۲۱۸ گرم در متر مربع) و تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم (۲۱۰ گرم در متر مربع) نداشت.

نتیجه‌گیری: استفاده از تیمارهای مدیریت علف‌هرز شامل یک بار وجین دستی و تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم می‌تواند در راستای کاهش مصرف علفکش‌ها و تولید پایدار ریحان به کشاورزان معرفی شود.

واژه های کلیدی: دز کاهش یافته، زیست‌توده علف‌هرز، مالچ زنده، مالچ کلش، وجین دستی، وزن خشک

مقدمه

ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* L. گیاهی است یکساله و علفی از خانواده Lamiaceae به ارتفاع حدود ۳۰-۶۰ سانتی متر و با طول دوره رشد کوتاه که به صورت بهاره کشت می شود. این گیاه به صورت سبزی تازه و به عنوان گیاه دارویی و ادویه‌ای استفاده می‌شود. اسانس پیکر رویشی آن حاوی ترکیبات لینالول، سیترال، اوژنول، سینئول، ژرانیول، کامفورومتیل سینامات از اجزای مهم اسانس ریحان است و در صنایع آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد. در طب سنتی از خواص ریحان به عنوان خلط اور، ضدنفخ، اشتها آور، برطرف کننده دردهای معده و محرک استفاده می‌شود. همچنین ریحان خاصیت حشره کشی دارد و در صنایع عطرسازی و مواد غذایی کاربرد دارد (امید بیگی ۲۰۱۵). علف‌های هرز یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد و افزایش هزینه تولید (هزینه کارگر) ریحان هستند (گیری و همکاران ۲۰۱۶) و تحقیقات اندکی در مورد مدیریت علف‌هرز این گیاه دارویی انجام شده است. گیری و همکاران (۲۰۱۶) کارایی روش‌های مختلف شامل وجین دستی، کاربرد مالچ کلش و پلاستیک و کاربرد پندیمتالین را در مدیریت علف هرز ریحان بررسی نموده و مشاهده کردند که بالاترین کارایی کنترل علف هرز در کاربرد مالچ پلاستیک (پلی-اتیلن) حاصل شد.

در مدیریت تلفیقی علف‌های هرز همراه با کاربرد علف‌کش، استفاده از روش های غیرشیمیایی مثل کنترل مکانیکی و فیزیکی (امینی و همکاران ۲۰۱۴) و روش های زراعی (کیسلی و همکاران ۲۰۰۳؛ امینی و نامداری ۲۰۱۳؛ امینی و همکاران a,b ۲۰۲۳ ، ۲۰۱۴) 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 علفکش-ها با روشهای غیرشیمیایی کنترل علف هرز مثل کاربرد انواع مالچ کلش و مالچ زنده و وجین دستی به عنوان گزینه های کم هزینه و سازگار با طبیعت برای مدیریت علف های هرز در جهت کاهش مصرف علفکش‌ها، از اولویت های کشاورزی پایدار می‌باشد (امینی و همکاران a ۲۰۲۰؛ عظیمی و همکاران ۲۰۲۳). 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 ۲۰۲۰). نحوه عمل این علفکش، جلوگیری از تشکیل واحدهای توبولین در میکروتوبول‌ها و در نهایت بازداری از تقسیم میتوز می‌باشد (زند و همکاران ۲۰۰۴). تریفلورالین در مدیریت علف‌هرز گیاهان دارویی مثل بادرشبو *Dracocephalum moldavica* L. (امینی و همکاران a ۲۰۲۰)، شوید *Anethum graveolens* L. (امینی و همکاران ۲۰۲۳)، زیره سبز *Cuminum cyminum* L.(احمدی کاکاوندی و همکاران ۲۰۲۲)، گاوزبان اروپایی *Borago officinalis* L. (سارنچه ۲۰۱۸)، بابونه آلمانی *Matricaria chamomilla* L. (فریدی ۲۰۲۰) و گشنیز *Coriandrum sativum* L. (محمداوغلی ۲۰۲۲) استفاده شده است.

مالچ کلشی شامل بقایا و کاه و کلش گیاهان زراعی می-باشد که برای پوشاندن سطح خاک استفاده می شود به طوری که مانع از رسیدن نور به سطح خاک و جلوگیری از جوانه زنی بذور و رویش گیاهچه‌های علف‌هرز می شود (امینی و همکاران b ۲۰۲۰؛ امینی و همکاران ۲۰۲۴). مالچ کاه و کلش گندم در خاک می‌تواند بانک بذر علف‌های هرز در خاک را کاهش دهد (گیبسین و همکاران ۲۰۱۱). گیاهان پوششی که به صورت مخلوط یا در تناوب با گیاهان زراعی یکساله یا چند ساله کشت می‌شوند، مالچ‌های زنده نامیده می‌شوند. مالچ‌های زنده در صورتی که نسبت به علف‌هرز، رقابت کمتری با گیاه زراعی داشته باشند موجب افزایش عملکرد گیاه زراعی می‌شوند (هیلت برونر و همکاران ۲۰۰۷؛ بائتس و همکاران ۲۰۱۱؛ بهگام و همکاران ۲۰۱۹). مالچ‌های زنده باعث جذب، بازتولید و توزیع مجدد نیترات (هوکر و همکاران

۲۰۰۸)، افزایش ماده آلی خاک (دینگ و همکاران ۲۰۰۶)، حفاظت خاک در برابر فرسایش بادی و آبی (باتیس و همکاران ۲۰۱۱)، ایجاد پناهگاه برای حشرات مفید، کاهش آبشویی علفکش‌ها (پاتر و همکاران ۲۰۰۷)، سرکوب علف‌های هرز و اغلب باعث افزایش عملکرد در گیاهان قرار گرفته در تناوب می‌شوند (بلانکو-کنکی۲۰۱۲). با کاربرد مالچ‌های زنده و 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). کاربرد مالچ زنده شنبلیله *Trigonella foenum – graecum* (L.) در گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) زیست توده علف‌هرز را کاهش داد ولی برای کنترل مناسب علف‌هرز لازم است که با روش های دیگر تلفیق شود (پور یوسف و همکاران ۲۰۱۵). در ارزیابی اثر تلفیق مقادیر مختلف تریفلورالین با کاربرد مالچ کلش و مالچ زنده شنبلیله، گاودانه (*Vicia ervilla* L.) و همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) در کنجد (*Sesamum indicum* L.) گزارش شد که درصد کاهش زیست توده علف های هرز در تیمار کاربرد مالچ کلش در مقایسخ با هر سه نوع مالچ زنده بیشتر بود (حسین قلی زاده و همکاران ۲۰۲۲). همچنین عباس زاده و همکاران (a,b ۲۰۲۲) در ارزیابی اثر مالچ کلش و مالچ زنده شنبلیله و گاودانه 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 شنبلیله و گاودانه بیشتر بود.

با توجه به اهمیت مدیریت علف های هرز در گیاهان دارویی و تاکید بر کاهش استفاده از کنترل شیمیایی (کاربرد علفکش) و توصیه به کاربرد روش های سازگار با محیط زیست به دلیل تولید محصولات سالم و همچنین کاهش هزینه کاربرد علفکش ها و اثرات نامطلوب آن ها را در اکوسیستم های زراعی، استفاده از روش های تلفیقی مدیریت علف های هرز ضروری به نظر می‌رسد. لذا هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر دز کاهش یافته علفکش ترفلورالین در تلفیق با روش های مدیریت غیرشیمیایی شامل مالچ کلش، مالچ زنده و وجین دستی بر تراکم و زیست توده علف‌های هرز و عملکرد ریحان می باشد.

جدول ۱-آنالیز فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن (٪)	ماده آلی (٪)	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)
لومی شنی	۴۲۱	۲۳	۰/۱۱	۱/۵	۷/۱	۱/۳

مواد و روش ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در اراضی کرکج با طول جغرافیای ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و با عرض جغرافیای ۳۷ درجه و ۵ دقیقه شمالی اجرا شد. محل آزمایش دارای ارتفاع حدود ۱۳۶۰ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی ۲۵۷ میلی متر در سال و برخوردار از اقلیم نیمه خشک و تابستانی با خشکی طولانی است. طبق نتایج بدست آمده از تجزیه خاک مزرعه محل آزمایش (جدول ۱)، بافت آن لومی شنی و میزان اسیدیته آن ۷/۱ می‌باشد. در پاییز سال ۱۴۰۰ شخم عمیق توسط گاوآهن برگرداندار زده شد و سپس در بهار سال ۱۴۰۱ عملیات دیسک و تسطیح انجام شد. سپس توسط دستگاه فاروئر، جوی پشته‌های به فاصله ۵۰ سانتی متر ایجاد شد. با توجه به نتایج آزمایش خاک کود اوره به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار در مرحله رشد رویشی ریحان استفاده شد. آبیاری به صورت جوی پشته‌ای و هر ۷ روز یکبار انجام شد.

به منظور بررسی اثر دز کاهش یافته تریفلورالین در تلفیق با روش های مختلف کنترل غیرشیمیایی بر علف‌های هرز و عملکرد ریحان آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- تیمار عاری از علف‌هرز در کل دوره رشد (weed free)، ۲- تیمار آلوده به علف‌هرز در کل دوره رشد (weed infested) ۳- کاربرد علف‌کش تریفورالین (ترفلان با فرموﻻسیون ۴۸ EC %) به مقدار ۱۰۰ درصد دز توصیه شده (۲/۵ لیتردر هکتار) ۴ – کاربرد علف‌کش تریفلورالین به مقدار ۵۰ درصد توصیه شده (۱/۲۵ لیتر در هکتار)- ۵ کاربرد علف‌کش تریفلورالین به مقدار۵۰ درصد توصیه شده (۱/۲۵ لیتر در هکتار)+ کاشت مالچ زنده گاودانه (*Vicia ervilla* L.) در بین پشته ها همزمان با کاشت ریحان ۶- کاربرد علف‌کش تریفلورالین به مقدار ۵۰ درصد توصیه شده (۱/۲۵لیتر در هکتار) + کاشت مالچ زنده گاودانه در بین پشته ها ۲۵روز بعد از کشت ریحان (به منظور کاهش شدت رقابت مالچ زنده گاودانه با ریحان) (کیاسیا و همکاران ۲۰۱۶) ۷- کاربرد علف‌کش تریفلورالین به مقدار ۵۰ درصد توصیه شده (۱/۲۵ لیتر در هکتار) + کاربرد مالچ کلش گندم (۷۰۰ گرم در متر مربع) ۸ – کاربرد علف‌کش تریفلورالین به مقدار۵۰ درصد توصیه شده (۱/۲۵ لیتر در هکتار) + یکبار وجین دستی کامل ۵۰ روز بعد از سبز شدن ریحان ۹ – کاشت مالچ زنده گاودانه در بین پشته ها داخل جوی همزمان با کشت ریحان ۱۰ – کاشت مالچ زنده گاودانه در بین پشته ها ۲۰ روز بعد از کشت ریحان) -۱۱ کاربرد مالچ کلش گندم (۷۰۰ گرم در مترمربع) ۱۲-یک بار وجین دستی کامل ۵۰ روز پس از سبز شدن ریحان بودند.

در تیمارهای علفکش، کاربرد تریفلورالین توسط سمپاش پشتی کتابی ماهتابی شرکت گویزپر اسپانیا از نوع پشتی لانس دار شارژی با نازل بارانی که با فشار ۲۲۰ کیلوپاسکال و باحجم ۲۴۰ لیتر در هکتار کالیبره شده بود، انجام شد. بلافاصله بعد از سمپاشی توسط شن‌کش، اختلاط خاک تا عمق حدود ۷ سانتی‌متر در هر کرت انجام شد تا علفکش به طور کامل با خاک مخلوط شود. کاشت ریحان در تاریخ ۱۴ اردیبهشت ماه و با دست انجام شد. به منظور جلوگیری از آلودگی‌های قارچی، قبل از کاشت ضدعفونی بذور به نسبت ۲ در هزار با قارچ‌کش ویتاواکس انجام شد. مساحت هر کرت ۶ مترمربع در نظر گرفته شد که هر کرت شامل ۴ پشته (۸ ردیف در کشت دو ردیفه) به طول ۳ متر طول بود. فاصله بین پشته ها ۵۰ سانتی‌متر ، تراکم مطلوب برای ریحان ۴۰ بوته در متر مربع با فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی متر در کشت دو ردیفه بر روی هر پشته (فارو) و عمق کاشت ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت بذور ریحان در خاک مرطوب (هیرم کاری) انجام شد تا جوانه زنی یکنواخت‌تر و بهتر انجام شود. بعد از کاشت تیمار کاربرد مالچ کلش گندم به میزان ۷۰۰ گرم در متر مربع اعمال گردید. مالچ زنده گاودانه با تراکم کشت ۱۰۰ بوته در مترمربع در بین ردیف‌ها داخل جوی کشت شد. تیمار یکبار وجین‌دستی علفهای هرز ،۵۰ روز بعد از کاشت ریحان به صورت دستی انجام شد. همچنین در تیمارهای عاری از علف هرز به صورت مکرر و تا پایان فصل رشد وجین‌دستی صورت گرفت تا در طول مدت آزمایش عاری از علف‌هرز بمانند.

نمونه برداری علف‌های هرز در مرحله‌ی گلدهی ریحان (۱۰ مرداد) به وسیله کوادرات ۱ مترمربع و به صورت تصادفی انجام شد. علف‌های هرز داخل کوادرات پس از کف بر شدن به آزمایشگاه منتقل شد، گونه‌های علف هرز شناسایی و تراکم کل (تعداد) آنها شمارش و ثبت شد. جهت اندازه‌گیری زیست توده در واحد سطح، بوته های علف‌هرز به دستگاه آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. پس از ۴۸ ساعت زیست توده علف‌های هرز نیز با دقت ۰/۰۱ توزین شد. همچنین درصد فراوانی گونه‌های مختلف علفهای‌هرزدر مزرعه ازمایشی با فرمول زیر محاسبه شد:

$$Fk = \frac{\sum Yi}{n} \times 100$$

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).

صفات اندازه گیری شده برای ریحان در این آزمایش شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد برگ در بوته وزن تر و وزن خشک در واحد سطح بود. وزن تر و وزن خشک ریحان با استفاده از نمونه برداری در زمان گلدهی (۱۰ مرداد) توسط کوادرات (۱ مترمربع) در کرت‌ها انجام شد. از هر کوادرات ۱۰ بوته انتخاب شده و صفات ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در بوته و تعداد برگ در بوته اندازه گیری شدند. تجزیه های آماری داده ها به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تراکم و زیست توده علف‌هرز در تیمار عاری از علف هرز، صفر بود و در نتیجه در تجزیه واریانس صفات علف‌هرز، ۱۱ تیمار در نظر گرفته شد. برای تجزیه واریانس داده ها از نرم افزار MSTATC و SPSS ver. 16 استفاده شد و مقایسه میانگین آنها توسط آزمون دانکن انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

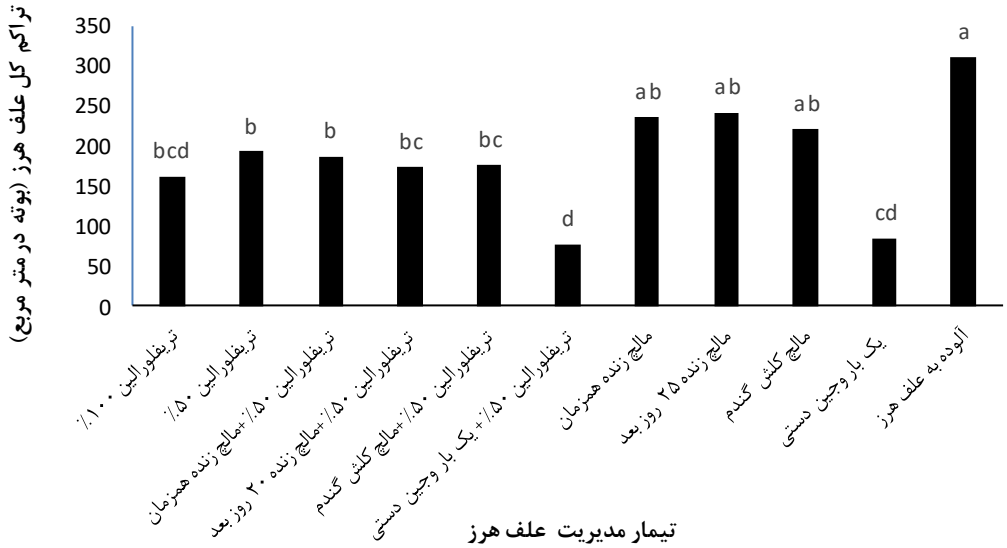
ترکیب و فراوانی گونه ها

گونه‌های شناسایی شده درمزرعه و درصد فراوانی آنها در جدول ۲ آورده شده است . گونه‌های علف هرز از ۱۱ تیره گیاهی و شامل ۲۰ گونه بودند. بیشترین فراوانی به ترتیب مربوط به علف شور، تاج خروس خوابیده، سلمه تره، علف هفت بند، گاورس، پیچک صحرایی و توق بود و کمترین فراوانی به گونه های آتریپلکس، اسپرک، گاوزبان وحشی، مرغ، یونجه، کاهوی وحشی، ریش قوش و بارهنگ کاردی اختصاص داشت.

جدول ۲ - اسامی علمی، نام تیره، نام عمومی و درصد فراوانی گونه های علف‌هرز شناسایی شده در مزرعه

ردیف	نام فارسی	نام علمی	نام تیره	فراوانی (٪)
۱	علف شور	*Salsola kali*	Chenopodiaceae	۹۶/۹
۲	تاج خروس خوابیده	*Amaranthus blitoides*	Amaranthaceae	۹۶/۹
۳	سلمه تره	*Chenopodium album*	Chenopodiaceae	۸۱/۸
۴	علف هفت بند	*Polygonum avicular*	Polygonaceae	۷۵/۷
۵	گاورس	*Setaria viridis*	Poaceae	۶۶/۷
۶	پیچک صحرایی	*Convulvulus arvensis*	Convolvulaceae	۴۵/۴
۷	توق	*Xanthium strumarium*	Asteraceae	۳۳/۳
۸	تاج خروس ریشه قرمز	*Amaranthus retroflexus*	Amaranthaceae	۱۲/۱
۹	ترتیزک وحشی	*Lepidium draba*	Brassicaceae	۶/۱
۱۰	شاخ به سر	*Ceratocarpus arenarius*	Chenopodiaceae	۶/۱
۱۱	آتریپلکس	*Atriplex* sp.	Chenopodiaceae	۳/۱
۱۲	اسپرک	*Reseda lutea*	Resedaceae	۳/۱
۱۳	گاوزبان وحشی	*Anchusa italica*	Boraginaceae	۳/۱
۱۴	مرغ	*Cynodon dactylon*	Poaceae	۳/۱
۱۵	یونجه	*Medicago* sp	Fabaceae	۳/۱
۱۶	کاهوی وحشی	*Lactuca scariola*	Asteraceae	۳/۱
۱۷	ریش قوش	*Crepis* sp.	Asteraceae	۳/۱
۱۸	بارهنگ کاردی	*Plantago lanceolata*	Plantaginaceae	۳/۱
۱۹	پنیرک	*Malva neglecta*	Malvaceae	۳/۱
۲۰	شیرتیغک	*Sonchus oleracerus*	Asteraceae	۳/۱

^{ns}، * و ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.



شکل ۱- اثر تیمار های مدیریتی بر تراکم کل علف‌های هرز ریحان (حروف متفاوت بیانگر

زیست توده علف‌های هرز

نتایج تجزیه واریانس (جدول۳) نشان داد که اثر تیمار مدیریت علف هرز بر زیست توده علف های هرز در سطح احتمال۱٪ معنی دار بود. مقایسه میانگین ها (شکل ۲) نشان داد که میزان زیست‌توده علف هرز در همه تیمارهای مدیریت نسبت به تیمار آلوده به علف هرز، به طور معنی داری کاهش یافت. کمترین زیست-توده علف‌های هرز در تیمار کاربرد تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی مشاهده شد (۱۸۵ گرم در متر مربع) که با تیمارهای یک بار وجین‌دستی، کاربرد تریفلورالین ۱۰۰٪ و کاربرد تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم تفاوت معنی داری نداشت. مالچ کلش با ایجاد یک لایه‌ی خفه‌کننده باعث کاهش فتوسنتز و توقف رشد گیاهچه‌های علف‌هرز می‌شود (رحمان و همکاران ۲۰۰۵ ؛ امینی و همکارانb ۲۰۲۰). در مطالعه مدیریت تلفیقی علف‌هرز در گاوزبان اروپایی استفاده از علف-کش تریفلورالین و پندیمتالین منجر به کاهش زیست-توده علف‌هرز شده و استفاده از مقادیر کاهش‌یافته علف‌کش پس از وجین دستی موثر از زمانی است که

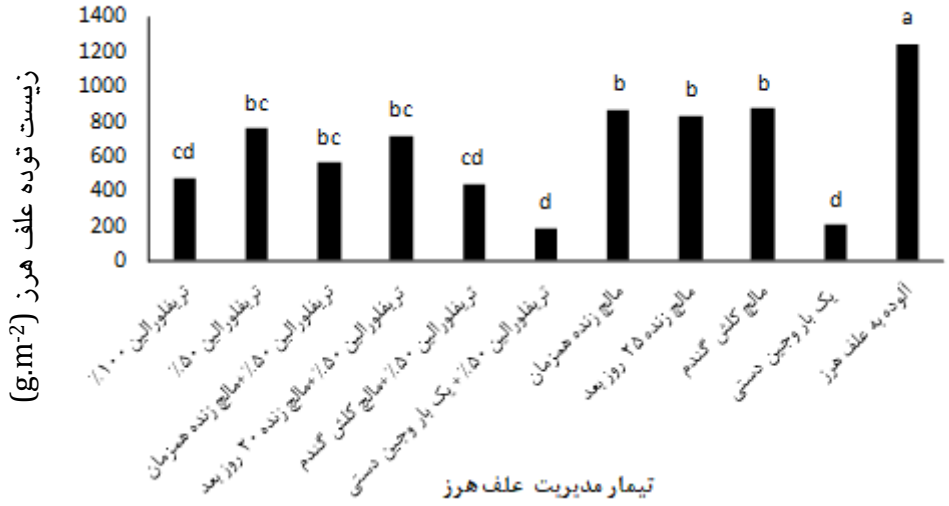
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تراکم کل و زیست توده علف های هرز تحت تاثیر تیمار مدیریت علف هرز

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		تراکم کل علف‌های هرز	**زیست توده علف های هرز**
بلوک	۲	۳۳۱/۱ ns	۶۶۵۷ns
تیمار مدیریت علف هرز	۱۰	۱۳۵۶۴/۸ **	۲۹۷۸۸۸/۲ **
اشتباه آزمایشی	۲۰	۶۷۳/۹	۸۱۷۷/۹
ضریب تغییرات (٪)		۱۳/۸۱	۱۲/۹

اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد).

تنها یا همراه با مالچ کلش استفاده شود (سارنچه ۲۰۱۸). تلفیق روش‌های مدیریتی مثل مالچ کلش دزهای کاهش‌یافته علف‌کش می‌تواند در کاهش زیست توده علف هرز بسیار موثر باشد (احمدی کاکاوندی و

همکاران ۲۰۲۲؛ امینی و همکاران a ۲۰۲۰ ؛ عظیمی و همکاران ۲۰۲۳). به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که تیمارهای مالچ زنده گاودانه به طور همزمان و ۲۵ روز بعد از کاشت به تنهایی و در تلفیق با تریفلورالین ۵۰٪ زیست توده علف هرز بیشتری در مقایسه با تیمارهای دارای مالچ کلش و یک بار وجین دستی داشتند که نشان دهنده کارایی پایین مالچ زنده در کنترل علف هرز در مقایسه با تیمارهای قبلی می باشد. کارایی پایین تیمارهای مالچ زنده در کنترل علف های هرز را می توان به توانایی پایین مالچ زنده در پوشش سطح خاک و توانای پایین مهار علف هرز نسبت داد که نتایج مشابهی نیز در تحقیقات قبلی مشاهده شده است (بهگام و همکاران ۲۰۱۹؛ حسین قلی زاده و همکاران ۲۰۲۲؛ امینی و همکاران a,b۲۰۲۳).



شکل ۲-اثر تیمارهای مدیریتی بر زیست توده علفهای هرز ریحان
(حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد)

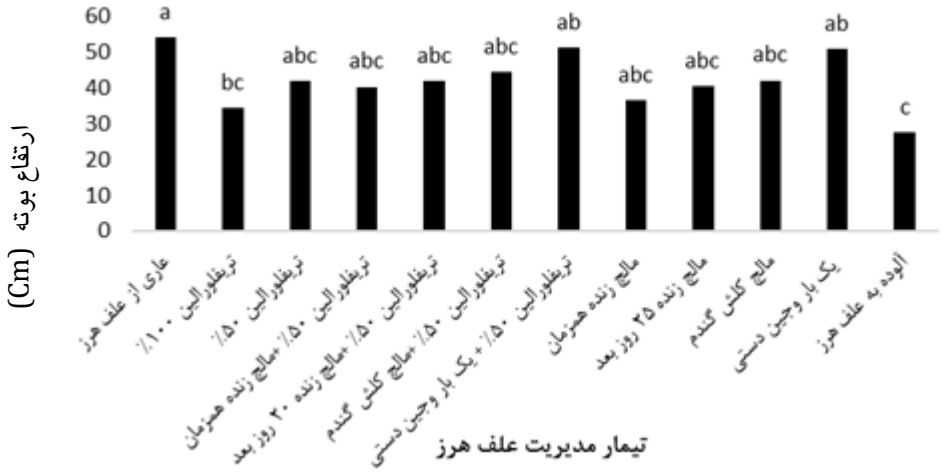
ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس (جدول۴) نشان داد که اثر تیمار مدیریت علف هرز بر ارتفاع بوته ریحان در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴) نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۵۴ سانتیمتر) در تیمار عاری از علف هرز مشاهده شد که تفاوت معنی داری با بقیه تیمارها به غیر از تیمار آلوده به علف هرز و کاربرد تریفلورالین ۱۰۰٪ نداشت. ارتفاع بوته ریحان در تیمار آلوده به علف هرز به طور معنی داری کمتر از تیمارهای عاری از علف هرز، تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی و یک بار وجین دستی بود ولی با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت. طبق تحقیقات انجام شده ارتفاع بوته گیاه زراعی از صفاتی است که به طور معنی دار تحت تاثیر رقابت علف هرز قرار می گیرد (امینی و همکاران ۲۰۱۴؛ نصرتی و همکاران ۲۰۱۷). 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 بیشتر از مقدار آن در تیمار کاربرد یک بار وجین دستی بود (امینی و همکاران a ۲۰۲۳).

جدول ۴-نتایج تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکرد ریحان تحت تاثیر تیمار مدیریت علف هرز

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی در بوته	تعداد برگ در بوته	وزن تر ریحان	وزن خشک ریحان
بلوک	۲	۳۶/۴ ns	۲/۴۳ ns	۵۴/۹ ns	۱۰۸۵ ns	۶۸/۱۵ns
تیمار مدیریت علف هرز	۱۱	۱۶۷/۳ **	۵۴/۴۹ **	۱۹۰۹/۸**	۲۳۸۲۰۲/۲**	۱۴۸۸۶۸/۱ **
اشتباه آزمایشی	۲۲	۲۹/۱	۲/۶۷	۲۹/۷	۵۷۳۹	۳۵۸/ ۷
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۸۳	۲۱/۷۵	۱۴/۰۱	۱۲/۴۵	۱۲/۰۲

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.



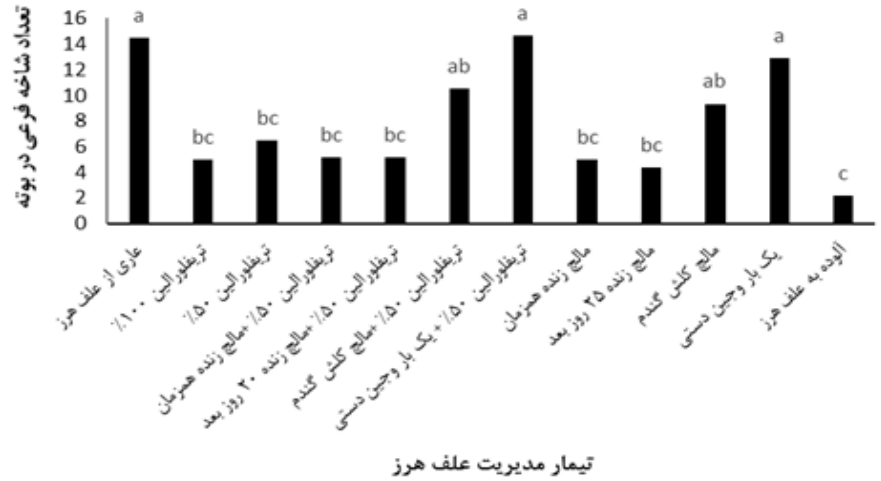
شکل ۳- اثر تیمارهای مدیریتی علف هرز بر ارتفاع بوته ریحان
(حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد)

تعداد شاخه فرعی در بوته

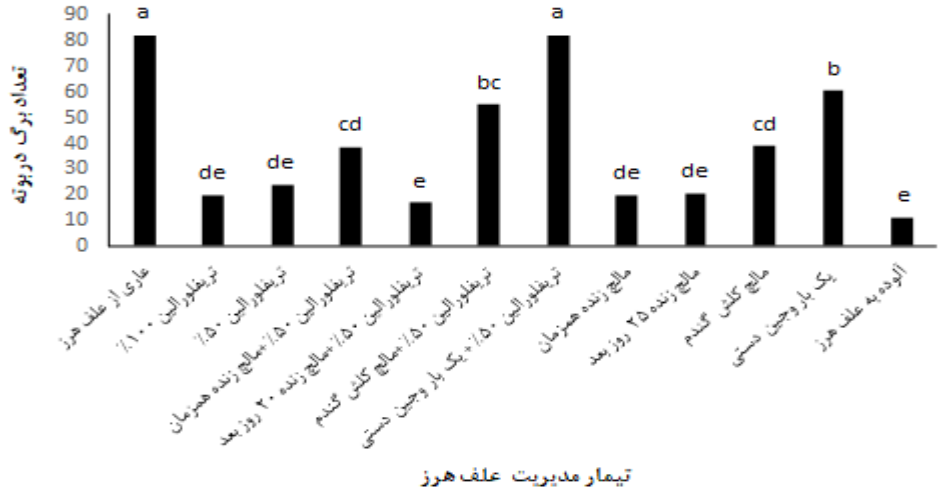
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر تیمار مدیریت علف‌های هرز بر تعداد شاخه فرعی در بوته ریحان در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴) نشان می‌دهد که در بین تیمارهای مدیریتی، تیمار عاری از علف هرز بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته را داشت که تفاوت معنی داری با مقادیر آن در تیمارهای تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم، تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی، کاربرد مالچ کلش گندم و یک بار وجین دستی نداشت. تعداد شاخه فرعی در تیمارهای کاربرد مالچ زنده به تنهایی و در ترکیب با تریفلورالین و تریفلورالین ۵۰ و ۱۰۰ درصد به طور معنی دار در مقایسه با تیمار عاری از علف هرز کاهش یافت. کاربرد مالچ کلشی در ترکیب با دزهای مختلف تریفلورالین باعث افزایش معنی دار تعداد شاخه فرعی در زیره سبز شد و بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمار کاربرد ۷۵ ٪ تریفلورالین مشاهده شد (احمدی کاکاوندی و همکاران ۲۰۲۲). همچنین ارتفاع بوته شوید در تیمار مالچ کلشی بیشتر از تیمارهای مالچ زنده شنبلیله و گاودانه و تیمار وجین دستی بود (عباس زاده و همکاران a,b ۲۰۲۲).

تعداد برگ در بوته

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که تعداد برگ در بوته ریحان به طور معنی‌دار تحت تاثیر تیمار مدیریت علف‌های هرز در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۵) نشان داد که در بین تیمارهای مدیریتی، تیمار عاری از علف هرز بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته را داشت که تفاوت معنی-داری با تیمار تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی نداشت. بقیه تیمارهای مدیریتی تعداد برگ در بوته کمتری در مقایسه با دو تیمار ذکر شده داشتند. همچنین تعداد برگ در بوته در تیمار یک بار وجین دستی تفاوت معنی داری با تیمار تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم نداشت. در تحقیقات قبلی تلفیق مالچ کلش گندم با مقادیر مختلف علفکش تریفلورالین باعث افزایش تعداد برگ در بوته بادرشبو (ابراهیمی و همکاران ۲۰۱۹؛ امینی و همکاران a ۲۰۲۰) و کنجد (حسین قلی‌زاده و همکاران ۲۰۲۲) در مقایسه با کاربرد تریفلورالین با دز ۱۰۰ درصد شد که با نتایج تحقیق حاضر مغایرت داشتند.



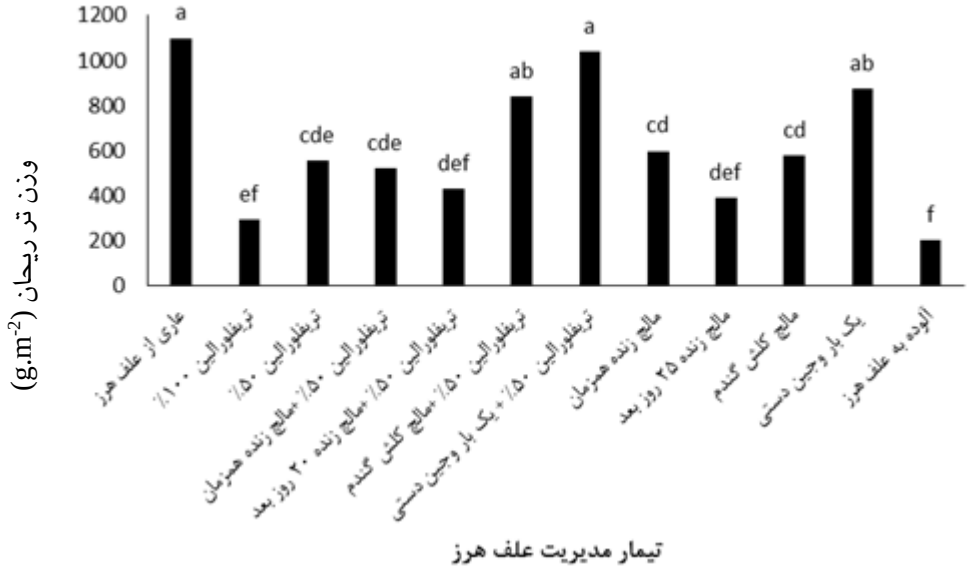
شکل ۴- اثر تیمارهای مدیریتی علف هرز بر تعداد شاخه فرعی در بوته ریحان (حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد)



شکل ۵- اثر تیمارهای مدیریتی علف هرز بر تعداد برگ در بوته ریحان
(حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد)

وزن تر ریحان

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که وزن تر ریحان به طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار مدیریت علف‌های هرز در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت. مقایسه میانگین تیمارها (شکل ۶) نشان داد که بیشترین وزن تر ریحان در تیمار عاری از علف‌هرز حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی، تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم، و یک بار وجین دستی نداشت. وزن تر ریحان در تیمارهای تریفلورالین ۱۰۰٪ ، تریفلورالین ۵۰٪ + کاشت مالچ زنده ۲۵ روز بعد و کاشت مالچ زنده ۲۵ روز بعد، تفاوت معنی داری با مقدار آن در تیمار آلوده به علف هرز نداشتند که نشان دهنده کارایی پایین این تیمارها در مهار علف‌های هرز و در تیجه کاهش وزن تر ریحان می باشد. محمداوغلی (۲۰۲۲) در ارزیابی مدیریت تلفیقی علف‌های هرز گشنیز گزارش کرد که بیشترین وزن تر گشنیز در تیمار مدیریتی تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم حاصل شد و تیمار کاربرد مالچ کلش گندم در رتبه بعدی قرار گرفت.

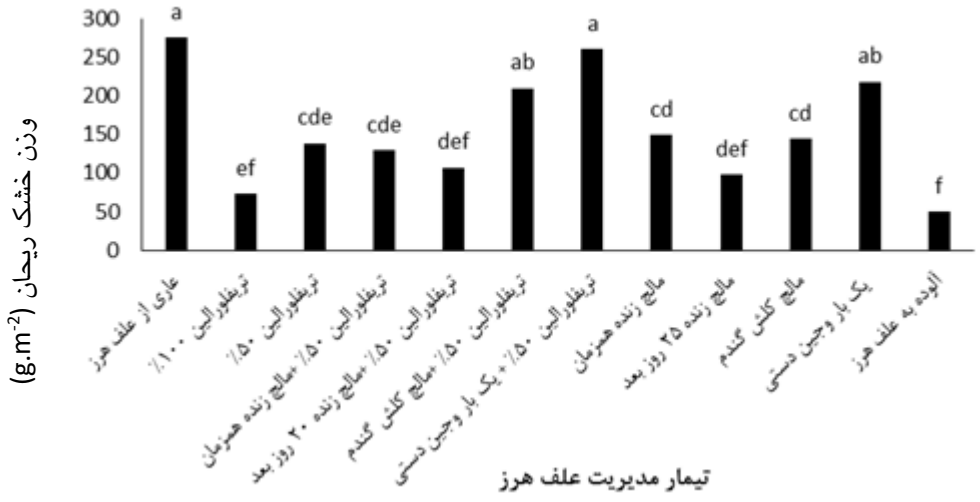


شکل ۶- اثر تیمارهای مدیریتی علف هرز بر وزن تر ریحان
(حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد)

وزن خشک ریحان

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که وزن خشک ریحان به طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار مدیریت علف‌های هرز در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت. مقایسه میانگین تیمارها (شکل ۷) نشان داد که بعد از تیمار عاری از علف هرز، بیشترین وزن خشک ریحان در تیمار کاربرد تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی حاصل شد که تفاوت معنی داری با مقدار آن در تیمارهای تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم، و یک بار وجین دستی نداشت. همچنین وزن خشک ریحان در تیمارهای تریفلورالین ۱۰۰٪ ، تریفلورالین ۵۰٪ + کاشت مالچ زنده ۲۵ روز بعد و کاشت مالچ زنده ۲۵ روز بعد، تفاوت معنی داری با مقدار آن در تیمار آلوده به علف هرز نداشتند. در صورتی که بیشترین وزن خشک گشنیز در تیمار مدیریتی تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم حاصل شد (محمداوغلی ۲۰۲۲). با توجه به

اینکه تیمار کاربرد تریفلورالین ۱۰۰٪ به طور معنی داری باعث کاهش زیست توده علف‌هرز در مقایسه باتیمار آلوده به علف هرز شده است (شکل ۲) ولی وزن خشک ریحان در این تیمار تفاوت معنی‌داری با تیمار آلوده به علف هرز ندارد (شکل ۷)، می توان اینگونه استنباط نمود که احتمالا تیمار کاربرد تریفلورالین ۱۰۰٪ اثر بازدارندگی در رشد ریحان داشته و وزن خشک آن را کاهش داده است. نتایج مشابهی توسط سارنچه (۲۰۱۸) نیز گزارش شد به اینصورت که بیشترین عملکرد بیولوژیک گاوزبان اروپایی در تیمار کاربرد تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم همراه با یک بار وجین دستی حاصل شد و مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار کاربرد تریفلورالین ۱۰۰٪ کاهش یافته و تفاوت معنی داری با تیمار آلوده به علف هرز نداشت. فریدی (۲۰۲۰) مشاهده نمود که بیشترین عملکرد بیولوژیکی بابونه آلمانی در تیمار تریفلورالین ۱۰۰٪ + مالچ کلش گندم حاصل شد که تفاوت معنی داری با مقدار آن در تیمار کاربرد تریفلورالین ۷۵٪ + مالچ کلش گندم نداشت. کاربرد مالچ کلش می‌تواند تاثیر علفکش را در کنترل علف هرز افزایش دهد (مونن و باربری ۲۰۰۲؛ امینی و همکاران ۲۰۲۰a). 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. همچنین امینی و همکاران (۲۰۲۰a) افزایش عملکرد بیولوژیکی بادرشبو را تحت تیمار تلفیقی مالچ کلش با دزهای ۵۰ و ۱۰۰ ٪ تریفلورالین گزارش کردند.



شکل ۷- اثر تیمارهای مدیریتی علف هرز بر وزن خشک ریحان
(حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد)

نتیجه گیری کلی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیشترین کاهش زیست توده علف های هرز در تیمارهای تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی، کاربرد یک بار وجین دستی، تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم و تریفلورالین ۱۰۰٪ مشاهده شد. تیمارهای مالچ زنده همزمان، تریفلورالین ۵۰٪ مالچ زنده همزمان، مالچ زنده ۲۵ روز بعد و تریفلورالین ۵۰٪ مالچ زنده ۲۵ روز بعد کارایی کمتری در کنترل علف هرز ریحان نشان دادند. بیشترین وزن خشک ریحان در تیمارهای کاربرد تریفلورالین ۵۰٪ + یک بار وجین دستی، کاربرد تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم و یک بار وجین دستی حاصل شد. به

طور کلی با توجه به نتایج حاصل می‌توان بیان داشت که در سیستم های کشاورزی ارگانیک که محدودیت نیروی کارگری وجود نداشته باشد، یک بار وجین دستی بهترین روش برای مدیریت علف هرز ریحان خواهد بود و در سیستم های رایج که محدودیت نیروی کار وجود دارد کاربرد تریفلورالین ۵۰٪ + مالچ کلش گندم توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دست اندرکاران مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز 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. 2022a. 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). https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.45251.2663

Abbaszadeh M, Amini R and Dabbagh Mohammadi Nassab A. 2022b. Effect of living and straw mulch in integration with reduced doses of trifluralin on yield and yield components of dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Iranian Plant Protection Research, 36 (2): 269-283. (In Persian). https://doi.org/ 10.22067/JPP.2022.73561.1060

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). 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, 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).

Amini R, Behgam M, 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, Ebrahimi A, and Dabbagh Mohammadi Nasab A. 2020a. 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 Alireza, Nasrin Ahmadian and Farzaneh Zarei Yuzband. 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. 2020b. 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

Azimi S, Amini R, 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

Baets SDE, Poesen JJ, Meersmans JJ and Serlet LL, 2011.Cover crops and their erosion reducing effects during concentrated flow erosion. Catena, 85: 237- 244. https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.009

Behgam M, Amini R, Dabbagh Mohammadi Nassab A. 2019. Effect of integrated weed management methods on yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 28(4): 175-190. (In Persian).

Blanco-Canqui HH, Claassen MM, and Presley DR. 2012. Summer cover crops fix nitrogen, increase crop yield, and improve soil - crop relationships. Agronomy Journal, 104: 137-147. https://doi.org/10.2134/agronj2011.0240

Ciaccia C, Kristensen HL, Campanelli G, Xie Y, Testani E, Leteo F, and Canali S. 2016. Living mulch for weed management in organic vegetable cropping systems under Mediterranean and North European conditions. Renewable Agriculture and Food Systems. 32: (3), 248–262. https://doi.org/10.1017/S1742170516000016

Ding GW, Liu X, Herbert SS, Novak JJ, Amarasiriwardena DD and Xing BS, 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. Geoderma, 130: 229-239. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.01.019

Ebrahimi A, Amini R & 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).

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).

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.

Hiltbrunner J, Jeanneret P, Liedgens M, Stamp P and Streit B. 2007. Response of weed communities to legume living mulches in winter wheat. Journal of Agronomy and Crop Science, 193: 93–102. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00250.x

Hooker KV, Coxon CE, Hackett RR, Kirwan LE, O'Keeffe EE and Richards KG, 2008. Evaluation of cover crop and reduced cultivation for reducing nitrate leaching in Ireland. Journal of Environmental Quality, 37: 138-145. https://doi.org/10.2134/jeq2006.0547

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). https://doi.org/20.1001.1.24764310.1401.32.2.12.9

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).

Moonen AC, and Barberi P. 2002. 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, 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).

Omidbeigi R. 2015. Production and Processing of Medicinal Plants, vol. 2. Astane Ghods Razavi, Mashhad. Iran.

Potter TL, Bosch DD, Joo HH, Schaffer BB, and Mu oz-Carpena RR. 2007. Summer cover crops reduce atrazine leaching to shallow groundwater in Southern Florida. Journal of Environmental Quality, 36: 1301-1309. https://doi.org/10.2134/jeq2006.0526

Rahman AM, Chikushi J, Saifizzaman M and Lauren JG. 2005. Rice straw mulching and nitrogen of no-tillwheat following rice in Bangladesh.Field Crops Research. 91:71-81. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.06.010

Sarencheh S. 2018. Evaluating the application efficiency of different herbicides rates integrated with straw mulch and hand weeding in weed management of Borage (*Borago officinalis* L.). M.Sc. Thesis. Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. Iran. (In Persian).

Zand A, Rahimian Mashhadi H, Kouchaki A, Khalqani J, Mousavi K, and Ramezani K. 2004. Weed Ecology. Publications University of Mashhad.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 153-164

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

Interaction of Smoke Water, Arbuscular Mycorrhizal Fungus and *Rhizobium* Bacterium on Yield and Yield Components of Chickpea

Saba Tavazoee[1], Saeid Jalali-Honarmand[2*], Ali Rasaei[3]

Received: 16 February 2023	Accepted: 22 September 2023

1-MSc Student, Dept. of Plant Production and Genetic, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
2-Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetic, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Kermanshah, Iran.
3-Assist. Prof., Sararood Branch, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Kermanshah, Iran.
*Corresponding Author Email: sjhonarmand@razi.ac.ir

Abstract

Background and Objective: In order to investigate the interaction of smoke water, mycorrhiza fungus and *rhizobium* bacterium on the yield and yield components of chickpea, an experiment as split plots based on randomized complete block design with three replications was carried out at the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, in 2019 cropping season.

Materials and Methods: The main plots included the foliar application of smoke water (1 lit/ha) at vegetative and beginning of flowering and soil application of smoke water (2 and 4 lit/ha) along with no use of smoke water as control. The inoculations of micro-organisms (*rhizobium*, mycorrhiza, *rhizobium*+mycorrhiza and control) were as sub factors.

Results: The results showed that the effect of smoke water on the grain yield, biological yield, pods per plant, grains per plant and 100-grain weight were significant. The effects of biological agents on the grains yield, biological yield, 100-grain weight were significant. The smoke water spraying (1 lit/ha) in terms of grain yield (547.8 kg/ha), biological yield (2122.4 kg/ha), pods per plant (13.2), grains per plant (7.6), 100-grains weight (35.5 g) had the highest values. The use of *rhizobium* with mycorrhiza in terms of grain weight (35.7 grams), grain yield (503.6 kg/ha) and biological yield (1918.0 kg/ha) had the greatest average.

Conclusion: In general, spraying of smoke water with 1 lit/ha at two stages along with inoculation of seeds with *rhizobium* and mycorrhiza can improve chickpea yield under rainfed condition.

Keywords: Chickpea, Grain Yield, Mycorrhiza, *Rhizobium*, Smoke Water

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Saeid Jalali-Honarmand Email: sjhonarmand@razi.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.55351.3001

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۱۶۴-۱۵۳

دانش کشاورزی و تولید پایدار

برهم‌کنش دودآب، قارچ مایکوریز آربوسکولار و باکتری *ریزوبیوم* بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود

صبا تواضعی[۱]، سعید جلالی‌هنرمند[۲*]، علی رسائی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۷	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳- استادیار پژوهش، معاونت سرارود، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: sjhonarmand@razi.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: به‌منظور بررسی برهم‌کنش دودآب، قارچ مایکوریز و باکتری *ریزوبیوم* (*مزوریزوبیوم سیسری*) بر روی عملکرد و اجزا عملکرد نخود دیم، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد.

مواد و روش‌ها: کرت‌های اصلی شامل محلول‌پاشی دودآب با غلظت یک لیتر در هکتار در دو مرحله رویشی و پیش از گلدهی و خاک کاربرد با غلظت‌های ۲ و ۴ لیتر در هکتار به همراه عدم استفاده از دودآب (شاهد) و تلقیح میکروارگانیسم‌ها (ریزوبیوم، مایکوریز، کاربرد توام ریزوبیوم-مایکوریز و شاهد) به‌عنوان عامل فرعی بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، اثر دودآب بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه معنی‌دار شد. اثر کود بیولوژیک بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه معنی‌دار شد. دودآب با غلظت یک لیتر در هکتار از نظر عملکرد دانه (۵۴۷/۸ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (۲۱۲۲/۴ کیلوگرم در هکتار)، تعداد غلاف در بوته (۱۳/۲)، تعداد دانه در بوته (۷/۶ دانه در بوته) و وزن صد دانه (۳۵/۵ گرم) بیشترین مقادیر را داشت. کاربرد توام ریزوبیوم و مایکوریز از نظر وزن صددانه (۳۵/۷ گرم)، عملکرد دانه (۵۰۳/۶ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۹۱۸/۰ کیلوگرم در هکتار) بالاترین میانگین را داشت.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، محلول‌پاشی دودآب با غلظت یک لیتر در هکتار در دو مرحله و تلقیح بذر با ریزوبیوم و مایکوریز می‌تواند موجب بهبود عملکرد نخود در شرایط دیم شود.

واژه‌های کلیدی: نخود ، عملکرد دانه، مایکوریز، ریزوبیوم، دودآب

مقدمه

حبوبات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی پس از غلات دومین منبع مهم غذایی به شمار می‌رود (دشتی و همکاران ۲۰۱۹). استان کرمانشاه دارای ۷۴۱۵۴۱ هکتار زمین زراعی می‌باشد که تقریباً ۲۳/۲ درصد آن آبی و ۷۶/۸ درصد به‌صورت دیم می‌باشد. از این مقدار حدوداً ۱۴۱ هزار هکتار سطح زیرکشت نخود قرارگرفته که با تولید ۶۵ هزار تن (تقریباً ۴۰ درصد تولید نخود کشور) از لحاظ سطح زیرکشت و تولید در بین استان‌ها مقام اول را دارد (آمارنامه کشاورزی ۲۰۲۲-۲۰۲۱). به این علت گیاه نخود در تناوب با گندم در زمین‌های دیم استان کرمانشاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نخود (*Cicer arietinum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی خانواده بقولات، برای غلات مکمل خوبی بوده و برای تأمین پروتئین در کشورهای درحال‌توسعه منبع غذایی با ارزشی می‌باشد و می‌تواند منبع پروتئین گیاهی برای رژیم غذایی افراد جامعه باشد (حسینیان و همکاران ۲۰۱۸). نخود به‌خاطر داشتن ویژگی منحصربه‌فرد هم‌زیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، اثر مثبت بر حاصل‌خیزی خاک گذاشته و هرساله بعد از برداشت این محصول مقادیر زیادی نیتروژن به خاک اضافه می‌شود (میرزایی‌حیدری ۲۰۲۱). این گیاه قادر است تا ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در خاک را در صورت فراهم بودن شرایط تثبیت کند (پزشکپور و همکاران ۲۰۱۵). تولید این محصول تحت شرایط دیم در ایران به‌وسیله کمبود رطوبت و فقدان مواد غذایی قابل دسترس در خاک محدود می‌شود (داشادی و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین تلاش در جهت افزایش عملکرد و ارتقاء کیفیت این محصول ضروری به‌نظر می‌رسد.

طی چند دهه اخیر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی را در افزایش آلودگی منابع آب و خاک به‌همراه داشته است (ارشدی و همکاران ۲۰۲۱). یکی از راه‌حل‌های مناسب و ارزان برای حل مشکلات زیستی که بر اثر مصرف زیاد کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی فعلی و آینده به‌وجود می‌آید، استفاده ازترکیبات فعال زیستی محرک رشد و نمو گیاهان و کودهای بیولوژیک است (خالق‌نژاد و همکاران ۲۰۱۴).

دودآب یک ترکیب فعال زیستی محرک رشد و نمو بذر و گیاه است. پتانسیل محرک دود مشتق شده از گیاهان در تحریک جوانه‌زنی بذر، افزایش رشد و افزایش عملکرد بخش‌های اقتصادی گیاهان در تحقیقات مختلف گزارش شده است (غلامی و همکاران ۲۰۱۸). کشاورزان به‌طور سنتی از آتش و دود در بخش‌های مختلفی از کشاورزی استفاده می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهد که ترکیبات فعال زیستی دود در آب محلول می‌باشند و در غلظت‌های بسیار پایین به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی کاربرد دارند (وان استادن و همکاران ۲۰۰۴). دود در کشاورزی از دو روش آئروسل و دودآب استفاده می‌شود. آسان‌ترین روش استفاده از دود کاربرد دودآب می‌باشد (نوروزی‌شهری و همکاران ۲۰۲۰). دود دارای ترکیب بوتنولید است و می‌تواند قدرت جوانه‌زنی را بهبود بخشد (اسپارگ و همکاران ۲۰۰۶). هم‌چنین یکی از انواع کودهای زیستی قارچ‌های مایکوریز است که با ریشه بیشتر گیاهان رابطه هم‌زیستی داشته و مایکوریزها یکی از میکروارگانیسم‌های مهم خاک بوده و قادرند اثر نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل کنند (سید شریفی و همکاران ۲۰۲۰).

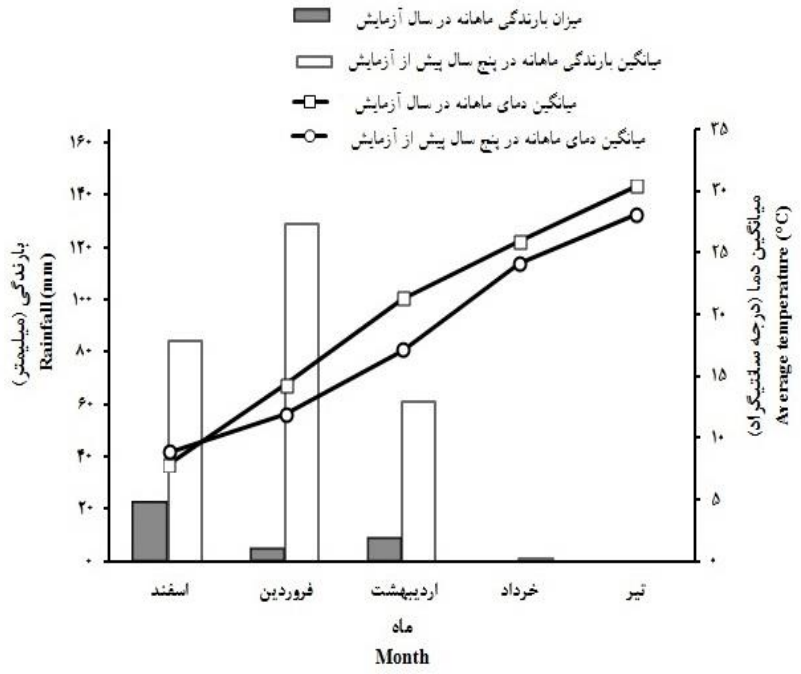
قارچ‌های مایکوریز از ریزجانداران مهم به حساب می‌آیند که با ریشه ۹۷ درصد از گیاهان هم‌زیستی دارند. به‌دلیل‌اینکه لگوم‌ها به اندازه دیگر گیاهان سیستم ریشه‌ای گسترش یافته ندارند، برای رشد، گره‌زایی و تثبیت نیتروژن به مقدار فراوانی فسفر نیاز دارند. در گیاهانی که به صورت دیم کشت می‌شوند، قارچ‌های مایکوریز می‌توانند عملکرد ویژه‌ای در جذب فسفر از خاک داشته باشند (مرادی و همکاران ۲۰۱۶). از طرفی بقولات توانایی تأمین نیتروژن مورد نیاز خود را از طریق برقراری رابطه هم‌زیستی با باکتری‌های *ریزوبیوم* را دارند. باکتری‌های *ریزوبیوم* در ریشه‌ی لگوم‌ها قرار داشته و می‌توانند نیتروژن اتمسفری را به شکل قابل

استفاده برای گیاه تبدیل نمایند (خالق‌نژاد وهمکاران ۲۰۱۴). نخود نیز مثل بقیه لگوم‌ها با باکتری‌های ریزوبیوم رابطه هم‌زیستی دارد و این همزیستی بسیار اختصاصی است (علویان‌مهریان و همکاران ۲۰۱۴). تلقیح لگوم با این باکتری منجر به تشکیل گره شده (خسروجردی و همکاران ۲۰۱۳) و هم‌چنین تلقیح بذر نخود با ریزوبیوم موجب افزایش عملکرد و بهبود کیفیت آن می‌شود و در پژوهش‌های بسیاری، اغلب تلقیح با افزایش عملکرد همراه بوده است (خزاعی و همکاران ۲۰۰۸). مشخص شده‌است که مایکوریز و ریزوبیوم قبل از اینکه هرکدام با گیاه میزبان رابطه هم‌زیستی برقرار کنند، به‌صورت مستقیم برروی هم اثر می‌گذارند. چنان‌که مایکوریزها هم در ایجاد شرایط مناسب برای تولید گره‌های رزوبیومی بر روی ریشه و هم در فراهم‌کردن بیشتر فسفر بر فعالیت نیتروژناز موجود در باکتری‌های ریزوبیوم نقش موثر دارند. در مقابل ریزوبیوم‌ها در جذب بهتر نیتروژن و به دنبال آن سنتز بیشتر اسیدهای‌آمینه و فراهم کردن اسیدهای‌آمینه مورد نیاز مایکوریزها ایفای نقش می‌کنند و کاربرد ترکیبی آن‌ها اثرات بیشتری بر بهبود عملکرد گیاه دارد (ارشدی و همکاران ۲۰۲۱ و عباسی سیه‌جانی و همکاران ۲۰۱۷).

بنابراین هدف از اجرای این آزمایش بررسی کاربرد غلظت‌های مختلف دودآب به روش محلول‌پاشی و خاک‌کاربرد همراه با تلقیح بذر با کودهای بیولوژیک مایکوریز و ریزوبیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه با مختصات عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه طول شمالی با میانگین ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا گردید. اطلاعات هواشناسی سال آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- میزان بارندگی (میلی‌متر) و میانگین دمای حداکثر و حداقل ماهانه (درجه سانتی‌گراد) شهر کرمانشاه در سال‌های آزمایش (۱۴۰۰-۱۳۹۹) (سازمان هواشناسی کشور).

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. چهار سطح دودآب و نوع کاربرد (یک لیتر در هکتار به‌صورت محلول‌پاشی، ۲ و ۴ لیتر در هکتار بصورت خاک کاربرد و شاهد) به‌عنوان عامل اصلی و سه ترکیب میکروارگانیسم شامل ریزوبیوم (۱۷۵۰ گرم نخود + ۱۰۰ میلی‌لیتر مزوریزوبیوم سیسری با غلظت CFU/ml ۱۰۷)، مایکوریز (۱۷۵۰ گرم نخود + ۱۰۰ میلی‌لیتر آب + ۶۰ گرم مایکوریز آربوسکولار+ ۵ گرم شکر)، ریزوبیوم و مایکوریز (۱۷۵۰ گرم نخود + ۱۰۰ میلی‌لیتر ریزوبیوم + ۶۰ گرم مایکوریز) به همراه شاهد به عنوان عامل فرعی در نظرگرفته شد. هر کرت فرعی شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۴ متر و فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر بود. هم‌چنین به‌منظور جلوگیری از انتقال جانبی تیمارهای مورد استفاده در هر کرت یک خط به‌صورت نکاشت و بین هر تکرار ۱/۵ متر فاصله درنظر گرفته شد. مایه تلقیح تجاری باکتری ریزوبیوم هم‌زیست نخود (مزوریزوبیوم سیسری)، از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد و مطابق با روش توصیه شده توسط این موسسه بذرهای نخود تلقیح شدند. همچنین جهت تلقیح بذور با قارچ مایکوریز از نوع میکوریز آربوسکولار با نام تجاری مایکوروت (بنابر اظهار شرکت سازنده و بر اساس تاییدیه موسسه تحقیقات خاک و آب شامل ترکیبی از گونه های مختلف مایکوریز زراعی) مطابق با روش توصیه شده استفاده گردید. رقم نخود مورد استفاده در این آزمایش عادل بود. این رقم برای مناطق معتدل و نیمه‌گرمسیری معرفی شده است که از معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود کرمانشاه تهیه شد. کاشت بذور بعد از اعمال تیمارهای ریزوبیوم و مایکوریز در اسفندماه به‌صورت دستی انجام گرفت. اعمال دودآب خاک کاربرد (۲ و ۴ لیتر در هکتار) در مرحله ۲-۱ برگی گیاه نخود انجام شده و اسپری برگی دودآب (یک لیتر در هکتار) در دو مرحله ابتدای رشد رویشی و قبل از گلدهی توسط سم‌پاش شارژی انجام گردید. فرآیند تهیه محلول زیست فعال محرک رشد (دودآب) از بقایای گیاهی با شماره ثبت اختراع ۱۰۰۷۳۷ توسط دستگاه تولید ترکیبات بیواکتیو گیاهی با شماره ثبت اختراع ۹۹۰۱۹ در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه (تولید شرکت زیست فناوران سانیار) انجام شد. در این روش گاز حاصل از احتراق ترکیب بقایای گیاهی گندم و یونجه درون راکتور مخصوص، پس از سرد شدن وارد مخزن حلال شده و بعد از به اشباع رسیدن فرایند و عملیات فیلتراسیون آزمایشگاهی (با اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از قبیل pH، هدایت الکتریکی، کدورت و رنگ سنجی) به‌صورت محلول قرمز رنگ (آجری رنگ) درآمده و مورد استفاده قرار گرفت (نوروزی‌شهری و همکاران۲۰۲۱). قبل از هر محلول‌پاشی وجین علف‌های‌هرز به‌صورت دستی انجام گرفت و در تمام طول دوره رشد گیاه، مزرعه پایش گردید تا در صورت نیاز کنترل علف‌های‌هرز، آفات و بیماری‌های احتمالی انجام شود. پس از رسیدگی فیزیولوژیک صفات عملکرد و اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن صد دانه و شاخص برداشت محاسبه شدند. در نهایت تست نرمال بودن داده‌ها و تجزیه واریانس به‌ترتیب با نرم افزارهای SPSS 16.0 و SAS 9.1 انجام شد. مقایسات میانگین داده‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر دودآب و کودهای بیولوژیک بر عملکرد دانه نخود معنی‌دار بود. اما اثرات متقابل بین آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه نخود با میانگین ۵۴۷/۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار محلول‌پاشی دودآب با غلظت یک لیتر در هکتار در دو مرحله رشد رویشی و ابتدای گلدهی بود. به‌طوری که نسبت به شاهد با میانگین ۳۴۲/۹ کیلوگرم در هکتار ۳۷/۴ درصد افزایش داشت. هم‌چنین این سطح از دودآب با سطوح خاک‌کاربرد آن با غلظت‌های ۲ و ۴ لیتر هم تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۲). هم‌چنین کاربرد

توام مایکوریز و ریزوبیوم موجب تولید دانه با میانگین ۵۰۳/۶ کیلوگرم در هکتار شد که با سایر سطوح کود بیولوژیک و شاهد تفاوت معنی‌دار داشت. چنان‌که ۲۲/۱ درصد عملکرد را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). در آزمایش غلامی و همکاران (۲۰۱۷) نتایج نشان داد که در هر سطح از کاربرد کود اوره، محلول‌پاشی با دودآب غلیظ‌تر موجب افزایش عملکرد دانه گندم نسبت به دودآب با غلظت کمتر و شاهد شد. در آزمایش نوروزی‌شهری و همکاران (۲۰۲۱) نتایج آزمایش نشان داد اثر کاربرد سطوح مختلف کود اوره و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف دودآب به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه ریحان را تحت تأثیر قرارداد اما برهم‌کنش بین کود اوره و دودآب

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات محلول‌پاشی دودآب و کودهای بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن صد دانه	شاخص برداشت
تکرار	۲	۵۱۲۱/۲۸^{ns}	۳۴۱۵۱۶/۴۶^{ns}	۶/۰۶^{ns}	۱/۳۹^{ns}	۱۰/۸۹^{ns}	۴۷/۷۳*
دودآب	۳	۱۱۹۴۱۰/۳۷**	۱۷۱۰۰۶۰/۵۵**	۲۰/۴۰**	۱۹/۴۷**	۱۱۷/۹۷**	۱۰/۹۴^{ns}
تکرار× دودآب (خطای اصلی)	۶	۱۷۶۷/۹۸	۸۲۲۹۲/۱۸	۱/۷۸	۰/۵۳	۲/۵۶	۷/۶۳
کود بیولوژیک	۳	۳۲۷۲۱/۳۷**	۴۰۵۸۵۲/۴۵**	۰/۰۷^{ns}	۱/۱۹^{ns}	۱۲۴/۶۰**	۸/۲۶^{ns}
دودآب × کود بیولوژیک	۹	۶۹۱۸/۴۲^{ns}	۸۵۵۰۶/۷۱^{ns}	۲/۰۹^{ns}	۰/۸۷^{ns}	۱۲/۷۸^{ns}	۴۲/۸۰^{ns}
خطای فرعی	۲۴	۴۴۲۸/۹۲	۵۴۰۹۴/۱۹	۳/۱۳	۱/۰۰	۱۳/۹۸	۲۳/۷۹
ضریب تغییرات(٪)	–	۱۵/۶۳	۱۴/۰۹	۱۵/۴۶	۱۶/۱۰	۱۲/۰۵	۱۸/۴۸

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

جدول ۲- نسبت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد نخود نسبت به شاهد تحت تیمارهای مختلف دودآب

دودآب	عملکرد دانه Kg.ha^{-1})	نسبت افزایش (٪)	عملکرد بیولوژیک Kg.ha^{-1}	نسبت افزایش (%)	تعداد غلاف در بوته	نسبت افزایش (٪)	تعداد دانه در بوته	نسبت افزایش (٪)	وزن صد دانه (g)	نسبت افزایش (%)
شاهد	۳۴۲/۹^{c}	۰/۰	۱۳۰۴/۰^{c}	۰/۰	۱۰/۲۵^{b}	۰/۰	۵/۱۶^{b}	۰/۰	۲۸/۵۸^{c}	۰/۰
اسپری دودآب دو مرحله	۵۴۷/۸^{a}	۳۷/۴	۲۱۲۲/۴^{a}	۳۸/۵	۱۳/۱۶^{a}	۲۲/۱	۷/۵۸^{a}	۳۱/۹	۳۵/۵۵^{a}	۱۹/۷
دودآب خاک کاربرد-۲ لیتر	۳۴۵/۷^{c}	۰/۸	۱۳۹۱/۰^{c}	۶/۲	۱۰/۵۸^{b}	۳/۱	۵/۰۸^{b}	−۱/۶	۲۹/۳۳^{bc}	۲/۷
دودآب خاک کاربرد-۴ لیتر	۴۶۶/۶^{b}	۲۶/۵	۱۷۸۲/۶^{b}	۲۶/۸	۱۱/۲۵^{b}	۸/۹	۷/۰۰^{a}	۲۶/۳	۳۰/۵۸^{b}	۶/۵
LSD5%	۴۲/۰۰۳	–	۲۸۶/۵۶	–	۱/۳۳۴۵	–	۰/۷۳۰۵	–	۱/۶۰۰۹	–

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود. به‌نظر می‌آید افزایش عملکرد دانه ناشی از کاهش درصد مرگ گلچه‌ها به واسطه کاربرد دودآب در مرحله گلدهی باشد. خسروجردی و همکاران (۲۰۱۳) اثر عامل باکتری ریزوبیوم و قارچ مایکوریز بر عملکرد دانه نخود را معنی‌دار گزارش کردند. در آزمایش قاسم‌زاده گنجه‌ای و همکاران (۲۰۱۳) تیمار ریزوبیوم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نخود گذاشت. هم‌چنین در همین آزمایش مایکوریز توانست به میزان ۳۶ درصد عملکرد محصول را افزایش دهد. در آزمایش ابوطالبیان و همکاران (۲۰۱۷) عملکرد دانه سویا تحت تأثیر اثرات ساده و برهم‌کنش سه‌گانه‌ی کود نیتروژن، برادی ریزوبیوم و مایکوریز قرارگرفت. در آزمایش دماوندی و همکاران (۲۰۱۶) اثر تیمارهای مایکوریز، باکتری و فسفر بر روی عملکرد دانه سویا معنی‌دار بودند. در آزمایش سیدشریفی و همکاران (۲۰۲۰) کودهای زیستی ریزوبیوم و مایکوریز اثر معنی‌داری بر عملکرد نخود زراعی گذاشتند. جباری و همکاران (۲۰۱۴) بیشترین عملکرد دانه نخود را برای تیمار ترکیب کود زیستی ریزوبیومی (SWRI-3+SWRI-17) به اندازه ۲۳۳۵ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. خدارحمی و همکاران (۲۰۱۳) اثر سوش‌های باکتری بر روی عملکرد دانه نخود را معنی‌دار گزارش کردند. در جایی که مایکوریز به‌عنوان تامین کننده فسفر و یک عامل مهم در جذب موادغذایی و آب از خاک در کنار ریزوبیوم حضور دارد عملکرد دانه به بالاترین میزان خود در میان تیمارها می‌رسد (صفاپور و همکاران ۲۰۱۰). افزایش عملکرد دانه بر اثر تلقیح با کودهای زیستی ممکن است به‌خاطر اثر مثبت این میکروارگانیسم‌ها بر میزان فتوسنتز، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن اتمسفر و فعالیت آنزیم نیتروژناز، تسهیل جذب عناصرغذایی و افزایش بیوماس ریشه و ساقه باشد (خالق‌نژاد و همکاران ۲۰۱۴).

جدول۳- نسبت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد نخود نسبت به شاهد تحت کاربرد کودهای بیولوژیک مختلف

کودهای بیولوژیک	عملکرد دانه $Kg.ha^{-1}$	نسبت افزایش (%)	عملکرد بیولوژیک $Kg.ha^{-1}$	نسبت افزایش (%)	وزن صد دانه (g)	نسبت افزایش (%)
شاهد	۳۹۲/۳۲^{b}	۰	۱۵۰۲/۱^{b}	۰	۲۸/۷۱^{b}	۰
مایکوریز	۴۰۲/۰۷^{b}	۲/۴	۱۵۷۳/۵۴^{b}	۴/۵	۳۰/۰۵^{b}	۴/۳
ریزوبیوم	۴۰۴/۹۷^{b}	۳/۱	۱۶۰۶/۴^{b}	۶/۵	۲۹/۵^{b}	۲/۷
مایکوریز+ ریزوبیوم	۵۰۳/۶۶^{a}	۲۲/۱	۱۹۱۸/۰۳^{a}	۲۱/۷	۳۵/۷۷^{a}	۱۹/۶
LSD5%	۵۶/۰۷۴	–	۱۹۵/۹۷	–	۳/۱۵۰۹	–

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار بایکدیگر ندارند.

عملکرد بیولوژیک

برای عملکرد بیولوژیک نیز همانند عملکرد دانه اثرات ساده دودآب و کود بیولوژیک معنی‌دار بود. اما اثر متقابل بین آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک با میانگین ۲۱۲۲/۴ کیلوگرم در هکتار با کاربرد دودآب با غلظت یک لیتر در هکتار در دو مرحله رشد رویشی و ابتدای گلدهی به‌دست آمد. این مقدار نسبت به شاهد با میانگین ۱۳۰۴/۰ کیلوگرم در هکتار ۳۸/۵ درصد افزایش از خود نشان داد (جدول ۲). هم‌چنین در سطوح کود بیولوژیک بیشترین میانگین عملکرد بیولوژیک به میزان ۱۹۱۸/۰ کیلوگرم در هکتار در کاربرد توأم ریزوبیوم با مایکوریز به‌دست آمد که نسبت به شاهد با میانگین ۱۵۰۲/۱ کیلوگرم در هکتار ۲۱/۷ درصد افزایش داشت (جدول ۳). در آزمایش قاسم‌زاده گنجه‌ای و همکاران (۲۰۱۳) تیمار ریزوبیوم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک نخود گذاشت. در

آزمایش خدایاریگانه و همکاران (۲۰۱۸) نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک نخود مربوط به مایکوریز و کمترین عملکرد بیولوژیک مربوط به عدم کاربرد مایکوریز بود. پزشکپور و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که عملکرد بیولوژیک نخود توسط فاکتور تلقیح مایکوریزی در سطح پنج درصد معنی‌دار گردیده و بین تلقیح با مایکوریز و عدم تلقیح تفاوت معنی‌داری وجود دارد به‌طوری که این صفت در تلقیح با مایکوریز ۱۲ درصد بیشتر بود. هم‌زیستی مایکوریزی از طریق بهبود میزان فتوسنتز و رشد، باعث افزایش بیوماس گیاهی و درنهایت عملکرد بیولوژیکی می‌شود. به‌نظر می‌آید هم‌زیستی مایکوریزی با فراهم کردن فسفر مورد نیاز و بهبود شرایط فیزیکی خاک، یک محیط امن برای رشد ریشه مهیا کرده و موجب افزایش رشد و افزایش تولید ماده خشک می‌شود (عباس‌دخت و همکاران ۲۰۱۶). تلقیح با مایکوریز با افزایش پتانسیل آب برگ شرایط بهتری را برای رشد فراهم کرده که حاصل آن جذب بیشتر نیتروژن، عملکرد دانه و در نتیجه افزایش وزن خشک (عملکرد بیولوژیک) است (نخزری‌مقدم و همکاران ۲۰۲۰). تلقیح با باکتری با افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه شرایط را برای افزایش فتوسنتز و رشد بیشتر و درنتیجه افزایش عملکرد فراهم کرده و به این ترتیب باعث افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود (نخزری‌مقدم و همکاران ۲۰۲۰).

تعداد غلاف در بوته

برای صفت تعداد غلاف در بوته فقط اثر ساده دودآب معنی‌دار بود و اثر ساده کودهای بیولوژیک و اثر متقابل بین آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیشترین تعداد غلاف در بوته با میانگین ۱۳/۲ غلاف در بوته مربوط به محلول‌پاشی دودآب با غلظت یک لیتر در هکتار و در دو مرحله رشد و نمو بود. این تعداد نسبت به شاهد با میانگین ۱۰/۲ غلاف در بوته ۲۲/۱ درصد افزایش را نشان می‌دهد (جدول ۲). در آزمایش خدارحمی و همکاران (۲۰۱۳) اثر سوش‌های باکتری *ریزوبیوم* بر روی صفت تعداد غلاف در بوته نخود معنی‌دار نبود. خندان بجندی و همکاران (۲۰۱۰) اثر تلقیح نخود با *ریزوبیوم* بر روی صفت تعداد غلاف در بوته را غیرمعنی‌دار گزارش کردند. *ریزوبیوم‌ها* بر صفت تعداد غلاف در بوته اثر سودمند معنی‌داری دارند (مرادی و همکاران ۲۰۱۶).

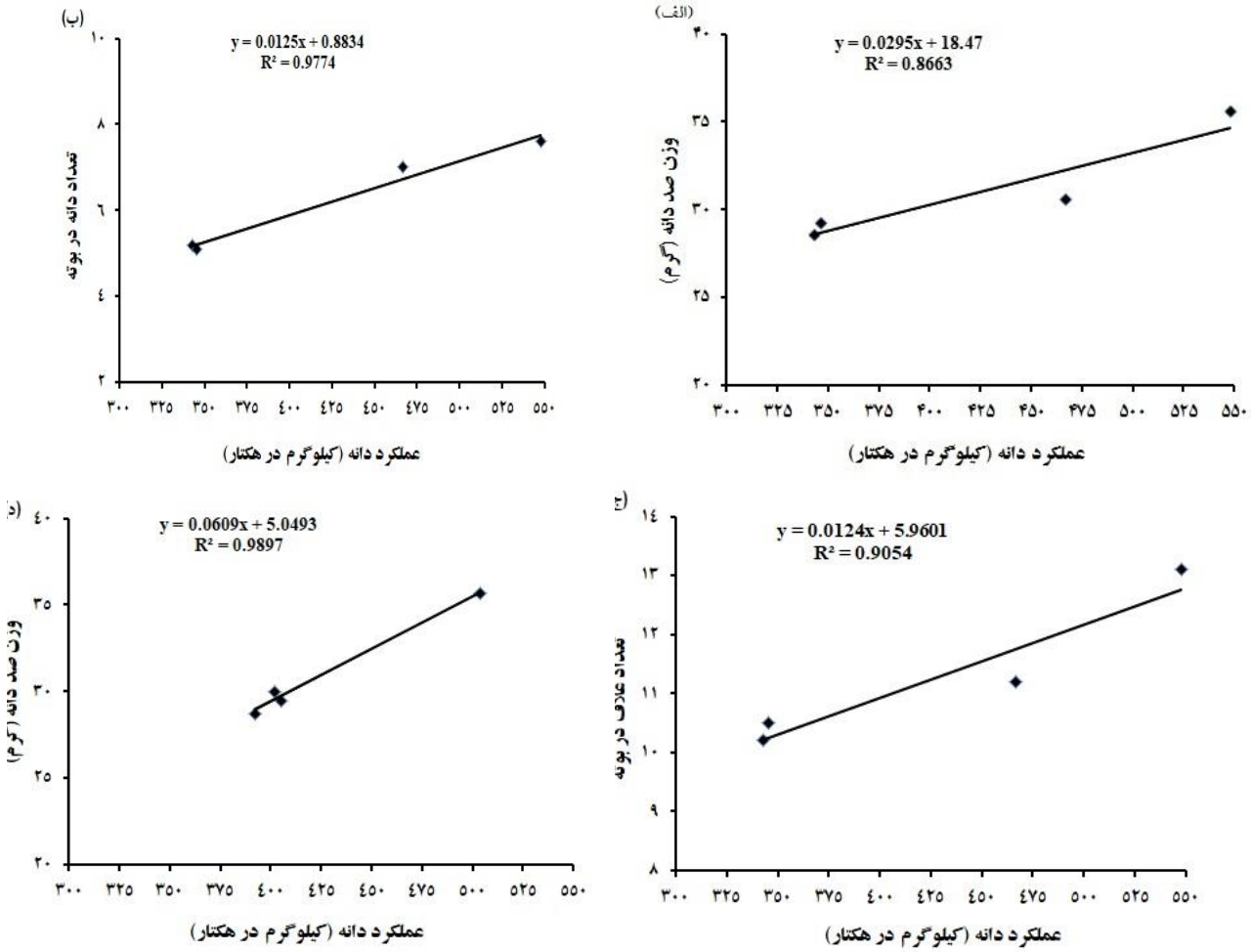
تعداد دانه در غلاف

اثر ساده دودآب برای تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود. اما اثر ساده کودهای بیولوژیک و اثر متقابل بین آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیشترین تعداد دانه در بوته با میانگین‌های ۷/۶ و ۷/۰ دانه در بوته مربوط به محلول‌پاشی دودآب با غلظت یک لیتر در هکتار و در دو مرحله رشد و نمو و کاربرد خاک‌مصرف دودآب با غلظت ۴ لیتر در هکتار بود. این مقادیر نسبت به شاهد با میانگین ۵/۱ دانه در بوته به‌ترتیب ۳۱/۹ و ۲۶/۳ درصد افزایش داشتند (جدول ۲). در آزمایش خدارحمی و همکاران (۲۰۱۳) اثر سوش‌های باکتری *ریزوبیوم* بر روی صفت تعداد دانه در بوته نخود معنی‌دار نبود. در آزمایش خندان‌بجندی و همکاران (۲۰۱۰) اثر تلقیح نخود با *ریزوبیوم* بر روی تعداد دانه در بوته غیرمعنی‌دار بود.

وزن صد دانه

برای وزن صد دانه هم اثرات ساده دودآب و هم اثرات ساده کودهای بیولوژیک معنی‌دار شد. اما اثرات متقابل بین آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۱). محلول‌پاشی دودآب با غلظت یک لیتر در هکتار و در دو مرحله رشد و نمو با میانگین ۳۵/۵ گرم بیشترین وزن صد دانه را نسبت به شاهد با میانگین ۲۸/۶ گرم داشت. این مقدار ۱۹/۷ درصد افزایش را در وزن صد دانه نشان می‌دهد (جدول ۲). هم‌چنین استفاده توام *ریزوبیوم* و مایکوریز با میانگین ۳۵/۷ گرم نسبت به شاهد با میانگین ۲۸/۷ گرم افزایش ۱۹/۶ درصدی را از خود نشان داد (جدول ۳). رابطه مثبت و بالایی بین وزن صد دانه با عملکرد دانه تحت تیمارهای دودآب و کودهای بیولوژیک بود (شکل ۲- الف و د).در آزمایش زنگ و همکاران (۲۰۰۰) اثر تلقیح بذر لوبیا با *Rhizobium phaseoli* بر صفت وزن صد دانه معنی‌دار بود. در آزمایش قاسم‌زاده گنجه‌ای و همکاران (۲۰۱۳) تیمار تلقیح مزوریزوبیوم افزایش معنی‌داری در

صفت وزن صد دانه نخود نسبت به شاهد ایجاد نمودند. در آزمایش ارشدی و همکاران (۲۰۲۱) نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین سطوح کاربرد مایکوریز تفاوت وجود دارد به‌طوری‌که وزن صد دانه نخود در تلقیح با مایکوریز (۲۸/۵ گرم) در مقایسه با عدم تلقیح (۲۷/۶ گرم) ۳/۳ درصد بیشتر بود. در آزمایش ابوطالبیان و همکاران (۲۰۱۷) نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد باکتری مزوریزوبیوم و قارچ‌ریشه وزن صد دانه نخود هاشم را در سطح احتمال ۵ درصد تحت تاثیر قراردادند. از آنجا



شکل۲- روابط بین عملکرد دانه با وزن صد دانه (الف)، تعداد دانه در بوته (ب)، تعداد غلاف در بوته (ج) تحت کاربرد محلول دودآب و ارتباط بین عملکرد دانه با وزن صد دانه (د) تحت کاربرد کودهای مختلف بیولوژیک با بذر نخود

که افزایش هدایت روزنه‌ای و باز و بسته شدن روزنه‌ها در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریز باعث رشد بیشتر ریشه‌ها و افزایش جذب آب و موادغذایی می‌شود، علت افزایش وزن صد دانه در گیاهان تلقیح شده با مایکوریز را تامین رطوبت بیشتر در این تیمارها می‌توان درنظر گرفت (نخ‌زری‌مقدم و همکاران ۲۰۱۶).

شاخص برداشت

برای شاخص برداشت هیچ‌کدام از اثرات ساده و متقابل دودآب و کودهای بیولوژیک معنی‌دار نبود (جدول ۱). در آزمایش حضرتی گجلار (۲۰۱۹) اثر باکتری ریزوبیوم بر شاخص برداشت لوبیاچیتی معنی‌دار نبود. در آزمایش غلامی و همکاران (۲۰۱۸) شاخص برداشت گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد اوره و محلول‌پاشی با دودآب قرارگرفت ولی اثر متقابل این دو عامل بر این صفت معنی‌دار نبود. نوروزی‌شهری و

همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که شاخص برداشت گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کود اوره و محلول‌پاشی با دودآب قرارگرفت ولی برهم‌کنش این دو عامل بر این صفت غیرمعنی‌دار بود. خدارحمی و همکاران (۲۰۱۳) اثر سوش‌های باکتری بر روی شاخص‌برداشت نخود را معنی‌دار گزارش کردند. در آزمایش صفاپور و همکاران (۲۰۱۰) اثر مایکوریز و باکتری *ریزوبیوم* و اثر متقابل این دو بر شاخص‌برداشت لوبیاقرمز معنی‌دار نبود.

نتیجه‌گیری

فاکتور دودآب بر روی صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه اثر معنی‌دار گذاشت. اثر کود بیولوژیک بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه معنی‌دار شد. از نظر صفت عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه تیمار محلول‌پاشی دودآب با غلظت یک لیتر در هکتار در دو مرحله رویشی و ابتدای گلدهی نسبت به بقیه سطوح دودآب و کودبیولوژیک برتری نشان داد. نتایج به‌دست آمده از تجزیه رگرسیون رابطه مثبت و بالایی بین وزن صد دانه با عملکرد دانه تحت تیمارهای دودآب و کودهای بیولوژیک نشان داد (شکل ۲ الف و د). تعداد دانه در بوته با عملکرد دانه تحت کاربرد دودآب رابطه بسیار مثبت و بالایی داشت (R^2=0.97) (شکل ۲ ب). تعداد غلاف در بوته با عملکرد دانه تحت کاربرد سطوح مختلف دودآب رابطه مستقیم و بالایی داشت (R2=0.90) (شکل ۲ ج). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت تلقیح بذور نخود با کودهای بیولوژیک مایکوریز و *ریزوبیوم* و هم‌چنین محلول‌پاشی گیاه با دودآب با غلظت یک لیتر در هکتار در دو مرحله می‌تواند عملکرد دانه نخود را در شرایط دیم بهبود ببخشد یا اینکه از افت عملکرد آن جلوگیری کند.

سپاسگزاری

نتایج این مقاله بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده نفر اول می‌باشد. از دانشگاه رازی به دلیل حمایت مالی و فراهم نمودن امکانات جهت اجرای این آزمایش سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abasdokht H and Safdari F. 2016. Relation of inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and Mycorrhizal Fungus with Root Colonization, Quantity and Quality of Soybean (*Glycine max*) Yield in Different Levels of Potassium. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 23(6): 57-70. (In Persian).

Abbasi Seyahjani E, Yarnia M, Farhvash F, Khorshidi Benam MB and Asadi Rahmani H. 2017. Influence of *Rhizobium*, *Pseudomonas* and Fungi Mycorrhiza on Some Traits of Red Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under Drought Stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(1): 85-102. https://dorl.net/20.1001.1.24764310.1396.27.1.6.6.

Aboutalebian MA and Malmir M. 2017. Effect of mycorrhiza and *Bradyrhizobium* on yield and yield components of Soybean in different amounts of nitrogen fertilizer. Iranian Journal of Field Crop Science, 48(4): 901-911. (In Persian). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.210402.654143.

Agricultural Statistics. 20201-2022. Ministry of Agriculture Jihad, Crops, No1: p. 100. (In Persian).

Alavian Mehrian A, Bahar M and Talebi Bodaf M. 2014. Molecular identification of chickpea symbiotic rhizobiums in the western regions of Iran. Journal of Plant Sciences in Iran, 45(1): 135-146. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ IJFCS.2014.51028.

Arshadi MJ, Parsa M, Lakzian A and Kafi M. 2021. Evaluation of root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under treatments of *rhizobium*, arbuscular mycorrhiza and pseudo-endomycorrhiza on conditions of sterilized and non-sterile soil. Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 2(2): 241-254. (In Persian). https://doi.org/10.22034/CSRAR.2021.268645.1080.

Damavandi M, Saboori H, Biabani A, Raeisi S and Arzanesh MH. 2016. Effects of mycorrhizal fungus and *Bradyrhizobium* japonicum bacteria on the growth characteristics and yield of soybean at different levels of phosphorus fertilizer. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 3(1): 139-159. (In Persian).

Dashti Gh, Alafi Kh and Ghahramanzadeh M. 2019. The effect of weather variables on the probability of deciding to plant and yield of chickpeas in Iran. The application of the spatial Heckman model, Agricultural Economics and Development, 27(108): 145-169. (In Persian).). https://doi.org/10.30490/AEAD.2020.252691.0.

Dashadi M and Pezeshkpour P. 2018. Investigating the levels of phosphorus and zinc on the quantitative and qualitative characteristics of the seeds of two rainfed chickpea varieties. Plant Production (Scientific Journal of Agriculture), 41(3): 13-24. (In Persian). https://doi.org/10.30490/AEAD.2020.252691.0.

Gholami B, Noroozi Shahri F, Mondani F, Jalali Honarmand S and Saeeidi M. 2018. Evaluation of Some Growth Indices and Grain Yield in the wheat in Response to Urea Fertilizer and Smoke-Water. Crop Improvement (Journal of Agriculture Crop Production), (20) 3: 609-626. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2018.250390.1929.

Ghasemzadeh Ganjehie M and Asgharzadeh A. 2013. Effects of *rhizobiums* sush inoculation and fertilizer on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Khorasan- Razavi. Iranian Journal of Pulses Research, (4) 1: 51-58. (In Persian). https://doi.org/10.22067/IJPR.V1392I1.33514.

Hazrati Gajlar N, Jalilian J and Pirzad A. 2019. Effect of *Rhizobium* and Mycorrhiza on Some Physiological Traits, Yield and Qualitative Characteristics of Pinto Bean in Deficit lrrigation Condition. Journal of Crop Production and Processing, 9(1): 93-109. (In Persian). https://doi.org/10.29252/jcpp.9.1.93.

Hoseinian H, Akbari N, Easvand HM, Akbarpour A and Saeidinia M. 2018. Effect of drought stress and glycine betaine foliar application on photosynthetic components of chickpea plant. Water and Irrigation Management, 8(2): 227-236. (In Persian). https://doi.org/JWIM.2018.264690.631.

Jabari F and Khaleghnejad V. 2014. nvestigating the effect of some biofertilizers on water relations, chlorophyll content and gas exchange of chickpea plants In rainfed and fallow farming. Journal of Iranian Agricultural Plants, 45(1): 53-64. (In Persian). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2014.51026.

Khandan Bejandi T, Seyed Sharifi R, Sedghi M, Asghari Zakaria R, Namvar A and Jafari Moghaddam M. 2010. Effect of plant density, *rhizobia* and microelements on yield and some of morph physiological characteristics of chickpea. European Journal of Crop Production, 3(1): 139-157. https://dorl.net/20.1001.1.2008739.1389.3.1.9.4.

Khaleghnejad V and Jabari F. 2014. The effect of seed inoculation with *rhizobium* and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on the yield and yield components of field peas in wet and dry conditions. Journal of Crops Improvement: 16(4): 957-972. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2015.53589.

Khodarahmi M, Sabaghpour H and Farnia A. 2013. Effect of Different Strains of *Rhizobium* on Seed Yield and Its Components of Improved Chickpeam (*Cicer arietinum* L.) Cultivars. Journal of Crops Improvement, 29(3): 403-412. (In Persian). https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110522.

Khodayar Yeganeh N, Pirzad A, Jalilian J and Jafarzadeh N. 2018. Effect of arbuscular mycorrhiza fungus (*Funneliformis mosseae*) and weeds interference on yield and yield components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dryland conditions in Urmia. Journal of Iran Rainfed Agriculture, 7(1): 47-62. (In Persian). https://doi.org/10.22092/idaj.2018.116775.191.

Khazaie HR, Parsa M and Hosseinpanahi F. 2008. Effects of inoculation of *Rhizobium* native strains on nodulation of Kaboli and Dessi Chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in different moisture levels in vegetative stage. Iranian Agricultural Research Journal, 6(1): 89-97. (In Persian). https://doi.org/10.22067/GSC.V6I1.1179.

Khosrojerdi M, Shahsavani Sh, Gholipoor M and Asghari HR. 2013. Effect of *rhizobium* and mycorrhizal fungi inoculation on some nutrient uptake by chickpea at different levels of iron sulfate fertilizer. Crop Production, 6(2): 71-87. (In Persian). https://dorl.net/20.1001.1.2008739.1392.6.3.5.5.

Mirzaie Heydari M. 2021. Investigating the effect of mycorrhizal fungus and supplementary irrigation on the growth, yield and yield components of chickpea in autumn and spring growing season in the climatic conditions of Ilam province. Islamic Azad University, Ahvaz branch, 13(50): 23-45. (In Persian).

Moradi S, Besharati H, Fazie Asl V and Shakhi J. 2016. Transformation of morphological characteristics of chickpea root and shoot under drought stress and treatments of arbuscular root fungus and *rhizobium*. Science and Techniques of Greenhouse crops, 7(26): 179-191. (In Persian). https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.2.179.

Nakhzari Moghaddam A and Gholami A. 2016. The effect of inoculation with mycorrhizal fungi and irrigation management on the quantitative and qualitative characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Environmental stresses in Crop sciences, 9(4): 353-362. (In Persian). https://doi.org/10.22069/EJCP.2019.15472.2153.

Nakhzari Moghaddam A, Samsami N, Rahemi Karizaki A and Gholinezhad E. 2020. Effect of irrigation on physiological traist and seed yield of soybean under inoculation with mycorrhiza fungi and *rhizobium* bacteria. Environmental stresses in Crop Sciences, 13(2): 413-423. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2019.2131.1531.

Noroozi Shahri F, Gholami B, Jalali Honarmand S, Mondani F and Saeedi M. 2018. Evaluting the Effect of Smoke Water and Nitrogen Fertilizer on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Ecophysiological Traits. Iranian Journal of Field Crops Research, 16(2): 459-475. (In Persian). https://doi.org/10.22067/GSC.V16l2.66520.

Noroozi Shahri F, Jalali Honarmand S, Saeidi M. 2020. Evaluation of growth Phytohormones and different Concentrations of plant derived smoke applications on growth characteristics and biological yield of medicinal plants Lemon balm and Basil. Crop Improvement (Journal of Agriculture Crop Production), 20(1): 89-102. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2019.280801.2211.

Noroozi Shahri F, Jalali Honarmand S, Saeidi M and Mondani F. 2021. Evaluation of some biochemical characteristics of medicinal Plant basil (*Ocimum basilicum* L.) under the application of growth phytohormones and phytohormones-like. Plant Process and Function, 10(42): 89-102. (In Persian). https://dorl.net/20.1001.1.23222727.1400.10.42.19.1.

Pezeshkpour P, Ardakani MR, Paknejad F and Vazan S. 2014. The effect of vermicompost application, mycorrhizal symbiosis and biological phosphate dissolver on the physiological traits and yield of chickpea, Crop Physiology Scientific Quarterly, 6(23): 53-65. (In Persian). https://dorl.net/20.1001.1.2008403.1393.6.23.4.8.

Pezeshkpour P, Ardakani MR, Paknejad F and Vazan S. 2015. Effects of vermicompost, microorganism's mycorrhiza and phosphate biofertilizer on some morphophysiological characteristics and seed protein percent of Chickpea in autumn plantation. Journal Scientific Research of Plant Ecophysiology, 7(22): 190-204. (In Persian).

Seyed Sharifi R and Seyed Sharifi R. 2020. Effect of irrigation withholding in reproductive stages and methanol ssand biofertilizer application on yield and some biochemical traits of Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences, 13(3): 857-869. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2020.2216.1558.

Safapour M, Ardakani MR, Rajali F, Khaghani Sh and Teymoori M. 2010. The effect of double inoculation of mycorrhiza and *rhizobium* on the yield of three varieties of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). New Findings of Agriculture, 5(1): 21-35. (In Persian).

Sparg SG, Kulkasrni MG and Van Staden J. 2006. Aerosel smoke and smoke-water stimulation of seedling vigor of a commercial maize cultivar. Crop science, 46(3): 1336-1340. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.07-0324.

Van Staden J, Jager AK, Light ME and Burger BV. 2004. Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. South African Journal of Botany, 70:654-659. https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30206-4.

Zang H, Pala M, Oweis Y and Harris H. 2000. Water use and water use efficiency of chickpea and lentil in a Mediterranean environment. Australian Journal of Agricultural Research, 51: 295-30. https://doi.org/10.1071/AR99059.

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 165-180

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

Morphophysiological Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to Salicylic Acid Priming and Chelate Nanofertilizer Application in Dryland Conditions

Leila Abbasi[1], Ali Khorgami[2*], Masoud Rafiee[3]

Received: 19 February 2023	Accepted: 22 September 2023

1-Ph.D Student of Agronomy, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, and Khorramabad, Iran.
2-Assoc. Prof. Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Khorramabad, Iran.
3-Assist. Prof. Crop and Horticultural Science Research Dept, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREO, Khorramabad, Khorramabad, Iran.
*Corresponding Author Email: ali_khorgamy@yahoo.com

Abstract

Objectives: The study was conducted to investigate the effect of salicylic acid priming and nanofertilizer application on the yield and some morphological characteristics of two chickpea cultivars in order to select the most appropriate treatment under rainfed conditions.

Materials and Methods: This experiment was carried out as factorial-split in the form of a basic design of randomized complete blocks with three replications in two crop years 2015-2016 and 2015-2016 in Khorramabad, Lorestan. The variety factor includes Adel and Grit, and salicylic acid priming, including no priming and priming in the main plots, and nanofertilizer in four levels, including control and foliar spraying at the rate of one, two and three liters per hectare were placed in sub-plots.

Results: The results showed that in both the Adel and Greet, the highest number of seeds per plant, hundred seed weight, seed yield and harvest index were obtained from salicylic acid and nanofertilizer spraying depending on the amount of use. In both Adel and Great, the highest seed yield was produced by the application of salicylic acid with two liters per hectare of nanofertilizer (1840 and 1152 kg/hectare, respectively). The highest level of leaf greenness, seed protein and protein yield was also obtained from the application of salicylic acid with half to one liter per hectare of nanofertilizer.

Conclusion: In general, the Adel cultivar with salicylic acid priming and spraying at least half a liter per hectare of nanofertilizer is recommended to improve the quantity and quality of chickpeas in dry conditions.

Keywords: Leaf Greenness, Relative Water Content, Seed Protein, Seed Yield, Yield Components

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Ali Khorgami Email: ali_khorgamy@yahoo.com
https://doi.org/10.22034/saps.2023.55487.3002

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۱۸۰-۱۶۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

واکنش مورفوفیزیولوژیک نخود (*Cicer arietinum* L.) به پرایمینگ سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی نانوکود کلات در شرایط دیم

لیلا عباسی[۱]، علی خورگامی*[۲]، مسعود رفیعی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱

۱-دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران.
۲-دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران.
۳-بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران.
* مسئول مکاتبه: Email: ali_khorgamy@yahoo.com

چکیده

اهداف: مطالعه به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی نانوکود بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفولوژیک دو رقم نخود برای انتخاب مناسب‌ترین تیمار در شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل- اسپلیت در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در خرم‌آباد لرستان اجرا شد. عامل رقم شامل دو رقم عادل و توده محلی گریت و عامل پرایمینگ بذر با محلول سالیسیلیک اسید شامل بدون پرایمینگ و پرایمینگ سالیسیلیک اسید به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل محلول پاشی نانوکود کلات مخصوص حبوبات در چهار سطح شامل محلول پاشی با آب مقطر (شاهد) و محلول پاشی به میزان یک، دو و سه لیتر در هکتار در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در هر دو رقم عادل و توده محلی گریت، بیشترین تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت از پرایمینگ سالیسیلیک اسید و محلول پاشی نانوکود بسته به میزان مصرف بدست آمد. در هر دو رقم عادل و توده محلی گریت، بیشترین عملکرد دانه از کاربرد سالیسیلیک اسید با مصرف دو لیتر در هکتار نانوکود (به‌ترتیب ۱۸۴۰ و ۱۱۵۲ کیلوگرم در هکتار) تولید شد. بالاترین میزان سبزینگی برگ، پروتئین دانه و عملکرد پروتئین نیز از کاربرد سالیسیلیک اسید با مصرف نیم تا یک لیتر در هکتار نانوکود حاصل شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع، رقم عادل با پرایمینگ سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی حداقل نیم لیتر در هکتار نانوکود جهت بهبود کمیت و کیفیت نخود در شرایط دیم توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، پروتئین دانه، سبزینگی برگ، عملکرد دانه، محتوای آب نسبی

مقدمه

تنش خشکی ناشی از نامناسب بودن مقدار و توزیع بارندگی در شرایط دیم، روی فرایندهای رشد و نمو گیاهان مؤثر است که به‌صورت تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک بروز می‌کند (وانگ ۲۰۰۱). تنظیم کننده‌های رشد گیاهی به طور وسیع در محصولات کشاورزی به عنوان عاملی برای بهبود عملکرد محصولات بکار برده می‌شوند و اغلب برای افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها استفاده می‌شوند (رائی و همکاران ۲۰۱۵). اسید سالیسیلیک، یا اسید ارتو–هیدروکسی بنزوئیک، یک تنظیم کننده رشد درونی از گروه ترکیبات فنلی طبیعی می‌باشد که در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک گیاه از جمله القای گلدهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن و تنفس نقش دارد. استفاده از روش پرایمینگ یکی از روش‌های بهبود کارکرد بذر و افزایش کیفیت بذر در شرایط نامساعد محیطی می‌باشد (عبدالهی و شکاری ۲۰۱۲). در پژوهشی محمدی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که پرایمینگ دانه‌های گلرنگ با اسید سالیسیلیک موجب افزایش وزن خشک گیاه گلرنگ از طریق بهبود روابط آبی (لطفی و همکاران ۲۰۱۲) و تاثیر بر پایداری غشاء (یوسف و همکاران ۲۰۱۲) شد. نظار و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان فتوسنتز در دو رقم لوبیا سبز تحت شرایط عدم تنش و تنش شوری گردید. محمدی و همکاران (۲۰۱۱) اعلام کردند که پرایمینگ دانه‌های گلرنگ با اسید سالیسیلیک سرعت سبز شدن در مزرعه را افزایش داد که این امر منجر به تعداد برگ بیشتر در گیاه و به دنبال آن افزایش جذب نور و فتوسنتز شد. شاکوریوا (۲۰۰۷) گزارش کرد که اسید سالیسیلیک باعث افزایش هورمون‌های اکسین و سیتوکینین در بافت‌های گیاهی گردید که به دنبال آن موجب افزایش رشد گیاهان شد. در تحقیقی گزارش گردید که پرایمینگ بذرهای برنج با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید، عملکرد این گیاه را به طور معنی‌داری افزایش داد (فروق و همکاران ۲۰۰۹). مجد و همکاران (۲۰۰۶) اعلام کردند که با توجه به اینکه اسید سالیسیلیک بعنوان یک ماده شبه هورمونی شناخته شده است بنظر می‌رسد این ماده با تاثیر بر سیستم‌های رویشی و زایشی موجب افزایش تعداد شاخه و غلاف در گیاه نخود گردید.

از مهمترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های کشاورزی در بخش آب و خاک می‌توان به استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان اشاره نمود (رضایی و همکاران ۲۰۰۸). ذرات کودی می‌توانند با غشاهایی در مقیاس نانو پوشیده شوند که رها سازی آهسته و مداوم عناصر غذایی را تسهیل می‌کند (لیو و همکاران ۲۰۰۶). استفاده از نانو کودها منجر به افزایش کارآیی جذب عناصر غذایی، کاهش سمیت عناصر در خاک، به حداقل رساندن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود (نادری و دانش شهرکی ۲۰۱۸). نانوذرات با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر، باعث تماس بیشتر کود با ریشه گیاه و در نتیجه افزایش جذب مواد مغذی و احتمالاً بازده عناصر می‌گردد و حلالیت عناصر را در آب افزایش می‌دهد، بنابراین فعالیت نانو ذرات افزایش یافته و در نتیجه عملکرد گیاه را بهبود می بخشد (ژوزف ۲۰۰۶). در آزمایشی محلول پاشی نانو ذرات آهن به‌میزان نیم لیتر در هکتار برای لوبیا چشم بلبلی تعداد غلاف، وزن هزار دانه، مقدار آهن برگ‌ها و مقدار کلروفیل را به‌طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش داد (دلفانی و همکاران ۲۰۱۴). در بررسی اثرات نانو ذرات اکسید آهن و مقایسه آن با سولفات آهن و کلات آهن بر روی رشد و محصول دو رقم لوبیا چیتی، نانو ذره ۰/۱ درصد و روش دوبار محلول‌پاشی قبل و بعد از گلدهی بیشترین تأثیر را بر اجزای عملکرد نشان داد (فراهانی ۲۰۱۲). محلول پاشی کلات نانوذرات آهن اثرات قابل توجه و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر رشد و عملکرد دانه گندم داشته است (هرسینیا و همکاران ۲۰۱۴). استفاده از کود حاوی ذرات نانو در مقایسه با مقدار مساوی کود شیمیایی NPK باعث افزایش ارتفاع گیاه گندم شد و گیاهان تیمار شده با این کود دارای غلظت بیشتری از عناصر بخصوص

جدول ۱-آمار هواشناسی سال‌های زراعی ۶-۱۳۹۵ و ۷-۱۳۹۶ (منبع: ایستگاه هواشناسی ایمان آباد خرم‌آباد)

ماه	درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)								بارندگی (mm)	
	کمینه		بیشینه		میانگین		کمینه مطلق		بیشینه مطلق	
	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷
مهر	۱۰/۹	۱۰/۶	۲۷/۵	۲۷/۱	۱۹/۲	۱۸/۹	۶/۶	۳/۶	۳۱/۴	۳۲/۲
آبان	۸/۴	۷/۶	۲۱/۹	۲۲	۱۵/۱۵	۱۴/۸	۳/۵	۰/۵	۲۶/۴	۲۷/۶
آذر	۱/۳	۰	۱۱/۸	۱۳/۶	۶/۵۵	۶/۸	-۶/۷	-۴/۳	۱۷/۹	۱۸/۷
دی	۱/۵	۰/۳	۱۱/۹	۱۳/۵	۶/۷	۶/۹	-۴/۷	-۵/۵	۱۶/۴	۱۹/۷
بهمن	-۱/۹	۰/۸	۷/۸	۱۲/۲	۲/۹۵	۶/۵	-۱۶/۲	-۶/۶	۱۳/۱	۱۷/۵
اسفند	۲/۱	۳/۵	۱۴/۳	۱۵/۶	۸/۲	۹/۶	-۹/۳	-۰/۸	۲۱/۹	۲۱
فروردین	۶/۸	۶/۶	۱۷/۷	۲۰/۶	۱۲/۲۵	۱۳/۶	۰/۶	۱/۲	۲۶/۷	۲۶/۸
اردیبهشت	۱۱/۹	۱۰	۲۶	۲۳	۱۸/۹۵	۱۶/۵	۳/۴	۵	۳۰	۳۰
خرداد	۱۲/۵	۱۵	۳۱/۵	۳۳	۲۲	۲۴	۵/۲	۱۱/۸	۳۴/۸	۳۷
جمع									۴۵۶	۴۷۳

نیتروژن بودند (ژانگ و همکاران ۲۰۰۷). به‌گزارش ایقائی اسکوئی (۲۰۱۷)، نانوکود اثر معنی‌داری بر صفات زراعی و کیفیت دانه لوبیا داشت. حمزه‌ئی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانو کود آهن سبب افزایش ارتفاع، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه در گیاه نخود در مقایسه با تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی نانو کود آهن) گردید.

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه

سال زراعی	درصد کربن آلی	درصد نیتروژن	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب $mg.kg^{-1}$	روی قابل جذب	هدایت الکتریکی $dS.m^{-1}$	اسیدیته	درصد آهک	بافت خاک
۱۳۹۵-۹۶	۱/۱۱	۰/۵۴	۸/۷	۴۳۰	۷/۷۶	۰/۳۴	۱/۰۴	۷/۹۷	۱۵/۹	رسی سیلتی
۱۳۹۶-۹۷	۱/۰۵	۰/۵۱	۸/۲	۴۱۲	۷/۳	۰/۲۷	۰/۶۱	۷/۹۷	۲۷/۵	رسی سیلتی

مشخصات هواشناسی محل آزمایش بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی ایمان آباد خرم‌آباد در جدول ۱ ارائه گردیده است. بر اساس آمار بلند مدت متوسط حداقل، حداکثر و متوسط حرارت به ترتیب ۹/۲، ۲۵/۲ و ۱۷/۲ درجه سانتیگراد دارای اقلیم معتدل با متوسط بارش سالیانه ۵۲۵ میلی‌متر و میانگین رطوبت نسبی ۴۶/۷ درصد می‌باشد. میزان بارندگی طی دو سال تقریباً برابر بود (به‌ترتیب ۴۵۶ و ۴۷۳ میلی‌متر)، لیکن توزیع آن متفاوت بود. طی هر دو سال زراعی میزان بارش پائیزی در آبان ماه بسیار کم بود و در ماه‌های بعد توزیع تقریباً یکنواخت و مشابهی داشت، اما میزان بارندگی در اردیبهشت ماه که مصادف با مرحله پرشدن دانه بود، در سال زراعی اول ۶۶ میلی‌متر ولی در سال زراعی دوم ۱۵۳ میلی‌متر بود. کمینه مطلق درجه

حرارت نیز در سال اول ۱۶/۲- و در سال دوم ۶/۶- درجه سانتی‌گراد بود که هر دو در بهمن به‌وقوع پیوست.

عملیات کاشت مشتمل بر شخم با گاوآهن برگردان دار پس از اولین بارندگی مؤثر و در خاک گاورو در ۱۵ آبان ماه بود. بر اساس نتایج آزمون خاک مقدار ۲۰ کیلوگرم کود اوره به همراه ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم به‌صورت یکنواخت پاشیده شد و بوسیله دیسک سبک مخلوط گردید. هر کرت فرعی در بر گیرنده ۵ خط کاشت ۵ متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر (با مساحت ۷/۵ مترمربع) بود. در هنگام کشت جهت انجام پرایمینگ بذر، بذور نخود به مدت چهار ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس بذور خشک شده پس از ضدعفونی با قارچ کش بنومیل به نسبت دو در هزار جهت جلوگیری از آلودگی‌های قارچی ضدعفونی گردید. کلیه عملیات زراعی مطابق معمول منطقه و بر اساس توصیه‌های تحقیقاتی انجام پذیرفت. بقیه کود نیتروژنه در مرحله ساقه رفتن به‌مقدار ۵۰ کیلوگرم کود اوره بصورت سرک در اسفند ماه در مرحله رشد سریع مصرف شد. وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی در دو مرحله انجام شد.

در مرحله گلدهی شاخص سطح برگ، میزان سبزینگی برگ و محتوی رطوبت نسبی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان سبزینگی برگ از هر کرت فرعی در مرحله گلدهی ۱۰ برگ به‌صورت تصادفی انتخاب شد و میزان سبزینگی برگ‌ها با دستگاه کلروفیل‌سنج (مدل SPAD502) اندازه گیری گردید. برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ در مرحله گلدهی از هر کرت فرعی برگ‌های بالایی پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و وزن تازه آنها اندازه‌گیری شد. سپس، وزن اشباع با قرار دادن برگ‌ها به‌مدت شش ساعت در آب مقطر و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و وزن خشک برگ‌ها پس از قرار گرفتن در آون برقی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری گردید. محتوای آب نسبی برگ از نسبت تفاضل وزن تازه و خشک برگ به تفاضل وزن اشباع و خشک برگ ضرب در ۱۰۰ به‌دست آمد (ریچی و همکاران ۱۹۹۰).

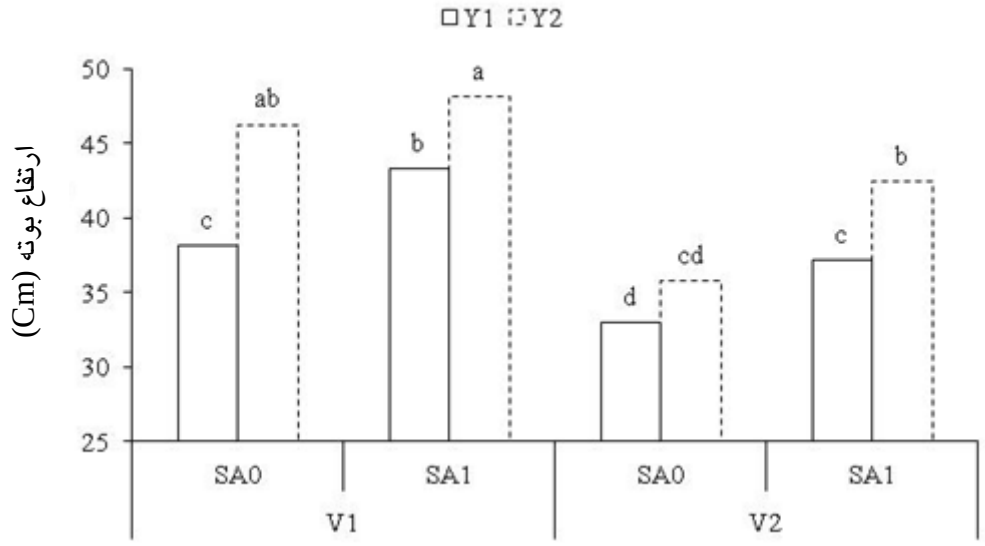
در زمان برداشت عملکرد دانه سه ردیف وسط هر کرت آزمایشی با رعایت یک‌چهارم متر حاشیه از طرفین اندازه‌گیری و بر اساس ۱۲ درصد رطوبت محاسبه شد. همچنین، نمونه‌هایی از دانه هر کرت به آزمایشگاه منتقل گردید و مقدار پروتئین (کجدال ۱۹۹۸) در دانه اندازه‌گیری شد. عملکرد پروتئین از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در مقدار پروتئین دانه بدست آمد. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده سال، سالیسیلیک اسید، نانوکود و اثرات متقابل رقم در نانوکود و سال در رقم در سالیسیلیک اسید قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرمتقابل دوگانه رقم در نانوکود نشان داد بیشترین ارتفاع بوته از رقم عادل با مصرف یک لیتر در هکتار نانوکود (به‌ترتیب ۴۷/۵ و ۴۷/۸ سانتی‌متر) حاصل شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرمتقابل سه‌گانه سال در رقم در سالیسیلیک اسید نشان داد بیشترین ارتفاع بوته در سال دوم از رقم عادل در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید (۴۸/۲ سانتی‌متر) بدست آمد که با شرایط عدم کاربرد سالیسیلیک اسید تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱). برتری ارتفاع بوته در سال دوم می‌تواند به سرمای کمتر نسبت به سال اول باشد، زیرا میزان بارش در طول دوره رویشی دو سال تقریباً از مقدار و توزیع مشابهی برخوردار بود (جدول ۱). تفاوت میان ارقام ناشی از اختلاف ژنتیکی است. وقار و همکاران (۲۰۱۸) و میر و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی ارقام نخود گزارش دادند اثر رقم بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد. همچنین ملاحظه می‌شود که پرایمینگ سالیسیلیک اسید در هر دو رقم طی دو سال اجرای

آزمایش، ارتفاع بوته را افزایش داد. نقش مثبت کاربرد سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته (ریاحی و همکاران ۲۰۱۸) مشاهده شده است. در هر دو رقم مصرف یک میلی‌مولار نانوکود، موجب افزایش رشد و در نتیجه ارتفاع بوته گردید. گزارشات قبلی حاکی است کاربرد نانو کود بیوزر در ارزن (شهبازیان و همکاران ۲۰۱۳) و نانو کود آهن در نخود (حمزه‌ئی و همکاران ۲۰۱۳) ارتفاع بوته را بهبود بخشید.



شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری سال در رقم در سالیسیلیک اسید برای ارتفاع بوته

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده رقم و نانوکود قرار گرفت (جدول ۳). شاخص سطح برگ در رقم عادل به‌طور معنی‌داری کمتر از توده محلی گریت (به‌ترتیب ۱/۳ و ۱/۴) بود (جدول ۴). در ارقام اصلاح شده سهم کمتری از مواد فتوسنتزی به رشد رویشی مانند اندازه برگ‌ها اختصاص می‌دهند و در عوض با افزایش کارایی فتوسنتز عملکرد دانه را بهبود می‌بخشند (زسویک و کنزویک ۲۰۰۵). در میان سطوح مصرف نانوکود، بیشترین شاخص سطح برگ با مصرف یک و یک و نیم لیتر در هکتار نانوکود (به‌ترتیب ۱/۴۳۷ و ۱/۴۴۴ بدون تفاوت معنی‌دار) بدست آمد (جدول ۴). افزایش در شاخص سطح برگ لوبیا چشم بلبلی با محلول پاشی نانو ذرات آهن (دلفانی و همکاران ۲۰۱۴) و ارزن با نانوکود روی (رامشرادی و همکاران ۲۰۱۷) نیز نشان داده شده است.

محتوای نسبی آب

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که محتوای آب نسبی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده سال، سالیسیلیک اسید و نانوکود و اثرات متقابل رقم در نانوکود، و رقم در سالیسیلیک اسید در نانوکود قرار گرفت (جدول ۳). محتوای آب نسبی در سال اول ۶۷/۳ درصد و در سال دوم ۷۳/۳ درصد بود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول). محتوای آب نسبی بیشتر در سال دوم می‌تواند به‌دلیل سرمای کمتر و بارش بیشتر نسبت به سال اول باشد (جدول ۱).

مقایسه میانگین اثرمتقابل سه‌گانه رقم در سالیسیلیک اسید در نانوکود به‌روش برشدهی برای رقم نشان داد در رقم عادل بیشترین محتوای آب نسبی از کاربرد سالیسیلیک اسید با مصرف یک لیتر در هکتار نانوکود (۷۹/۵ درصد) بدست آمد و کمترین آن از عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و عدم مصرف نانوکود (۶۶/۷ درصد) حاصل شد، و در توده محلی گریت بیشترین محتوای آب نسبی از کاربرد سالیسیلیک اسید با مصرف نیم لیتر در هکتار نانوکود (۷۴/۴ درصد) بدست آمد و کمترین آن از عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و عدم مصرف نانوکود (۶۴/۳ درصد) حاصل شد (جدول ۷). برتری رقم عادل نسبت به توده محلی گریت ناشی از اصلاح این رقم و قدرت بیشتر جذب آب و در نتیجه محتوای آب نسبی بیشتر است. همچنین، ملاحظه شد که پرایمینگ سالیسیلیک اسید، محتوای آب نسبی را افزایش داد. افزایش در محتوای آب نسبی برگ با کاربرد سالیسیلیک اسید در نخود (پاتل و همکاران ۲۰۱۱) پیش از این گزارش شده است. اختلاف در میزان محتوای نسبی گیاهان ممکن است نشان دهنده‌ی تأثیرمتفاوت تیمارها برای جذب آب از خاک و یا توانایی کنترل هدر روی آب از طریق روزنه‌ها و یا اختلاف در توانایی گیاهان برای تجمیع و تنظیم اسمزی برای حفظ تورژسانس بافت و افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیک باشد (حیات و همکاران ۲۰۱۰). در هر دو رقم مصرف نیم تا یک میلی‌مولار نانوکود، موجب افزایش محتوای آب نسبی گردید. طی تحقیق دیگر افزایش در عملکرد دانه ارزن تحت تأثیر کودنانو روی گزارش گردید و عامل این افزایش عملکرد به افزایش کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و کاهش تثبیت یونی نسبت داده شد (رامشرادی و همکاران ۲۰۱۷).

سبزینگی برگ

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که سبزینگی برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده سال، سالیسیلیک اسید و نانوکود و اثر متقابل سالیسیلیک اسید در نانوکود قرار گرفت (جدول ۳). سبزینگی برگ در سال اول ۴۱/۰ و در سال دوم ۴۳/۹ بود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۴). سبزینگی برگ بیشتر در سال دوم می‌تواند به‌دلیل سرمای کمتر و بارش بیشتر نسبت به سال اول باشد (جدول ۱). کاهش در رنگیزه‌های فتوسنتزی ناشی از تنش خشکی و برهمکنش ژنوتیپ و محیط در گندم دیم (بیرانوند و همکاران، ۱۴۰۱؛ رشیدیان و همکاران ۱۴۰۱) و سویا (صادقی و همکاران ۱۴۰۰) نیز گزارش شده است. مقایسه میانگین اثرمتقابل دوگانه سالیسیلیک اسید در نانوکود نشان داد بیشترین سبزینگی برگ از کاربرد سالیسیلیک اسید با مصرف نیم و یک لیتر در هکتار نانوکود (به‌ترتیب ۴۹/۱ و ۵۱/۲ بدون تفاوت معنی‌دار) بدست آمد و کمترین آن از عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و مصرف یک و نیم لیتر در هکتار نانوکود (۳۶/۴) حاصل شد (جدول ۵).

ملاحظه شد که پرایمینگ سالیسیلیک اسید، سبزینگی برگ را افزایش داد. نتایج تحقیقات مختلف حاکی از نقش مثبت پرایم کردن بذرها یا محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در افزایش محتوای کلروفیل در لوبیا (شوقیان و روزبهانی ۲۰۱۶) و سورگوم (ریاحی و همکاران ۲۰۱۸) است. در این آزمایش، مصرف نیم تا یک میلی‌مولار نانوکود، موجب افزایش سبزینگی برگ در هر دو رقم نخود گردید. دیگر گزارشات نشان داده‌اند که محلول پاشی نانو ذرات آهن در لوبیا چشم بلبلی (دلفانی و همکاران ۲۰۱۴) و نانوکود روی در ارزن (رامشرادی و همکاران ۲۰۱۷) موجب افزایش میزان کلروفیل در برگ‌ها می‌گردد.

اجزای عملکرد و عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه تحت تأثیر معنی‌دار سال، رقم، سالیسیلیک اسید، نانوکود و اثر متقابل رقم در نانوکود قرار گرفت. علاوه بر این، وزن صد دانه تحت تأثیر متقابل معنی‌دار سالیسیلیک اسید در نانوکود و رقم در سالیسیلیک اسید در نانوکود نیز قرار داشت. تمامی اثرات ساده (بجز رقم) و متقابل عامل‌ها بر عملکرد دانه معنی‌داری شد (جدول ۳).

تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه و عملکرد دانه در سال اول (به‌ترتیب ۱۸/۹ دانه، ۳۳/۰ گرم و ۱۲۰۵ کیلوگرم در هکتار) و در سال دوم (به‌ترتیب ۲۰/۸ دانه، ۳۰/۹ گرم و ۱۳۶۵ کیلوگرم در هکتار) بود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۴). بر خلاف تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه، وزن صد دانه بیشتر در سال اول می‌تواند علی‌رغم سرمای بیشتر و بارش کمتر (جدول ۱)، از یک‌سو نشان‌گر نقش مثبت و بیشتر تعداد دانه در عملکرد دانه و از سوی دیگر به‌دلیل رقابت دو جزء عملکرد (تعداد و وزن دانه) با یکدیگر باشد. تعداد دانه در بوته در شرایط عدم کاربرد و کاربرد سالیسیلیک اسید به‌ترتیب ۱۸/۳ و ۲۱/۵ دانه بود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. مقایسه میانگین اثرمتقابل دوگانه رقم در نانوکود نشان داد بیشترین تعداد دانه در بوته از رقم عادل با مصرف یک لیتر در هکتار نانوکود (۲۵/۸ دانه) بدست آمد که تفاوت معنی-داری با مصرف نیم میلی‌مولار نانوکود نداشت و کمترین آن از توده محلی گریت با عدم مصرف نانوکود (۱۴/۰ دانه) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با مصرف یک و نیم میلی‌مولار نانوکود نداشت (جدول ۵).

مقایسه میانگین اثرمتقابل سه‌گانه رقم در سالیسیلیک اسید در نانوکود به‌روش برش‌دهی برای رقم نشان داد بیشترین وزن صد دانه و عملکرد دانه از کاربرد سالیسیلیک اسید با مصرف دو لیتر در هکتار نانوکود در هر دو رقم عادل (به‌ترتیب ۳۳/۸ گرم و ۱۸۴۰ کیلوگرم در هکتار) و توده محلی گریت (به‌ترتیب ۳۸/۰ گرم و ۱۱۵۲ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد و کمترین آنها از عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و عدم مصرف نانوکود حاصل شد (جدول ۷). تفاوت میان ارقام ناشی از اختلاف ژنتیکی است. وزن صد دانه کمتر در رقم عادل نسبت به توده محلی گریت ناشی از اصلاح این رقم برای عملکرد دانه بیشتر و رقابت میان تعداد دانه با وزن صد دانه است. وقار و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی سه رقم نخود (هاشم، ILC482 و FLIP84-48) گزارش دادند اثر رقم بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه معنی‌دار شد و بیشترین عملکرد مربوط به رقم هاشم بود. پارسا و همکاران (۲۰۱۸) نیز در بررسی سه رقم نخود (جم، کرج و ILC482)، بیشترین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت در رقم ILC482 مشاهده نمودند. مشاهده می‌شود که پرایمینگ سالیسیلیک اسید و مصرف نیم تا یک و نیم میلی‌مولار نانوکود در هر دو رقم، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه و عملکرد دانه را افزایش داد. سالیسیلیک اسید باعث افزایش بعضی از هورمون‌های گیاهی شامل اکسین‌ها و سیتوکنین‌ها شده و از این طریق باعث بهبود رشد و افزایش فتوسنتز و در نتیجه عملکرد دانه و اجزای عملکرد می‌شود (فاروق و همکاران ۲۰۰۹) بهبود اجزای عملکرد و عملکرد دانه نخود دیم (رجبی و همکاران ۲۰۱۳ و مهدخت مداح و همکاران ۲۰۰۶) و لوبیا (شوقیان و روزبهانی ۲۰۱۶) ناشی از پرایمینگ بذور یا محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بسته به غلظت و زمان کاربرد گزارش شده است. افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه در ارزن (شهبازیان و همکاران ۲۰۱۳) و گلرنگ بهاره (اژدریان ثابت و همکاران ۲۰۱۴) تحت تأثیر کود نانو بیولوژیک و لوبیا چیتی (فراهانی ۲۰۱۲) تحت تأثیر محلول‌پاشی نانو ذره آهن گزارش شده است.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که شاخص برداشت به-طور معنی‌داری تحت تأثیر سال و رقم و اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید در نانوکود قرار گرفت (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین دو ساله اثرات ساده عامل‌ها نشان داد که شاخص برداشت در سال اول ۲۶/۰ درصد و در سال دوم ۱۹/۷ درصد بود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۴). شاخص برداشت بیشتر در سال اول می‌تواند به‌دلیل کاهش بیشتر عملکرد بیولوژیک نسبت به عملکرد دانه در اثر سرمای پاییزی بیشتر نسبت به سال دوم باشد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرمتقابل سه‌گانه رقم در سالیسیلیک اسید در نانوکود به‌روش برشدهی برای رقم نشان داد در هر دو

رقم عادل و توده محلی گریت بیشترین شاخص برداشت از کاربرد سالیسیلیک اسید با مصرف یک لیتر در هکتار نانوکود (به‌ترتیب ۲۷/۷ و ۲۱/۷ درصد) بدست آمد (جدول ۱). برتری رقم عادل نسبت به توده محلی گریت ناشی از اصلاح این رقم برای عملکرد دانه بالاتر است. پرایمینگ سالیسیلیک اسید در هر دو رقم، شاخص برداشت را افزایش داد. همچنین، در هر دو رقم مصرف نیم و نیم تا یک میلی‌مولار نانوکود، موجب افزایش شاخص برداشت گردید. شاخص برداشت یکی از شاخص های مهم فیزیولوژیک است که بیانگر درصد انتقال مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی گیاه به دانه‌ها است. به‌نظر می‌رسد این شاخص تحت تنش‌های محیطی و به‌ویژه زمان وقوع آن، تغییرات متفاوتی نشان می‌دهد (زسویک و کنزویک ۲۰۰۵).

پروتئین دانه و عملکرد پروتئین

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که میزان پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده سال و نانوکود و اثر متقابل سالیسیلیک اسید در نانوکود قرار داشت و عملکرد پروتئین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده سال، سالیسیلیک اسید و نانوکود و اثرات متقابل رقم در نانوکود، سالیسیلیک اسید در نانوکود و سال در رقم قرار گرفت (جدول ۳). پروتئین دانه و عملکرد پروتئین در سال اول (به‌ترتیب ۲۰/۲ درصد و ۲۴۷ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری کمتر از سال دوم (به‌ترتیب ۲۲/۷ درصد ۳۱۲ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرمتقابل دوگانه سالیسیلیک اسید در نانوکود نشان داد بیشترین مقدار پروتئین دانه و عملکرد پروتئین از کاربرد سالیسیلیک اسید با مصرف یک لیتر در هکتار نانوکود (به‌ترتیب ۲۲/۹ درصد و ۳۴۷ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرمتقابل دوگانه رقم در نانوکود نشان داد بیشترین عملکرد پروتئین از رقم عادل با مصرف یک لیتر در هکتار نانوکود (۳۹۳ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد که با دیگر مقادیر مصرف نانوکود تفاوت معنی‌دار نداشت و کمترین آن از توده محلی گریت و عدم مصرف نانوکود (۱۹۷ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که با دیگر سطوح نانوکود تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۵). پروتئین دانه بیشتر در سال دوم می‌تواند به‌دلیل سرمای پاییزی کمتر نسبت به سال اول باشد (جدول ۱). عملکرد پروتئین (که تابع عملکرد دانه است) بیشتر در سال دوم می‌تواند به‌دلیل سرمای کمتر و بارش بیشتر نسبت به سال اول باشد. برتری رقم عادل نسبت به توده محلی گریت ناشی از اصلاح این رقم برای عملکرد دانه بالاتر و در نتیجه عملکرد پروتئین بیشتر است.

ملاحظه می‌شود که پرایمینگ سالیسیلیک اسید، پروتئین دانه و عملکرد پروتئین را افزایش داد. مهدخت مداح و همکاران (۱۳۸۵) بیان کردند که با کاربرد اسید سالیسیلیک، صفات وزن غلاف، وزن صد دانه، مقدار پروتئین محلول کل و عملکرد پروتئین نخود را به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، که با یافته‌های حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

در هر دو رقم مصرف نیم تا یک و نیم میلی‌مولار نانوکود، موجب افزایش پروتئین دانه و عملکرد پروتئین گردید. کمبود نیتروژن می‌تواند بر کاهش بقای گیاه، عملکرد و پروتئین دانه اثرگذار باشد (گان و همکاران ۲۰۱۱). به‌گزارش بیرانوند و همکاران (۱۴۰۱)، محلول-پاشی نانوکود با افزایش مقدار نیتروژن اندام هوایی و دانه موجب افزایش مقدار پروتئین دانه در گندم تحت شرایط دیم شد. از آنجاکه عملکرد فراورده‌های جانبی دانه در گیاهان، مانند عملکرد روغن (امان‌الهی بهاروند و همکاران ۲۰۲۱)، عملکرد پروتئین (بیرانوند و همکاران ۱۴۰۱ و رشیدیان و همکاران ۱۴۰۱)، و عملکرد اسانس و متابولیت‌های ثانویه (شرفی و همکاران ۲۰۰۹) عمدتاً تابع عملکرد دانه است تا مقدار آن فراورده؛ لذا علی رغم افزایش حداکثری مقدار نیتروژن دانه نخود در بالاترین سطح مصرف نانوکود، عملکرد پروتئین نخود در این آزمایش نیز به تبعیت از عملکرد دانه، با محلول‌پاشی دو لیتر در هکتار نانوکود به بیشترین مقدار خود رسید ولی در بالاترین سطح مصرف نانوکود کاهش یافت.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مورفوفیزیولوژیک در نخود

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		ارتفاع بوته	شاخص سطح برگ	محتوای آب نسبی	سبزینگی برگ	تعداد دانه در بوته	وزن صد دانه	عملکرد دانه	شاخص برداشت	پروتئین دانه	عملکرد پروتئین
سال	۱	۶۶۱/۰**	۰/۰۴۸۱۸۶	۸۵۰/۰**	۱۹۴/۷**	۸۴/۲۳**	۱۰۸/۹**	۶۲۱۹۷**	۹۶۶/۴**	۱۳۸/۶**	۱۰۱۳۶۱**
تکرار در سال	۲	۳۲/۳۵۵۶۷	۰/۰۲۳۸۴	۱۴/۸۹۲۲۶	۵/۲۹۱۸۳۷	۰/۷۹۲۸۴۸	۰/۰۰۰۹۳	۱۷۲۳/۱۶۲	۱/۵۱۱۶۶۷	۰/۲۶۷۲۲۸	۴۲/۰۵۲۸
رقم	۱	۱۱۳۴/۶	۰/۳۲۸**	۶۸/۶	۴/۱۷۲۶۶۹	۸۵۰/۸*	۱۸۱/۴۶*	۵۶۳۶۹۳۹	۵۹۸/۰**	۱۴۳/۴	۴۴۵۸۶۴
سالیسیلیک اسید	۱	۴۷۹/۴*	۰/۱۴	۹۵۰/۹*	۱۸۴۸/۶*	۲۵۵/۴*	۹۰/۸۱*	۹۰۸۴۰۲*	۱۲/۳۲۶۶۷	۱۲/۴	۶۳۵۹۲*
رقم× سالیسیلیک اسید	۱	۲۰/۹۹۸۶۱	۰/۰۱۶۸۵۵	۳۳/۷۷۱۵۹	۸۹/۴	۳/۰۲۳۱۸	۶/۸۳۲۵۹۴	۲۴۳۸۴۰*	۵۷/۳۵	۲/۶۸۳۶۹۴	۱۱۸۷۷
خطای ۱	۶	۴۱/۷۲۰۲۷	۰،۵۳۱۷۸۱	۹۰/۶۱۱۵۵	۴۱/۷۸۳۲۷	۱۹/۷۴۸۳۹	۲۵/۳۷۱۶۷	۵۳۰۵۹/۷۸	۵۱/۹	۳/۸۸۳۰۹	۳۱۰۰/۳۱۱
نانوکود	۳	۲۷۰/۰**	۰/۳۲۸**	۶۴/۸۸**	۱۵۴/۲**	۲۲۲/۹**	۳۶۳/۵۷**	۲۷۷۹۱۷**	۳۶۴۰۲۸	۱۳/۸۸**	۱۹۳۳۴**
رقم× نانوکود	۳	۴۱/۹*	۰/۰۲۸۹۶۳	۳۹/۲*	۸/۸۱۱۹۸۸	۱۳/۵۷*	۴/۹۴**	۱۱۹۰۰۹**	۲۱/۶	۰/۱۸۰۹۵۶	۷۰۷۷**
سالیسیلیک اسید × نانوکود	۳	۱۸/۲۶۳۴۴	۰/۱۵۳	۱۰/۴۴۲۹۲	۶۲/۳۲*	۸/۲۷۰۰۷۵	۴/۰۰۸**	۸۹۷۱/۷*	۳/۴۴۰۸۳۳	۸/۲۸۴*	۱۹۸۳/۷*
رقم× سالیسیلیک اسید× نانوکود	۳	۰/۷۴۶۹۳۴	۰/۰۲۵۱۰۱	۳۵/۹۷*	۸/۰۷۹۱۶۹	۰/۹۳۴۶۴۶	۰/۴۴۷**	۳۱۳۸/۹**	۵/۵۸۷*	۱/۸۶۷۰۰۳	۷۳۰/۷۲۴
سال×رقم	۱	۳۵/۸۲۴۴	۲/۳۴E-۰۶	۳/۳۸۲۸۰۵	۰/۴۷۹۶۲۹	۳/۹۲۲۰۳۴	۰/۲۶۱۵۷۵	۵۹۰۳۱**	۰/۰۰۱۶۶۷	۳/۶۲۸۲۰۴	۳۹۶۲*
سال× سالیسیلیک اسید	۱	۱/۱۳۷۴۳۹	۰/۰۰۵۴۶	۰/۳۹۲۳۹۷	۰/۶۷۸۵۸۶	۰/۰۹۴۵۰۲	۰/۳۷۸۲۴۸	۱۸۷۶/۶۴۴	۲/۹۴	۰/۳۱۲۴۷۴	۲۶۱/۳۶
سال× نانوکود	۳	۳/۶۳۰۶۴۵	۰/۰۰۸۹۷	۱/۰۲۷۳۲۲	۲/۲۵۲۴۱۳	۰/۹۲۹۰۵	۰/۵۹۹۳۴۶	۴۱۰/۸۱۲	۳/۱۰۲۹۱۷	۰/۴۲۳۸۲۴	۱۹۵/۵۹۴
سال×رقم× سالیسیلیک اسید	۱	۴۸/۰*	۰/۰۱۶۸۵۵	۱/۲۷۴۳۸۹	۱/۸۸۲۲۷۲	۱/۸۶۰۳۸	۰/۱۸۲۷۷۹	۱۵۹/۵۲۱	۷/۱۵۰۴۱۷	۰/۶۷۵۱۹۴	۱۲۲/۸۵۳۸
سال× رقم× نانوکود	۳	۳/۲۶۲۷۹۴	۰/۰۱۱۶۸۲	۱/۸۹۶۲۵۵	۱/۴۴۲۲۲	۱/۳۶۹۴۳	۰/۰۱۵۳۹۸	۷۷۶/۶۰۲	۲/۶۴۹۱۶۷	۱/۰۶۲۱۷۸	۲۷/۹۸۱۹
سال× سالیسیلیک اسید× نانوکود	۳	۷/۲۷۷۸۳۳	۰/۰۴۶۳۰۹	۳/۳۸۲۵۴۵	۳/۹۰۸۳۸۸	۱/۸۰۸۹۷۵	۰/۰۰۷۱۰۵	۴۷۰/۸۰۳	۲/۷۶۳۰۵۶	۰/۷۵۳۶۶۲	۹۴/۸۱۱۴
سال×رقم× سالیسیلیک اسید × نانوکود	۳	۱۲/۰۶۵۵	۰/۰۱۲۷۹۳	۲/۰۱۲۳۰۸	۱/۵۰۵۵۷۹	۰/۸۷۶۴۴۶	۰/۰۱۲۳۴۳	۶۹/۳۴۸	۰/۱۹۵۱۳۹	۰/۶۸۸۲۲۵	۱۵۲/۲۳۱۲
خطای ۲	۵۴	۱۰/۶۶۶۹۱	۰/۰۳۰۳۹۱	۱۱/۸۶۶۴	۹/۴۹۰۰۹۸	۷/۴۷۹۱۴۴	۵/۲۳۰۲۶۱	۸۰۴۱/۵۱۴	۴/۴۳۰۱۲۳	۲/۵۵۱۶۲۷	۸۰۳/۰۰۴۴
ضریب تغییرات (٪)	۱	۸/۰۵	۱۳	۴/۹	۷/۲۵	۱۳/۷	۷/۱۵	۶/۹۷	۹/۲۱	۷/۴۴	۱۰/۱۲

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

جدول ۴-مقایسه میانگین اثرات سال، رقم، سالیسیلیک اسید و نانوکود بر صفات مورفوفیزیولوژیک نخود

تیمار		ارتفاع بوته (cm)	شاخص سطح برگ	محتوای آب نسبی (%)	سبزینگی برگ	تعداد دانه در بوته	وزن صد دانه (g)	عملکرد دانه $Kg.ha^{-1}$	شاخص برداشت (%)	پروتئین دانه (%)	عملکرد پروتئین $Kg.ha^{-1}$
سال	۱۳۹۵-۶	۳۷/۹۲^{b}	۱/۳۶	۶۷/۳۲^{b}	۴۱/۰۲^{b}	۱۸/۹۴^{b}	۳۳/۰۴^{a}	۱۲۰۵^{b}	۲۵/۹۹^{a}	۲۰/۲۳^{b}	۲۴۷/۴^{b}
	۱۳۹۶-۷	۴۳/۱۷^{a}	۱/۳۲	۷۳/۲۷^{a}	۴۳/۸۷^{a}	۲۰/۸۱^{a}	۳۰/۹۷^{b}	۱۳۶۵^{a}	۱۹/۶۶^{b}	۲۲/۶۵^{a}	۳۱۲/۳^{a}
رقم	عادل	۴۳/۹۹	۱/۴۰	۷۱/۱۵	۴۲/۶۶	۲۲/۸۵^{a}	۳۰/۶۰^{b}	۱۵۲۷	۲۵/۳۲^{a}	۲۲/۶۷	۳۴۸/۰۴
	گریت	۳۷/۱۱	۱/۲۸	۶۹/۴۵	۴۲/۲۴	۱۶/۹۰^{b}	۳۳/۳۶^{a}	۱۰۴۳	۲۰/۳۳^{b}	۲۰/۲۲	۲۱۱/۷۴
سالیسیلیک اسید	شاهد	۳۸/۳۱^{b}	۱/۳۰	۶۷/۱۵^{b}	۳۸/۰۶^{b}	۱۸/۲۵^{b}	۳۱/۰۱^{b}	۱۱۸۸^{b}	۲۲/۴۸	۲۱/۱۰	۲۵۴/۱۶^{b}
	سالیسیلیک اسید	۴۲/۷۸^{a}	۱/۳۸	۷۳/۴۴^{a}	۴۶/۸۳^{a}	۲۱/۵۱^{a}	۳۲/۹۵^{a}	۱۳۸۲^{a}	۲۳/۱۹	۲۱/۷۹	۳۰۵/۶۳^{a}
نانوکود	شاهد	۳۶/۲۵^{c}	۱/۲۲۷^{b}	۶۸/۱۲^{b}	۴۰/۱۷^{b}	۱۵/۹۷^{c}	۲۶/۷۷^{c}	۱۱۵/^{c}	۲۲/۵۰	۲۰/۷۰^{c}	۲۴۰/۹۳^{c}
	یک لیتر در هکتار	۴۲/۵۰^{a}	۱/۲۵۱^{b}	۶۹/۹۳^{ab}	۴۴/۵۲^{a}	۲۱/۴۷^{a}	۳۴/۶۳^{a}	۱۳۶۰^{a}	۲۳/۴۱	۲۰/۹۴^{bc}	۲۸۹/۷۸^{b}
	دو لیتر در هکتار	۴۳/۸۰^{a}	۱/۴۳۷^{a}	۷۱/۶۶^{a}	۴۴/۷۵^{a}	۲۲/۹۵^{a}	35.25^{a}	۱۳۸۵^{a}	۲۳/۱۰	۲۱/۸۳^{ab}	۳۰۸/۲۰^{a}
	سه لیتر در هکتار	۳۹/۶۲^{b}	۱/۴۴۴^{a}	۷۱/۴۷^{a}	۴۰/۳۳^{b}	۱۹/۱۲^{b}	۳۱/۲۷^{b}	۱۲۴۳^{b}	۲۲/۳۲	۲۲/۲۷^{a}	۲۸۰/۶۴^{b}
	LSD (5%)	۱/۸۹۰۲	۰/۱۰۰۹	۱/۹۹۳۷	۱/۷۸۲۹	۱/۵۸۲۸	۱/۳۲۳۶	۵۱/۹		۰/۹۲۴۵	۱۶/۴

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ هستند.

جدول ۵- مقایسه میانگین دو ساله ترکیبات تیماری رقم × نانوکود و سالیسیلیک اسید × نانوکود برای برخی صفات مورفوفیزیولوژیک نخود

تیمار			عملکرد پروتئین $Kg.ha^{-1}$	پرونئین دانه (٪)	تعداد دانه در بوته	سبزینگی برگ	ارتفاع بوته (cm)
رقم	نانوکود						
عادل	شاهد		۲۸۵/۲۲ ^{b}	۲۱/۹۵	۱۷/۹۳۴^{cd}	۴۰/۳۵	۳۸/۸۳۶^{bc}
	یک لیتر در هکتار		۳۶۵/۱ ^{a}	۲۲/۰۹	۲۴/۸۵۸^{ab}	۴۵/۰۵	۴۷/۵۰۸^{a}
	دو لیتر در هکتار		۳۹۲/۵۷ ^{a}	۲۳/۱۵	۲۵/۸۴۲^{a}	۴۴/۱۳	۴۷/۸۳۶^{a}
	سه لیتر در هکتار		۳۴۹/۲۹^{a}	۲۳/۴۷	۲۲/۸۰۵^{b}	۴۰/۰۱	۴۱/۷۶^{b}
گریت	شاهد		۱۹۶/۶۸^{c}	۱۹/۴۷	۱۴/۰۰۸^{e}	۴۴/۰۰	۳۳/۶۶۷^{d}
	یک لیتر در هکتار		۲۱۴/۴۵ ^{c}	۱۹/۸۰	۱۸/۰۹۱^{cd}	۴۵/۳۸	۳۷/۴۹۶^{cd}
	دو لیتر در هکتار		۲۲۳/۸۵ ^{c}	۲۰/۵۲	۲۰/۰۷۶^{c}	۳۹/۵۸	۳۹/۷۸^{bc}
	سه لیتر در هکتار		۲۱۲ ^{c}	۲۱/۰۹	۱۵/۴۴۶^{de}		۳۷/۴۹۳^{cd}
	LSD (0.05)		۴۴/۱		۲/۶۴۷۳		۴/۱۷۲۶
سالیسیلیک اسید	نانوکود						
شاهد	شاهد		۲۲۰/۸۲^{c}	۲۰/۹۹۱۷^{bc}	۱۴/۹۲	۳۷/۶۱^{de}	۳۴/۴۲
	یک لیتر در هکتار		۲۶۹/۱۵^{bc}	۲۰/۶۷۰۵^{c}	۱۹/۹۵	۳۹/۹۲^{cd}	۳۹/۱۵
	دو لیتر در هکتار		۲۶۸/۹۶^{bc}	۲۰/۶۹۱۳^{c}	۲۰/۵۱	۳۸/۳۱۶^{de}	۴۱/۳۸
	سه لیتر در هکتار		۲۵۷/۷^{bc}	۲۲/۰۱۵۳^{abc}	۱۷/۶۲	۳۶/۳۹۸^{e}	۳۸/۳۰
کاربرد سالیسیلیک اسید	شاهد		۲۶۱/۰۸^{bc}	۲۰/۳۷۰۱^{c}	۱۷/۰۲	۴۲/۷۴۵^{bc}	۳۸/۰۸
	یک لیتر در هکتار		۳۱۰/۴^{ab}	۲۱/۲۸۱^{abc}	۲۲/۹۹	۴۹/۱۳۱^{a}	۴۵/۸۶
	دو لیتر در هکتار		۳۴۷/۴۶^{a}	۲۲/۹۳۵۸^{a}	۲۵/۴۱	۵۱/۲۰۲^{a}	۴۶/۲۴
	سه لیتر در هکتار		۳۰۳/۵۹^{ab}	۲۲/۶۵۸۷^{ab}	۲۰/۶۳	۴۴/۲۷۲^{b}	۴۰/۹۵
	LSD (0.05)		۷۰/۵۷۴	۱/۸۸۹۱		۲/۹۵۸۸	

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ هستند.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرمتقابل سال × رقم بر عملکرد دانه و عملکرد پروتئین نخود

تیمار		عملکرد پروتئین $Kg.ha^{-1}$	عملکرد دانه $Kg.ha^{-1}$
سال	رقم		
۱۳۹۵-۶	عادل	۳۰۹/۱۳^{b}	۱۴۲۲/۷۱^{b}
	گریت	۱۸۵/۶۸^{d}	۹۸۷/۶۷^{d}
۱۳۹۵-۶	عادل	۳۸۶/۹۶^{a}	۱۶۳۳/۰۶^{a}
	گریت	۲۳۷/۸۱^{c}	۱۰۹۸/۸۳^{c}
	LSD (0.05)	۲۸/۷۸۳	۱۰۷/۱۷

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ هستند.

جدول ۷- مقایسه میانگین دو ساله اثر متقابل رقم × سالیسیلیک اسید × نانوکود بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک نخود

تیمارها			آهن اندام هوایی $mg.kg^{-1}$	شاخص برداشت (%)	عملکرد دانه $Kg.ha^{-1}$	وزن صد دانه (g)	محتوای آب نسبی (%)
رقم	سالیسیلیک اسید	نانوکود					
عادل	شاهد	شاهد	۵۴/۲۹^{c}	۲۲/۸۳۳^{a}	۲۴/۴۵۲^{d}	۱۱۴۱^{e}	۶۶/۶۹۳d
		یک لیتر در هکتار	۵۳/۹۵۷^{c}	۲۵/۲۱۷^{a}	۳۲/۶۵۵^{ab}	۱۵۰۶/۴۲^{cd}	۶۷/۳۹d
		دو لیتر در هکتار	۵۴/۹۶۷^{c}	۲۵/۳۳۳^{a}	۳۳/۰۷^{a}	۱۵۳۴/۴۲^{c}	۶۷/۲۶۷d
		سه لیتر در هکتار	۵۷/۰۰۲^{bc}	۲۳/۴^{a}	۲۹/۴۴۸^{bc}	۱۳۳۹^{d}	۶۸/۲۷۳cd
	کاربرد سالیسیلیک اسید	شاهد	۵۸/۷۰۳^{b}	۲۴/۶۵^{a}	۲۷/۰۸۴^{cd}	۱۴۵۵/۵۸^{cd}	۷۳/۸۲۳abc
		یک لیتر در هکتار	۶۳/۷۷۸^{a}	۲۷/۵۶۷^{a}	۳۳/۱۵۳^{a}	۱۷۸۳/۲۵^{ab}	۷۱/۳۶۲bcd
		دو لیتر در هکتار	۶۵/۶۳۲^{a}	۲۷/۷۳۳^{a}	۳۳/۸۴۱^{a}	۱۸۳۹/۸۲a	۷۹/۴۵۳a
		سه لیتر در هکتار	۵۸/۶^{b}	۲۵/۸۸۳^{a}	۳۳/۱۹۳^{ab}	۱۶۲۳/۵۸bc	۷۴/۹۰۸ab
		LSD (0.05)	۳/۶۲۸۸	۵/۲۱۸۲	۱۸۷/۶۲	۳/۲۲۵۵	۵/۹۷۰۵
گریت	شاهد	شاهد	۵۳/۷۹^{c}	۲۰/۸۱۷^{a}	۲۶/۰۰۹^{f}	۹۳۳/۰۸^{d}	۶۴/۳۲۷^{c}
		یک لیتر در هکتار	۵۷/۰۰۷^{c}	۲۱/۴۸۳^{a}	۳۵/۲۰۵^{bc}	۱۰۴۵/۷۲^{abc}	۶۶/۶۰۷^{bc}
		دو لیتر در هکتار	۵۵/۸۲۵^{c}	۱۹/۴۸۳^{a}	۳۶/۱۶۴^{ab}	۱۰۱۴/۱۱^{bcd}	۶۷/۸۴۳^{bc}
		سه لیتر در هکتار	۵۵/۴۷۷^{c}	۲۱/۲۱۷^{a}	۳۱/۱۱d^{e}	۹۹۲/۵۸^{cd}	۶۸/۸۲۷^{abc}
	کاربرد سالیسیلیک اسید	شاهد	۶۰/۵۰۵^{b}	۲۱/۷^{a}	۲۹/۵۲۵^{e}	۱۰۸۴/۶۷^{abc}	۶۷/۶۵^{bc}
		یک لیتر در هکتار	۶۲/۸۸۵^{ab}	۱۹/۳۸۳^{a}	۳۷/۵۳۱^{ab}	۱۱۰۶/۲۳^{ab}	۷۴/۴^{a}
		دو لیتر در هکتار	۶۴/۱۱۷^{a}	۱۹/۸۶۷^{a}	۳۷/۹۵۴^{a}	۱۱۵۲/۲۶^{a}	۷۲/۰۹۹^{ab}
		سه لیتر در هکتار	۶۲/۰۴۹^{ab}	۱۸/۷۳۳^{a}	۳۳/۳۹۴^{cd}	۱۰۱۷/۳۳^{bcd}	۷۳/۸۸۷^{a}
		LSD (0.05)	۳/۴۷۵۶	۴/۶۰۸۹	۱۰۸/۴۲	۲/۶۳۷۴	۵/۵۸۰۶

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ هستند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، پروتئین دانه و عملکرد پروتئین بالاتری در سال دوم آزمایش، که از میزان و توزیع بارش بهتری برخوردار بود بدست آمد، اما وزن صد دانه و شاخص برداشت در سال اول بیشتر بود، که نشان از رقابت میان اجزای عملکرد و نقش بیشتر تعداد دانه در بوته در بهبود عملکرد دانه داشت. رقم عادل علی‌رغم میزان سبزینگی برگ کمتر، از محتوای آب نسبی، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و شاخص برداشت بیشتر در تیمار پرایمینگ سالیسیلیک اسید توأم با محلول پاشی نانوکود بسته به غلظت مصرف نسبت به توده محلی گریت برخوردار بود. در مجموع، رقم عادل با پرایمینگ سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی حداقل نیم لیتر در هکتار نانوکود جهت بهبود کمیت و کیفیت نخود در شرایط دیم منطقه معتدل خرم‌آباد و مناطق مشابه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد که زمینه اجرای طرح را فراهم نمودند کمال قدردانی را داریم.

منابع مورد استفاده

Abdulahi M and Shekari F. 2012. The effect of priming with salicylic acid on the root and function of wheat seedlings in different planting dates. Cereal Research, 1: 32-17. (In Persian). https://cr.guilan.ac.ir/article_1620.html

Amanolahi Baharvand Z, Siavoshi M, Niknezhad Y, Fallah H and Rafiee M. 2021. Response of biochemical characteristicts and grain yield of canola (*Brassica napus* L.) to biofertilizers. Bangladesh Journal of Botany, 50(3): 585-593. https://doi.org/10.22092/AJ.2018.115019.1179

Azhdarian Sabet M, Hadian Fakhim A, Shujaei HF and Rajabi M. 2014. The effect of nanobiological fertilizer application on the physiological indicators of spring safflower in the climatic conditions of Hamadan province. The second national conference of Applied Sciences in Agricultural Sciences. Tehran. (In Persian). https://civilica.com/doc/401716

Biranvand A, Khorgami A, Rafiei M, Mirdrikund R and Wafai SH. 1401. The effect of foliar application of nanofertilizer and methanol on the morphophysiological characteristics of dryland wheat under supplementary irrigation conditions. Journal of Plant Processes and Functions, 11(51): 225-239. (In Persian). 20.1001.1.23222727.1401.11.51.14.1

Delfani M, Firouzabadi MB, Farrokhi N and Makarian H. 2014. Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 45: 530–540. https://doi.org/10.1080/00103624.2013.863911

Farahani N, Sanghi M, Dari H, Bammad F and Mahdia M. 2012. Investigating the effect of iron oxide nanoparticles and comparing it with other sources of iron on the growth and yield of beans, The 5th National Legume Conference of Iran, 455-458. (In Persian). https://www.sid.ir/paper/869269/fa

Farooq M, Basra SMA, Wahid A, Ahmad N and Saleem, BA. 2009. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. Journal of Agronomy and Crop Science, 195: 237-246. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00365.x

Fatma AE and Gharib L. 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activites and oil content of basil and majoram. International Journal of Agriculture and Biology, 4: 485-492. https://typeset.io/papers/effect-of-salicylic-acid-on-the-growth-metabolic-activities-24ujuksacs

Hamzai J, Najari S, Sadeghi F and Sidi M. 2013. Effect of foliar application of iron nanochelate and inoculation with Mesorhizobium bacteria on root nodulation, growth and yield of chickpea under rainfed conditions. Iranian Legume Research Journal, 5 (2): 18-9. (In Persian). https://elmnet.ir/doc/20034322-1151

Harsinia MG, Habibib H and Talaei GH. 2014. Study the effects of iron nano chelated fertilizers foliar application on yield and yield components of new line of wheat cold region of Kermanshah Provence. Agricultural Advances, 3(4): 95-102. doi: 10.14196/aa.v3i4.1339

Hayat Q, Hayat S, Irfan M and Ahmad A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. Environmental and Experimental Botany, 68: 14–25. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005

Ighaei Eskoi A. 2017. Evaluation of the effects of iron nanoparticles (green, chemical, magnetic) on growth stages and quantitative and qualitative performance of bean genotypes, Master's thesis, Islamic Azad University, Research Sciences Unit, 108 p. (In Persian). https://elmnet.ir/doc/21166631-71166

Joseph T and Morrisson M. 2006. Nanoforum: Nanotechnology in agriculture and food. Eur. Nanotechnol. Gateway. www.nanoforum.org.

Kalali T, Lahoti M and Mahmudzadeh H. 2014. Investigating the effect of salicylic acid on physiological and physiological traits of soybean plant under drought stress. Scientific Research Quarterly Journal of Crop Physiology, 7(25): 87-77. (In Persian). https://civilica.com/doc/306025

Kjeldal SE. 1998. An investigation of several psychological factors impinging on the perception of fresh fruits and vegetables. Unpublished Ph.D Thesis, University of New England, Australia. http://www.qualitative-research.net/fqs/

Liu X, Feng Z, Zhang S, Zhang J, Xiao Q and Wang Y. 2006. Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slower controlled release of fertilizers. Scientific Agriculture Sience, 39: 1598-1604. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(06)60113-2

Loutfy NA, El-Tayeb M, Hassanen AM, Moustafa MFM, Sakuma Y and Inouhe M. 2012. Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Research, 125: 173–184. https://doi.org/10.1007/s10265-011-0419-9

Mahdokht Madah S, Fallahian F, Sabbaghpour SH and Chalabian F. 2006. The effect of salicylic acid on yield and yield components and anatomical structure of chickpea plant. Basic Science Journal of Islamic Azad University, 1(62) 25-36. (In Persian). https://civilica.com/doc/54613

Majd A, Chalabian F, Madah SM, Fallahian F and Sabbaghpour SH. 2016. A comparative study of the effect of salicylic acid on the yield and resistance of two sensitive and resistant chickpea cultivars to *Ascochyta rabiei*. Iranian journal of biology, 19(3): 324-314. (In Persian). https://www.magiran.com/p894607

Mir Y, Daneshvar M, Nazarian-Firouzabadi F and Bajlan B. 2016. The effect of foliar application of different amounts of iron nano-chelate fertilizer on the quantitative and qualitative yield of rainfed chickpea cultivars. 24(8): 183-195. Journsl Of Plant Physiology, (In Persian). 20.1001.1.20085958.1395.8.24.16.1

Mohammadi L, Shekari F, Saba J and Zangani E. 2017. Effects of Priming with Salicylic Acid on Safflower Seedlings Photosynthesis and Related Physiological Parameters. Journal of Plant Physiology and Breeding, 7(1): 1-13. https://breeding.tabrizu.ac.ir/article_6281_e1646caa373642a555a91f731d8ab226.pdf

Mohammadi L, Shekari F, Saba J and Zangani E. 2011. Seed priming by salicylic acid affected vigor and morphological traits of safflower seedlings. Modern Agricultural Science, 7(2): 63-72. (In Persian). https://journals.iau.ir/article_515141_d4c537595a60b7a56f3e77be91f80551.pdf

Naderi MR and Danesh Shahraki A. 2018. Application of nano technology in optimizing the formulation of chemical fertilizers. Nano Technology Monthly, 4: 20-32. (In Persian). DOI:10.21273/HORTSCI11248-16

Nazar R, Iqbal N, Syeed S and Khan NA. 2011. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. Journal of Plant Physiology, 168: 807–815. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.11.001

Parsa M, Ganjali A, Rezaiyanzadeh A and Military A. 2018. The effect of supplementary irrigation on yield and growth indicators of three chickpea cultivars in Mashhad region. Journal of Iranian Agricultural Research, 9(3) 321-310. (In Persian). Doi: 10.22067/GSC.V9I3.11960

Patel BD, Patel VJ, Patel JB, and Patel RB. 2006. Effect of fertilizers and weed management practices on weed control in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under middle Gujarat conditions. Indian J. Crop Science, 1(1-2): 180-183. https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-fertilizers-and-weed-management-practices-Patel-Patel/f9cb25e39ad59896e7fd3ac2e9b2239ba6c8cda6

Rajabi L, Sajdi, NA, and Roshandel M. 2013. Reaction of yield and yield components of dry peas with salicylic acid and superabsorbent polymer. Journal of Agricultural Research, 4 (4): 354-343. (In Persian). https://www.sid.ir/paper/232047/fa

Raei Y, Kordi S, Ghanbari F, Shayan AA, Shahkarami G and Fatahi S. 2015. The effect of Azospirilium bacteria and salicylic acid effects on drought stress tolerance in *Ocimum basilicum* L. Medicinal Plant. Advance in Bioresearch, 6(6):44-53. DOI: 10.15515/abr.0976-4585.6.6.44-53

Rameshraddy PGJ, Mahesh S, Geetha KN and Shankar AG. 2017. Seed priming and foliar spray with nano zinc improves stress adaptability and seed zinc content without compromising seed yield in ragi (Finger millet). International Journal of Pure Applied Bioscience, 5(3): 251-258. DOI: http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.2906

Rashidian A, Rafiei M, Khorgami A, Mirdrikund R and Wafai SH. 1401. The effect of compaction and kaolin on yield and biochemical characteristics of wheat cultivars (Triticum aestivum L.) in rainfed conditions. Journal of Plant Process and Functions, 11(47): 129-144. (In Persian). 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5

Rezaei RS, Hosseini M, Shaban Ali Fami H and Safa L. 2008. Identification and analysis of obstacles to the development of nanotechnology in Iran's agricultural sector from the researchers' point of view. Scientific Research Quarterly of Technology Site, 2(1): 17-26. (In Persian). https://jstp.nrisp.ac.ir/article_12771.html?lang=en

Riahi N, Farahbakhsh H, Pasandipour M. 2018. The effect of external application of proline, glycine betaine, salicylic acid and ascorbic acid on reducing the effects of drought stress in sorghum plants. Proceedings of the 11th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction. Shahid Bahoner University of Kerman, Kerman: P 33-35. (In Persian). https://civilica.com/doc/157925/

Ritchie SW and Nguyen HT. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance, Crop Science, 30: 105-111. http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x

Shoghian M, Rozbahani A. 2016. Effect of salicylic acid foliar application on morphological traits, yield and yield components of red bean under drought stress conditions. Scientific journal of crop physiology. Ahvaz Islamic Azad University, Ahvaz, 9 (34): 147-131. (In Persian). 20.1001.1.2008403.1396.9.34.8.5

Shahbazian B, Dehghanzadeh H, Aminian R and Zainli H. 2013. Investigation of the effect of Qarj Maimoriza and Biozer nano fertilizer on the yield and yield components of millet in Isfahan. National Conference of Agricultural Sciences and Techniques of Malair, (In Persian). https://civilica.com/doc/260304

Sadeghi L, Rafiei M and Daneshian J. 1400. Effects of drought stress and aerosol on yield and some physiological characteristics in soybean (*Glycine max* L.). Journal of Plant Process and Functions, 10(41): 263-277. (In Persian). Doi: 10.22092/AJ.2020.126186.1403

Patel BD, Patel VJ, Patel JB and Patel RB. 2006. Effect of fertilizers and weed management practices on weed control Sharafi, Gh. A., Changizi, M., Rafiee, M., Gomarian, M. and Khagani, Sh. (2019) Investigating the Effect of Drought Stress and Vermicompost Biofertilizer on Morphological and Biochemical Characteristics of *Thymus vulgaris* L. Archives of Pharmacy Practice, 10(3): 137-145. (In Persian). https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-fertilizers-and-weed-management-practices-Patel-Patel/f9cb25e39ad59896e7fd3ac2e9b2239ba6c8cda6

Wang W, Vinocur B, Shoseyov O Altman A. 2001. Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. Acta Horticulturae, 560: 285-292. (In Persian). https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.560.54

Waqar MS, Noormohammadi Q, Shamsi K, Pazaki AR and Sohail K. 2018. Investigating the effect of planting date on the growth trend and physiological indicators of rainfed chickpea cultivars in Kermanshah. Journal of Plant and Ecology, 5 (20): 123-105. (In Persian). https://elmnet.ir/doc/20266272-42276

Yusuf M, Fariduddin Q, Varshney P and Ahmad A. 2012. Salicylic acid minimizes nickel and/or salinity-induced toxicity in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) through an improved antioxidant system. Environmental Science and Pollution Research, 19: 8–18. https://doi.org/10.1007/s11356-011-0531-3

Zecevic V and Knezevic D. 2005. Variability and components of variance for harvest index in wheat (*Triticum aestivum* L.). Genetica, 37: 173-179. https://rivec.institut-palanka.rs/bitstream/id/2773/bitstream_2773.pdf

Zhong H, Kol GJ and Nkod ZZ. 2007. Effect of limited irrigation on yield and water use efficiency of two sequence replaced winter wheat in Loess Plateau. African Journal of Biotechnology, 13(6): 1493-1497. http://www.academicjournals.org/AJB

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 181-192

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

Analyzing Grain Yield Stability of Bread Wheat Recombinant Inbred Lines

Mohsen Sabzi-Nojadeh[1*], Saeid Aharizad[2], Mina Amani[3]

Received: 18 March 2023	Accepted: 22 September 2023

1-Assoc.. Prof., Dept. of Forestry and Horticulture Dept, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Prof., Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- PhD Student in Production and Post-Harvest Physiology of Horticultural Plants, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: m.sabzinojedeh@gmail.com

Abstract

Background & Objective: Investigating the stability and compatibility of a genotype in different environmental conditions in order to introduce it for planting in specific and known environmental conditions in multi-breeding programs is one of the basic needs and to achieve sustainable production in order to achieve sustainable self-sufficiency in It is necessary to produce strategic products, especially wheat.

Methods & Materials: In the present study, in order to investigate the stability and identify high-yielding and compatible genotypes, the yield of 32 lines of recombinant inbred from the crossing of two cultivars Roshan and Superhead in the form of a randomized complete block design with three replications in six The region (Tabriz, Ahar, Ardabil, Faghan, Shabestar and Urmia) were investigated for two years.

Results: The results of the present study showed that there was a significant difference between the locations in terms of performance. Also, the difference between genotypes, as well as the interaction effect of genotype × year, genotype × location, and the interaction effect of genotype × year × location were significant, which indicated the difference between the performance of genotypes in different environments, which indicated the necessity of stability analysis.

Conclusion: The results of analysis of simple and compound variances showed a significant difference between the lines in terms of grain yield. Comparing the average of all the lines, lines No. 3, 12, 38, 42, 47, 95 and Roshan had the highest yield and the lowest average seed yield was related to line 51 with 3.023 tons per hectare. Line 90 showed good general compatibility compared to other lines. Lines No. 3, 38, 42, 95, their regression coefficient was less than one and the deviation from their regression line was higher. One of the practical aspects of this research is the identification of promising lines for carrying out further breeding studies in order to release the variety and introduce it to farmers. According to the relative alignment of the results obtained from different methods, it can be stated that in this research, lines 10, 12, 31 and the Roshan variety were recognized as the most stable genotypes and line 51 as the most unstable line and It was recognized as special for unfavorable areas.

Keyword: Bread Wheat, Grain Yield, Non-Parametric Methods, Recombinant Inbred Lines, Stability Analysis

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Mohsen Sabzi-Nojadeh Email: m.sabzinojedeh@gmail.com
https://doi.org/10.22034/SAPS.2023.55895.3014

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۱۹۲-۱۸۱

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم نان

محسن سبزی‌نوجه‌ده[1*]، سعید اهری‌زاد[2]، مینا امانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۷	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱

۱-دانشیار گروه جنگلداری و باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- استاد گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳-دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
*مسئول مکاتبه: Email: m.sabzinojedeh@gmail.com

چکیده

اهداف: بررسی پایداری و سازگاری یک ژنوتیپ در شرایط محیطی مختلف به‌منظور معرفی آن برای کاشت در شرایط محیطی خاص و شناخته شده در برنامه‌های به‌نژادی از نیازهای اساسی بوده و برای رسیدن به یک تولید پایدار جهت رسیدن به خودکفایی پایدار در تولید محصولات استراتژیک به‌ویژه گندم ضروری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پایداری و تشخیص ژنوتیپ‌های پرمحصول و سازگار، عملکرد دانه ۳۲ لاین اینبرد نوترکیب حاصل از تلاقی دو رقم روشن و سوپرهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شش منطقه (تبریز، اهر، اردبیل، مغان، شبستر و ارومیه) به مدت دو سال زراعی مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه پایداری با استفاده از روش‌های ضریب تغییرات محیطی، روش‌های رگرسیونی ابرهات - راسل، پرکینز - جینکز و فینلی - ویلکینسون، واریانس پایداری شوکلا، اکووالانس ریک، روش‌های غیرپارامتری میانگین و انحراف معیار رتبه و روش نسبت شاخص عملکرد انجام شد.

یافته‌ها: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین مکان‌ها از نظر عملکرد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین اختلاف بین ژنوتیپ‌ها و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و اثر متقابل ژنوتیپ × سال × مکان معنی‌دار گردید که نشان‌دهنده تفاوت بین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود که نشان از ضرورت تجزیه پایداری داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج تجزیه واریانس‌های ساده و مرکب اختلاف معنی‌داری بین لاین‌ها از لحاظ عملکرد دانه نشان داد. در مقایسه میانگین کل لاین‌ها، بیشترین عملکرد را لاین‌های شماره ۳، ۱۲، ۳۸، ۴۲، ۴۷، ۹۵ و روشن دارا بودند و کمترین میانگین عملکرد دانه مربوط به لاین ۵۱ با ۳/۰۲۳ تن در هکتار بود. لاین ۹۰ نسبت به سایر لاین‌ها سازگاری عمومی خوبی را نشان دادند. لاین‌های شماره ۳، ۳۸، ۴۲، ۹۵ ضریب رگرسیون آن‌ها کمتر از یک بود و انحراف از خط رگرسیون آن‌ها بیشتر بود. یکی از جنبه‌های کاربردی این پژوهش شناسایی لاین‌های امیدبخش جهت انجام مطالعات تکمیلی به‌نژادی به‌منظور آزادسازی رقم و معرفی به زارعین می‌باشد. باتوجه‌به همسویی نسبی نتایج حاصل از روش‌های مختلف می‌توان اظهار داشت که در این پژوهش لاین‌های ۱۰، ۱۲، ۳۱ و رقم روشن به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناخته شدند و لاین ۵۱ به‌عنوان ناپایدارترین لاین و مخصوص مناطق نامساعد تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه پایداری، روش‌های غیرپارامتری، عملکرد دانه، لاین‌های اینبرد نوترکیب، گندم نان

مقدمه

گندم یکی از اصلی‌ترین محصولات کشاورزی دنیا است که ۱۸/۸ درصد انرژی و ۲۰/۴ درصد پروتئین موردنیاز رژیم غذایی انسان را تأمین می‌کند. گندم با مصرف سرانه ۶۵ کیلوگرم در سال، محصول شماره یک مصرف شده در جهان است و برای ۲/۵ میلیارد نفر که با درآمد کمتر از دو دلار در روز زندگی می‌کنند، بسیار حیاتی می‌باشد. این گیاه در ایران با سطح زیرکشت حدود ۶/۵ میلیون هکتار و میانگین تولید ۱۵۵۹۱/۶ تن در هکتار دانه یکی از مهمترین گیاهان زراعی به شمار می‌رود (فائو ۲۰۲۱).

ارقام انتخاب شده از برنامه‌های به‌نژادی باید علاوه بر صفات مورفوفیزیولوژیکی مناسب و مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده از عملکرد قابل‌قبول و پایداری برخوردار باشند (عمران و همکاران ۲۰۱۷). باتوجه‌به اهمیت گندم، تولید این محصول با کشت ژنوتیپ‌های اصلاح شده که پایداری عملکرد بالایی داشته باشند، الزامی است (زالی و همکاران ۲۰۱۶). باتوجه‌به کشت ژنوتیپ‌ها × مکان‌ها و سال‌های مختلف، تعیین پایداری عملکرد بسیار مهم بوده و ژنوتیپ‌های با نقش کمتر در ایجاد برهمکنش ژنوتیپ × محیط انتخاب می‌شوند (علیزاده و همکاران ۲۰۲۱).

تجزیه پایداری یکی از بهترین روش‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی هست که در شرایط محیطی مختلف قادر به تولید عملکرد مطلوب اقتصادی می‌باشد (علیزاده و همکاران ۲۰۲۰). تغییرات ناشی از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای محققان علوم ژنتیک و اصلاح نباتات اهمیت ویژه‌ای دارد. آگاهی از این اثر به به‌نژادگران کمک می‌کند تا در این ارزیابی ژنوتیپ‌ها بادقت بیشتری عمل کرده و بهترین‌ها را انتخاب کنند؛ بنابراین ژنوتیپی باید گزینش شود که کمترین واریانس را در واکنش به تغییرات محیطی نشان داده است (محمدی و همکاران ۲۰۱۶).

روش‌های آماری برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط به دو گروه پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. روش‌های آماری پارامتری خود به دو گروه تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند. همچنین روش‌های تک‌متغیره شامل روش‌های مبتنی بر تجزیه واریانس و روش‌های مبتنی بر رگرسیون هستند. از روش‌های مبتنی بر تجزیه واریانس می‌توان به واریانس محیطی، ضریب تغییرات محیطی، اکووالانس ریک[1] و واریانس پایداری شوکلا[2] اشاره کرد. ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون[3]، ابرهارت و راسل[4] و پرکینز - جینکز[5] روش‌های مبتنی بر تجزیه رگرسیون هستند (ابرهارت و راسل ۱۹۶۶؛ فینلی و ویلکینسون ۱۹۶۳؛ شوکلا ۱۹۷۲؛ ریک ۱۹۶۲). باتوجه‌به پژوهش‌های متعدد، تجزیه پایداری بایستی به‌عنوان یک جنبه مهم آزمایش‌های مقایسه عملکرد در نظر گرفته شود؛ بنابراین هدف از این پژوهش علاوه بر بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، بررسی سازگاری لاین‌های اینبرد نوترکیب و والدین آن‌ها و معرفی ژنوتیپ‌های پایدار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تعداد ۳۲ لاین به همراه رقم والدی روشن (مقاوم به خشکی و دارای عملکرد بالا) به مدت دو سال در شش منطقه مختلف در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. ایستگاه‌های محل تحقیق در مناطق مختلفی از آذربایجان قرار داشتند که عبارت بودند از: تبریز، اهر، اردبیل، مغان، شبستر و ارومیه (جدول ۱). لاین‌ها به‌عنوان فاکتور ثابت در نظر گرفته شد که عبارت بودند از لاین‌های شماره ۳، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۶، ۲۵، ۳۱، ۳۲، ۳۴، ۳۶، ۳۸، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۵، ۴۷، ۵۱، ۵۲، ۵۶، ۵۹، ۶۱، ۶۸، ۷۲، ۷۴، ۷۸، ۸۸، ۹۰، ۹۱، ۹۵، ۹۶ و رقم والدی روشن.

عملیات کاشت پس از انجام شخم و دیسک‌زنی به صورت بهاره انجام گرفت. هر واحد آزمایش متشکل از چهار ردیف به طول یک و نیم متر به فاصله ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله بوته‌ها در روی ردیف دو سانتی‌متر و عمق

۱ Wricke
۲ Shukla
۳ Finlay and Wilkinson
۴ Eberhart 1966, Russell
۵ Perkins and Jinks

کاشت بذور یک و نیم سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۴/۲۱۷ کیلوگرم در هکتار (معادل ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) و

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی مکان‌ها مورد مطالعه

مکان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین بارندگی سالیانه (mm)
تبریز	۱۸ °۴۶	۴ °۳۸	۱۴۰۲	۳۳۰/۱
اهر	۴ °۴۷	۲۸ °۳۸	۱۳۴۲	۴۵۰-۳۱۰
اردبیل	۱۷ °۴۸	۱۴ °۳۸	۱۳۵۲	۵۰۰
مغان	۵۴ °۴۷	۳۸ °۳۹	۴۸	۲۱۲
شبستر	۴۲ °۴۵	۱۰ °۳۸	۱۴۱۷	۳۵۰
ارومیه	۴ °۴۵	۳۳ °۳۷	۱۳۴۸	۲۳۸/۲

در سه مرحله (هنگام کاشت، ساقه‌دهی و گلدهی) به زمین داده شد. عملیات مدیریتی مزرعه از قبیل آبیاری، مبارزه با علف‌های هرز و آفات انجام گرفت. برای مبارزه با شته از سم متاسیستوکس با غلظت دو در هزار استفاده گردید. برای محافظت محصول از خسارت گنجشک کل سطح مزرعه قبل از گلدهی توسط تور پلاستیکی پوشش داده شد. برداشت و کوبیدن محصول به‌صورت دستی انجام پذیرفت. میزان عملکرد دانه برای هر ژنوتیپ در هر محیط به‌صورت کیلوگرم در واحد آزمایشی (پنج مترمربع) تعیین و به تن در هکتار تبدیل شد. تجزیه واریانس مرکب پس از آزمون یکنواختی واریانس‌های درون محیطی (آزمون بارتلت) و مقایسه میانگین لاین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شدند. برای تعیین پایداری لاین‌های مورد بررسی از پارامترهای ضریب تغییرات محیطی، اکووالانس ریک، واریانس شوکلا، روش‌های رگرسیونی ابرهارت و راسل، فینلی – ویلکینسون و پرکینز – جینکز، میانگین و انحراف معیار رتبه و نسبت شاخص عملکرد استفاده گردید. به‌منظور تجزیه‌های آماری از نرم‌افزارهای SAS، MINITAB، S116 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که بین مکان‌ها از نظر عملکرد اختلاف معنی‌داری وجود دارد، اما سال‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد نداشتند. اختلاف بین ژنوتیپ‌ها و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و اثر متقابل ژنوتیپ × سال × مکان معنی‌دار گردید (جدول ۲) که نشان‌دهنده تفاوت بین عملکرد ژنوتیپ‌ها × محیط‌های مختلف بود که نشان از ضرورت تجزیه پایداری داشت. در مقایسه میانگین کل لاین‌ها (میانگین عملکرد دانه هر لاین در تمامی محیط‌ها محاسبه شده است)، بیشترین عملکرد را لاین‌های شماره ۳، ۱۲، ۳۸، ۴۲، ۴۷، ۹۵ و روشن دارا بودند (جدول ۴) و حداقل میانگین عملکرد دانه مربوط به لاین ۵۱ با ۳/۰۲۳ تن در هکتار بود.

نتایج تجزیه پایداری بر اساس مدل ابرهارت و راسل در جدول ۳ نشان‌داده‌شده است. میانگین مربعات انحراف از رگرسیون برای ارقام شماره ۳، ۱۶، ۳۸، ۴۲، ۴۷، ۵۲، ۵۶، ۷۸، ۹۶ معنی‌دار شد که نشان‌دهندهٔ پراکندگی عملکرد این لاین‌ها در اطراف خط رگرسیون است. نتایج بررسی سازگاری لاین‌ها با استفاده از روش ابرهارت و راسل به همراه میانگین و ضریب تشخیص هر رقم در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود لاین ۹۰ با داشتن عملکرد بالا و همچنین ضریب رگرسیون نزدیک به یک و انحراف از خط رگرسیون کم نسبت به سایر لاین‌ها سازگاری عمومی خوبی را نشان دادند. لاین‌های شماره ۳، ۳۸، ۴۲ و ۹۵ با اینکه عملکرد بالایی داشتند، ولی ضریب رگرسیون آن‌ها کمتر از یک بوده و همچنین نسبت به لاین‌هایی که سازگار عمومی بالایی داشتند، انحراف از خط رگرسیون آن‌ها بیشتر بود؛ لذا این لاین‌ها دارای سازگاری خصوصی خوبی در مناطق با شرایط نامساعد بوده‌اند. لاین ۵۱ با داشتن کمترین میانگین عملکرد و ضریب رگرسیون پایین، لاینی با سازگاری

خصوصی ضعیف با محیط نامساعد شناسایی شد. سایر لاین‌ها دارای سازگاری عمومی متوسط بودند. در این مطالعه نتایج حاصل از تجزیه پایداری به روش واریانس محیطی نشان داد که سه رقم دارای کمترین واریانس محیطی و بیشترین پایداری می‌باشند. همچنین بر اساس روش ضریب تغییرات محیطی چند رقم دارای بیشترین پایداری می‌باشند. بر اساس تجزیه پایداری به روش ناپارامتری دو رقم با میانگین رتبه ۱/۳ و ۴ دارای کمترین رتبه و کمترین واریانس و انحراف معیار رتبه می‌باشند. در این تحقیق علی‌رغم تفاوت‌هایی که در نتایج روش‌های مختلف تجزیه پایداری وجود داشت، در اکثر روش‌ها با درجات مختلف پایداری عمومی ظاهر شدند. در مقایسه روش‌های آماری برای توصیف اثر متقابل ژنوتیپ × محیط همبستگی بسیار معنی‌داری میان روش ابرهارت و راسل با واریانس شوکلا، اکووالانس ریک مشاهده می‌شود (آلبرت ۲۰۰۴). مهتا و همکاران (۲۰۰۰) و محفوظی و همکاران (۲۰۰۹) نیز از روش‌های پیشنهادی ابرهارت و راسل استفاده کرده و ارقام سازگار گندم با عملکرد پایدار را معرفی نمودند. یولکر و همکاران (۲۰۰۶) برای تعیین پایداری عملکرد دانه در گندم، ۱۱ لاین انتخاب شده از گندم نان را در سه منطقه به مدت دو سال بررسی و از دو پارامتر پایداری ضریب رگرسیون و انحراف از رگرسیون برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده نمودند و اثرات متقابل معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها، مکان‌ها و سال‌ها گزارش نمودند. بر اساس برآوردهای دو پارامتر پایداری، ۹ ژنوتیپ برای عملکرد دانه پایداری نشان دادند، درحالی‌که بر اساس ضریب رگرسیون و میانگین عملکرد دانه فقط دو لاین به دلیل عملکردهای بالاتر از مقدار متوسط در تمام شرایط محیطی در این مطالعه گزارش شدند. نجفیان و همکاران (۲۰۱۰) نیز با استفاده از روش چند متغیره توانستند مکان‌های اجرای آزمایشات مقایسه عملکرد کندم نان در مناطق معتدل ایران را براساس تشابه و تفاوت آن‌ها گروه‌بندی کرده و ژنوتیپ‌های گندم سازگار با آن مناطق را شناسایی و معرفی کنند. شارما و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی برای یافتن ژنوتیپ‌های گندم زمستانه با عملکرد و پایداری بالا از بین ۲۵ ژنوتیپ برای اصلاح گندم‌های زمستانه استفاده و پنج ژنوتیپ با عملکرد و پایداری بالا را شناسایی کردند. سوگی و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم نان از روش‌های پارامتری واریانس محیطی و ضریب تغییرات محیطی و روش ناپارامتری رتبه‌بندی استفاده کردند. جهرمی و همکاران (۲۰۱۱) در تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم دوروم باتوجه‌به معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ و محیط آماره‌های پایداری واریانس محیطی رومر، ضریب تغییرات، اکووانس ریک، واریگانس شوکلا، ارزش پایداری امی، واریانس درون مکانی و ضریب تغییرات درون مکانی را موردمطالعه قرار دادند.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌های گندم نان در محیط‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
مکان	۵	۸۳/۱۱**
سال	۱	۱/۴۹ns
مکان × سال	۵	۳۰/۴۳**
تکرار / محیط	۲۴	۰/۵۴
ژنوتیپ	۳۱	۸/۶۷**
مکان × ژنوتیپ	۱۵۵	۲/۰۱**
سال × ژنوتیپ	۳۱	۲/۷۹**
مکان × سال × ژنوتیپ	۱۵۵	۱/۹۴**
خطا	۷۴۴	۰/۶۵

CV (%)=18.11

**، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌داراست.

جدول ۳- تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌های گندم نان در محیط‌های مختلف بر اساس روش ابرهارت و راسل

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
ژنوتیپ	۳۱	۲/۰۶**
محیط	۱۱	۱۸/۵۴**
ژنوتیپ × محیط	۳۴۱	۲/۲۴**
محیط + (ژنوتیپ × محیط)	۳۵۲	۲/۳۶**
محیط (خطی)	۱	۱۹۲/۱۵
ژنوتیپ × محیط خطی	۳۱	۰/۳۹ ns
انحراف از رگرسیون	۳۲۰	۰/۳۴ ns
لاین ۳	۱۰	۰/۶۱۲ *
لاین ۹	۱۰	۰/۴۴۱ ns
لاین ۱۰	۱۰	۰/۲۱۱ ns
لاین ۱۲	۱۰	۰/۲۰۶ ns
لاین ۱۳	۱۰	۰/۲۹۹ ns
لاین ۱۶	۱۰	۰/۷۸۲**
لاین ۲۵	۱۰	۰/۴۱۶ ns
لاین ۳۱	۱۰	۰/۲۳۱ ns
لاین ۳۲	۱۰	۰/۳۱۴ ns
لاین ۳۴	۱۰	۰/۵۹۱ ns
لاین ۳۶	۱۰	۰/۳۰۱ ns
لاین ۳۸	۱۰	۰/۸۱۲**
لاین ۴۱	۱۰	۰/۵۱۱ ns
لاین ۴۲	۱۰	۰/۷۸۴**
لاین ۴۳	۱۰	۰/۳۴۳ ns
لاین ۴۵	۱۰	۰/۵۱۲ ns
لاین ۴۷	۱۰	۰/۷۵۴**
لاین ۵۱	۱۰	۰/۴۲۸ ns
لاین ۵۲	۱۰	۰/۵۸۳*
لاین ۵۶	۱۰	۰/۷۲۴**
لاین ۵۹	۱۰	۰/۵۱۲ ns
لاین ۶۱	۱۰	۰/۴۱۸ ns
لاین ۶۸	۱۰	۰/۳۱۱ ns
لاین ۷۲	۱۰	۰/۵۱۲ ns
لاین ۷۴	۱۰	۰/۴۱۰ ns
لاین ۷۸	۱۰	۰/۸۱۲**
لاین ۸۸	۱۰	۰/۳۰۱ns
لاین ۹۰	۱۰	۰/۲۱۴ns
لاین ۹۱	۱۰	۰/۳۸۴ns
لاین ۹۵	۱۰	۰/۳۱۴ns
لاین ۹۶	۱۰	۰/۷۴۹**
رقم روشن	۱۰	۰/۵۱۲ns
اشتباه مرکب	۷۴۴	۰/۱۷۵ns

جدول ۴- مقایسه میانگین لاین‌ها و شاخص پایداری به روش ابرهارت و راسل برای لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم نان

لاین	میانگین عملکرد (t/ha)	ضریب تشخیص	ضریب رگراسیون ابرهارت – راسل	انحراف از خط رگراسیون
۳	۴/۹۱۴ abcd	۵۱/۲۰	۰/۶۴۱	۰/۶۱۱
۹	۳/۳۴ def	۶۵/۷۰	۰/۹۱۰	۰/۴۳۱
۱۰	۴/۶۱۵ bcdef	۸۹/۳۰	۱/۰۱۵	۰/۱۴۵
۱۲	۴/۷۹۹ bcde	۹۳/۴	۱/۱۰۹	۰/۰۱۵
۱۳	۳/۹۸۰ cdef	۷۶/۳	۱/۱۴۰	۰/۲۱۱
۱۶	۴/۳۹ bcdef	۴۹/۷۶	۰/۷۲۱	۰/۵۳۲
۲۵	۴/۵۶ bcdef	۶۸/۴۹	۰/۸۲۰	۰/۴۶۳
۳۱	۴/۸۲۰ bcde	۸۵/۳۰	۱/۰۸۱	۰/۲۰۱
۳۲	۴/۲۵ cdef	۶۹/۶۰	۰/۹۴	۰/۴۰۲
۳۴	۴/۶۱ bcdef	۷۲/۷۱	۰/۸۰۲	۰/۳۷۴
۳۶	۴/۵۸ bcdef	۷۴/۲۳	۱/۲۸۳	۰/۳۶۱
۳۸	۵/۱۱۰ abc	۵۲/۵۶	۰/۶۴۵	۰/۶۱۶
۴۱	۳/۹۱۰ cdef	۶۶/۸۴	۱/۱۲۰	۰/۴۳۷
۴۲	۵/۴۷۰ ab	۵۶/۴۳	۰/۶۶	۰/۵۱۰
۴۳	۳/۹۲ cdef	۷۰/۵۱	۰/۸۴	۰/۴۳۶
۴۵	۴/۴۵۲ bcdef	۸۳/۲۷	۱/۲۱۰	۰/۲۱۴
۴۷	۴/۷۸۰ bcde	۴۸/۶۰	۰/۷۱۰	۰/۶۸۹
۵۱	۳/۰۲۳ f	۳۹/۴۱	۰/۲۸۱	۰/۹۰۶
۵۲	۴/۱۲۰ ef	۸۹/۸۳	۱/۳۳	۰/۱۰۵
۵۶	۴/۲۲ cdef	۶۰/۱۲	۱/۱۶۱	۰/۴۸۷
۵۹	۳/۶۱۴ cdef	۸۶/۳۳	۱/۲۵۰	۰/۱۲۶
۶۱	۴/۲۵۶ cdef	۸۲/۵۰	۱/۲۴۰	۰/۳۶۸
۶۸	۴/۴۶۰ bcde	۷۷/۳۱	۱/۱۹۲	۰/۳۴۴
۷۲	۳/۷۹۹ cdef	۶۸/۲۴	۱/۰۷۲	۰/۴۲۵
۷۴	۳/۸۹۰ cdef	۸۸/۱۱	۱/۱۴۲	۰/۱۱۲
۷۸	۴/۱۵۰ cdef	۶۲/۳۲	۱/۲۰۱	۰/۳۲۹
۸۸	۴/۲۰۶ cdef	۷۸/۴۵	۱/۲۷۰	۰/۴۱۷
۹۰	۵/۷۵۰ a	۸۱/۶۰	۱/۲۰۴	۰/۴۹۶
۹۱	۳/۸۱۲ cdef	۷۸/۴۱	۱/۱۸۲	۰/۴۰۶
۹۵	۵/۴۹۲ ab	۷۳/۸۴	۰/۶۱۰	۰/۳۶۱
۹۶	۳/۴۶۱ def	۷۶/۶۰	۱/۲۴	۰/۲۶۹
روشن	۴/۸۹۰ bcde	۹۴/۷۲	۱/۰۹۰	۰/۰۱۸

لاین‌های ۹، ۱۰، ۱۲، ۲۵، ۳۱، ۳۴، ۴۱، ۴۵، ۶۸، ۷۲، ۹۱، ۹۶ و رقم روشن کمترین ضریب تغییرات محیطی را نشان دادند و به‌عنوان ارقام پایدار شناسایی شدند. به‌غیراز لاین‌های ۹، ۴۱، ۷۲، ۹۱، ۹۶ بقیه ژنوتیپ‌های مذکور دارای میانگین عملکرد و بالاتر از میانگین کل (۴/۴۵۱) بودند. باتوجه‌به دو پارامتر پایداری واریانس شوکلا و اکووالانس ریک لاین‌های ۹، ۱۰، ۱۲، ۲۵، ۳۱، ۳۴، ۴۱، ۴۵، ۵۲، ۵۶، ۶۸، ۷۲، ۷۴، ۹۱، ۹۶ و رقم روشن پایدارترین لاین‌ها بودند. به‌غیراز لاین‌های ۵۲، ۵۶، ۷۴، بقیه لاین‌ها از لحاظ ضریب تغییرات محیطی نیز ارقام پایدار بودند. بر اساس ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون لاین‌های ۱۰، ۱۲، ۳۱، ۳۴، ۳۶، ۴۵، ۶۸، ۷۲، ۹۰

و رقم روشن، پایداری بالاتری نسبت به سایر لاین‌ها داشتند و میانگین آن‌ها بالاتر از میانگین کل بود. تمامی ژنوتیپ‌هایی که در روش ابرهارت و راسل سازگاری عمومی بالایی را از خود نشان دادند، در روش فینلی و ویلکینسون جزء ارقام پایدار بودند. بر اساس ضریب رگرسیون پرکینز و جینکز لاین‌های ۱۰، ۱۲، ۳۱، ۳۶، ۴۵، ۶۸، ۹۰ و رقم روشن به‌عنوان پایدارترین و پرمحصول-ترین ارقام شناسایی شدند (جدول ۵). زارعی و همکاران (۲۰۱۲) در مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های گندم نان بین روش اکووالانس ریک، واریانس شوکلا و انحراف از رگرسیون همبستگی معنی-داری مشاهده کردند. آکووارا و همکاران (۲۰۰۶) به‌منظور تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گندم از پارامترهای پایداری شوکلا، اکووالانس ریک، ضریب رگرسیون، ضریب تغییرات محیطی و انحراف از خط رگرسیون استفاده کردند و درنهایت پنج ژنوتیپ را به-عنوان پایدار معرفی کردند.

باتوجه‌به جدول ۶ بر اساس شاخص ضریب عملکرد، لاین ۱۲ با داشتن بالاترین مقدار عددی به‌عنوان پایدارترین لاین شناسایی شد. بر اساس میانگین و انحراف معیار رتبه لاین‌های شماره ۱۰، ۱۲، ۳۱، ۶۱، ۹۰ و رقم روشن با داشتن کمترین مقادیر میانگین و انحراف معیار رتبه به‌عنوان پایدارترین لاین‌ها شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شده با این روش تطابق کاملی با روش ابرهارت و راسل داشت. آریان و همکاران (۲۰۱۱) پایداری عملکرد ۱۲ ژنوتیپ گندم نان را در شش مکان مختلف در طول مدت دو سال بررسی کردند. تجزیه مرکب، واریانس معنی‌دار بالایی را برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و برهمکنش ژنوتیپ‌ها × محیط نشان داد. این محققین برای بررسی پایداری از ضریب رگرسیون و انحراف از رگرسیون استفاده نمودند. تجزیه پایداری نشان داد بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه اختلاف بسیار زیادی وجود دارد. اسماعیل‌زاده مقدم و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و بررسی پایداری عملکرد دانه، ۱۸ لاین گندم نان را در شش ایستگاه تحقیقاتی طی دو سال زراعی مورد بررسی قرار دادند. برهمکنش سال × مکان و سال × مکان × ژنوتیپ به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بر پایه روش غیرپارامتری میانگین رتبه عملکرد دانه، روش رگرسیون ابرهارت راسل، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا و چند روش دیگر، ژنوتیپ ۱۱ به‌عنوان لاین پایدار تشخیص داده شد.

جدول ۵- پارامترهای مختلف پایداری در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم نان

لاین	ضریب تغییرات محیط	شوکلا	ریک	فینلی و ویلکینسون	پرکنیز و جینکز
۳	۲۶/۱۴	۰/۷۳۲	۶/۷۹	۰/۶۵۲	- ۰/۳۵۹
۹	۱۶/۴۱	۰/۱۵۴	۱/۸۶۸	۰/۹۱۲	- ۰/۰۹
۱۰	۱۷/۱۹	۰/۱۷۴	۲/۲۱۳	۱/۰۲۴	۰/۰۱۵
۱۲	۱۷/۶۸	۰/۱۷۶	۲/۱۳۴	۱/۱۲۵	۰/۱۰۹
۱۳	۲۱/۱۹	۰/۲۲۶	۲/۴۸۱	۱/۱۴	۱/۱۴۰
۱۶	۲۲/۴۴	۰/۳۶۷	۳/۷۹۰	۰/۷۱۲	-۰/۲۷۹
۲۵	۱۷/۱۲	۰/۱۹۵	۲/۱۴	۰/۸۴	-۰/۹۱۸
۳۱	۱۶/۵۳	۰/۱۶۰	۱/۹۲	۱/۱۲۱	۰/۰۸۱
۳۲	۲۴/۲	۰/۴۲۷	۴/۱۵۶	۰/۸۹۸	-۰/۰۶
۳۴	۱۷/۴۹	۰/۱۸۴	۲/۱۰۴	۱/۰۱۴	-۰/۱۹۸
۳۶	۱۹/۸۴	۰/۲۷۵	۲/۴۹۱	۱/۳۰	۰/۲۸۳
۳۸	۲۵/۸۷	۰/۸۳۹	۸/۲۷۰	۰/۶۵۲	-۰/۳۵۵
۴۱	۱۷/۸۹	۰/۱۹۶	۲/۴۶	۰/۹۷۴	۰/۱۲
۴۲	۲۶/۱۹	۰/۹۱۴	۹/۱۱۲	۰/۶۴۹	-۰/۳۴
۴۳	۲۴/۵۱	۰/۴۱۵	۴/۲۹۶	۰/۷۷۱	-۰/۱۶
۴۵	۱۷/۴۵	۰/۱۷۹	۲/۰۳۱	۱/۲۰۵	۰/۲۱
۴۷	۲۲/۶۱	۰/۴۴۳	۴/۲۰۸	۰/۷۲۱	-۰/۲۹
۵۱	۲۸/۹۴	۰/۹۱۸	۹/۰۶۲	۰/۲۹۵	-۰/۷۲
۵۲	۲۱/۱۷	۰/۱۷۶	۲/۱۴۳	۱/۴۴	۰/۳۳۰
۵۶	۱۹/۳۳	۰/۱۷۲	۱/۹۸۷	۱/۲۱	۰/۱۶
۵۹	۲۰/۱۲	۰/۴۰۲	۳/۹۱۲	۱/۲۷	۰/۲۵
۶۱	۲۲/۳۹	۰/۳۶۸	۳/۲۵۲	۱/۲۵	۰/۲۴
۶۸	۱۷/۶۴	۰/۱۹۲	۲/۶۶	۱/۱۹۲	۰/۱۹
۷۲	۱۷/۰۸	۰/۱۷۱	۱/۹۷۲	۱/۰۹۱	۰/۰۷
۷۴	۲۰/۱۱	۰/۱۷۶	۲/۱۱۰	۱/۱۶۲	۰/۱۴
۷۸	۲۴/۹۴	۰/۳۴۱	۳/۳۶۴	۱/۲۱	۰/۲۰۱
۸۸	۲۳/۷۵	۰/۵۶۰	۳/۵۷۱	۱/۳۵	۰/۲۷
۹۰	۲۴/۷۱	۰/۵۷۳	۳/۵۸۹	۱/۲۲	۰/۲۰۴
۹۱	۱۷/۱۴	۰/۱۵۸	۱/۷۳۴	۱/۲۰	۰/۱۸۰
۹۵	۲۵/۴۹	۰/۸۶۲	۴/۹۰۳	۰/۶۹۰	-۰/۳۹
۹۶	۱۶/۴۳	۰/۱۹۲	۲/۸۱	۱/۳۵	۰/۲۴
روشن	۱۶/۸۵	۰/۱۶۵	۲/۰۱۴	۱/۰۲۳	۰/۰۹

جدول ۶- تجزیه پایداری لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم نان بر اساس روش‌های غیرپارامتری

لاین	شاخص ضریب عملکرد	میانگین رتبه	انحراف معیار رتبه
۳	۱۱۰/۴۰	۱۵/۶۶	۷/۴۲
۹	۷۵/۰۴	۹/۹۴	۶/۷۸
۱۰	۱۰۳/۶۸	۵/۸۷	۴/۲۳
۱۲	۱۷۵/۲۲	۶/۲۵	۴/۶۳
۱۳	۸۹/۴۲	۱۰/۸۶	۸/۴۵
۱۶	۹۸/۶۳	۱۲/۴۲	۶/۹۷
۲۵	۹۷/۹۵	۱۳/۹۴	۷/۲۹
۳۱	۱۰۸/۲۹	۶/۴۳	۵/۴۴
۳۲	۹۵/۴۸	۹/۷۵	۶/۶۸
۳۴	۱۰۳/۵۷	۹/۶۸	۷/۲۱
۳۶	۱۰۲/۹۰	۱۰/۱۵	۶/۲۵
۳۸	۱۱۴//۸۱	۲۱/۵۴	۸/۲۰
۴۱	۸۷/۸۵	۱۴/۳۶	۵/۹۸
۴۲	۱۲۲/۸۹	۱۴/۸۱	۷/۱۱
۴۳	۸۸/۰۷	۱۵/۴۸	۵/۲۵
۴۵	۹۹/۹۸	۱۷/۱۲	۴/۸۹
۴۷	۱۰۷/۴۰	۱۸/۶۸	۶/۳۳
۵۱	۶۷/۹۲	۲۲/۴۵	۵/۸۸
۵۲	۹۲/۵۶	۱۷/۶۴	۶/۲۱
۵۶	۹۴/۸۱	۱۵/۴۴	۵/۶۱
۵۹	۸۱/۱۹	۱۴/۸۷	۵/۲۳
۶۱	۹۵/۶۲	۸/۴۹	۶/۱۲
۶۸	۱۰۰/۲۰	۱۴/۷۳	۵/۹۱
۷۲	۸۵/۳۵	۱۲/۱۹	۵/۴۳
۷۴	۸۷/۴۰	۱۴/۹۷	۵/۲۹
۷۸	۹۳/۲۴	۱۲/۳۵	۵/۴۷
۸۸	۹۴/۴۹	۱۴/۴۸	۶/۳۲
۹۰	۱۲۹/۱۸	۹/۶۴	۵/۱۱
۹۱	۸۵/۶۴	۱۵/۴۶	۴/۹۶
۹۵	۱۲۳/۳۹	۱۹/۱۷	۷/۲۸
۹۶	۷۷/۷۶	۱۰/۴۴	۴/۹۹
روشن	۱۰۹/۸۶	۵/۹۷	۴/۶۵

نتیجه‌گیری

در روش‌های ضریب تغییرات محیطی، اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا، لاین‌های دارای حداقل مقدار به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. در روش‌های مبتنی بر رگرسیون ژنوتیپ‌های با ضریب رگرسیون برابر یک و انحراف از رگرسیون برابر صفر به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار تلقی گردیدند. در روش میانگین و انحراف معیار رتبه، لاین‌هایی که دارای میانگین

و انحراف معیار رتبه کمتری در تمام محیط‌ها بودند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. در روش نسبت شاخص عملکرد بر مبنای نسبت میانگین ژنوتیپ به میانگین تمام ژنوتیپ‌ها × محیط‌های مورد بررسی که بر حسب درصد است، بیشتر بودن مقدار نشان از پایداری ژنوتیپ دارد. باتوجه‌به همسویی نسبی نتایج حاصل از روش‌های مختلف می‌توان اظهار داشت که در این پژوهش لاین‌های ۱۰، ۱۲، ۳۱ و رقم روشن به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناخته شدند و لاین ۵۱ به‌عنوان ناپایدارترین لاین و مخصوص مناطق نامساعد تشخیص داده شد.

سپاسگزاری

از همه همکاران مستقر در ایستگاه‌های تحقیقاتی کشاورزی شهرهای مختلفی که این پژوهش در آن‌ها انجام شد، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Akcura M, Kaya Y, Taner S and Ayranici R. 2006. Parametric stability analysis for grain yield of durum wheat. Plant Soil Environment, 52: 254-261.

Albert JA. 2004. A comparison of statistical methods to describe genotype × environment interaction and yield stability in multi-location maize trials. Free State University, Bloemfontein, M.Sc. Dissertation.

Alizadeh B, Rezaizad A, Yazdandoost Hamedani M, Shiresmaeili G.H, Nasserghadimi F, Khademhamzeh H.R and Gholizadeh A. 2020. Evaluation of seed yield stability of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using non-parametric methods. Journal of Crop Breeding, 12(35): 202-212. (In Persian) http://dx.doi.org/10.52547/jcb.12.35.202

Alizadeh B, Rezaizad A, Yazdandoost Hamedani M, Shiresmaeili GH, Nasserghadimi F, Khademhamzeh HR and Gholizadeh A. 2021. Analysis of genotype × environment interaction for seed yield in winter rapeseed cultivars and lines using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. Journal of Crop Production and Processing, 11(1): 95-108. (In Persian) http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.11.1.36131

Arian M.A, Sial M.A, Rajput M.A and Mirbahar A.A. 2011. Yield stability in bread wheat genotype. Pakistan journal of Botany, 43(4): 2071-2074.

Eberhart S.A and Russel W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6: 36-40.

Esmailzadeh Moghaddam M, Zakizadeh M, Akbari Moghaddam H, Abedini Esfahlani M, Sayahfar M, Nikzad A.R and Lotfali Aeineh G. 2011. Genotype × environment interaction and stability of grain yield of bread wheat genotypes in dry and warm areas of Iran. Seed and Plant Improvement Journal, 27(2): 257-273. (In Persian).

FAO. 2021. FAOSTAT. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Finlay K.W and Wilkinson G.N. 1963. The analysis of adaptation in plant-breeding programs. Australian Journal of Agricultural Research, 14: 742-754.

Jahromi H.M.A, Khodarahmi M, Mohammadi A.R and Mohammadi A. 2011. Stability analysis for grain yield of promising durum wheat genotypes in southern warm and dry agro-climatic zone of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences, 13(3): 565-579. (In Persian)

Mahfoozi S, Amini A, Chaichi M, Jasemi Sh, Nazeri M, Abedi Oskooie MS, Aminzadeh G and Rezaie M. 2009. Study on grain yield stability and adaptability of winter wheat genotypes using different stability indices under terminal drought stress conditions. Seed Plant Improvment, 25: 65-82. (In Persian).

Mehta H, Sawhney RN, Singh Chaudhary SS, Samara DN and Sharma JB. 2000. Stability analysis of high yielding wheat at varying fertility levels. Indian Journal Genetics and Plant Breeding, 60: 471-476.

Mohammadi R, Armion M, Sadeghzadeh B, Golkari S, Khalilzadeh GR, Ahmadi H, Abedi Asl G and Eskandari M. 2016. Evaluation of grain yield stability and compatibility of durum wheat breeding lines. Journal of Agricultural Applied Research, 29(4): 42-25. https://doi.org/10.22092/aj.2017.102141.1037

Najafian G, Kaffashi AK and Jafar-Nezhad A. 2010. Analysis of grain yield stability in hexaploid wheat genotypes grown in temperate regions of Iran using additive main effects and multiplicative interaction. Journal of Agricultural Science and Technology, 12: 213-222. (In Persian).

Omrani S, Mohammad Naji A and Esmaeilzadeh Moghaddam M. 2017. Yield stability analysis of promising bread wheat lines in southern warm and dry agroclimatic zone of Iran using GGE biplot model. Journal of Crop Breeding, 23(9): 157-165. (In Persian) http://dx.doi.org/10.29252/jcb.9.23.157

Sharma R.C, Morgounov A.I, Braun H.J, Akin B, Keser M, Bedoshvili D, Bagci A, Martius C and van Ginkel M. 2010. Identifying high yielding stable winter wheat genotypes for irrigated environments in central and west Asia. Euphytica, 171: 53-64.

Shukla G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity, 29: 237-245.

Sogi H.A, Kalate Arabi M and Abrodi S.A.M. 2006. Stability analysis of grain yield and investigation of trait relationships in omid bakhsh bread wheat lines in Gorgan. Journal of Pajohesh and Sazandegi, (70): 56-62. (In Persian)

Ulker M, Sonmez F, Ciftci V, Yilmaz N and Apak R. 2006. Adaptation and stability analysis in the selected lines of wheat. Pakistan Journal of Botany, 38(4): 1177.

Wrick G. 1962. Über eine Methode zür Erfassung der Okologischen Streubreite in Feldresuchen. Z. Pflanzenzuchtg, 47: 92-96.

Zali H, Sofalian O, Hasanloo T and Asghari A. 2016. Evaluation of yield stability and drought tolerance-based AMMI and GGE biplot analysis in *Brassica napus* L. Agricultural Communications, 4(1): 1-8.

Zarei L, Farshadfar E, Haghparast R, Rajabi R, Mohammadi-Sarab-Badieh M and Zali H. 2012. Comparison of different methods of stability evaluation in bread wheat genotypes under drought stress conditions. Electronic Journal of Crop Production, 5: 81-97. (In Persian).

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 193-215

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

Efficiency of Phytoprotectants and Phosphorus Solubilizing Bacteria in Modulating of Water Deficit Effects on Wheat

Ali Namvar[1], Hashem Hadi[2*], Raouf Seyedsharifi [3]

Received: 10 September 2023	Accepted: 22 February 2024

1-PhD. Student, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Urmia, Iran.
2-Associ. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Urmia, Iran.
3-Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
*Corresponding Author Email: h.hadi@urmia.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Drought stress is one of the most common limiting factors for crop production.The present study is aimed to investigation of the effectiveness of external phytoprotectants application and phosphorus-solubilizing bacteria on the tolerance capacity of wheat against drought stress.

Materials and Methods: Field studies were carried out for two years at the research farm of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. Experiment was conducted as a split plot factorial based on randomized complete block design with three replications. The main factor included drought stress at three levels [irrigation at 80% of field capacity (no stress), irrigation at 65% of field capacity (moderate stress) and irrigation at 50% of field capacity (severe stress)]. Sub factor was combination of external phytoprotectants application at five levels [Distilled water as control, Ascorbic acid (1 mM), Tocopherol (1 mM) , Silicon (1 mM) and Zinc NPS (1 mM) and inoculation with phosphorus-solubilizing bacteria at two levels (with and without inoculation)].

Results: The severe water limitation (50% field capacity) compared to non-stress conditions (irrigation at 80% field capacity), led to a significant decrease in wheat yield and yield components. However, the application of organic (ascorbic acid and tocopherol) and mineral (silicon and zinc NPS) phytoprotectants, as well as inoculation with phosphorus-solubilizing bacteria were significant on Chl *a*, Chl *b* content and also, leaf area index and increment of the effective compounds in plant tolerance under stress conditions such as carotenoieds, prolin and slouble sugars. Application of ascorbic acid, silicon, zinc and tocopherol under non-stress conditions (irrigation at 80% field capacity) increased grain yield 12.3, 7.7, 4.7 and 2.9% respectively compared to no application of stress modulators at the same level of irrigation. Also under the severe water limitation, application of stress modulators increased grain yield 28, 18.2, 17.3 and 9.3% in compared to no application of stress modulators at the same level of irrigation

Conclusion: It seems that application of phytoprotectants and inoculation with phosphorus-solubilizing bacteria, can increase grain yield of wheat under water deficit conditions due to improve Chl *a*, Chl *b* content and also, leaf area index and increment of compatible osmolytes such as prolin and slouble sugars.

Keywords: Biofertilizer, Drought Stress, Irrigation, Phytoprotectant, Yield

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Hashem Hadi Email: h.hadi@urmia.ac.ir
https://doi.org/10.22034/SAPS.2024.58381.3114

کارآیی محافظ‌های گیاهی و باکتری حل‌کننده‌ی فسفر در تعدیل اثرات کمبود آب بر گندم

علی نامور[۱]، هاشم هادی[۲*]، رئوف سیدشریفی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱۹	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۳

۱- دانشجوی دکتری گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
* مسئول مکاتبه: Email: h.hadi@urmia.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: تنش خشکی یکی از شایع‌ترین عوامل محدودکننده‌ی تولید گیاهان زراعی به‌شمارمی‌رود. مطالعه‌ی حاضر در راستای بررسی میزان تاثیرگذاری کاربرد منابع خارجی محافظ‌های گیاهی مختلف و باکتری حل‌کننده‌ی فسفر روی توان تحملی گندم در برابر تنش خشکی صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: مطالعات مزرعه‌ای به‌مدت دو سال زراعی در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. آزمایش به صورت اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح [آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، آبیاری در ۶۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید)] بود. عامل فرعی به ترکیب دو تیمار کاربرد منابع خارجی محافظ‌های گیاهی در پنج سطح (آب مقطر به‌عنون شاهد، آسکوربیک اسید (۱ میلی‌مولار)، آلفا توکوفرول (۱ میلی‌مولار)، سیلیکون (۱ میلی‌مولار) و نانو ذرات روی (۱ میلی‌مولار) و تلقیح با باکتری حل‌کننده‌ی فسفر در دو سطح (با تلقیح و بدون تلقیح) اختصاص یافت.

یافته‌ها: محدودیت شدید آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با شرایط بدون تنش (آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی) منجر به کاهش معنی‌داری در عملکرد و اجزای عملکرد گندم گردید. با این وجود، استفاده از محافظ‌های گیاهی آلی (آسکوربیک اسید و توکوفرول) و معدنی (سیلیکون و نانو ذرات روی) و همچنین، تلفیح با باکتری حل‌کننده‌ی فسفر بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و همچنین شاخص سطح برگ و ارتقای سطوح ترکیبات موثر در توان تحملی گیاه در شرایط تنش همچون کاروتنوییدها، پرولین و قندهای محلول معنی‌دار بود. کاربرد اسکوربیک اسید، سیلیکون، روی و توکوفرول در شرایط بدون تنش (آبیاری تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی) عملکرد دانه را به ترتیب ۱۲/۳، ۷/۷ ، ۴/۷ و ۲/۹ درصد در مقایسه با عدم کاربرد این تعدیل کننده های تنش در همین سطح از ابیاری افزایش داد. همچنین در شرایط تنش شدید، کاربرد تعدیل کننده های تنش (اسکوربیک اسید، سیلیکون، روی و توکوفرول) به ترتیب عملکرد دانه را ۲۸، ۱۸/۲ ، ۱۷/۳ و ۹/۳ درصد در مقایسه با عدم کاربرد این تعدیل کننده های تنش در همین سطح از ابیاری افزایش داد.

نتیجه گیری: به نظر میرسد استفاده از محافظ‌های گیاهی و تلقیح با باکتری حل‌کننده‌ی فسفر میتواند عملکرد گندم در شرایط کمبود آب را به دلیل بهبود محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و همچنین شاخص سطح برگ و ارتقای اسمولیت‌های سازگار همچون پرولین و قندهای محلول افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تنش خشکی، کود زیستی، عملکرد، محافظ گیاهی

مقدمه

گندم از اولین گیاهانی است که توسط انسان اهلی شده و جزو مهم‌ترین گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود چرا که، زراعت آن در مناطق مختلف و شرایط آب و هوایی متفاوت صورت گرفته و غذای اصلی اغلب مردم جهان را تشکیل می‌دهد. عواملی نظیر؛ هزینه‌های پایین، درآمد نسبتاً مناسب، سازگاری با مناطق مختلف، استفاده از کاه آن جهت تغذیه دام و غیره، باعث شده است که این محصول روز به روز بیشتر مورد توجه کشاورزان قرار گیرد (کریم و همکاران ۲۰۱۲، علی و همکاران ۲۰۱۹، ایشاق و همکاران ۲۰۲۱).

با این‌وجود، گندم در طول فصل رشد با تنش‌های محیطی مختلفی مواجه می‌شود که منجر به کاهش عملکرد این گیاه زراعی می‌گردد. تنش خشکی بارزترین تهدید برای سیستم‌های کشاورزی به‌شمار می‌رود که در مناطق مختلف، حداقل در طول دوره‌ای از رشد، کارکرد و شرایط حیات گیاهان زراعی را متاثر می‌سازد (بوخاری و همکاران ۲۰۲۱). گندم نیز از این قاعده مستثنی نیست و این امر در زمین‌هایی که کشت و کار گندم در آن‌ها به‌صورت دیم صورت می‌گیرد، مشهودتر است (رانا و همکاران ۲۰۱۳). تنش خشکی می‌تواند بسیاری از جنبه‌های رشد و نموی گیاه را تحت تاثیر قرار دهد. محدودیت میزان آب قابل دسترس بر آماس سلول‌ها، پایداری غشاهای سلولی، باز و بسته شدن روزنه‌ها، فتوسنتز، تنفس و تعرق اثر گذاشته و از فرآیندهایی که به‌صورت مستقیم به وجود آب بستگی دارند (نظیر؛ فعالیت‌های آنزیمی)، ممانعت به‌عمل می‌آورد (آزوز و احمد ۲۰۱۵، سه‌لیمان و همکاران ۲۰۲۱). کاهش رشد گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی به‌واسطه‌ی محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد (آهلووالیا و همکاران ۲۰۲۱). تنش خشکی با کاهش سطح برگ، انسداد روزنه‌ها، کاهش فعالیت‌های پروتوپلاسمی، کاهش تثبیت دی‌اکسیدکربن، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل، موجب کاهش فتوسنتز می‌شود (حسین و همکاران ۲۰۱۶). با این‌وجود، به‌واسطه‌ی به‌کارگیری برخی از راه‌کارهای مدیریتی، می‌توان توان تحمل تنش خشکی در گیاهان را بالا برده و صدمات ناشی از حضور این عامل تنش‌زا را تا حدودی تعدیل نمود. در این راستا، استفاده از منابع خارجی محافظ‌های گیاهی نظیر؛ هورمون‌های گیاهی، محافظ‌های اسمزی، آنتی‌اکسیدان‌ها و برخی عناصر، از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. مطالعات متعددی نشان می‌دهند که اگر محافظ‌های گیاهی به درستی انتخاب شده و در غلظت و مرحله‌ی مناسب رشدی گیاه به‌کار گرفته شوند، می‌توانند اثرات جبرانی قابل قبولی بر روی عملکرد گیاهان در شرایط تنش داشته باشند (هادی و همکاران ۲۰۱۶، نامور و همکاران ۲۰۱۷).

آسکوربیک اسید و توکوفرول از ترکیبات کلیدی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی به‌شمار رفته و نقش بسیار موثری در تخفیف اثرات تنش اکسیداتیو دارند (مونه‌بوش ۲۰۰۵، فویر و نوکتور ۲۰۱۱). آسکوربیک اسید به‌عنوان بافر ردااکس در سلول‌های گیاهی عمل نموده و در تنظیم فرآیندهای رشد، نمو، متابولیسم و عکس‌العمل به تنش‌ها دخالت می‌نماید (ایشاق و همکاران ۲۰۲۱، نورین و همکاران ۲۰۲۱). به‌علاوه، آسکوربیک اسید به بازسازی آلفا توکوفرول و زئازانتین و همچنین، فعالیت فتوسیستم II کمک شایانی کرده و در کنترل توالی چرخه‌های سلولی و رشد و توسعه‌ی ریشه‌ها موثر است (فویر و نوکتور ۲۰۱۱، آزوز و احمد ۲۰۱۵، حافظ و قریب ۲۰۱۶). آسکوربیک اسید پیش‌ماده‌ی سنتز آنزیم آسکوربات پراکسیداز به‌شمار می‌رود که درتنظیف پراکسید هیدروژن، سوپراکسید، رادیکال هیدروژن و ممانعت از پراکسیداسیون لیپیدها حایز اهمیت است (احمد ۲۰۱۴، دوی‌ودی و همکاران ۲۰۱۹). مالیک و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر کاربرد آسکوربیک اسید در دو رقم گندم تحت شرایط خشکی، گزارش کردند که استفاده از منابع خارجی آسکوربیک اسید در جهت عکس تنش خشکی عمل نموده و تیمار بوته‌های گندم با آسکوربیک اسید در شرایط کمبود آب، منجر به افزایش محتوای پرولین و کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی میشود. شفیق و همکاران (۲۰۱۴)

در بررسی اثر محلول‌پاشی آسکوربیک اسید بر روی بوته‌های کلزای قرار گرفته در معرض تنش خشکی (۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، کاهش مقادیر مالون‌دی‌آلدهید را در کاربرد آسکوربیک اسید در شرایط خشکی، گزارش کردند. نورین و همکاران (۲۰۲۱) دریافتند که محلول-پاشی آسکوربیک اسید در جو تحت شرایط تنش، بالاترین مقادیر کلروفیل (a، b و کل) و محتوای پرولین را در مقایسه با بوته‌های تیمار نشده، به خود اختصاص داد.

از سوی دیگر، کنترل گونه‌های فعال اکسیژن، حفظ پایداری رداکس، ممانعت از پراکسیداسیون لیپیدها، حفاظت از کارکردهای غشایی (از جمله؛ غشاهای فتوسنتزی)، هدایت سیگنال‌ها، کنترل تنظیمات فیتوهورمونی و فرآیند پیری از بارزترین کارکردهای توکوفرول در شرایط تنش محسوب می‌گردند که به مقادیر این ترکیب آنتی‌اکسیدانی وابستگی بالایی نشان می‌دهند (مونه‌بوش ۲۰۰۵، آروم و مونه‌بوش ۲۰۱۰، علی و همکاران ۲۰۱۹). حضور توکوفرول تجمع کربوهیدرات‌ها را تسریع می‌کند (حسین و همکاران ۲۰۱۳). جیه و همکاران (۲۰۰۸) با به‌کارگیری سطوح مختلف توکوفرول (۰/۰۵، ۱ و ۱۰ میلی‌مولار) در شرایط تنش خشکی، بیان نمودند که تیمار گیاهان با این ترکیب، موجب ارتقای قابل توجه تجمع پرولین در حضور خشکی می‌شود. از سوی دیگر، مقادیر مالون‌دی‌آلدهید و پراکسیداسیون لیپیدها نیز در نتیجه‌ی استفاده از منابع خارجی توکوفرول کاهش می‌یابد. صادیق و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که محلول‌پاشی آلفا توکوفرول (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) منجر به افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل a و b، میزان پرولین و اجزای عملکرد (تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه) در شرایط تنش خشکی شد. ایمان و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تاثیر سه سطح از محلول-پاشی توکوفرول (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) در سویا مشاهده کردند که محتوای کلروفیل a و b، محتوای پرولین و اجزای عملکرد این گیاه واکنش مثبتی به تیمار توکوفرول نشان داده و در شرایط کمبود فرآهمی آب، افزایش معنی‌داری پیدا می‌کنند.

روی عنصری ضروری برای موجودات زنده محسوب می‌گردد. این عنصر فلزی می‌تواند نقش بسیار مهمی در افزایش تحمل فلزات سنگین، جلوگیری از تنش‌های آبی، حفاظت از صدمات گونه‌های فعال اکسیژن و ارتقای مقاومت در مقابل محدودیت‌های محیطی ایفا نماید (کریم و همکاران ۲۰۱۲، رامش‌رادی و همکاران ۲۰۱۷، ادریس و همکاران ۲۰۲۱). دخالت روی در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه ثابت شده و اثرات مثبت کاربرد منابع خارجی روی در تنش‌های محیطی مختلف نظیر؛ دمای بالا، شوری و به‌خصوص خشکی در بسیاری از تحقیقات مشخص شده است (نامور و همکاران ۲۰۱۷، ستار و همکاران ۲۰۲۲). فاران و همکاران (۲۰۱۹) اظهار داشتند که روی موجب کاهش مقادیر مالون‌دی‌آلدهید و افزایش محتوای پرولین، سطح برگ، ارتفاع بوته و عملکرد گندم در شرایط کمبود آب می‌شود.

علاوه بر این، حضور سیلیکون که جزو عناصر کمیاب طبقه‌بندی می‌شود، اثرات مثبتی بر رشد و نمو گیاهان نشان می‌دهد (هادی و همکاران ۲۰۱۶). کاربرد منابع خارجی سیلیکون در شرایط تنش منجر به بهبود روابط آبی، ارتقای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و بالا رفتن کارآیی سیستم فتوسنتزی و در نتیجه، بهبود مقاومت گیاهان در برابر عوامل نامساعد محیطی می-گردد (پوپه و سومر ۲۰۱۸، بوخاری و همکاران ۲۰۲۱، وانگ و همکاران ۲۰۲۱).

مقصودی و همکاران (۲۰۱۶) طی مطالعه‌ای اثرات کاربرد منابع خارجی سیلیکون بیان داشتند که هرچند کاربرد سیلیکون در هر دو شرایط تنش و بدون تنش موجب افزایش محتوای آب نسبی برگ‌ها، رنگدانه‌های فتوسنتزی و پایداری غشاهای پلاسمایی می‌گردد، ولی این تاثیر در شرایط تنش بسیار بارز و مشهودتر است. په‌ی و همکاران (۲۰۱۲) در گندم گزارش کردند که استفاده از یک میلی‌مولار سیلیکون، منجر به کاهش اثرات مخرب تنش خشکی می‌شود. این محققین اظهار داشتند که به‌کارگیری سیلیکون موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ در گیاهان قرار گرفته در معرض تنش خشکی می‌گردد.

اوتمانی و همکاران (۲۰۲۱) در ارزیابی کاربرد منابع خارجی سیلیکون در گندم تحت شرایط کمبود آب، مشاهده کردند که حضور سیلیکون در تنش خشکی منجر به بالا رفتن شاخص کلروفیل شده و نشت یون‌ها را در مقایسه با بوته‌های تیمار نشده، به‌شدت کاهش می‌دهد. طی آزمایشی گزارش شد که کاربرد سیلیکون در گندم موجب بالا رفتن طول سنبله، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در شرایط تنش خشکی می‌شود (احمد و همکاران ۲۰۱۵). بالا رفتن تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، طول سنبله، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی با کاربرد منابع خارجی سیلیکون در گندم تحت شرایط تنش خشکی توسط بوخاری و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش شده است.

از سوی دیگر، استفاده از کودهای زیستی در کشت محصولات زراعی، می‌تواند در بهبود رشد گیاهان در شرایط مختلف محیطی نقش به‌سزایی داشته باشد. حضور این موجودات در محیط رشد گیاه و برقراری رابطه‌ی مناسب بین آن‌ها، می‌تواند در ارتقای توان مقاومتی گیاه در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی حایز اهمیت باشد (سیدشریفی و نامور ۲۰۱۵). باکتری حل کننده‌ی فسفر از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های خاک‌زی هستند که با استفاده از مکانیسم‌های خاصی، می‌توانند مقاومت گیاهان زراعی در برابر تنش خشکی را افزایش داده و اثرات بازدارنده‌ی این تنش را تا حدودی تعدیل نمایند (اعتصامی و ماهش‌واری ۲۰۱۸، یاداو ۲۰۲۱).

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان اظهار داشت که مطالعه و بررسی اثرات استفاده از منابع خارجی محافظهای گیاهی در حضور باکتری حل کننده‌ی فسفر می‌تواند در ارتقای توان تحملی گیاهان زراعی مختلف از جمله گندم در شرایط تنش خشکی بسیار حایز اهمیت باشد، چرا که به‌واسطه‌ی شناسایی اثرات جبرانی این تیمارها و درک مکانیسم‌های دخیل در این امر، می‌توان تا حدودی اثرات مخرب تنش خشکی را کاهش داده و افت عملکرد به‌وجود آمده از این تنش را جبران نمود. از این‌رو، پژوهش حاضر به‌منظور مطالعه‌ی تاثیر کاربرد منابع خارجی محافظهای گیاهی مختلف و باکتری حل - کننده‌ی فسفر در تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی در گندم انجام شد.

مواد روش‌ها

مطالعات مزرعه‌ای به‌مدت دو سال زراعی (۱۳۹۴ و ۱۳۹۵) در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی واقع در ۱۰ کیلومتری شرق اردبیل، در اراضی بابلان اجرا گردید. مزرعه در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه‌ی شرقی واقع شده و دارای ۱۳۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا است. مشخصات آب و هوایی و نتایج آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در طول مطالعه، در جدول ۱ و ۲ ارایه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه‌ی محل آزمایش

عمق نمونه‌برداری (cm)	هدایت الکتریکی (ds/m)	pH	SP (٪)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت
۰-۳۰	۲/۴	۷/۸	۴۷	۲۳	۴۲	۳۵	لومی
آهک (٪)	**کربن آلی (٪)**	**نیتروژن (٪)**	**فسفر (ppm)**	**پتاسیم (ppm)**	**روی (ppm)**	**ظرفیت زراعی (٪)**	**نقطه پژمردگی دایم (٪)**
۱۴/۴۵	۰/۶۲	۰/۰۶	۸/۴	۲۱۲	۰/۹	۲۷/۹۷	۱۲/۶۳

آزمایش به صورت اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح (آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، آبیاری در ۶۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید)) بود. عامل فرعی به ترکیب دو تیمار کاربرد منابع خارجی محافظهای گیاهی در پنج سطح (محلول‌پاشی آب مقطر به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی آسکوربیک اسید، محلول-پاشی توکوفرول، محلول‌پاشی نانو ذرات روی و محلول‌پاشی سیلیکون) و تلقیح با باکتری حل کننده‌ی فسفر در دو سطح (با تلقیح و بدون تلقیح) اختصاص یافت. تمامی مواد مورد استفاده از جمله آسکوربیک اسید، توکوفرول، نانوذرات روی و سیلیکون، باکتری حل کننده فسفات از شرکت جهان کیمیای ارومیه تهیه شد. آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک‌زنی طی هر دو سال، در اوایل بهار انجام گرفت و عملیات کاشت، به محض مساعد شدن شرایط جوی، در ۱۲ و ۱۶ اردیبهشت (به‌ترتیب در سال اول و دوم) صورت پذیرفت. بذور گندم (رقم چمران) در کرت‌هایی متشکل از ۷ ردیف با فاصله‌ی بین ردیفی ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع با سه تکرار کشت گردید. طول هر ردیف ۴ متر در نظر گرفته شد. در واقع، هر تکرار شامل ۳ کرت اصلی (سطوح مختلف آبیاری) و هر کرت اصلی در برگیرنده‌ی ۱۰ کرت فرعی (ترکیب سطوح مختلف محلول‌پاشی محافظهای گیاهی و تلقیح با باکتری حل کننده‌ی فسفر) بود. برای جلوگیری از تداخل تیمارهای مورد بررسی به خصوص سطوح آبیاری، بین کرت‌ها ۱/۵ متر و بین تکرارها ۳ متر به‌صورت نکاشت لحاظ گردید. به‌منظور تضمین جوانه‌زنی بذرها و استقرار یکنواخت بوته‌ها، تمام کرت‌های مورد مطالعه تا مرحله‌ی آغاز طویل شدن ساقه (مطابق با مرحله‌ی ۳۰ زادوکس) با توجه به نیاز منطقه آبیاری شدند و آبیاری‌های بعدی در طول فصل رشد، بر اساس تیمارهای آبیاری به‌کار گرفته شده، صورت پذیرفت. کنترل علف‌های‌هرز در طول دوره‌ی رشد به‌صورت دستی انجام شد. کوددهی با توجه به آزمون خاک صورت گرفت (جدول ۱)، ولی با توجه به بازدارندگی کود فسفاته از فعالیت باکتری حل کننده‌ی فسفر، مقادیر کود فسفاته مورد استفاده به نصف تقلیل داده شد. از این‌رو، کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب در مقادیر ۹۰، ۳۵ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار مورد استفاده قرار گرفت که به فرم اوره، سوپرفسفات‌تریپل و نیترات پتاسیم بودند. تمام مقادیر کودهای فسفر و پتاسیم به-هنگام کاشت به‌کار برده شد در حالی‌که، نصف کود نیتروژن به‌هنگام کاشت و نصف دیگر در مرحله‌ی طویل شدن ساقه اعمال گردید. سایر عملیات زراعی به-جز مواردی که تحت مطالعه بودند، به‌صورت یکسان برای تمام کرت‌ها به اجرا در آمد.

به‌منظور تلقیح بذور گندم به‌هنگام کاشت، از کود فسفات بارور ۲ استفاده شد که از دو نوع باکتری محلول‌کننده‌ی فسفر شامل؛ پانتوآ آگلومرانس (سویه‌ی P5) و سودوموناس پوتیدا (سویه‌ی P13) تشکیل شده (دارای 10^7 CFU تا 10^8) و به‌ترتیب با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و اسید فسفاتاز، باعث تجزیه‌ی ترکیبات فسفره‌ی نامحلول و در نتیجه، قابل جذب شدن آن‌ها برای گیاه می‌گردند. به‌منظور تلقیح، ابتدا بذور با مقداری آب مقطر مرطوب شد و محتوای بسته‌ی کود زیستی فسفات بارور ۲ که به فرم پودری می‌باشد، با بذور مخلوط گردید. به‌دلیل حساسیت باکتری‌ها به نور مستقیم، کلیه‌ی مراحل تلقیح در سایه و دور از نور خورشید صورت گرفت و بلافاصله پس از تلقیح، کشت بذور انجام شد.

محلول‌پاشی منابع خارجی محافظهای گیاهی شامل آسکوربیک اسید (۱ میلی‌مولار)، آلفا توکوفرول (۱ میلی‌مولار)، سیلیکون (۱ میلی‌مولار) و نانو ذرات روی (۱ میلی‌مولار)، در سه مرحله؛ در آغاز پنجه‌زنی، آغاز مرحله‌ی چکمه‌ای و آغاز گل‌دهی که به‌ترتیب معادل با مراحل ۲۰، ۴۰ و ۶۰ زادوکس است، به‌کار گرفته شد و محلول‌پاشی آب مقطر در کرت‌هایی که محافظهای گیاهی در آن‌ها اعمال نمی‌شد، به‌عنوان شاهد لحاظ گردید. برای تهیه‌ی محلول توکوفرول، ابتدا

مقدار تعیین‌شده‌ی این ترکیب در میزان بسیار کمی از متانول (در حد قطره) حل گردید و سپس با آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شد (لاالارخ و شهباز ۲۰۱۸). همچنین، به‌منظور افزایش حلالیت سیلیکون و نانوذرات روی، ابتدا این ذرات در آب دیونیزه به‌حالت معلق در آورده شده و سپس به‌مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز) قرار گرفتند (ریضوان و همکاران، ۲۰۱۸). نانو ذرات روی استفاده شده در این مطالعه، اکسید روی بود که فرم سفید پودری داشت. این نانو ذرات دارای سطح ویژه‌ی بیشتر از ۳۰ مترمربع بر گرم، اندازه‌ی ذرات کوچک‌تر از ۳۰ نانومتر و خلوص ۹۹ درصد بودند.

جدول ۲- میزان دما و بارندگی منطقه‌ی مورد مطالعه طی دو سال زراعی

پارامتر / ماه	میانگین حداکثر دما (°C)		میانگین حداقل دما (°C)		میانگین ماهانه دما (°C)		میانگین بارندگی ماهانه (mm)	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
اردیبهشت	۲۱/۱	۲۱/۲	۸	۷/۶	۱۴	۱۲/۹	۲۶/۷	۳۵/۷
خرداد	۲۵/۵	۲۶	۱۱/۴	۹/۷	۱۸/۵	۱۷/۹	۱۰/۹	۲۶/۵
تیر	۲۷/۷	۲۶/۷	۱۴/۹	۱۳/۱	۲۱/۳	۱۹/۹	۹/۷	۷
مرداد	۲۶/۴	۲۹	۱۳/۲	۱۱/۸	۱۹/۸	۲۰/۴	۰/۹	۳/۶
شهریور	۲۴/۸	۲۳/۴	۱۱/۸	۱۰/۴	۱۸/۳	۱۶/۹	۳/۱	۰/۴

تیمارهای آبیاری به‌صورت آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۶۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) اعمال گردید. زمان‌های آبیاری مزرعه بر اساس تعیین رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌برداری خاک در اواسط روز و عمق توسعه‌ی ریشه تعیین شد. به‌منظور یکسان بودن آب قابل دسترس برای گیاهان، میزان آب آبیاری برای هرکرت، با در نظر گرفتن عمق توسعه‌ی ریشه، مساحت کرت و ظرفیت زراعی خاک، بر حسب متر مکعب محاسبه و به کرت‌ها اضافه گردید. در این مطالعه، روش آبیاری سطحی مورد استفاده قرار گرفت و مقدار آب مورد استفاده، با کنتور آب کنترل شد. رابطه‌ی زیر در راستای محاسبه‌ی میزان آب آبیاری (*In*) بر حسب متر مکعب، به‌کار گرفته شد (رستم‌زا و همکاران ۲۰۱۱)؛

$$In = [(Fci - \Theta i) \times D \times A] / 100$$

در این رابطه، *Fci*: بیان‌گر مقدار رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، Θi: نشان‌دهنده‌ی مقدار رطوبت خاک به‌هنگام نمونه‌برداری، D: عمق نفوذ ریشه (متر) و A: مساحت هر کرت (متر مربع) می‌باشد.

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

عملکرد و اجزای عملکرد به‌هنگام رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه مورد ارزیابی قرار گرفت، در حالی‌که سایر صفات مورد مطالعه (شامل؛ شاخص سطح برگ، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای پرولین، محتوای قندهای محلول، محتوای مالون‌دی‌آلدهید،) در اواسط دوره‌ی گل‌دهی (مطابق با مرحله‌ی ۶۵ زدوکس) و مدتی پس از اعمال آخرین مرحله از محلول‌پاشی محافظهای گیاهی، به‌ترتیبی که توضیح داده خواهد شد، اندازه‌گیری گردید.

جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، پنج بوته از خطوط اصلی هر کرت به تصادف انتخاب شده و سطح برگ آن‌ها توسط دستگاه سطح برگ‌سنج (LI-COR model 3100 LI Area Meter) اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ برای هر کرت محاسبه گردید. در راستای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کاروتنویید پرچم برگ، ۰/۱ گرم از پرچم برگ تازه با استفاده از ازت مایع پودر گردید و با ۲ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد مخلوط شد و در نهایت عمل ورتکس انجام گرفت. سپس، نمونه-ها به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. مقدار جذب نور محلول صاف-شده‌ی عصاره‌ی پرچم برگ، در طول موج‌های ۶۴۵،

۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و محتوای کاروتنوییدها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر یووی‌دار (PG Instrument LTD T80^{+} UV/VIS, UK) قرائت گردید. در نهایت، مقادیر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی مطابق روابط زیر محاسبه و به‌صورت میلی‌گرم در گرم وزن تر (mg g^{-1} Fw) بیان شد (لیچتن‌تالر ۱۹۸۷).

Chl *a* (mg g^{-1} Fw) = 12.25 × $A_{663.2}$ – 2.79 × $A_{646.8}$
Carotenoids (mg g^{-1} Fw) = (1000 × A_{470} – 1.82 × Cl *a* – 85.02 × Cl *b*)/198

در این روابط، A مقدار جذب نمونه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج مربوطه می‌باشد.

محتوای پرولین پرچم برگ، از طریق روش به‌یتس و همکاران (۱۹۷۳) تعیین گردید. بدین منظور، به ۰/۵ گرم نمونه‌ی برگ پرچم تازه‌ی پودر شده با ازت مایع، ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد اضافه شد و محلولی یکنواخت تهیه گردید. سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. دو میلی‌لیتر از محلول صاف شده‌ی رویی هر نمونه به لوله‌های درب‌دار منتقل شد و سپس به هرکدام ۲ میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال اضافه گردید. مخلوط حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار داده شد. پس از سرد شدن لوله‌ها، محلول را به لوله‌های شیشه‌ای منتقل نموده و ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه گردید. لوله‌های آزمایش به‌خوبی تکان داده شدند تا پرولین در تولوئن محلول شده و دو لایه‌ی کاملا مشخص حاوی تولوئن (لایه‌ی فوقانی قرمز رنگ) و فاقد تولوئن (لایه‌ی بی‌رنگ زیرین) تشکیل گردد. در نهایت، میزان جذب فاز رویی قرمز رنگ حاوی پرولین محلول، در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر با بلانک تولوئن قرائت گردید. با استفاده از معادله‌ی رگرسیون و منحنی استاندارد حاصل از غلظت و جذب نوری محلول‌های استاندارد ال–پرولین، محتوای پرولین موجود در نمونه‌ها بر حسب میکرومول در گرم وزن تر (µmol g^{-1} Fw) محاسبه گردید.

محتوای قندهای محلول کل از طریق روش دوبویس و همکاران (۱۹۵۶) و با استفاده از فنل‌سولفوریک اسید اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۰/۱ گرم نمونه‌ی پرچم برگ تازه‌ی پودر شده با ازت مایع، با ۳ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد عصاره‌گیری گردید. نمونه‌های حاصل با استفاده از کاغذ صافی و قیف، صاف شده و به‌مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. سپس، به ۵۰ میکرولیتر از محلول‌های همگن صاف شده، فنل ۵ درصد (۰/۵ میلی‌لیتر) و سولفوریک اسید ۹۸ درصد (۲/۵ میلی‌لیتر) اضافه گردید. پس از افزودن اسید، مخلوط واکنش به‌مدت یک ساعت در دمای اتاق قرار داده شد. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت گردید. محتوای قندهای محلول کل با استفاده از منحنی استاندارد غلظت‌های مختلف گلوکز محاسبه و بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر (mg g^{-1} Fw) بیان گردید.

میزان مالون‌دی‌آلدهید با روش پیشنهادی هیت و پیکر (۱۹۶۸) تعیین شد. ۰/۵ گرم از بافت تازه‌ی پرچم برگ پودر شده با ازت مایع، در ۵ میلی‌لیتر از تری‌کلرو استیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد (w/v) به‌صورت یکنواخت حل، و به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس به ۲ میلی‌لیتر از محلول رویی، ۲ میلی‌لیتر تیوباربیوتریک اسید (TBA) ۰/۵ درصد (w/v) اضافه شد. مخلوط حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم ۹۵ درجه‌ی سانتی‌گرادی قرار داده شد و پس از این مرحله، واکنش آن با استفاده از حمام یخ متوقف گردید. در وهله‌ی بعد، نمونه‌ها به‌مدت ۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و جذب مایع رویی در طول موج ۵۳۲ نانومتر با اسپکتروفتومتر قرائت گردید. محتوای مالون‌دی‌آلدهید بر اساس ضریب خاموشی ۱۵۵ میلی‌مولار در سانتی‌متر (155 mM cm^{-1}) محاسبه گردید و در نهایت، بر حسب نانومول در گرم وزن تر (nmol g^{-1} Fw) بیان شد.

عملیات برداشت در هر کرت به‌صورت مجزا و با در نظر گرفتن زمان رسیدگی فیزیولوژیکی آن کرت صورت گرفت. تعداد روز از کاشت تا برداشت به‌عنوان طول دوره‌ی رشد هر کرت لحاظ گردید. به‌هنگام رسیدگی هر کرت، با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای، سطحی معادل با یک متر مربع برداشت گردید. بوته‌های برداشت شده به آزمایشگاه منتقل گردیده و پس از

جداسازی سنبله‌ها، به‌صورت جداگانه به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گرادی آون قرار داده شدند تا وزن خشک آن‌ها ثابت گردد. سپس، صفاتی مانند؛ سنبله در واحد سطح (تعداد)، عملکرد بیولوژیکی (گرم در واحد سطح) و عملکرد دانه (گرم در واحد سطح) در نمونه‌های خشک شده تعیین گردید. به‌صورت هم‌زمان، ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شده و تعداد دانه در هر سنبله در آن‌ها تعیین شد (بوخاری و همکاران ۲۰۲۱). ارزیابی وزن هزار دانه (گرم)، از طریق شمارش بذور توسط دستگاه بذر شمار و توزین آن‌ها با ترازوی دیجیتال، صورت پذیرفت. در راستای ارزیابی معنی‌داری تیمارهای بررسی شده بر صفات مورد مطالعه، تجزیه‌ی واریانس (*ANOVA*) داده‌ها به کار گرفته شد. برای این‌منظور از نرم‌افزار *SAS* استفاده گردید. تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین‌های تیماری، با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (*LSD*) در سطح احتمال ۵ درصد ارزیابی شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌ی واریانس صفات مورد مطالعه در گندم تحت تاثیر تیمارهای آبیاری، کاربرد محافظهای گیاهی و تلقیح با باکتری حل کننده‌ی فسفر حاکی از آن بود که تمام تیمارهای به‌کار گرفته شده اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح، طول دوره رشد، محتوای کلروفیل a وb، شاخص سطح برگ، محتوای مالون دی‌الدئید، محتوای پرولین و قندهای محلول داشت (جدول ۳ و ۴). اثر ترکیب تیماری رژیم-های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی محافظهای گیاهی بر صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در واحد سطح، میزان کلروفیل *a* و *b*، محتوای کاروتنویید، محتوای پرولین و محتوای قندهای محلول معنی‌دار بود. از سوی دیگر، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح، کلروفیل *a* و *b*، شاخص سطح برگ، محتوای پرولین و محتوای قندهای محلول نیز به‌صورت معنی‌داری تحت تاثیر اثر متقابل تیمارهای آبیاری و حضور کود زیستی قرار گرفتند. افزون بر این، کاربرد توام کود زیستی و محافظهای گیاهی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، شاخص سطح برگ، محتوای پرولین و مقادیر قندهای محلول نشان داد (جدول ۳ و ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری، محافظهای گیاهی و کود زیستی

منابع تغییر	صفت / Df	میانگین مربعات						
		عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	ارتفاع بوته	وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در واحد سطح	طول دوره رشد
سال (Y)	۱	۸۲۹۷۹/۸۳ **	۲۷۲۵۰۴/۶۲ **	۴/۳۹ ns	۱/۳۴ ns	۱۰۶/۹۳ **	۶۳/۳۱ *	۴۰۸/۰۰ **
r × Y	۴	۳۳۶/۶۰	۱۲۶۴/۴۳	۱۴/۰۸	۰/۳۵	۰/۴۵	۳۶/۱۳	۰/۶۲
آبیاری (I)	۲	۹۰۷۷۸۴/۳۹ **	۲۷۵۶۲۹۱/۵۱ **	۱۵۴۳۵/۲۰ **	۵۲۱/۵۳ **	۹۵۳/۹۴ **	۸۳۳۸۷/۶۳ **	۲۹۶۰/۱۰ **
Y × I	۲	۲۴۵۶/۷۲ *	۳۱۸۴/۹۴ ns	۱۶/۷۱ ns	۱/۰۲ ns	۰/۷۳ ns	۷۴/۶۳ ns	۵۳/۲۷ **
r (Y × I)	۸	۲۴۱/۷۷	۷۵۷/۲۵	۲/۲۴	۰/۱۸	۰/۶۰	۵۳/۱۱	۱/۵۴
محافظ گیاهی (P)	۴	۲۰۷۶۰/۶۸ **	۶۹۱۳۱/۹۷ **	۳۶۹/۶۳ **	۲۰/۶۴ **	۳۱/۴۴ **	۱۱۴۱/۴۲ **	۴۶/۱۴ **
کود زیستی (B)	۱	۷۷۲۴۲/۵۰ **	۱۳۶۹۸۹/۳۱ **	۱۲۵۶/۴۸ **	۴۰/۷۴ **	۹۲/۲۷ **	۴۴۶۸/۲۵ **	۱۴۷/۶۰ **
Y × P	۴	۶۵/۹۴ ns	۴۰۹/۳۲ ns	۱/۳۳ ns	۰/۰۷ ns	۰/۳۳ ns	۱/۸۴ ns	۰/ ۷۱ ns
Y × B	۱	۷۱۴/۰۹ ns	۱۷۱۱/۹۲ ns	۲/۰۴ ns	۰/۰۴ ns	۰/۹۸ ns	۲/۵۸ ns	۰/ ۲۷ ns
I × P	۸	۱۰۴۹۳/۶۱ *	۱۴۵۵/۲۷ ns	۱۶/۱۹ ns	۱/۲۶ **	۰/۷۹ ns	۱۷۱/۳۰ *	۲/۳۵ ns
I × B	۲	۲۳۳۲۱/۶۶ **	۲۴۶۵۳/۰۳ **	۴۸/۲۳ *	۰/۳۸ ns	۱/۹۶ *	۹۱۰/۸۰ **	۵/۳۷ ns
P × B	۴	۸۸۷۵/۴۳ *	۲۳۱۲//۵۵ ns	۵۲/۶۰ *	۱/۰۲ ns	۱۲/۱۵ **	۲۴/۹۴ ns	۱/۰۳ ns
Y × I × P	۸	۲۵/۳۱ ns	۱۷۱/۷۹ ns	۰/۳۷ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۷ ns	۱/۷۴ ns	۰/۳۱ ns
Y × I × B	۲	۵۳/۹۳ ns	۷۶/۶۵ ns	۰/۲۲ ns	۰/۰۳ ns	۰/۱۵ ns	۰/۰۵ ns	۰/ ۰۰۵ ns
Y × P × B	۴	۱۷/۰۱ ns	۱۱۴/۷۱ ns	۰/۱۹ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۴ ns	۰/۷۴ ns	۰/۰۳۶ ns
I × P × B	۸	۴۵/۸۶ ns	۱۷۱/۱۷ ns	۵/۰۷ ns	۰/۳۸ ns	۰/۱۹ ns	۷/۶۰ ns	۰/۳۱ ns
Y × I × P × B	۸	۹/۰۵ ns	۵۸/۳۴ ns	۰/۱۶ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۱ ns	۱/۳۳ ns	۰/۰۶ ns
خطا	۱۰۸	۴۳۹/۶۴	۲۲۹۵/۵۳	۱۳/۹۹	۰/۴۴	۰/۶۴	۶۷/۳۲	۲/۲۴

ns، * و ** به‌ترتیب معنای غیرمعنی‌داری، معنی‌دار در سطح پنج درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

جدول ۴- تجزیه‌ی واریانس صفات مورد مطالعه تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری، محافظ‌های گیاهی و کود زیستی

		میانگین مربعات						
منابع تغییر	صفت / Df	کلروفیل a	کلروفیل b	شاخص سطح برگ	محتوای مالون دی آلدهید	محتوای کاروتنویید	محتوای پرولین	قند محلول
سال (Y)	۱	۰/۱۹ ns	۰/۰۰۳ ns	۳/۷۰ **	۰/۷۶ *	۰/۰۰۱۵ ns	۰/۵۸ ns	۱۵/۵۹ **
r × Y	۴	۰/۰۴	۰/۰۱۵	۰/۳۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۴۹	۰/۳۳
آبیاری (I)	۲	۷۲/۲۷ **	۱۲/۱۹ **	۶۵/۱۷ **	۴۱۷/۵۹ **	۰/۵۷ **	۳۸۳/۲۹**	۱۴۲۳۵/۷۸**
Y × I	۲	۰/۶۱ *	۰/۱۴ **	۰/۲۸ ns	۰/۸۵ *	۰/۰۱۹ **	۲/۶۲ *	۱۱/۶۱ **
r (Y × I)	۸	۰/۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱	۰/۱۶
محافظ گیاهی (P)	۴	۱/۳۷ **	۰/۳۱ **	۱/۳۶ **	۱/۲۴ **	۰/۰۴ **	۲/۷۹ **	۴۵/۲۲ **
کود زیستی (B)	۱	۵/۲۹ **	۱/۰۴ **	۱/۹۹ **	۵/۲۹ **	۰/۰۹ **	۶/۳۲ **	۲۵۴/۹۶ **
Y × P	۴	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۶ ns
Y × B	۱	۰/۰۱ ns	۰/۰۱ ns	۰/۳۵ ns	۰/۰۰۰۰ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۸۷ ns
I × P	۸	۰/۲۸ **	۰/۰۷ **	۰/۶۱ *	۰/۰۲۱ ns	۰/۰۰۵ **	۰/۲۴ ns	۳۱/۳۱ **
I × B	۲	۰/۳۷ **	۰/۰۶ *	۱/۲۴ **	۰/۵۷ ns	۰/۰۰۱ ns	۱/۷۷ **	۱۵۴/۹۵ **
P × B	۴	۰/۰۸ ns	۰/۰۱ ns	۰/۵۲ *	۰/۰۶ ns	۰/۰۰۱۵ ns	۱/۰۴ *	۷/۸۰ *
Y × I × P	۸	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns
Y × I × B	۲	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۰ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۱ ns
Y × P × B	۴	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰ ns	۰/۰۰۰۰ ns	۰/۰۰۰۶ ns	۰/۰۰۱۸ ns
I × P × B	۸	۰/۰۰۹ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۲ ns	۰/۲۹ ns
Y × I × P × B	۸	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰ ns	۰/۰۰۰۹ ns	۰/۰۰۱ ns
خطا	۱۰۸	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۰۰۸	۰/۲۵	۰/۴

ns، * و ** به‌ترتیب معنای غیرمعنی‌داری، معنی‌دار در سطح پنج درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

بوته‌هایی که در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری شده بودند، بالاترین مقادیر عملکرد دانه و بیولوژیکی را نشان دادند (جدول ۵). همچنین، محلول‌پاشی آسکوربیک اسید و حضور کود زیستی نیز منجر به بالاترین عملکرد دانه و بیولوژیکی در گندم گردید. پایین‌ترین میزان عملکرد دانه و بیولوژیکی در گیاهان آبیاری شده در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، بدون محلول-پاشی محافظ‌های گیاهی و عدم تلقیح کود زیستی ثبت شد (جدول ۵). در سطوح مختلف آبیاری، آسکوربیک اسید، سیلیکون، نانو ذرات روی و توکوفرول، به‌ترتیب بالاترین کارآیی را در افزایش عملکرد دانه نشان دادند به‌طوری‌که بیشترین مقدار عملکرد دانه در بوته‌های تیمار شده با آسکوربیک اسید در سطح آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین مقدار این صفت در عدم استفاده از محافظ‌های گیاهی و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (جدول۷). از سوی دیگر، با در نظر گرفتن نتایج ارایه شده در جدول ۷، می‌توان اظهار داشت که استفاده از محافظ‌های گیاهی در تمام سطوح آبیاری به‌کار گرفته شده منجر به افزایش عملکرد دانه و بیولوژیکی در گندم گردید، هر چند کارآیی استفاده از این ترکیبات در آبیاری ۶۵ درصد زراعی (که شاید بتوان به‌عنوان تنش متوسط در نظر گرفت)، بالاتر بود. از سوی دیگر، تلقیح بوته‌های گندم در آبیاری ۸۰ و ۶۵ درصد ظرفیت زراعی منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیکی گردید ولی در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تاثیر معنی‌داری از خود نشان نداد (جدول ۸). بیشترین تاثیر مثبت حضور کود زیستی در سطح آبیاری ۶۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید به‌طوری‌که، تلقیح در این سطح آبیاری به ترتیب موجب افزایش ۲۰/۸۷ و ۱۱/۶۸ درصدی عملکرد دانه و بیولوژیکی شد. در مورد اثر متقابل محافظ‌های گیاهی و کود زیستی نیز می‌توان اظهار داشت که استفاده از تمام محافظ‌های گیاهی مطالعه شده (آسکوربیک اسید، توکوفرول، سیلیکون و نانو روی) در حضور کود زیستی منجر به حصول عملکرد دانه‌ی بالاتری گردید هر چند بالاترین مقدار عملکرد دانه در بوته‌های تیمار شده با آسکوربیک اسید و کود زیستی مشاهده شد (جدول ۹).

جدول ۵- مقایسه‌ی میانگین اثرات آبیاری، محافظ‌های گیاهی و کود زیستی بر صفات مورد مطالعه در گندم

صفت / تیمار	عملکرد دانه (g.m-2)	عملکرد بیولوژیکی (g.m-2)	ارتفاع بوته (cm)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله (m2)	طول دوره رشد (day)
آبیاری							
۸۰ درصد ظرفیت زراعی	۴۷۸/۰۰ **a**	۱۰۶۹/۰۵ **a**	۸۹/۳۴ **a**	۳۸/۷۰ **a**	۳۲/۷۴ **a**	۴۲۰/۹۹ **a**	۱۵۷/۸۶ **a**
۶۵ درصد ظرفیت زراعی	۳۸۲/۳۵ **b**	۹۱۵/۸۳ **b**	۷۸/۳۹ **b**	۳۶/۴۳ **b**	۲۹/۷۶ **b**	۳۹۴/۱۹ **b**	۱۵۲/۵۶ **b**
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۲۳۳/۸۹ **c**	۶۴۵/۷۳ **c**	۵۷/۷۵ **c**	۳۲/۸۵ **c**	۲۴/۸۴ **c**	۳۴۷/۳۳ **c**	۱۴۳/۹۵ **c**
محافظ گیاهی							
شاهد	۳۳۴/۸۸ **e**	۸۲۸/۱۱ **d**	۶۹/۸۰ **d**	۳۴/۹۰ **c**	۲۷/۸۳ **d**	۳۷۸/۹۵ **d**	۱۴۹/۷۵ **d**
آسکوربیک اسید	۳۹۷/۹۱ **a**	۹۴۴/۹۱ **a**	۷۵/۸۱ **bc**	۳۶/۷۶ **a**	۲۹/۲۱ **b**	۳۹۳/۲۶ **a**	۱۵۲/۷۵ **a**
توکوفرول	۳۵۱/۰۹ **d**	۸۵۶/۴۱ **c**	۷۵/۱۰ **c**	۳۵/۷۱ **b**	۲۸/۷۲ **c**	۳۸۵/۴۱ **c**	۱۵۱/۰۸ **c**
سیلیکون	۳۷۶/۰۵ **b**	۸۸۸/۷۹ **b**	۷۸/۰۳ **a**	۳۶/۶۴ **a**	۲۹/۴۵ **b**	۳۸۸/۵۰ **b**	۱۵۲/۰۵ **ab**
روی	۳۶۳/۸۰ **c**	۸۶۶/۱۵ **c**	۷۷/۰۷ **ab**	۳۵/۹۷ **b**	۳۰/۳۶ **a**	۳۹۱/۴۰ **a**	۱۵۱/۶۶ **bc**
کود زیستی							
عدم تلقیح	۳۴۴/۰۳ **b**	۸۴۹/۲۸ **b**	۷۲/۵۲ **b**	۳۵/۵۲ **b**	۲۸/۴۰ **b**	۳۸۲/۵۲ **b**	۱۵۰/۵۵ **b**
تلقیح	۳۸۵/۴۶ **a**	۹۰۴/۴۶ **a**	۷۷/۸۰ **a**	۳۶/۴۷ **a**	۲۹/۸۳ **a**	۳۹۲/۴۹ **a**	۱۵۲/۳۶ **a**
سال							
سال اول	۳۴۳/۲۸ **b**	۸۳۷/۹۶ **b**	-	-	۲۸/۳۴ **b**	۳۸۴/۳۷ **b**	۱۴۹/۹۵ **b**
سال دوم	۳۸۶/۲۲ **a**	۹۱۵/۷۸ **a**	-	-	۲۹/۸۸ **a**	۳۹۰/۶۳ **a**	۱۵۲/۹۶ **a**

در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارندLSD میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، بر اساس ازمون

جدول ۶- مقایسه‌ی میانگین اثرات آبیاری، محافظ‌های گیاهی و کود زیستی بر صفات مورد مطالعه در گندم

صفت / تیمار	کلروفیل *a* (mg g^{-1}FW)	کلروفیل *b* (mg g^{-1}FW)	شاخص سطح برگ	مالون دی آلدهید (nmol.gFW^{-1})	کاروتنویید (mg g^{-1}FW)	پرولین (µmol.gFW^{-1})	قند محلول (mg g^{-1}FW)
آبیاری							
۸۰ درصد ظرفیت زراعی	۳/۴۰ a	۱/۲۸ a	۴/۴۹ a	۱/۵۱ c	۰/۲۴ b	۳/۴۱ c	۱۵/۵۲ c
۶۵ درصد ظرفیت زراعی	۲/۴۱ b	۰/۸۳ b	۳/۷۳ b	۳/۵۷ b	۰/۳۳ a	۶/۵۸ b	۳۳/۹۲ b
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۱/۲۳ c	۰/۳۸ c	۲/۴۳ c	۶/۷۵ a	۰/۱۳ c	۸/۴۱ a	۴۶/۱۲ a
محافظ گیاهی							
شاهد	۲/۰۶ c	۰/۷۰ c	۳/۲۸ c	۴/۱۹ a	۰/۱۹ e	۵/۷۱ c	۳۰/۳۶ e
آسکوربیک اسید	۲/۲۳ b	۰/۷۷ b	۳/۵۲ b	۳/۸۵ c	۰/۲۲ c	۶/۲۷ ab	۳۲/۴۴ b
توکوفرول	۲/۴۴ a	۰/۸۸ a	۳/۴۹ b	۳/۷۰ d	۰/۲۵ b	۶/۰۵ b	۳۱/۳۰ d
سیلیکون	۲/۴۷ a	۰/۸۹ a	۳/۷۵ a	۴/۰۳ b	۰/۲۸ a	۶/۲۱ ab	۳۱/۸۵ c
روی	۲/۵۳ a	۰/۹۲ a	۳/۷۴ a	۳/۹۵ bc	۰/۲۱ d	۶/۴۴ a	۳۳/۳۱ a
کود زیستی							
عدم تلقیح	۲/۱۷ b	۰/۷۵ b	۳/۴۵ b	۴/۱۲ a	۰/۲۱ b	۵/۹۵ b	۳۰/۶۶ b
تلقیح	۲/۵۲ a	۰/۹۱ a	۳/۶۶ a	۳/۷۷ b	۰/۲۵ a	۶/۳۲ a	۳۳/۰۴ a
سال							
سال اول	-	-	۳/۴۱ b	۴/۰۱ a	-	-	۳۲/۱۴ a
سال دوم	-	-	۳/۷۰ a	۳/۸۸ b	-	-	۳۱/۵۶ b

در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارندLSDمیانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون

بیشترین ارتفاع بوته در بوته‌های آبیاری شده در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (شرایط بدون تنش) ثبت گردید. از سوی دیگر، کاربرد سیلیکون منجر به بیشترین ارتفاع بوته در گندم شد که البته اختلاف معنی-داری با نانو روی نشان نداد. محلول‌پاشی آسکوربیک اسید و توکوفرول (به‌عنوان محافظ‌های گیاهی آلی) از این حیث در رتبه بعدی قرار داشتند و استفاده از آب مقطر به‌عنوان شاهد نیز کوتاه‌ترین بوته‌ها را نشان داد (جدول ۵) . استفاده از کود زیستی در تمام سطوح آبیاری منجر به افزایش ارتفاع بوته‌ها گردید هر چند این افزایش در آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود (جدول ۸). به‌علاوه، بالاترین ارتفاع بوته در حضور باکتری حل‌کننده‌ی فسفر و کاربرد آسکوربیک اسید ثبت شد که البته اختلاف معنی‌داری با استفاده از

نانو ذرات روی و تلقیح نشان نداد (جدول ۹). بیشترین وزن هزار دانه در سطح

آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و همچنین بوته-های تیمار شده با کود زیستی مشاهده گردید. از سوی دیگر، محلول‌پاشی آسکوربیک اسید بالاترین وزن هزار دانه را نشان داد که از نظر آماری با کاربرد سیلیکون در یک سطح بود. استفاده از توکوفرول و نانو روی نیز از نظر آماری تاثیر یکسانی بر وزن هزار دانه داشت و عدم استفاده از محافظ گیاهی (محلول‌پاشی با آب مقطر) نیز پایین‌ترین میزان این صفت را بروز داد (جدول ۵). سنگین‌ترین دانه‌ها در پایین‌ترین میزان تنش (آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی) و کاربرد آسکوربیک اسید مشاهده گردید که البته در این سطح آبیاری تفاوت معنی داری با کاربرد سیلیکون نشان نداد. پایین‌ترین میزان این صفت نیز در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد آب مقطر به‌عنوان شاهد ثبت شد (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و محافظ‌های گیاهی

تیمار آبیاری	صفت محافظ گیاهی	عملکرد دانه ($g.m^{-2}$)	وزن هزار دانه (g)	تعداد سنبله (m^2)	کلروفیل *a* ($mg\ g^{-1}FW$)	کلروفیل *b* ($mg\ g^{-1}FW$)	شاخص سطح برگ	کاروتنویید ($mg\ g^{-1}FW$)	قند محلول ($mg\ g^{-1}FW$)
۸۰ درصد	شاهد	۴۵۲/۸۱ **d**	۳۷/۹۶ **bc**	۴۱۳/۲۲ **c**	۳/۱۱ **d**	۱/۱۷ **d**	۴/۲۵ **b**	۰/۲۰۷ **g**	۱۶/۳۰ **k**
ظرفیت زراعی	آسکوربیک اسید	۵۰۸/۶۸ **a**	۳۹/۵۲ **a**	۴۲۴/۷۰ **a**	۳/۳۳ **c**	۱/۲۲ **cd**	۴/۳۴ **b**	۰/۲۲۹ **fg**	۱۵/۰۳ **h**
	توکوفرول	۴۶۶/۱۷ **cd**	۳۸/۳۸ **b**	۴۱۹/۰۱ **b**	۳/۷۰ **a**	۱/۴۴ **a**	۴/۴۵ **b**	۰/۲۵۱ **ef**	۱۶/۰۸ **kl**
	سیلیکون	۴۸۸/۰۱ **b**	۳۹/۱۸ **a**	۴۲۳/۲۵ **ab**	۳/۵۲ **b**	۱/۳۴ **b**	۴/۷۱ **a**	۰/۲۸۹ **d**	۱۵/۵۹ **l**
	روی	۴۷۴/۳۳ **bc**	۳۸/۴۷ **b**	۴۲۴/۷۵ **a**	۳/۳۶ **bc**	۱/۲۸ **bc**	۴/۷۳ **a**	۰/۲۱۹ **g**	۱۴/۶۰ **h**
۶۵ درصد	شاهد	۳۴۷/۷۶ **h**	۳۴/۷۸ **f**	۳۸۱/۶۲ **f**	۲/۰۱ **h**	۰/۶۴ **h**	۳/۳۸ **e**	۰/۲۷۰ **de**	۳۰/۷۷ **j**
ظرفیت زراعی	آسکوربیک اسید	۴۲۳/۶۷ **e**	۳۷/۴۴ **cd**	۴۰۲/۷۷ **d**	۲/۲۴ **g**	۰/۷۵ **g**	۳/۷۷ **cd**	۰/۳۲۳ **c**	۳۵/۲۷ **g**
	توکوفرول	۳۶۴/۰۴ **gh**	۳۶/۱۴ **e**	۳۹۲/۰۱ **e**	۲/۴۱ **g**	۰/۸۲ **g**	۳/۶۴ **d**	۰/۳۶۱ **b**	۳۲/۶۹ **i**
	سیلیکون	۳۹۸/۸۶ **f**	۳۷/۳۷ **d**	۳۹۴/۸۳ **e**	۲/۶۰ **f**	۰/۹۲ **f**	۳/۹۴ **c**	۰/۴۱۱ **a**	۳۳/۸۵ **h**
	روی	۳۷۷/۴۹ **g**	۳۶/۴۰ **e**	۳۹۹/۷۴ **d**	۲/۷۹ **e**	۱/۰۲ **e**	۳/۹۳ **c**	۰/۲۹۲ **d**	۳۷/۰۰ **f**
۵۰ درصد	شاهد	۲۰۴/۰۸ **l**	۳۱/۹۵ **i**	۳۴۲/۰۱ **i**	۱/۰۶ **k**	۰/۳۱ **k**	۲/۲۱ **h**	۰/۱۰۵ **k**	۴۴/۰۰ **e**
ظرفیت زراعی	آسکوربیک اسید	۲۶۱/۴۴ **i**	۳۳/۳۳ **g**	۳۵۲/۳۱ **g**	۱/۱۴ **jk**	۰/۳۴ **jk**	۲/۴۵ **fg**	۰/۱۳۳ **ij**	۴۷/۰۴ **b**
	توکوفرول	۲۲۳/۰۶ **k**	۳۲/۵۹ **h**	۳۴۵/۲۱ **hi**	۱/۲۱ **jk**	۰/۳۸ **ijk**	۲/۳۶ **gh**	۰/۱۴۹ **hi**	۴۵/۱۳ **d**
	سیلیکون	۲۴۱/۲۸ **j**	۳۳/۳۶ **g**	۳۴۷/۴۱ **h**	۱/۳۰ **ij**	۰/۴۰ **ij**	۲/۵۸ **f**	۰/۱۶۵ **h**	۴۶/۰۹ **c**
	روی	۲۳۹/۵۸ **jk**	۳۳/۰۴ **gh**	۳۴۹/۷۲ **gh**	۱/۴۳ **i**	۰/۴۷ **i**	۲/۵۶ **fg**	۰/۱۲۵ **jk**	۴۸/۳۳ **a**

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

استفاده از محافظ‌های گیاهی منجر به افزایش تعداد دانه در سنبله در مقایسه با عدم کاربرد این ترکیبات (شاهد) شد، به‌طوری‌که در بین محافظ‌های گیاهی، بیشترین تعداد دانه در سنبله به کاربرد نانو روی تعلق داشت. سیلیکون و آسکوربیک اسید نیز از این حیث در رتبه بعدی قرار داشتند (جدول ۵). تلقیح بوته‌ها با کود زیستی در تمام سطوح آبیاری موجب افزایش تعداد دانه در سنبله گردید به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت در آبیاری ۸۰ درصد زراعی و حضور کود زیستی و پایین‌ترین میزان آن در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از کود زیستی مشاهده شد (جدول ۸). از سوی دیگر، محلول‌پاشی نانو روی در حضور کود زیستی بیشترین مقدار تعداد دانه در سنبله را نشان داد در حالی‌که، عدم استفاده از محافظ‌های گیاهی و عدم تلقیح بوته‌ها، کم‌ترین میزان این صفت را بروز داد (جدول ۹).

همان‌گونه که در جدول ۵ مشخص است، بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح در سطح اول آبیاری (۸۰ درصد ظرفیت زراعی)، محلول‌پاشی آسکوربیک اسید و تلقیح با کود زیستی ثبت گردید. بر طبق نتایج این جدول می‌توان اظهار داشت که استفاده از آسکوربیک اسید تفاوت معنی‌داری با محلول‌پاشی نانو روی نداشت و از نظر این صفت سیلیکون و توکوفرول در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. استفاده از آسکوربیک اسید در آبیاری ۸۰

درصد ظرفیت زراعی بالاترین تعداد سنبله در واحد سطح را نشان داد که البته تفاوت معنی‌داری با کاربرد نانو روی و سیلیکون نداشت. پایین‌ترین میزان این صفت در تمام سطوح آبیاری از عدم کاربرد محافظ‌های گیاهی مشاهده گردید (جدول ۷). به‌علاوه، تلقیح بوته-های گندم در تمام سطوح آبیاری موجب افزایش تعداد سنبله در واحد سطح گردید، هر چند این افزایش در سومین سطح آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) معنی-دار نبود (جدول ۸). هر چند طول دوره‌ی رشد تحت تاثیر برهم‌کنش تیمارهای مورد مطالعه قرار نگرفت ولی، اثر تمام تیمارها (آبیاری، محافظ گیاهی و کود زیستی) بر این ویژگی معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین تعداد روز از کاشت تا برداشت در آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین آن در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید. همچنین، کاربرد تمام محافظ‌های گیاهی در مقایسه با عدم کاربرد این ترکیبات، موجب افزایش طول دوره‌ی رشد گردید که از این لحاظ، آسکوربیک اسید در بالاترین سطح قرار داشت که البته اختلاف معنی‌داری با سیلیکون نشان نداد. از سوی دیگر، بوته‌های تلقیح شده با کود زیستی دارای طول رشد بالاتری نسبت به بوته‌های تلقیح نشده بودند (جدول ۵).

جدول ۸- مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کود زیستی

صفت		عملکرد دانه ($g.m^{-2}$)	ارتفاع بوته (cm)	تعداد دانه در سنبله	شاخص سطح برگ	پرولین ($\mu mol.gFW^{-1}$)	قند محلول ($mg\ g^{-1}FW$)
تیمار							
محافظ گیاهی	کود زیستی						
آب مقطر	عدم تلقیح	۳۱۹/۹۸ **g**	۶۸/۲۱ **f**	۲۷/۲۱ **g**	۳/۲۰ **e**	۵/۵۸ **f**	۲۹/۴۱ **i**
	تلقیح	۳۴۹/۷۹ **de**	۷۱/۴۰ **e**	۲۸/۴۵ **ef**	۳/۳۶ **de**	۵/۸۳ **ef**	۳۱/۳۰ **f**
آسکوربیک اسید	عدم تلقیح	۳۷۵/۲۴ **c**	۷۳/۰۴ **cde**	۲۸/۴۸ **ef**	۳/۴۲ **cd**	۶/۰۷ **cde**	۳۱/۱۶ **f**
	تلقیح	۴۲۰/۵۸ **a**	۷۸/۵۹ **b**	۲۹/۹۴ **bc**	۳/۶۳ **b**	۶/۴۷ **ab**	۳۳/۷۳ **b**
توکوفرول	عدم تلقیح	۳۳۱/۸۵ **fg**	۷۲/۲۵ **de**	۲۸/۰۳ **f**	۳/۳۹ **d**	۵/۸۵ **ef**	۳۰/۱۳ **h**
	تلقیح	۳۷۰/۳۳ **c**	۷۷/۹۵ **b**	۲۹/۴۰ **d**	۳/۵۸ **bc**	۶/۲۴ **bcd**	۳۲/۴۷ **d**
سیلیکون	عدم تلقیح	۳۵۶/۲۷ **d**	۷۴/۹۸ **c**	۲۸/۷۱ **e**	۳/۶۲ **b**	۶/۰۱ **ed**	۳۰/۶۳ **g**
	تلقیح	۳۹۵/۸۴ **b**	۸۱/۰۸ **a**	۳۰/۲۲ **b**	۳/۸۷ **a**	۶/۴۰ **bc**	۳۳/۰۷ **c**
روی	عدم تلقیح	۳۳۶/۸۲ **ef**	۷۴/۱۴ **cd**	۲۹/۵۷ **cd**	۳/۶۱ **b**	۶/۲۲ **bcd**	۳۱/۹۸ **e**
	تلقیح	۳۹۰/۷۸ **b**	۸۰/۰۰ **ab**	۳۱/۱۵ **a**	۳/۸۶ **a**	۶/۶۶ **a**	۳۴/۶۵ **a**

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

جدول ۹- مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل سطوح مختلف محافظ‌های گیاهی و کود زیستی

صفت		عملکرد دانه ($g.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیکی ($g.m^{-2}$)	ارتفاع بوته (cm)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله (m^2)	کلروفیل *a* ($mg\ g^{-1}FW$)	کلروفیل *b* ($mg\ g^{-1}FW$)	شاخص سطح برگ	پرولین ($\mu mol.gFW^{-1}$)	قند محلول ($mg\ g^{-1}FW$)
تیمار											
آبیاری	کود زیستی										
۸۰ درصد	عدم تلقیح	۴۶۱/۶۶ b	۱۰۵۲/۲۵ b	۸۶/۷۲ ab	۳۲/۲۳ b	۴۱۷/۴۱ b	۳/۲۱ b	۱/۱۹ ab	۴/۳۸ b	۳/۳۳ e	۱۶/۱۰ e
ظرفیت زراعی	تلقیح	۴۹۴/۳۴ a	۱۰۸۵/۸۵ a	۹۱/۹۵ a	۳۳/۲۵ a	۴۲۴/۵۷ a	۳/۶۰ a	۱/۳۸ a	۴/۶۱ a	۳/۵۰ e	۱۴/۹۴ f
۶۵ درصد	عدم تلقیح	۳۴۶/۳۸ d	۸۶۴/۸۶ d	۷۴/۸۴ c	۲۸/۹۰ d	۳۸۴/۸۱ d	۲/۱۷ d	۰/۷۳ c	۳/۵۷ d	۶/۲۷ d	۳۱/۳۶ d
ظرفیت زراعی	تلقیح	۴۱۸/۶۷ c	۹۶۶/۸۰ c	۸۱/۹۵ b	۳۰/۶۲ c	۴۰۳/۵۸ c	۲/۶۵ c	۰/۹۲ b	۳/۹۰ c	۶/۹۰ c	۳۶/۴۷ c
۵۰ درصد	عدم تلقیح	۲۲۹/۴۱ f	۶۳۹/۷۴ f	۵۶/۹۹ d	۲۴/۰۷ f	۳۴۵/۳۵ f	۱/۱۴ f	۰/۳۵ e	۲/۳۹ e	۸/۲۴ b	۴۴/۵۲ b
ظرفیت زراعی	تلقیح	۲۳۸/۳۷ f	۶۵۱/۷۲ f	۵۸/۵۱ d	۲۵/۶۲ e	۳۴۹/۳۲ f	۱/۳۱ e	۰/۴۱ e	۲/۴۷ e	۸/۵۷ a	۴۷/۷۲ a

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

مقادیر کلروفیل *a* و *b* به‌صورت معنی‌داری تحت تاثیر اثرات اصلی تیمارهای مطالعه شده (آبیاری، محافظ گیاهی و کود زیستی) و برهم‌کنش تیمارهای آبیاری و محافظ‌های گیاهی و همچنین، آبیاری و کود زیستی قرار گرفتند (جدول ۴). هر چند که بالاترین مقدار این رنگیزه‌ها در آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی توکوفرول ثبت گردید ولی، بیشترین میزان کلروفیل *a* و *b* در آبیاری‌های ۶۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (شرایط تنش) از کاربرد نانو روی مشاهده شد. شاید اشاره به این نکته نیز ضروری باشد

که در سومین سطح آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) کاربرد نانو روی تفاوت معنی‌داری با سیلیکون (در مورد کلروفیل a) و سیلیکون و توکوفرول (در مورد کلروفیل b) نشان نداد (جدول ۷). این امر شاید به‌نوعی نشان‌دهنده‌ی کارکرد متفاوت محافظ‌های گیاهی در شرایط حضور و عدم حضور عامل تنش‌زا و همچنین، شدت حضور عامل تنش‌زا باشد. به‌علاوه، بالاترین مقادیر کلروفیل a و b در آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و حضور کود زیستی ثبت گردید و پایین‌ترین میزان این رنگیزه‌ها در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم تلفیح با کود زیستی مشاهده شد (جدول ۸).

همان‌گونه که در جدول ۴ نیز مشاهده می‌شود، شاخص سطح برگ به‌صورت معنی‌داری تحت تاثیر اثرات اصلی و متقابل آبیاری، محافظ گیاهی و کود زیستی قرار گرفت. شاید بتوان اظهار داشت که به‌نوعی محافظ‌های معدنی مطالعه شده در این آزمایش (سیلیکون و نانو روی)، کارکرد بهتری در مقایسه با محافظ‌های آلی (آسکوربیک اسید و توکوفرول) از نظر تعدیل اثرات مخرب تنش خشکی در سطح برگ نشان دادند به‌طوری‌که در اولین سطح آبیاری (۸۰ درصد ظرفیت زراعی) بالاترین مقادیر سطح برگ در کاربرد سیلیکون و روی ثبت گردید و آسکوربیک اسید و توکوفرول از این حیث در رتبه‌ی بعدی قرار داشتند. دومین سطح آبیاری (۶۵ درصد ظرفیت زراعی) نیز روند کم و بیش مشابهی نشان داد در حالی‌که در سومین سطح آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) تاثیرگذاری محافظ‌های معدنی و آلی در سطح برگ از نظر آماری تقریبا مشابه بود (جدول ۷). همچنین، حضور کودهای زیستی در آبیاری ۸۰ و ۶۵ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ شد درحالی که، این افزایش در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود (جدول ۸). از سوی دیگر بالاترین میزان شاخص سطح برگ با استفاده از محلول‌پاشی سیلیکون و نانو روی در حضور کود زیستی به‌دست آمد و پایین‌ترین میزان این شاخص نیز در عدم استفاده از محافظ گیاهی و کود زیستی ثبت گردید (جدول ۹).

مالون‌دی‌آلدهید (MDA) از محصولات نهایی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع به‌شمار می‌رود که بیان‌گر صدمات وارد شده به غشاها می‌باشد (آزوز و احمد ۲۰۱۵، حسین و همکاران ۲۰۱۶). آبیاری، محافظ گیاهی و کود زیستی تاثیر معنی‌داری بر محتوای مالون‌دی‌آلدهید نشان دادند (جدول ۴). بالاترین مقادیر مالون‌دی‌آلدهید در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید در حالی‌که کمترین میزان این ترکیب در آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت شد (جدول ۶). استفاده از محافظ‌های گیاهی موجب کاهش معنی‌داری در محتوای مالون‌دی‌آلدهید گردید به‌طوری‌که، پایین‌ترین میزان این ترکیب در محلول‌پاشی توکوفرول مشاهده شد. کاربرد محافظ‌های گیاهی معدنی (سیلیکون و روی) از نظر آماری تاثیر یکسانی بر محتوای مالون‌دی‌آلدهید نشان دادند (جدول ۶). از سوی دیگر، تلقیح بوته‌های گندم با کود زیستی موجب کاهش معنی‌داری در محتوای مالون‌دی‌آلدهید گردید (جدول ۶). حضور کاروتنوییدها در متابولیسم‌های اولیه و ثانویه‌ی گیاه ضروری است. این دسته از ترکیبات در کارکردهای متنوعی از جمله؛ فتوسنتز، فتومورفوژنز و رشد و نمو گیاه مشارکت نموده و در حفاظت گیاه در برابر تنش اکسیداتیو ایفای نقش می‌کنند (حسین و همکاران ۲۰۱۶). سمولیکوا و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند که تجمع کاروتنوییدها در گیاهان تحت شرایط محیطی تنش‌زا افزایش می‌یابد. در حالت کلی می‌توان اظهار داشت که محتوای کاروتنویید بوته‌های گندم در آبیاری ۶۵ درصد ظرفیت زراعی بالاتر از دو سطح دیگر آبیاری (۸۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بود (جدول ۶). بالاترین مقادیر محتوای کاروتنویید از ترکیب تیماری آبیاری ۶۵ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی سیلیکون به‌دست آمد. در این سطح آبیاری، پس از سیلیکون به‌ترتیب استفاده از محافظ‌های گیاهی توکوفرول، آسکوربیک اسید و نانو روی بیشترین کارآیی را از لحاظ افزایش محتوای کاروتنوییدها نشان دادند (جدول ۷). به‌علاوه، حضور کود زیستی منجر به افزایش معنی‌دار محتوای کاروتنویید گردید (جدول ۶).

در شرایط کمبود دسترسی آب، پتانسیل آب خاک کاهش می‌یابد، از این‌رو گیاه به‌منظور تداوم جذب آب و حفظ تورژسانس سلولی، پتانسیل اسمزی سلول‌ها و در

نتیجه بافت‌های خود را کاهش می‌دهد. این عمل به‌واسطه‌ی تجمع دادن طیف وسیعی از ترکیبات تنظیم‌کننده‌ی اسمزی آلی و غیرآلی نظیر پرولین و قندهای محلول صورت می‌گیرد (سه‌لیمان و همکاران، ۲۰۲۱). همان‌گونه که در جدول ۶ مشخص است، بالاترین محتوای پرولین در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت گردید. از سوی دیگر، هر چند بوته‌های تیمار شده با نانو روی بالاترین محتوای پرولین را نشان دادند، ولی تفاوت معنی‌داری با کاربرد سیلیکون و آسکوربیک اسید نداشتند. همچنین، حضور کود زیستی در آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری در محتوای پرولین ایجاد نکرد ولی در دو سطح دیگر آبیاری (۶۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) موجب افزایش معنی‌دار مقادیر پرولین شد (جدول ۸). حضور توام کود زیستی و محلول‌پاشی نانو روی منجر به حصول بیشترین محتوای پرولین گردید که البته تفاوت معنی‌داری با کاربرد آسکوربیک اسید در کنار کود زیستی نداشت (جدول ۹). سومین سطح آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بالاترین مقادیر قندهای محلول را نشان داد و بیشترین محتوای قندهای محلول از برهم‌کنش سطح سوم آبیاری و کاربرد روی ثبت شد (جدول ۷). در همین سطح از آبیاری کمترین مقادیر قندهای محلول از عدم کاربرد محافظ گیاهی به‌دست آمد. به‌علاوه، حضور کود زیستی در سطوح آبیاری دوم و سوم (۶۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) منجر به افزایش محتوای قندهای محلول شد ولی کاربرد کود زیستی در آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی موجب کاهش مقادیر قندهای محلول گردید. به‌طوری‌که، بالاترین مقدار این صفت در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد کود زیستی و کمترین محتوای قندهای محلول در آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و حضور کود زیستی مشاهده شد (جدول ۸). از سوی دیگر، تلقیح کود زیستی در کنار محلول‌پاشی نانو روی، بالاترین کارآیی را در افزایش محتوای قندهای محلول داشت (جدول ۹).

خشکی از مهمترین تنش‌هایی است که منجر به تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، اکولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان زراعی می‌گردد (آهلووالیا و همکاران ۲۰۲۱). خشکی به‌صورت قابل ملاحظه‌ای رشد و توسعه‌ی گیاه و در نتیجه عملکرد را کاهش می‌دهد. رشد و نمو گیاه به تقسیم، طویل شدن و تمایز سلول‌ها بستگی دارد. تمامی این مراحل از طریق کاهش آماس، مختل شدن فعالیت آنزیم‌ها و کاهش انرژی تامین شده از فتوسنتز، تحت تاثیر خشکی قرار می‌گیرند (حسین و همکاران ۲۰۱۶، سه‌لیمان و همکاران ۲۰۲۱). کمبود آب در غالب موارد باعث کوتاه‌تر شدن طول دوره‌ی رشد و طول دوره‌ی پر شدن دانه و همچنین، تسریع پیری در گندم می‌شود (رانا و همکاران ۲۰۱۳). از آن‌جا که همبستگی مستقیمی بین سطح برگ و مقادیر تولید دانه در گندم وجود دارد، پیری زودرس و کوتاه شدن دوره‌ی زندگی گندم، تاثیری جدی بر عملکرد این گیاه دارد (رانا و همکاران ۲۰۱۳). پیری برگ‌ها به موازات فرآیندهایی نظیر؛ کاهش محتوای کلروفیل، افت مقادیر پروتئین‌های محلول و تغییر نسبت کلروفیل a به b رخ می‌دهد که در غالب موارد با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن، پراکسیداسیون لیپیدها و صدمات غشایی (افزایش نشت غشاها) همراه می‌شود (سمولیکوا و همکاران ۲۰۱۱، مونه‌بوش ۲۰۰۷).

سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در راستای مقابله با صدمات تنش اکسیداتیو، به دو دسته‌ی آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی تقسیم می‌شوند. سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی از ترکیباتی با وزن مولکولی پایین تشکیل شده است که نقش بسیار مؤثری در تعدیل اثرات تنش اکسیداتیو دارد. تعدادی از ترکیبات نظیر؛ آسکوربیک اسید و گلوتاتیون در فاز مایع و حضور آب عمل می‌نمایند در حالی‌که، آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی چربی‌دوست مانند؛ توکوفرول و بتاکاروتن در غشاهای پلاسمایی و در کنار ترکیبات لیپیدی فعال هستند (هادی و همکاران ۲۰۱۶، فویر و نوکتور ۲۰۱۱). شاید بتوان اظهار داشت که کارآمدترین تاثیر استفاده از منابع خارجی آسکوربیک اسید در شرایط تنش‌زا، مربوط به حفاظت از لیپیدها و پروتئین‌ها از صدمات اکسیداتیو می‌باشد (نورین و همکاران ۲۰۲۱). در عین‌حال، آسکوربیک اسید به‌واسطه‌ی افزایش دادن رنگدانه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز، پتانسیل دفاع آنتی‌اکسیدانی و رشد گیاه، تاثیر به‌سزایی در بهبود ظرفیت مقاومتی گیاهان در حضور عوامل تنش‌زا دارد (ازه‌دین و همکاران ۲۰۱۱، ایشاق و همکاران ۲۰۲۱). حافظ و قریب (۲۰۱۶) در بررسی تاثیر دو سطح

از محلول‌پاشی آسکوربیک اسید (صفر و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در گندم تحت شرایط تنش خشکی بیان نمودند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح و وزن هزار دانه می‌گردد. این محققین کاهش تعداد و وزن دانه‌ی گندم در شرایط تنش خشکی را به کاهش فتوسنتز، تسریع پیری برگ‌ها و محدودیت مخزن در این شرایط نسبت داده و اظهار داشتند که کاهش تعداد دانه در هر سنبله، شاید به افت تعداد سنبلچه‌ها در شرایط تنش خشکی مربوط باشد. با این‌حال، استفاده از آسکوربیک اسید به‌دلیل بهبود محتوای کلروفیل و سطح برگ (به‌خصوص پرچم برگ)، موجب بهبود اجزای عملکرد مطالعه شده توسط این محققین تحت شرایط کمبود آب گردید. از سوی دیگر، مشاهده شد بوته‌های گندمی که با آسکوربیک اسید محلول‌پاشی شده بودند، مقادیر کلروفیل، سطح پرچم برگ و محتوای آب نسبی بالاتری نسبت به بوته‌های محلول‌پاشی نشده در شرایط خشکی نشان دادند. در نهایت بیان گردید که مجموع عوامل ذکر شده منجر به افزایش هشت درصدی عملکرد دانه در اثر کاربرد آسکوربیک اسید تحت شرایط خشکی می‌گردد. ایشاق و همکاران (۲۰۲۱) دریافتند که استفاده از منابع خارجی آسکوربیک اسید، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، مقادیر تبادلات گازی، فتوسنتز خالص و کارآیی مصرف آب در گندم را تحت شرایط تنش افزایش می‌دهد. همچنین، بالاترین مقادیر کلروفیل a و b، محتوای پرولین و پروتئین‌های محلول در حضور تنش، در بوته‌های گندم تیمار شده با آسکوربیک اسید ثبت گردید. کاربرد آسکوربیک اسید در شرایط عدم فرآهمی آب، علاوه بر بالا بردن غلظت پتاسیم و کلسیم در اندام‌های هوایی، منجر به افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح، عملکرد دانه و طول سنبله شد. این محققین اظهار داشتند که آسکوربیک اسید به‌دلیل مشارکت فعال در هومئوستازی یونی و تنظیمات اسمزی، نقش موثری در ارتقای توان تحملی گندم در مقابل تنش‌های محیطی دارد. در مطالعه‌ی دیگری که بر روی گندم صورت گرفته، اظهار شده است که کاربرد آسکوربیک اسید به‌واسطه‌ی افزایش دادن محتوای کلروفیل، کاروتنوییدها، تجمع پرولین، سطح برگ و کاهش دادن مقادیر پراکسید هیدروژن بافت‌های گیاهی، در ارتقای توان مقاومتی گیاه و تعدیل خسارات تنش‌ها موثر است (ازه‌دین و همکاران ۲۰۱۱). افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی، محتوای درونی آسکوربیک اسید، میزان کاروتنوییدها و به تاخیر انداختن پیری برگ‌ها (افزایش طول دوره‌ی رشد) تحت شرایط تنش، در آزمایشات فاروک (۲۰۱۱) بر روی تاثیر محلول‌پاشی آسکوربیک اسید در گندم نیز گزارش شده است.

توکوفرول نقش حایز اهمیتی در رشد و نمو گیاه، هدایت سیگنال‌ها، کنترل تنظیمات فیتوهورمونی و فرآیند پیری بر عهده دارد (آروم و مونه‌بوش ۲۰۱۰). اورابی و عبدالحمید (۲۰۱۶) به منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی آلفا توکوفرول (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط تنش، آزمایشی را طرح‌ریزی و مشاهده نمودند که استفاده از این تیمار ارتفاع بوته، وزن خشک اندام‌های هوایی، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه را در حضور شرایط تنش‌زا افزایش داده و باعث بهبود پارامترهای رشدی باقلا می‌شود. از سوی دیگر، کاربرد آلفا توکوفرول محتوای کربوهیدرات‌ها و پروتئین خام دانه‌ها را افزایش داده و در کنار پایین آوردن میزان مالون‌دی‌آلدهید، منجر به بالا رفتن مقادیر پرولین و کاروتنوییدها در گیاه گردید. این محققین بهبود عملکرد و اجزای عملکرد توسط آلفا توکوفرول تحت شرایط تنش را به افزایش کارآیی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی نسبت داده و بیان نمودند که منابع خارجی آلفا توکوفرول قادر به تعدیل اثرات تنش اکسیداتیو و ارتقای توان تحملی گیاه در شرایط نامساعد محیطی می‌باشد. به‌علاوه، طی مطالعه‌ی دیگری، محلول‌پاشی آلفا توکوفرول در گندم تحت شرایط تنش، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و منجر به افزایش مقادیر درونی آسکوربیک اسید، کاروتنوییدها و فنول‌ها گردید. همچنین، محتوای پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدها پایین آمده و پایداری غشاها بهبود یافت. وقوع چنین حالتی در شرایط تنش در نهایت موجب به تاخیر افتادن پیری و افزایش طول دوره‌ی رشد گندم در حضور عوامل تنش‌زا گردید (فاروک ۲۰۱۱).

علی و همکاران (۲۰۱۹) کاربرد مقادیر مختلف آلفا توکوفرول بر ویژگی‌های فیزیو-بیوشیمیایی گندم در شرایط محدودیت دسترسی آب را مورد بررسی قرار داده و مشاهده نمودند که طول سنبله، تعداد دانه در

سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و تعداد روز تا رسیدگی در حضور آلفا توکوفرول تحت شرایط تنش خشکی افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند. به‌علاوه، محتوای آب نسبی، رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل *a*، *b*، کل و *a/b*)، مقادیر کاروتنوییدها، فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و تعرق در اثر استفاده از آلفا توکوفرول به‌هنگام محدودیت دسترسی آب افزایش یافت. از سوی دیگر، بالاترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همچنین، بیشترین مقادیر درونی آلفا توکوفرول، آسکوربیک اسید، فلاوونوییدها و ترکیبات فنولی در بوته‌های تیمار شده با آلفا توکوفرول که در معرض تنش خشکی قرار گرفته بودند، ثبت گردید. در عین‌حال، حضور منابع خارجی آلفا توکوفرول در شرایط کمبود دسترسی آب، مقادیر مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن را به‌صورت معنی‌داری کاهش داد. با در نظر گرفتن نتایج مشاهده شده در این آزمایش، اظهار گردید که کاربرد منابع خارجی آلفا توکوفرول به‌واسطه‌ی بهبود روابط آبی، حفاظت از سیستم فتوسنتزی و ارتقای ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، می‌تواند رشد و عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی را افزایش دهد که در واقع می‌توان آن را به‌عنوان ارتقای توان تحمل گندم در محدودیت دسترسی آب تعبیر نمود. در این مطالعه، بالاترین مقدار آلفا توکوفرول استفاده شده، قادر به افزایش ۱۵/۰۹ درصدی عملکرد در حضور تنش خشکی بود که با توجه به این‌که، این مقدار معادل افزایشی در حدود ۵۵۶/۵ کیلوگرم دانه در هکتار می‌باشد، میتوان اظهار کرد که کاربرد منابع خارجی آلفا توکوفرول در مناطقی که با خشکی‌های متعدد در طول فصل رشد گندم مواجه می‌شوند، می‌تواند از توجیه اقتصادی قابل قبولی برخوردار باشد (علی و همکاران ۲۰۱۹). کاهش نشتی غشاهای پلاسمایی، افت مقادیر مالون‌دی‌آلدهید، پایین آمدن محتوای پراکسید هیدروژن، نزول تولید سینگلت اکسیژن، افزایش میزان کلروفیل *b* و کلروفیل کل، ارتقای سطح کاروتنوییدها، افزایش تجمع پرولین، بالا رفتن مقادیر قندهای محلول و محتوای پروتئین‌ها در اثر به‌کار بردن منابع خارجی آلفا توکوفرول (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۸ و ۱ میلی‌مولار) تحت شرایط تنش، توسط یه و همکاران (۲۰۱۷) به اثبات رسیده است.

از عمده‌ترین فرآیندهایی که از حضور سیلیکون تأثیر می‌پذیرند، می‌توان به شاخص‌های فتوسنتزی و روابط آبی گیاه اشاره نمود (نامور و همکاران ۲۰۱۷). تیمار گیاهان با غلظت‌های مناسب سیلیکون منجر به افزایش محتوای کلروفیل، ارتقای فعالیت روبیسکو، بالا رفتن شاخص SPAD، بهبود میزان فتوسنتز خالص، افزایش غلظت درون سلولی دی‌اکسیدکربن، بالا رفتن هدایت روزنه‌ای و بهبود کارآیی فلورسانس کلروفیل می‌شود (پوپه و سومر ۲۰۱۸، بوخاری و همکاران ۲۰۲۱). افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن القا شده توسط سیلیکون، موجب کاهش خسارات فتواکسیداتیو و حفاظت از غشای کلروپلاست و در نتیجه افزایش توان تحمل خشکی در گیاه می‌گردد (هادی و همکاران ۲۰۱۶). از سوی دیگر، بیان شده است که استفاده از سیلیکون حجم و وزن ریشه و در نتیجه، جذب آب را افزایش می‌دهد (وانگ و همکاران ۲۰۲۱). بوخاری و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده نمودند که کاربرد منابع خارجی سیلیکون در شرایط تنش خشکی، علاوه بر ارتقای سطوح کاروتنوییدها، پرولین، آمینو اسیدهای آزاد و قندهای محلول در گندم، منجر به افزایش معنی‌دار فتوسنتز خالص، میزان تعرق برگ‌ها و هدایت روزنه‌ای در مقایسه با بوته‌های تیمار نشده نیز می‌گردد. این نتایج با اظهارات وانگ و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. اوتمانی و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده کردند که حضور سیلیکون در تنش خشکی منجر به بالا رفتن شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ، محتوای آب نسبی، طول ریشه و ارتفاع بوته شده و نشت یون‌ها را در مقایسه با بوته‌های تیمار نشده، به‌شدت کاهش می‌دهد. علاوه بر این، مشاهده گردید که استفاده از سیلیکون در تنش کم‌آبی، اجزای عملکرد گندم (شامل؛ تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه) را بهبود بخشیده و در نتیجه، موجب افزایش عملکرد گندم در این شرایط می‌شود. بالا رفتن تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، طول سنبله، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی با کاربرد منابع خارجی سیلیکون در گندم تحت شرایط تنش خشکی توسط بوخاری و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش شده است.

روی به واسطه‌ی دخالت در تنظیم فرآیندهای فتوسنتزی، سنتز پروتئین‌ها و فعال‌سازی آنزیم‌ها، نقش مهمی در هدایت فرآیندهای بیولوژیکی گیاهان دارد (هادی و همکاران ۲۰۱۶). به‌علاوه، روی از طریق تنظیم مقادیر درونی هورمون‌های گیاهی از جمله؛ اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و آبسیزیک اسید نیز در فرآیندهای زایشی گیاه تاثیرگذار است. همچنین، روی عنصری کلیدی برای سنتز کلروفیل به‌شمار می‌رود (ستار و همکاران ۲۰۲۲). رامش‌رادی و همکاران (۲۰۱۷) آزمایشی را با به‌کارگیری سطوح مختلف نانو ذرات روی تحت شرایط خشکی در گیاه برنج طرح‌ریزی کرده و به این نتیجه رسیدند که تیمار بوته‌های قرار گرفته در معرض تنش خشکی توسط روی، موجب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل، بالا رفتن محتوای آب نسبی و کاهش نشت الکترولیت‌ها می‌شود. همچنین مشاهده گردید که ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، عملکرد تک بوته، بیوماس کل و شاخص برداشت، به‌واسطه‌ی حضور روی در شرایط تنش کم‌آبی بالا می‌رود. از سوی دیگر، این محققین گزارش نمودند که کاربرد روی هم در شرایط تنش و هم در غیاب عامل تنش‌زا، موجب افزایش مقادیر روی در برگ‌ها و دانه‌ها می‌گردد. در این مطالعه سطوح نسبی بیان Cu/Zn سوپراکسید دیسموتاز که به عنصر روی به‌عنوان کوفاکتور نیاز دارد نیز بررسی شد و اظهار گردید که مقادیر بالای این آنزیم با میزان روی قابل دسترس همبستگی بالایی نشان می‌دهد. در نهایت نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که تیمار نانو ذرات روی، کارآیی بالایی در بهبود رشد و ارتقای توان تحملی گیاه در برابر تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی دارد. همچنین، کریم و همکاران (۲۰۱۲) پیشنهاد نمودند که اثرات مخرب تنش خشکی در گندم می‌تواند با افزایش شاخص کلروفیل، بهبود فتوسنتز خالص و تولید ماده‌ی خشک بیشتر، تعدیل شود و تمامی این عوامل به‌واسطه‌ی استفاده از منابع خارجی روی قابل دسترس هستند. مشاهدات ادریس و همکاران (۲۰۲۱) بیان‌گر این بود که تیمار گندم با نانو ذرات روی تاثیر معنی‌داری در افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک اندام‌های هوایی، وزن خشک ریشه، وزن دانه و طول سنبله در شرایط تنش خشکی دارد. در این مطالعه مشخص گردید که کاربرد منابع خارجی نانو ذرات روی به‌هنگام عدم دسترسی آب کافی، محتوای کلروفیل a و b را افزایش داده و در مقابل، نشت الکترولیت‌ها، مقادیر پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، بالاترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط تنش خشکی، در بوته‌های تیمار شده با نانو ذرات روی ثبت گردید. این محققین اظهار داشتند که استفاده از غلظت‌های مناسب روی، شرایط رشد گیاه تحت شرایط نامساعد محیطی را به‌وضوح بهبود می‌بخشد که شاید این امر مدیون کاهش صدمات اکسیداتیو اندام‌های هوایی و بهبود جذب آب اندام‌های زیرزمینی در حضور روی باشد.

باکتری حل کننده‌ی فسفر (PSB) این توانایی را دارند که فسفر را از شکل نامحلول به فرم محلول و قابل استفاده برای گیاه تبدیل نمایند (سیدشریفی و نامور ۲۰۱۵، آزاروال و همکاران ۲۰۲۰). این باکتری‌ها از سال ۱۹۵۰ به‌عنوان کود زیستی به‌کار گرفته می‌شوند و اثرات مثبتی بر رشد و نمو گیاهان نشان می‌دهند (آهلووالیا و همکاران ۲۰۲۱). اختر و همکاران (۲۰۲۱) تاثیر تلقیح گندم با باکتری‌های محلول‌کننده‌ی فسفر تحت شرایط تنش خشکی را مورد ارزیابی قرار داده و دریافتند که حضور این باکتری‌ها منجر به ارتقای فتوسنتز خالص، افزایش هدایت روزنه‌ای، بالا رفتن محتوای کلروفیل و کاروتنوییدها، افزایش محتوای آب نسبی، ارتقای تجمع پرولین و قندهای محلول و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز) در شرایط عدم فرآهمی آب کافی می‌شود. این محققین اظهار داشتند که باکتری حل - کننده‌ی فسفر از طریق دخالت در تجمع اسمولیت‌ها و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه، به حفظ آماس سلول‌ها و بهبود روابط آبی کمک شایانی نموده و موجب ارتقای رشد و تحمل گیاهان در حضور عوامل تنش‌زا می‌گردند. در مجموع می‌توان اظهار داشت که باکتری حل - کننده‌ی فسفر به‌واسطه‌ی افزایش توسعه‌ی سیستم ریشه‌ای و در نتیجه، فرآهمی بیشتر عناصر غذایی و آب، افزایش جذب عناصر غذایی (به‌خصوص فسفر) و ایجاد هومئوسازی یونی در گیاه، تولید فیتوهورمون‌هایی نظیر؛ ایندول‌استیک‌اسید، سیتوکنین و جیبرلین‌ها، تولید آنزیم ACCدی‌آمیناز، ارتقای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، تولید محافظ‌های اسمزی، تولید اگزوپلی-

ساکاریدها، تولید ترکیبات ارگانیک فرار نظیر؛ سیانید هیدروژن، القای بیان ژن‌های مربوط به تنش خشکی در گیاه مانند؛ APX1 و SAMS1، تولید سیدروفورها و کنترل پاتوژن‌های گیاهی در ارتقای توان تحملی گیاه در شراط تنش موثرند (سیدشریفی و نامور ۲۰۱۵، اعتصامی و ماهش‌واری ۲۰۱۸، آهلووالیا و همکاران ۲۰۲۱، یاداو ۲۰۲۱).

نتیجه‌گیری

محدودیت شدید آبی (آبیاری تا ۵۰ درصد ظزفیت زراعی) موجب کاهش ۱۰۴ درصدی عملکرد دانه گندم نسبت به آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی گندم شد. همچنین آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) بیشترین اثر را در کاهش اجزای عملکرد این گیاه داشت. با این وجود، استفاده از محافظهای گیاهی آلی (آسکوربیک اسید و توکوفرول) و معدنی (سیلیکون و نانو ذرات روی) در هر دو شرایط تنش شدید و بدوت تنش در افزایش عملکرد دانه موثر بود. طوری که در شرایط بدون تنش (آبیاری تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی) کاربرد اسکوربیک اسید، سیلیکون، روی و توکوفرول به ترتیب عملکرد دانه را ۱۲/۳، ۷/۷ ، ۴/۷ و ۲/۹ درصد در مقایسه با عدم کاربرد این تعدیل کننده های تنش در همین سطح از ابیاری افزایش داد. ولی بیشترین تاثیر این محافظ های گیاهی الی بر عملکرد دانه در شرایط تنش شدید بود. طوری که کاربرد اسکوربیک اسید، سیلیکون، روی و توکوفرول به ترتیب عملکرد دانه را ۲۸، ۱۸/۲ ، ۱۷/۳ و ۹/۳ درصد در مقایسه با عدم کاربرد این تعدیل کننده های تنش در همین سطح از ابیاری افزایش داد. این امر در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند و یا کشت و کار گندم به‌صورت دیم صورت می‌گیرد، می‌تواند امیدبخش باشد. اثرات جبرانی کاربرد محافظهای گیاهی بررسی شده به‌واسطه‌ی بهبود شرایط فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و همچنین شاخص سطح برگ) و ارتقای سطوح ترکیبات موثر در افزایش توان تحملی گیاه در شرایط تنش (کاروتنوییدها، پرولین و قندهای محلول) موثر بود. کاهش مقادیر مالون‌دی‌آلدهید در شرایط تنش نیز می‌تواند گواهی بر کارکرد مثبت استفاده از محافظهای گیاهی در این شرایط باشد. از سوی دیگر، حضور باکتری حل کننده‌ی فسفر در تعدیل صدمات تنش خشکی و افزایش صفات مختلف از جمله کلروفیل a، کلروفیل b ، شاخص سطح برگ، پرولین و قندهای محلول و کاهش محتوای مالون دی الدئید نیز موثر بود. با این وجود، این میکروارگانیسم‌ها در شرایط تنش متوسط (آبیاری ۶۵ درصد ظرفیت زراعی) قادر بودند از عملکرد موثرتری برخوردار باشند که شاید به‌دلیل ماهیت زنده و تاثیرگذاری شرایط محیطی بر آن‌ها باشد. از این‌رو، با در نظر گرفتن نتایج به‌دست آمده، می‌توان به‌طور کلی بیان نمود که استفاده از محافظهای گیاهی و تلقیح با باکتری حل کننده‌ی فسفر در گندم قادر به بهبود کارکرد این گیاه در شرایط کمبود آب می‌باشد.

سپاسگزاری

از مسئولین محترم دانشگاه ارومیه و دانشگاه محقق اردبیلی بابت فرآهم نمودن امکانات این آزمایش، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع مورد استفاده

Adrees M, Khan ZS, Hafeez M, Rizwan M, Hussain Kh, Asrar M, Alyemeni MN, Wijaya L and Shafaqat Ali Sh. 2021. Foliar exposure of zinc oxide nanoparticles improved the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) and decreased cadmium concentration in grains under simultaneous Cd and water deficient stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 208: 111627. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111627.

Ahluwalia O, Singh PC and Bhatia R. 2021. A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. Resources, Environment and Sustainability, 5: 100032. DOI: 10.1016/j.resenv.2021.100032.

Ahmad P. 2014. Oxidative damage to plants: antioxidant networks and signaling. Elsevier Inc. Academic Press, 635 pp.

Ahmed M, Qadeer U, Ahmed ZI and Hassan FU. 2015. Improvement of wheat (*Triticum aestivum*) drought tolerance by seed priming with silicon. Archive of Agronomy and Soil Science, 62(3): 299-315. https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1048235

Akhtar N, Noshin Ilyas N, Mashwani ZR, Hayat R, Yasmin H, Noureldeen A and Ahmad P. 2021. Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and silicon dioxide nano-particles for amelioration of drought stress in wheat. Plant Physiology and Biochemistry, 166: 160-176. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.05.039.

Ali Q, Ali Sh, Iqbal N, Javed MT, Rizwan M, Khaliq R, Shahid S, Perveen R, Alamri SA, Alyemeni MN,Wijaya L and Ahmad P. 2019. Alpha-tocopherol fertigation confers growth physio-biochemical and qualitative yield enhancement in field grown water deficit wheat (*Triticum aestivum* L.). Scientific Reports, 9: 12924. DOI: 10.1038/s41598-019-49481-7.

Arrom L and Munne-Bosch S. 2010. Tocopherol composition in flower organs of Lilium and its variations during natural and artificial senescence. Plant Science, 179: 289-295. DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.05.002.

Azaroual SE, Hazzoumi Z, El Mernissi N, Aasfar A, Kadmiri IM and Bouizgarne B. 2020. Role of inorganic phosphate solubilizing *Bacilli* isolated from moroccan phosphate rock mine and rhizosphere soils in wheat (*Triticum aestivum* L.) phosphorus uptake. Current Microbiology, 77: 2391-2404. DOI: 10.1007/s00284-020-02046-8.

Azooz MM and Ahmad P. 2015. Legumes under environmental stress: yield, improvement and adaptations. Published by John Wiley & Sons, Ltd, 328 p. DOI: 10.1002/9781118917091.

Azzedine F, Gherroucha H and Baka M. 2011. Improvement of salt tolerance in durum wheat by ascorbic acid application. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 7: 27-37.

Bates LS, Waldren RP and Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil, 39(1): 205-207. DOI: 10.1007/BF00018060.

Bukhari MA, Ahmad Z, Ashraf MY, Afzal M, Nawaz F, Nafees M, Jatoi WN, Malghani NA, Shah AN and Manan A. 2021. Silicon mitigates drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) through improving photosynthetic pigments, biochemical and yield characters. Silicon, 13: 4757-4772. DOI: 10.1007/s12633-020-00797-4.

Bukhari MA, Ahmad Z, Ashraf MY, Afzal M, Nawaz F, Nafees M, Jatoi1 WN, Malghani NA, Shah AN and Manan A. 2021. Silicon mitigates drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) through improving photosynthetic pigments, biochemical and yield characters. Silicon, 13: 4757-4772. DOI:10.1007/s12633-020-00797-4

Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA and Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, 28 (3): 350-356. DOI: 10.1021/ac60111a017.

Dwivedi SK, Arora A and Singh VP. 2019. Effects of exogenously applied plant growth regulators on the physiology and anti-oxidant activity of wheat under water deficit condition. Indian Journal of Plant Physiology, 24: 54-62. DOI:10.1007/s40502-018-0407-3

Emam MM, Khattab HE, Helal NM and Deraz AE. 2014. Effect of selenium and silicon on yield quality of rice plant grown under drought stress. Australian Journal of Crop Science, 8: 596-605. DOI:10.1007/s12633-021-01277-z

Etesami H and Maheshwari DK. 2018. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. Ecotoxicology and Environmental Safety, 156: 225-246. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.03.013.

Faran M, Farooq M, Rehman A, Nawaz A, Saleem MK, Ali N and Siddique KHM. 2019. High intrinsic seed Zn concentration improves abiotic stress tolerance in wheat. Plant Soil, 437: 195-213.

Farouk S. 2011. Ascorbic acid and tocopherol minimize salt-induced wheat leaf senescence. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 7: 58-79.

Foyer CH and Noctor G. 2011.Ascorbate and glutathione: The heart of the redox hub. Plant Physiology, 155: 2-18. DOI: 10.1104/pp.110.167569.

Hadi H, Seyed sharifi R and Namvar A. 2016. Phytoprotectants and abiotic stresses. Urmia Publication, 354 p. [In Persian].

Hafez EM and Gharib HS. 2016. Effect of exogenous application of ascorbic acid on physiological and biochemical characteristics of wheat under water stress. International Journal of Plant Production, 10: 579-596.

Heath RL and Packer L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125(1): 189-198. DOI: 10.1016/0003-9861(68)90654-1.

Hossain MA, Wani SH, Bhattacharjee S, Burritt DJ and Tran LSPh. 2016. Drought stress tolerance in plants; physiology and chemistry. Springer International Publishing AG Switzerland. 538 pp. DOI: 10.1007/978-3-319-28899-4.

Hussain N, Irshad F, Jabeen Z, Shamsi IH, Li Z and Jiang L. 2013. Biosynthesis, structural, and functional attributes of tocopherols in planta; past, present, and future perspectives. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 61: 6137-6149. https://doi.org/10.1021/jf4010302

Ishaq H, Nawaz M, Azeem M, Mehwish M and Naseem MB. 2021. Ascorbic acid improves salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by modulating growth and physiological attributes. Journal of Bioresource Management, 7 (4):1-10. DOI: 10.35691/JBM.1202.0160.

Jie G, Gong-she L, Juan G and Jin Zh. 2008. Effects of Vitamin E on the activities of protective enzymes and membrane lipid peroxidation in *Leymus Chinensis* under drought stress. Chemistry Research of Chinese University, 24(1): 80-83.

Karim M, Zhang YQ, Zhao RR, Chen XP, Zhang FS and Zou CQ. 2012. Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. Jornal of Plant Nutrition and Soil Sciences, 175: 142-151. DOI: 10.1002/jpln.201100141.

Lalarukh I and Shahbaz M. 2018. Alpha-tocopherol induced modulations in morpho-physiological attributes of sunflower (*Helianthus annuus*) grown under saline environment. International Journal of Agricultural Biology, 20: 661-668. DOI: 10.17957/IJAB/15.0538.

Lichtenthaler HK. 1987. Chlorophylls and carotenoids: the pigments of photosynthetic biomembranes. In: Method in Enzymology, 148: 350-382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1.

Maghsoudi K, Emam Y and Pessarakli M. 2016. Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. Journal of Plant Nutrition, 39: 1001-1015. DOI:10.1080/01904167.2015.1109108

Malik S, Ashraf M, Arshad M and Malik TA. 2015. Effect of ascorbic acid application on physiology of wheat under drought stress. Pakistan Journal of Agricultural Science, 52(1): 209-217. https://doi.org/10.1590/1519-6984.262459

Munne-Bosch S. 2005. The role of α-tocopherol in plant stress tolerance. Journal of Plant Physiology, 162: 743-748. DOI: 10.1016/j.jplph.2005.04.022.

Namvar A, Hadi H and Seyed Sharifi R. 2017. Role of exogenous phytoprotectants in mitigation of adverse effects of abiotic stresses. Journal of Plant Environmental Physiology, 12 (48): 103-128. [In Persian].

Noreen S, Sultan M, Akhter MS, Shah KH, Ummara U, Manzoor H, Ulfat M, Alyemeni MN and Ahmad P. 2021. Foliar fertigation of ascorbic acid and zinc improves growth, antioxidant enzyme activity and

harvest index in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under salt stress. Plant Physiollogy and Biochemistry, 158: 244-254. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.11.007.

Noreen S, Sultan M, Akhter MS, Shah KH, Ummara U, Manzoor H. Ulfat M, Alyemeni MN and Ahmad P. 2021. Foliar fertigation of ascorbic acid and zinc improves growth, antioxidant enzyme activity and harvest index in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under salt stress. Plant Physiology and Biochemistry, 158: 244-254. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.11.007.

Orabi SA and Abdelhamid MT. 2016. Protective role of α-tocopherol on two Vicia Faba cultivars against seawater induced lipid peroxidation by enhancing capacity of anti-oxidative system. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 15(2): 145-154. DOI: 10.1016/j.jssas.2014.09.001.

Othmani A, Ayed S, Bezzin O, Farooq M, Ayed-Slama O, Slim-Amara H, and Ben Younes M. 2021. Effect of silicon supply methods on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) response to drought stress. Silicon, 13: 3047-3057. DOI: 10.1007/s12633-020-00639-3.

Othmani A, Ayed S, Bezzin O, Farooq M, Ayed-Slama O, Slim-Amara H and Ben Younes M. 2021. Effect of silicon supply methods on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) response to drought stress. Silicon, 13: 3047-3057.

Pei ZF, Ming DF, Liu D, Wan GL, Geng XX and Gong HJ. 2010. Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. Journal of Plant Growth Regulation, 29: 106–115. DOI:10.1007/s00344-009-9120-9

Puppe D and Sommer M. 2018. Experiments, uptake mechanisms, and functioning of silicon foliar fertilization: a review focusing on maize, rice and wheat. Advances in Agronomy, 152: 1-49. DOI: 10.1016/bs.agron.2018.07.003.

Rameshraddy Pavithra GJ, Rajashekar Reddy BH, Mahesh Salimath, Geetha KN and Shankar AG. 2017. Zinc oxide nano particles increases Zn uptake, translocation in rice with positive effect on growth, yield and moisture stress tolerance. Indian Journal of Plant Physiology, 22: 287-294. DOI: 10.1007/s40502-017-0303-2.

Rana RM, Rehman SU, Ahmed J and Bilal M. 2013. A comprehensive overview of recent advances in drought stress tolerance research in wheat (*Triticum aestivum* L.). Asian Journal of Agricultural Biology, 1: 29-37.

Rizwan M, Ali S, Ali B, Adrees M, Arshad M, Hussain A, Zia Rehman M and Waris AA. 2018. Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. Chemosphere, 214: 269-277. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.09.120.

Rostamza M, Chaichi MR, Jahansouz MR and Alimadadi A. 2011. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. Agricultural Water Management, 98(10): 1607-1614. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.05.014.

Sadiq M, Akram NA and Ashraf M. 2018. Impact of exogenously applied tocopherol on some key physiobiochemical and yield attributes in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] under limited irrigation regimes. Acta Physiololgy Plant, 40: 131-138. DOI:10.1007/s11738-018-2711-y

Sattar A, Wang X, Ul-Allah S, Sher A, Ijaz M, Irfan M, Abbas T, Hussain S, Nawaz F, Al-Hashimi A, Munqedhi, BMA and Skalicky M. 2022. Foliar application of zinc improves morpho physiological and antioxidant defense mechanisms, and agronomic grain biofortification of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water stress. Saudi Journal of Biological Sciences, 29: 1699-1706. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.10.061.

Seleiman MF, Al-Suhaibani N, Ali N, Akmal M, Alotaibi M, Refay Y, Dindaroglu T, Abdul-Wajid HH and Battaglia ML. 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. Plants, 10 (2): 259. DOI: 10.3390/plants10020259.

Seyed sharifi R and Namvar A. 2015. Biofertilizers in Agronomy. Mohaghegh Ardabili Publication, 261 p. [In Persian].

Shafiq S, Akram NA, Ashraf M and Arshad A. 2014. Synergistic effects of drought and ascorbic acid on growth, mineral nutrients and oxidative defense system in canola (*Brassica napus* L.) plants. Acta Physiology Plant, 36: 1539-1553. DOI:10.1007/s11738-014-1530-z

Smolikova GN, Laman NA and Boriskevich OV. 2011. Role of chlorophylls and carotenoids in seed tolerance to abiotic stressors. Russian Journal of Plant Physiology, 58: 965-973. DOI: 10.1134/S1021443711060161.

Wang M, Wang R, Jose Mur LA, Ruan J, Shen Q and Shiwei Guo Sh. 2021. Functions of silicon in plant drought stress responses. Horticultural Research, 8: 254. DOI: 10.1038/s41438-021-00681-1.

Yadav AN. 2021. Soil microbiomes for sustainable agriculture. Springer Nature Switzerland, 465 p. DOI: 10.1007/978-3-030-73507-4

Ye YR, Wang WL, Zheng CS, Fu DJ, Liu HW and Shen X. 2017. Foliar-application of α tocopherol enhanced salt tolerance of Carex leucochlora. Biologia Plantarum, 61: 565-570. DOI: 10.1007/s10535-017-0709-8.

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 217-234

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

Stability Analysis of Barley Genotypes in Cold Regions

Habibollah Ghazvini[1], Ali Akbar Asadi[2*], Soleiman Mohammadi[3], Seied Alireza Razavi[4], Marefat Ghasemi Kalkhoran[5]

Received: 29 May 2023	Accepted: 31 August 2023

1- Assoc. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Karaj, Iran
2- Asist. of Prof., of Crop and Horticultural Science Research Dept, Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREOO), Zanjan, Zanjan, Iran.
3- Assoc. Prof., of Dept. of Seed and Plant Improvement Research, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, (AREEO), Urmia, Urmia, Iran.
4- Assist. Prof., Horticulture Crops Research Dept., Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Mashhad, Mashhad, Iran
5- Asist. Prof., of Crop and Horticultural Science Research Dept., Ardabil Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREOO), Ardabil, Ardabil, Iran.
*Corresponding Author Email: asadipm@gmail.com

Abstract

Objectives: This research was conducted in order to evaluate the reaction of different barley genotypes and to understand better the genotype × environment interaction effect in different areas of the country's cold climate, and to select stable genotypes.

Materials and Methods: Four barley genotypes, including Jalgah, Mehtab, Bahman, CB-96-10, along with four imported genotypes in five stations of Karaj, Zanjan, Jalgarokh, Ardabil, and Miandoab in the form of complete randomized block design with three replications in two consecutive years of evaluation became.

Results: In Eberhart and Russell method, G1, G4, and G6 genotypes; in parametric methods G1, G4, G6, and to some extent G7 genotypes and; in nonparametric methods G1, G4, and G6 genotypes were identified as stable genotypes. According to the comparison of average performance, sustainability criteria and agricultural characteristics and general compatibility using AMMI analysis, G6, G1, and G7 genotypes were recognized as the most suitable and most compatible genotypes, respectively and can be considered as climate compatible cultivars in all cold regions of the country. Genotypes G2, and G3 are also considered varieties with private compatibility.

Conclusion: According to the results, G6, and G1 genotypes can be considered as the most compatible genotypes in all cold regions of the country, and G2, and G3 genotypes can also be considered as genotypes with high private compatibility in high potential regions.

Keywords: AMMI analysis, Barley, Interaction, Parametric and Nonparametric Methods,

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Ali Akbar Asadi Email: asadipm@gmail.com
https://doi.org/10.22034/saps.2023.56901.3056

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۲۳۴-۲۱۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های جو در مناطق سرد

حبیب اله قزوینی[۱]، علی اکبر اسدی*[۲]، سلیمان محمدی[۳]، سید علیرضا رضوی[۴]، معرفت قاسمی کلخوران[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

۱- دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
۳- دانشیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
۴- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۵- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردلبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: asadipm@gmail.com

چکیده

اهداف: این مطالعه به‌منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف جو و درک بهتر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در مناطق مختلف اقلیم سرد کشور و انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار انجام شد.

مواد و روش‌ها: تعداد ۴ ژنوتیپ جو شامل ارقام جلگه، مهتاب، بهمن، لاین CB-96-10، به همراه چهار ژنوتیپ وارداتی در ۵ ایستگاه کرج، زنجان، جلگه‌رخ، اردبیل و میاندوآب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال متوالی کشت و ارزیابی شد. پس از به‌دست آوردن عملکرد ارقام در هر محیط، تجزیه واریانس مرکب انجام شد. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، برای تعیین سازگاری و پایداری ارقام از روش‌های مختلف تجزیه پایداری (پارامتریک و ناپارامتری) و روش AMMI استفاده شد.

یافته‌ها: در روش ابرهارت و راسل ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6، در روش‌های پارامتری ژنوتیپ‌های G1، G4، G6 و تا حدودی G7 و در روش‌های ناپارامتری ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. با توجه به مقایسه میانگین عملکرد، معیارهای پایداری و خصوصیات زراعی و سازگاری عمومی با استفاده از تجزیه AMMI، ژنوتیپ‌های G6، G1 و G7 به ترتیب به‌عنوان مناسب‌ترین و سازگارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند و می‌توانند به‌عنوان ارقام جو سازگار در کلیه مناطق سرد کشور مورد توجه قرار گیرند. ژنوتیپ‌های G2 و G3 نیز ارقامی با سازگاری خصوصی محسوب می‌شوند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج می‌توان ژنوتیپ‌های G6 و G1 را به‌عنوان سازگارترین ژنوتیپ‌ها در کلیه مناطق سرد کشور و ژنوتیپ‌های G2 و G3 را نیز به‌عنوان ژنوتیپ‌های با سازگاری خصوصی بالا در مناطق پر پتانسیل محسوب کرد.

واژه های کلیدی: اثر متقابل، تجزیه AMMI، جو، روش‌های پارامتری و ناپارامتری

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare*. L) با سطح زیر کشت بالغ‌بر یک و نیم میلیون هکتار در سال (۶۵۰ تا ۷۵۰ هزار هکتار جو آبی با میانگین عملکرد ۳۴۰۰ کیلوگرم در هکتار)، از عمده محصولات زراعی ایران می‌باشد که با توجه به سازگاری وسیع اکولوژیکی در اکثر نقاط کشور مورد کشت قرار می‌گیرد (احمدی و همکاران ۲۰۲۰). در مقایسه با سایر روش‌های اصلاحی گیاهان زراعی، وارد نمودن ارقام گیاهی دارای قدمت بیشتری بوده و می‌توان از آن‌ها به‌صورت مستقیم (معرفی به‌عنوان رقم) و یا غیرمستقیم (در تلاقی با ارقام و لاین‌های محلی) استفاده کرد (آکوا ۲۰۱۲). ارقام گندم آکوا، کلار، بزوستایا، MV17، مغان ۲، استار، گاسکوژن، سایسون و گاسپارد، گندم‌های دوروم یاواروس و سیمینه و ارقام جو گرگان ۴، سینا، کویر، ارس، ماکویی، پروداکتیو، دشت و مهتاب از ارقامی هستند که همگی به‌صورت تجارتی در کشورهای مبدأ خود مورد کشت و زرع قرار می‌گرفته و پس از ورود به کشور و عملکرد خوب در آزمایشات با داشتن سازگاری‌های خصوصی و عمومی خوب در بسیاری از مناطق کشور مورد استفاده زارعین قرار گرفته‌اند (سعیدی و همکاران ۲۰۰۵). برای ثبت ارقام وارداتی نیاز به ارزیابی‌های اولیه آن‌ها در قالب آزمایش‌های بررسی ارزش‌های زراعی ارقام وارداتی مطابق دستورالعمل‌های استاندارد موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال می‌باشد (جمالی ۲۰۱۲). یکی از کلیدی‌ترین فاکتورها در این ارزیابی‌ها، بررسی سازگاری و پایداری عملکرد این ارقام در دامنه وسیعی از مناطق جغرافیایی به همراه ارقام شاهد است.

واکنش متفاوت ارقام در برابر تغییرات محیطی و سازگاری با شرایط اقلیمی موجود در کشور مسئله مهمی است که در انتخاب ارقام وارداتی، باید مورد توجه خاص قرار گیرد. باید دانست که در برنامه‌های معرفی ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده، استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌تنهایی معیار مطلوبی جهت گزینش نیست، بلکه میزان سازگاری و پایداری نیز نقش مهمی را ایفاء می‌کند. بدین منظور آزمایش‌های مقایسه عملکرد در مناطق و سال‌های مختلف صورت گرفته (فرشادفر و استوکا ۲۰۰۶) و در ادامه برای بررسی سازگاری ارقام روش‌های آماری مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ازجمله این روش‌ها می‌توان به تعیین واریانس ارقام (رومر ۱۹۱۷)، ضریب تغییرات محیطی (فرانسیس و کاننبرگ ۱۹۷۸)، استفاده از تجزیه رگرسیونی (ییتس و کوکران ۱۹۳۸)، تجزیه واریانس ارقام به اجزاء مختلف (اسپارگو و فدرر ۱۹۵۱)، تجزیه واریانس زوجی ارقام (پلاستد و پترسون ۱۹۵۹)، روش اکووالانس ریک یا تعیین سهم هر ژنوتیپ در تشکیل مجموع مربعات اثر متقابل در همه محیط‌های آزمایشی (ریک ۱۹۶۲)، واریانس شوکلا (شوکلا ۱۹۷۲)، استفاده از میانگین عملکرد و رگرسیون بین عملکرد رقم و شاخص محیطی (فینلی و ویلکینسون ۱۹۶۳)، استفاده از میانگین عملکرد و رگرسیون بین عملکرد رقم و شاخص محیطی و میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون به‌عنوان شاخص‌های پایداری (ابرهارت و راسل ۱۹۶۶) اشاره کرد. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های چند متغیره مانند روش‌های تجزیه اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر یا روش AMMI1 (ابدون و گوچ ۲۰۰۲) و یا روش تجزیه بای‌پلات (GGE) (یان و همکاران ۲۰۰۱) گسترش فوق‌العاده‌ای یافته است.

هارش و همکاران (۲۰۰۰) ضمن مطالعه پایداری ارقام گندم از روش ابرهارت و راسل برای تعیین ارقام پایدار و سازگار استفاده کردند و ارقام با عملکرد بالا، ضریب رگرسیون بزرگ‌تر از یک و انحراف از خط رگرسیون معنی‌دار را برای مناطق حاصلخیز توصیه نمودند. رودریگز و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی پایداری ژنوتیپ‌های بومی، اینبرد لاین‌های نوترکیب و ارقام تجاری جو در شش منطقه مختلف نشان دادند که بین

1 -Additive Main Effect and Multiplicative Interaction Analysis

ژنوتیپ‌ها ازنظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد اما اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود و درنهایت مشخص شد که ژنوتیپ‌های محلی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای پتانسیل بالاتری برای برنامه‌های اصلاحی در مناطق مدیترانه‌ای می‌باشند. بدوئی دلفارد و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش بای‌پلات در ۱۰ رقم جو نشان دادند که ارقام گرگان ۴، ماکوئی و نصرت دارای پایداری عمومی بوده و نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه کمترین اثرات متقابل را با محیط دارند. قزوینی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو از روش AMMI و آماره‌های غیر پارامتری برای تجزیه پایداری در مناطق سرد استفاده کرده و ژنوتیپ شماره ۸ (ژنوتیپ حاصل از کراس (Makouee/Jolgeh را ازنظر عملکرد دانه به‌عنوان پایدارترین لاین معرفی نمودند. اکبرپور و همکاران (۲۰۱۱) از روش AMMI برای بررسی پایداری عملکرد ۱۱ لاین امیدبخش جو استفاده کرده و بیان داشتند که با استفاده از این روش می‌توان علاوه‌بر شناسایی ژنوتیپ‌هایی با سازگاری عمومی، ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی برای مناطق مختلف را نیز شناسایی کرد. براتی و همکاران (۲۰۱۹) برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد جو تحت تنش شوری از آماره پایداری ASV1[1] و فاصله AMMI استفاده کرده و لاین پایدار جو را در شرایط تنش معرفی کردند. واعظی و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی پایداری عملکرد ۱۸ لاین امیدبخش جو به همراه دو شاهد در مناطق گچساران، لرستان، ایلام، مغان و گنبد برای مدت سه سال زراعی نشان دادند که اثرات اصلی ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و ۴ مؤلفه اصلی معنی‌دار بودند و بر اساس پارامترهای پایداری AMMI، دو ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شدند. کوچکی و همکاران (۲۰۱۲) پایداری ۱۸ ژنوتیپ جو را در ۸ مکان از نظر بالا بودن عملکرد در مکان‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که با روش‌های چند متغیره می‌توان ژنوتیپ‌های پر محصول و پایدار (سازگاری عمومی و خصوصی قابل قبول) را مشخص کرد. آبای و بجرنستاد (۲۰۰۹) با بررسی پایداری عملکرد ۱۰ رقم جو در ۲۱ محیط با استفاده از روش رگرسیونی ابرهارت راسل و GGE Biplot نشان دادند که این دو روش مطابقت بالایی با یکدیگر دارند.

روش‌های ناپارامتری متعددی نیز به‌منظور تعیین پایداری ارقام پیشنهاد شده است که در اکثر آن‌ها ارقام در محیط‌های مختلف رتبه‌بندی شده و ژنوتیپی پایدار محسوب می‌شود که در کلیه محیط‌ها رتبه مشابهی داشته باشد. آماره‌های میانگین تفاوت قدر مطلق $S_i^{(1)}$ و واریانس یا انحراف استاندارد $S_i^{(2)}$ جزء آماره‌های ناپارامتری هستند که توسط ناسار و هیون (۱۹۸۷) برای برآورد اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری فنوتیپی (پایداری ژنوتیپ‌ها در همه محیط‌ها) به کار برده شده است. تنارازو (۱۹۹۵) چهار روش ناپارامتری $NP_i^{(1)}$، $NP_i^{(2)}$، $NP_i^{(3)}$ و $Np_i^{(4)}$ را بر مبنای رتبه‌های تصحیح شده پیشنهاد کرد. سوقی و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی پایداری ارقام گندم بیان نمودند که روش‌های تنارازو و ناسار و هیون اغلب بیانگر جنبه بیولوژیک پایداری هستند و قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های گندم با عملکرد بالا و پایدار نیستند. آن‌ها روش ناپارامتری انتخاب هم‌زمان برای عملکرد و پایداری (کانگ ۱۹۹۳) را روش مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و پر محصول گندم معرفی کردند. کاربرد این آماره‌ها در انتخاب ارقام مناسب گندم دوروم (محمدی و همکاران ۲۰۰۷؛ جهرمی و همکاران ۲۰۱۱) و گندم نان (زارعی ۲۰۱۲) نیز گزارش شده است. برای انتخاب ارقام پر محصول با عملکرد پایدار استفاده از یک روش به‌تنهایی ممکن است منجر به نتایج مطلوبی نشود، ولی ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه پایداری، احتمال شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب را افزایش می‌دهد. هدف از این پژوهش تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و بررسی واکنش ژنوتیپ‌های وارداتی در محیط‌های مختلف و انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار در مناطق مورد مطالعه با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه پایداری می‌باشد.

1 - AMMI Stability Value

مواد و روش‌ها

در این تحقیق چهار رقم وارداتی به همراه چهار شاهد جلگه، مهتاب، بهمن و لاین در حال معرفی CB-96-10 در آزمایش مقایسه عملکرد یکنواخت در پنج ایستگاه اقلیم سرد کشور (کرج، اردبیل، میاندوآب، زنجان و جلگه‌رخ) (جدول ۱) به مدت دو سال در طی سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. در هر آزمایش، هر کرت شامل شش خط کاشت با فاصله بیست سانتی‌متر و با طول شش متر انجام شده و مساحت هر کرت ۷/۲ مترمربع بود که پس از حذف ۰/۵ متر از بالا پایین هر کرت مساحت برداشت ۶ مترمربع شد. میزان بذر مصرفی در مترمربع ۴۰۰ بذر بر اساس وزن هزاردانه بود. تهیه زمین بر اساس عرف آزمایش‌های غلات در ایستگاه‌های مربوطه و تاریخ کاشت در محدوده زمانی مشخص و در اواسط مهرماه تا اواخر مهرماه برای کلیه ایستگاه‌ها بود. میزان کود مصرفی بر اساس آزمون خاک در هر ایستگاه بود. تعداد دفعات آبیاری برحسب نیاز گیاه و در طول دوره زراعی ۵-۴ نوبت آبیاری بود. برای جلوگیری از خسارت علف‌های هرز پهن‌برگ از علف‌کش گرانستار و علف‌های هرز نازک برگ از علف‌کش پوماسوپر استفاده شد. عملیات تهیه زمین به‌طورمعمول قبل از کشت آزمایش انجام گردید. پس از برداشت محصول عملکرد مربوط به هر کرت توزین شده و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر ایستگاه مورد تجزیه واریانس ساده و مقایسه میانگین قرار گرفت. قبل از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و محاسبه پارامترهای پایداری، آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی (آزمون بارتلت) انجام شد. سپس عملکرد دانه ارقام برای کلیه ایستگاه‌ها مورد تجزیه واریانس مرکب برای ۱۰ محیط (پنج مکان در دو سال) و مقایسه میانگین قرار گرفت و با استفاده از روش‌های تجزیه پایداری، ارقام پایدار آزمایش که دارای سایر صفات مطلوب زراعی نیز بودند؛ انتخاب شدند.

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، برای تعیین سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌ها از روش‌های مختلف تجزیه شامل واریانس محیطی رومر (۱۹۱۷)، اکووالانس ریک (ریک ۱۹۶۲)، روش رگرسیون فینلی و ویلکینسون (فینلی و ویلکینسون ۱۹۶۳)، واریانس پایداری شوکلا (شوکلا ۱۹۷۲)، ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کاننبرگ (فرانسیس و کاننبرگ ۱۹۷۸)، واریانس انحراف از رگرسیون ابرهارت و راسل (ابرهارت و راسل ۱۹۶۶)، مجموع رتبه کانگ (کانگ ۱۹۸۸)، آماره پلاستد و پترسون (پلاستد و پترسون ۱۹۵۹)، آماره پلاستد (پلاستد ۱۹۶۰)، آماره‌های ناپارامتریک تنارازو (تنارازو ۱۹۹۵) آماره‌های ناپارامتریک هیون (هیون ۱۹۹۰) (جدول ۲) و روش AMMI استفاده شد. در معادلات ۱ تا ۹، X_{ij}، میانگین عملکرد ژنوتیپ i در محیط j؛ $\bar{X}_{i.}$ میانگین ژنوتیپ i در تمام محیط‌ها؛ $\bar{X}_{.j}$ میانگین همه ژنوتیپ‌ها در محیط j و $\bar{X}_{..}$ میانگین همه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها است. همچنین E تعداد محیط، G تعداد ژنوتیپ در آزمایش، MsGE واریانس اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشد. در مدل فینلی و ویلکینسون، M میانگین کل آزمایش، Pi اثر اصلی ژنوتیپ iام، β_i ضریب رگرسیون خطی برای ژنوتیپ iام، V_i اثر اصلی محیط، δ_{ij} اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و ε_{ijk} اثر خطا می‌باشد. در این مدل معیار پایداری را با bi نشان می‌دهند که رگرسیون خطی عملکرد ژنوتیپ i در محیط j روی عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط jام می‌باشد. در شاخص پلاستد p تعداد ژنوتیپ و q تعداد محیط و SSGE مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است. در واریانس پایداری شوکلا، ژنوتیپی پایدار است که مقدار واریانس پایداری در آن، حداقل باشد. با توجه به اینکه در مدل اکووالانس ریک سهم هر ژنوتیپ در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اندازه‌گیری می‌شود، بنابراین ژنوتیپ‌های با حداقل مقدار این آماره به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی می‌شوند، چرا که پایین بودن تغییرات باشد. در واقع این روش سهم ژنوتیپ iام را در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اندازه می‌گیرد و برای هر ژنوتیپ مستقل از سایر ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش است. در معیار ناپارامتری کانگ مجموع رتبه برای گزینش ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. در این روش ابتدا ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و واریانس پایداری شوکلا رتبه‌بندی شدند؛ به این صورت که به ژنوتیپ برخوردار از بیشترین عملکرد و کمترین آماره پایداری رتبه یک تعلق گرفت. سپس مجموع دو رتبه هر ژنوتیپ معیار

جدول ۱- ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد بررسی

کد ژنوتیپ	نام رقم	مشخصات
G1	جلگه	جو داخلی شش ردیفه، زمستانه، مقاوم به سرما خوابیدگی و ریزش دانه، زمستانه با میانگین ارتفاع ۹۰ سانتیمتر، نیمه حساس به لکه نواری قهوه‌ای و نیمه مقاوم به زنگ زرد جو
G2	مهتاب	جو داخلی شش ردیفه، تیپ رشد بینابینی، ارتفاع بوته 88 سانتیمتر، متوسط رس، مقاوم به خوابیدگی و ریزش دانه، نیمه مقاوم تا نیمه حساس نسبت به بیماری‌های زنگ زرد و سفیدک سطحی جو، نیمه مقاوم نسبت به بیماری لکه نواری قهوه‌ای و لکه توری جو، متحمل به سرما
G3	بهمن	جو داخلی شش ردیفه، زمستانه، متوسط رس، مقاوم به سرما، خوابیدگی و ریزش دانه، زمستانه با میانگین ارتفاع ۸۰ سانتیمتر، نیمه حساس به سفیدک پودری و نیمه مقاوم به لکه برگی جو
G4	CB-96-10 با شجره- (Bahman/3/Alger//CI10117/Choyo)	جو داخلی شش ردیفه، زمستانه، شش ردیف، زمستانه، مقاوم به سرما، سنبله نیمه خمیده، مقاوم به ورس و ریزش، ارتفاع متوسط،
G5	Adalina	جو با منشأ اتریش، زمستانه شش ردیفه، وزن هکتولیتر بالا، زودرس با عملکرد بالا، مقاوم به خوابیدگی، وزن هزاردانه بالا، با ارتفاع متوسط
G6	Monroe	جو با منشأ بلغارستان، دو ردیفه با عملکرد بالا، ارتفاع متوسط، متوسط رس، درصد مالت بالا، وزن هزاردانه متوسط، حساس به سفیدک پودری،
G7	Scorpia	جو با منشأ آلمان،
G8	Novosadski-565	با منشأ یوگوسلاوی، دو ردیفه، زمستانه، مقاوم به خوابیدگی، مقاوم به سرما، وزن هزاردانه بالا و مقاوم به بیماری‌های جو

نام محیط	کد محیط	نام محیط	کد محیط
اردبیل سال دوم	E6	اردبیل سال اول	E1
میاندوآب سال دوم	E7	میاندوآب سال اول	E2
زنجان سال دوم	E8	زنجان سال اول	E3
جلگه رخ سال دوم	E9	جلگه رخ سال اول	E4
کرج سال دوم	E10	کرج سال اول	E5

این آماره برابر با بالا بودن اکووالانس است. ابرهارت و راسل دو پارامتر به نام ضریب رگرسیون bi و ضریب انحراف از رگرسیون S^2_{di} را به منظور بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها پیشنهاد کردند. در این مدل ضریب رگرسیون معیار پاسخ در نظر گرفته می‌شود چرا که پاسخ ویژه ژنوتیپ‌ها به اثرات محیطی را مشخص می‌کند. بر این اساس ژنوتیپی پایدار است که میانگین مربعات انحراف از رگرسیون آن کوچک باشد. براساس ضریب تغییرات محیطی ژنوتیپی پایدار است که دارای حداقل ضریب مجموع رتبه برای آن ژنوتیپ در نظر گرفته شد و ژنوتیپی مطلوب بود که مجموع رتبه پایین‌تری داشت. در روش‌های ناپارامتری، در معادلات ۱۰ تا ۱۷ r_{ij} و r'_{ij} رتبه تصحیح‌نشده و تصحیح‌شده ژنوتیپ iام در محیط jام، $\bar{r}_{i.}$ و $\bar{r}'_{i.}$ به ترتیب میانگین رتبه تصحیح‌نشده و تصحیح‌شده ژنوتیپ iام، M_{di} و M^*_{di} میانه رتبه تصحیح‌نشده و تصحیح‌شده ژنوتیپ iام و N تعداد محیط است.

برای آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی و تجزیه مرکب داده‌ها از نرم‌افزار SAS، برای برآورد پارامترهای پارامتری و ناپارامتری پایداری از برنامه اینترنتی آنلاین STABILITYSOFT (پورابوقداره و همکاران ۲۰۱۹) و برای تجزیه AMMI از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی با نام Multi Metan) (environmenttrail analysisدر نرم‌افزار R استفاده شد (الیووتو ۲۰۱۹).

جدول ۲- شاخص‌های تجزیه پایداری مورد استفاده در بررسی پایداری ارقام جو

معادله	فرمول	آماره
۱	$S_{Xi}^2 = \frac{\sum(X_{ij} - \bar{X}_{i.})^2}{(E-1)}$	واریانس محیطی
۲	$W_i^2 = \sum_{i=1}^{n}(X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})^2$	اکووالانس ریک
۳	$\delta_i^2 = \frac{G}{(E-2)(G-2)} W_i - \frac{MsGE}{G-2}$	واریانس پایداری شوکلا
۴	$bi = 1 + \frac{\sum_i(X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})(X_{.j} - \bar{X}_{..})}{\sum_j(\bar{\bar{X}}_{.j} + X_{..})}$	ضریب رگرسیون خطی
۶	$S_{di}^2 = \frac{1}{E-2}\left[\sum_i(X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..}) - (b_i - 1)^2.\sum_j(\bar{X}_{.j} - \bar{X}_{..})^2\right]$	واریانس انحراف از رگرسیون
۵	$Y_{ijk} = M + P_i + (1 + \beta_i)V_i + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$	ضریب فینلی و ویلکینسون
۷	$CV_i = \frac{\sqrt{S_i^2}}{V_i}$	ضریب تغییرات محیطی
۸	$SSGE = \sum\sum[(X_{ij} - \bar{X}_{..}) - (X_{i.} - \bar{X}_{..}) - (X_{.j} - \bar{X}_{..})]^2$	شاخص پلاستد و پترسون
۹	$\theta_i = \frac{p}{2(p-1)(q-1)}\sum_{j=1}^{q}(X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X}_{..})^2 + \frac{SSGE}{2(p-2)(q-2)}$	شاخص پلاستد
۱۰	$S_i^{(1)} = 2\sum_j^{n-1}\frac{\sum_{j=j+1}^{n}\lvert r_{ij} - r'_{ij}\rvert}{[N(N-1)]}$	پارامترهای نصار و هیون
۱۱	$S_i^{(2)} = \sum_{i=1}^{n}\frac{(r_{ij} - \bar{r}_{i.})^2}{(N-1)}$	
۱۲	$S_i^{(3)} = \sum_{i=1}^{n}\frac{(r_{ij} - \bar{r}_{i.})^2}{\bar{r}_{i.}}$	
۱۳	$S_i^{(6)} = \sum_{i=1}^{n}\frac{\lvert r_{ij} - \bar{r}_{i.}\rvert^2}{\bar{r}_{i.}}$	
۱۴	$NP_i^{(1)} = \frac{1}{N}\lvert r_{ij}^* - M_{di}^*\rvert$	پارامترهای تنارازو
۱۵	$NP_i^{(2)} = \frac{1}{N}\left[\sum_{j=1}^{n}\lvert r_{ij}^* - M_{di}^*\rvert/M_{di}\right]$	
۱۶	$NP_i^{(3)} = \frac{\sqrt{\sum(r_{ij} - \bar{\bar{r}}_{i.})/N}}{\bar{r}_{i.}}$	
۱۷	$NP_i^{(4)} = \frac{2}{N(N-1)}\left[\sum_{j=1}^{n-1}\sum_{[j=j+1]}^{n}\lvert r_{ij} - \bar{r}_{i.}\rvert/\bar{r}_{ij}\right]$	

نتایج و بحث

معنی‌دار نشدن آزمون بارتلت نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف بود. در تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد ، اختلاف معنی‌دار برای اثر مکان و همچنین اثرات متقابل سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح ۱ درصد با استفاده از امید ریاضی منابع تغییرات مشاهده شد (ژنوتیپ و مکان متغیر ثابت در نظر گرفته شدند) (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد متفاوت از هم بوده و از این نظر دارای تنوع ژنتیکی هستند. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × سال × مکان، به دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مورد بررسی می‌باشد. این معنی‌دار شدن نشان می‌دهد که پاسخ ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف یکسان نبوده و در محیط‌های مختلف، ژنوتیپ‌های متفاوتی دارای بیشترین عملکرد بوده‌اند؛ بنابراین صرفاً بر اساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نمی‌توان ژنوتیپ با عملکرد بیشتر را تعیین کرد؛ بلکه باید تجزیه پایداری انجام شود تا ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط منطقه که ضمن داشتن عملکرد دانه بالا، نوسانات عملکرد آن‌ها نیز در سال‌های مختلف کمتر باشد، شناسایی شوند. به‌این‌ترتیب، تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های

وارداتی و ارقام شاهد با روش‌های مختلف انجام شد تا لاین‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار شناسایی شوند. به دلیل عدم معنی‌داری اثر سال و معنی‌داری اثر مکان عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر ایستگاه نیز مورد تجزیه واریانس ساده (جدول ۴) و مقایسه میانگین (جدول ۵) جهت مشخص شدن بهترین رقم در هر ایستگاه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها در ایستگاه‌های زنجان، کرج و جلگه‌رخ تفاوت معنی‌دار وجود دارد. مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که در ایستگاه زنجان ژنوتیپ‌های G3 و G1، در ایستگاه میاندوآب ژنوتیپ‌های G3، G4 و G6، در ایستگاه کرج ژنوتیپ‌های G2 و G4، در ایستگاه جلگه‌رخ ژنوتیپ‌های G3 و G2 و در ایستگاه اردبیل ژنوتیپ‌های G5، G8 و G6 دارای بیشترین میزان عملکرد در واحد هکتار بودند.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در محیط‌های مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال	۱	۱۳/۵۸
مکان	۴	۱۱۹/۳۶**
سال × مکان	۴	۶/۵۱*
خطای ۱	۳۰	۱/۹۲
ژنوتیپ	۷	۱/۰۳۴*
ژنوتیپ ×مکان	۲۸	۱/۴۲**
ژنوتیپ × سال	۷	۰/۸۷۷
ژنوتیپ ×مکان× سال	۲۸	۱/۰۵۵**
خطای ۲	۲۱۰	۰/۴۹۹
ضریب تغییرات٪	۱۰/۵۶	

نتایج تجزیه واریانس روش رگرسیونی ابرهارت و راسل در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، واریانس محیط (خطی) و واریانس ژنوتیپ × محیط (خطی) در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. معنی‌دار شدن محیط (خطی) نشان‌دهنده رابطه خطی معنی‌دار بین عملکرد در محیط‌های اجرای آزمایش با شاخص محیطی است. واریانس ژنوتیپ × محیط (خطی) نیز معنی‌دار شد که نشان می‌دهد بین ضرایب اختلاف معنی‌دار وجود دارد. واریانس انحراف از خط رگرسیون نیز معنی‌دار شد که نشان می‌دهد در برخی از ژنوتیپ‌ها انحرافات از خط رگرسیونی معنی‌دار است. ژنوتیپ‌های G2، G3، G5، G7 و G8 دارای انحراف از رگرسیون خطی معنی‌داری بودند که نشان می‌دهد عملکرد این ژنوتیپ‌ها روی شاخص محیطی دارای نوسان است و این پراکندگی‌ها در اطراف خط رگرسیون بین آن‌ها معنی‌دار بود و درنتیجه این ژنوتیپ‌ها از پایداری عملکرد مناسبی برخوردار نیستند. در مقابل، سایر ژنوتیپ‌ها انحراف از رگرسیون غیر معنی‌دار داشتند به این معنی که ضمن وجود اختلاف خطی معنی‌دار و قابل‌توجه بین عملکرد این ژنوتیپ‌ها روی شاخص محیطی، نوسانات عملکرد ژنوتیپ‌ها در اطراف خط رگرسیون معنی‌دار نبود. ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 به ترتیب با برخورداری از کمترین مقدار انحراف از رگرسیون (جدول ۷)، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها در این بررسی شناسایی شدند. واعظی و احمدی (۲۰۱۰) با بررسی ۱۸ ژنوتیپ جو در چهار مکان و سه سال با استفاده از پارامترهای پایداری مختلف از بین ده پارامتر اندازه‌گیری شده، کفایت مدل رگرسیونی ابرهارت و راسل را در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار را گزارش کردند. امیری اوغان و همکاران (۲۰۰۴) با ارزیابی ۲۳ ژنوتیپ کلزا در چهار منطقه در مدت دو سال با استفاده از روش ابرهارت و راسل، رقم هیبرید هیولا ۴۰۱ را به دلیل بالا بودن عملکرد، ضریب رگرسیون خطی معادل یک و انحراف از رگرسیون غیر معنی‌دار به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی کردند.

جدول ۴- تجزیه واریانس پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو به روش ابرهارت و راسل

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
کل	۷۹	۱۴۹/۹۳۹۳	
ژنوتیپ	۷	۱/۸۱	۰/۲۵۸۵
محیط+(محیط× ژنوتیپ)	۷۲	۱۴۸/۱۲۸۲	۲/۰۵۷
محیط (خطی)	۱	۱۶۰/۱۵۸۱	۱۶۰/۱۵۸**
ژنوتیپ ×محیط (خطی)	۷	۲۸/۵۴۹۵	۴/۰۷۸۵**
انحرافات از خط رگرسیونی	۶۴	۱۶/۵۲۰۶	۰/۲۵۸۱**
G1	۸	۰/۴۹۹۸	۰/۰۶۲۴۷
G2	۸	۲/۶۶۰۵	۰/۳۳۲۵**
G3	۸	۴/۲۳۰۸	۰/۵۲۸۸**
G4	۸	۱/۱۰۶۶	۰/۱۳۸۳
G5	۸	۲/۸۵۹۱	۰/۳۵۷۴**
G6	۸	۱/۰۹۴۷	۰/۱۳۶۸
G7	۸	۱/۴۰۸۵	۰/۱۷۶*
G8	۸	۲/۶۶۰۵	۰/۳۳۲۶**
خطای متوسط	۲۴۰	۲۹/۹۴۹۹	۰/۱۲۴۷۹

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

نتایج حاصل از دیگر روش‌های مختلف تجزیه پایداری در جدول ۷ ارائه شده است. بر اساس ضریب رگرسیون خطی فینلی و ویلکینسون ژنوتیپ‌های G1، G2، G4، G6 و G7 دارای ضریب رگرسیون نزدیک به یک بودند که نشان می‌دهد این ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری عمومی به محیط‌ها هستند. هرچقدر عملکرد ژنوتیپ بالا باشد و ضریب رگرسیون آن نیز از یک بیشتر باشد در این حالت این ژنوتیپ مناسب مناطق و محیط‌های مطلوب است و همچنین هر چقدر ضریب رگرسیون کمتر از ۱ باشد (البته معنی‌دار) و دارای عملکرد بالایی نیز باشد مناسب مناطق نامطلوب می‌باشد (احمدی و همکاران ۲۰۱۶). بیشترین ضریب رگرسیون مربوط به ژنوتیپ G5 و کمترین مربوط به ژنوتیپ G3 بود. واریانس انحراف از خط رگرسیون سهم هر ژنوتیپ را در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان می‌دهد؛ بنابراین اگر ژنوتیپی دارای انحراف از خط رگرسیون صفر یا حداقل باشد آن رقم ناپایدار است (سوقی و همکاران ۲۰۰۹). براین اساس ژنوتیپ‌های G1، G4، G6 و تا حدودی G7 دارای کمترین میزان انحراف از خط رگرسیون بودند. بقیه ژنوتیپ‌ها انحراف از خط رگرسیون بالاتری را نشان دادند؛ بنابراین تغییرات عملکردی این ژنوتیپ‌ها در طول تغییرات خطی با شاخص محیطی (محیط‌های اجرای آزمایش) دارای نوسان بوده است (جدول ۷). فینلی و ویلکینسون (۱۹۶۳) اظهار داشتند که ضریب رگرسیون هر ژنوتیپ وابسته به سایر ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش است بنابراین ضریب رگرسیون به‌تنهایی قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نیست و نمی‌تواند به‌عنوان یک معیار پایداری عمومی در نظر گرفته شود. دشتکی و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی پایداری ۲۰ ژنوتیپ گندم در سه سال و هفت منطقه با استفاده از تجزیه رگرسیون بیان داشتند که به علت معنی‌دار نبودن واریانس انحرافات از خط رگرسیون و قرارگیری اکثر ژنوتیپ‌ها در حول خط رگرسیون، از این دو پارامتر نتوانستند برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کنند.

بر اساس شاخص‌های اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا ژنوتیپ‌های G1، G4، G6 و G7 در محیط‌های مورد بررسی دارای اکووالانس و واریانس کمتر بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند (جدول ۷). به دلیل این‌که واریانس پایداری شوکلا ترکیبی خطی از اکووالانس است بنابراین این دو شاخص ازنظر

رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها دارای ارزش یکسان هستند. یکسان بودن نتایج حاصل از این دو روش دور از انتظار نبود. روستایی و همکاران (۱۹۹۶) با مقایسه روش‌های مختلف پایداری برای انتخاب ارقام پایدار و پر محصول جو در دیمزارهای کشور نشان دادند که دو شاخص واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک جهت انتخاب ارقام پر محصول در شرایط دیم بسیار مناسب می‌باشند. این دو روش بیشتر تأکید بر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط دارند به همین دلیل منجر به انتخاب ارقام پایدار و پر محصول می‌شوند. رمضانی (۲۰۱۲) نیز در بررسی خصوصیات زراعی و پایداری عملکرد ۱۱ ژنوتیپ برنج در مناطق مختلف اصفهان از چند روش پایداری استفاده کرده و درنهایت با استفاده از روش واریانس پایداری شوکلا، سه ژنوتیپ پایدار و سازگار به شرایط آب و هوایی منطقه را شناسایی و معرفی کرد.

مقایسه پایداری ژنوتیپ‌ها ازنظر واریانس محیطی نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G3 و G4 به ترتیب با کمترین مقدار واریانس محیطی از پایداری بیشتری برخوردارند (جدول ۷). بر اساس ضریب تغییرات محیطی نیز ژنوتیپ‌های G1 و G3 دارای کمترین مقدار ضریب تغییرات بودند (جدول ۷). برخی محققین در بررسی‌های خود در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار از ضریب تغییرات محیطی و واریانس درون مکانی استفاده کرده و اظهار داشتند که این دو روش بیانگر پایداری بیولوژیک بوده و به دلیل وراثت پذیر بودن می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسب برای انتخاب ارقام پایدار مورد استفاده قرار گیرند (واعظی و احمدی ۲۰۱۰؛ سوقی و همکاران ۲۰۰۹؛ ضعیفی‌زاده و همکاران ۱۹۹۶).

در روش پلاستد و پترسون ژنوتیپ‌های G1، G4، G6 و G7 به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری انتخاب شدند (جدول ۷)؛ زیرا از مقادیر پایین شاخص پلاستد و پترسون برخوردار بودند. بدین معنی که این ژنوتیپ‌ها سهم کمتری در اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط داشتند. ولی به دلیل پایین بودن عملکرد ژنوتیپ G7 از میانگین کل عملکرد فقط ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 که دارای میانگین عملکرد بالاتری بودند، با توجه به این آماره انتخاب شدند. در شاخص پلاستد واریانس اثر متقابل باقیمانده دربرگیرنده مقادیر زیاد می‌باشد، بنابراین ژنوتیپ‌های G3 و G5 به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی انتخاب شدند که سهم کمتری در برهمکنش اثر متقابل داشتند (جدول ۷)؛ اما به دلیل پایین بودن میانگین عملکرد ژنوتیپ G5 از میانگین کل عملکرد، فقط ژنوتیپ G3 که دارای عملکرد مطلوبی بود به‌عنوان ژنوتیپ پایدار و پر محصول معرفی شد.

همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه می‌تواند به‌عنوان یک معیار پایداری مفید در شناسایی ارقام پایدار و پر محصول به کار گرفته شود.

هیون (۱۹۹۰) و نصار و هیون (۱۹۸۷) چهار آمار ناپارامتریک را پیشنهاد کردند: $S_i^{(1)}$ یا میانگین اختلاف رتبه مطلق یک ژنوتیپ در تمام محیط‌های آزمایش‌شده، $S_i^{(2)}$ یا واریانس بین رتبه‌های کلی محیط‌های آزمایش‌شده، $S_i^{(3)}$ یا مجموع انحرافات مطلق برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها و $S_i^{(6)}$ یا مجموع مجذورات رتبه برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها. برای محاسبه این آماره‌ها، داده‌های میانگین عملکرد باید به رتبه‌هایی برای هر ژنوتیپ و محیط تبدیل شوند و اگر رتبه‌های آن‌ها در بین محیط‌ها مشابه باشد، ژنوتیپ‌ها پایدار در نظر گرفته می‌شوند. کمترین مقدار برای هر یک از این آمارها نشان‌دهنده پایداری بالا برای یک ژنوتیپ خاص است. بر این اساس ژنوتیپ‌های G6، G4 و G1 دارای کمترین میزان رتبه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند بنابراین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند (جدول ۷).

جدول ۵-مقایسه میانگین عملکرد دانه و پارامترهای پایداری در ژنوتیپ‌های جو در روش‌های مختلف

ژنوتیپ	عملکرد دانه ($ton.ha^{-1}$)	واریانس محیطی	اکووالانس ریک	واریانس پایداری شوکلا	ضریب رگرسیون خطی فینلی و ویلکینسون	واریانس انحراف از رگرسیون	ضریب تغییرات محیطی	شاخص پلاستد و پترسون	شاخص پلاستد
G1	۶/۵۷۸	۱/۵۲۳	۰/۶۴۸	۰/۰۴۶	۰/۹۰۴	۰/۰۷۱	۱۸/۷۶۳	۰/۲۱۶	۰/۳۳۶
G2	۶/۷۳۲	۲/۰۸۳	۲/۶۶	۰/۳۴۴	۰/۹۹۸	۰/۳۸	۲۱/۴۴	۰/۳۴۴	۰/۲۹۳
G3	۶/۵۷۱	۱/۵۱۲	۵/۱۴۷	۰/۷۱۳	۰/۷۶۲	۰/۶۰۴	۱۸/۷۱۶	۰/۵۰۱	۰/۲۴
G4	۶/۵۸۴	۱/۷۶۲	۱/۱۳۸	۰/۱۱۹	۰/۹۵۶	۰/۱۵۸	۲۰/۱۶۵	۰/۲۴۷	۰/۳۲۵
G5	۶/۲۹۳	۳/۰۸۹	۳/۸۱	۰/۵۱۵	۱/۲۴۳	۰/۴۰۸	۲۷/۹۳۳	۰/۴۱۷	۰/۲۶۹
G6	۶/۷۳۶	۱/۹۹۵	۱/۱۰۲	۰/۱۱۳	۱/۰۲۲	۰/۱۵۶	۲۰/۹۶۸	۰/۲۴۵	۰/۳۲۶
G7	۶/۳۹۳	۱/۸۹۳	۱/۴۱۳	۰/۱۵۹	۰/۹۸۳	۰/۲۰۱	۲۱/۵۲۱	۰/۲۶۴	۰/۳۱۹
G8	۶/۴۰۴	۲/۵۹۹	۲/۹۴۶	۰/۳۸۶	۱/۱۳۳	۰/۳۸	۲۵/۱۷۷	۰/۳۶۲	۰/۲۸۷

ژنوتیپ	مجموع رتبه کانگ	آماره‌های ناپارامتریک تنارازو				آماره‌های ناپارامتریک هیون			
		$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	NP1	NP2	NP3	NP4
G1	۵	۲/۰۲۲	۳/۱۲۲	۵/۹۷۹	۳/۰۶۴	۱/۴	۰/۳۵	۰/۳۵۶	۰/۴۳
G2	۷	۳	۶/۵	۱۳	۴/۸۸۹	۲/۴	۰/۶۸۶	۰/۶۱۳	۰/۶۶۷
G3	۱۳	۳/۳۷۸	۸/۲۶۷	۱۶/۱۷۴	۵/۳۹۱	۲/۴	۰/۴۳۶	۰/۵۹۳	۰/۷۳۴
G4	۶	۱/۸۶۷	۲/۴۸۹	۴/۱۴۸	۲/۳۷	۱/۴	۰/۲۴	۰/۳۷۵	۰/۳۴۶
G5	۱۵	۲/۹۵۶	۷/۱۲۲	۱۹/۴۲۴	۶/۷۲۷	۲	۱/۰۵	۰/۷۶۴	۰/۸۹۶
G6	۳	۱/۶	۲/۰۴۴	۳/۲۸۶	۲	۱/۲	۰/۳۲	۰/۲۷۹	۰/۲۸۹
G7	۱۱	۲/۵۵۶	۴/۶۷۸	۹/۷۹۱	۴/۰۹۳	۱/۷	۰/۴۷۵	۰/۴۱۳	۰/۵۹۴
G8	۱۲	۳/۰۶۷	۷/۶	۱۹	۷	۲/۵	۱/۳	۰/۷۴	۰/۸۵۲

آماره‌های ناپارامتری پایداری مورد مطالعه برای انتخاب لاین‌های پایدار جو بر اساس معیارهای پیشنهادی هیون (۱۹۹۰)، تنارازو (۱۹۹۵) و مجموع رتبه کانگ در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس روش مجموع رتبه کانگ ژنوتیپ‌های دارای کمترین مجموع رتبه به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب شناسایی می‌شوند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G6، G1، G4 و G2 به ترتیب با کمترین مجموع رتبه به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. روستایی و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از روش مجموع رتبه کانگ پایدارترین رقم گندم را در بررسی خود معرفی کرده و نشان دادند که این روش در شرایط دیم بهتر از سایر روش‌ها در گزینش ارقام پایدار و پر محصول بهنژادگران را کمک می‌کند. صباغ نیا و همکاران (۲۰۰۶) به‌منظور بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد ۱۱ ژنوتیپ عدس در ۲۰ محیط مختلف از روش‌های غیر پارامتری استفاده کرده و روش مجموع مربعات کانگ را به‌عنوان بهترین روش غیر پارامتری در تعیین ژنوتیپ‌های برخوردار از عملکرد بالا و پایدار معرفی کردند. عبادی و همکاران (۲۰۰۸) نیز در بررسی پایداری عملکرد لاین‌های پیشرفته نخود از روش‌های غیر پارامتری هیلدبراند[1]، دکرون / وندر لاین[2] و کوبینگر[3] استفاده کرده و نشان دادند که روش مجموع رتبه به دلیل NP_1 تا NP_4 مجموعه‌ای از آماره‌های پایداری ناپارامتری جایگزین هستند که توسط تناراسو (۱۹۹۲)

1 - Hildebrand
2 - De Kroon/Van der Laan
3 - Kubinger

تعریف شده‌اند. این پارامترها بر اساس رتبه میانگین‌های تعدیل‌شده ژنوتیپ‌ها در هر محیط محاسبه می‌شوند. مقادیر پایین این آماره‌ها نیز نشان‌دهنده ثبات بالای ژنوتیپ‌ها می‌باشد؛ بر اساس این آماره‌ها نیز ژنوتیپ‌های G4، G6 و G1 دارای کمترین میزان رتبه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند (جدول ۷)؛ بنابراین به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند. روش‌های ناپارامتری به‌منظور انتخاب ارقام و لاین‌های پایدار ازنظر عملکرد در گندم دوروم (محمدی و همکاران ۲۰۰۷)، گلرنگ (جمشیدی مقدم و پورداد ۲۰۰۹)، جو (واعظی و همکاران ۲۰۱۵)، عدس (صباغ نیا و همکاران ۲۰۰۶)، نخود زراعی (زالی و همکاران ۲۰۱۱) و گندم نان (زارعی و همکاران ۲۰۱۲) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تجزیه AMMI

تجزیه پایداری بر پایه روش AMMI نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول تا سوم اثر بسیار معنی‌داری در توجیه تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط دارند ولی ازنظر عددی نقش مؤلفه اول در مقایسه با مؤلفه‌های دوم و سوم در توجیه تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بارزتر بود (جدول ۸)؛ بنابراین باید از این سه مؤلفه جهت تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده کرد. مؤلفه‌های اول تا سوم به ترتیب ۴۷/۵۵، ۲۲/۶۵ و ۱۸/۴ درصد از کل تغییرات اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند و درمجموع دو مؤلفه اول و دوم حدود ۷۰٪ از کل تغییرات را توجیه نمودند. مطابق جدول ۹ و شکل ۱ ژنوتیپ‌های G6 و G7 به ترتیب دارای کمترین مقدار مطلق برای اولین مؤلفه اصلی بوده و بنابراین دارای پایداری بالا برای مکان‌های مورد بررسی بودند. از طرف دیگر ژنوتیپ‌های G1، G4 و تا حدودی G6 به ترتیب دارای کمترین مقادیر مطلق برای دومین مؤلفه اصلی بودند (جدول ۹، شکل ۱). هر سه ژنوتیپ مذکور علاوه‌بر کمترین مقادیر مطلق برای دومین مؤلفه اصلی دارای عملکرد خوبی نیز در بین ارقام مورد بررسی بودند. به همین ترتیب ژنوتیپ‌های G1 و G6 به ترتیب دارای کمترین مقدار مطلق برای سومین مؤلفه اصلی بودند. ژنوتیپ G6 با کمترین مقادیر مطلق برای دومین و سومین مؤلفه اصلی (کمترین فاصله از خط) و عملکرد بالا در بین ژنوتیپ‌ها جزو سازگارترین با عملکرد بالا بود. مشاهده می‌شود که ژنوتیپ‌های G6 و G1 در ۲ مؤلفه از سه مؤلفه اصلی که ۷۰٪ از کل تغییرات اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند جزو پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و دارای سازگاری عمومی در کلیه مناطق شناخته شدند. ژنوتیپ شماره G7 که در مؤلفه اول جزو ارقام پایدار در این روش شناخته شدند (جدول ۹) از عملکرد پایینی در مکان‌های مورد مطالعه برخوردار بود و مورد گزینش قرار نگرفت. در میان مناطق آزمایشی کمترین واریانس‌ها و تأثیرات در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به‌ترتیب به محیط هشتم (ایستگاه زنجان، سال دوم)، محیط دهم (ایستگاه کرج، سال دوم) و محیط نهم (ایستگاه جلگه‌رخ، سال دوم) تعلق داشت و بیشترین واریانس‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب به محیط سوم (ایستگاه زنجان، سال اول)، محیط هفتم (ایستگاه میاندوآب، سال دوم) و محیط اول (ایستگاه اردبیل، سال اول) مربوط بود (جدول ۱۰).

علاوه‌بر بررسی سازگاری عمومی ژنوتیپ‌ها، بررسی سازگاری خصوصی آن‌ها در مناطق مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در جدول ۱۱ خلاصه گردید. از جنبه سازگاری خصوصی در ایستگاه اردبیل به ترتیب ژنوتیپ‌های G5، G6 و G8 در هر دو سال آزمایش جزو سازگارترین ژنوتیپ‌ها محسوب شدند. در ایستگاه میاندوآب اگرچه ژنوتیپ‌های G6، G7 و G8 در یک سال از دو سال آزمایش عملکرد بهتری نسبت به بقیه داشتند، ولی درمجموع ژنوتیپ‌های G2 و G3 در این منطقه سازگاری بهتری نشان دادند و در هر دو سال آزمایش جزء ژنوتیپ‌های برتر بودند. در ایستگاه زنجان ارقام جو داخلی برتری نسبی به ارقام وارداتی داشتند به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های G1، G2، G3 به همراه G6 در دو سال آزمایش به ترتیب برترین ژنوتیپ‌ها ازنظر عملکرد بودند. در ایستگاه جلگه‌رخ سازگاری خصوصی مشخصی در بین ژنوتیپ‌ها دیده نشد. به‌هرحال، ژنوتیپ‌های G2 و G7 هرکدام در یک سال آزمایش رتبه دوم و در سال دیگر رتبه چهارم آزمایش را داشتند و سازگاری خصوصی متوسطی در این منطقه نشان دادند در ایستگاه کرج ژنوتیپ G2 سازگاری خصوصی بسیار

بالایی نشان داد و در هر دو سال آزمایش رتبه اول عملکرد را داشت. همچنین ژنوتیپ G4 هم سازگاری خصوصی خوبی در ایستگاه کرج داشت و در دو سال آزمایش رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص داد. درمجموع این دو ژنوتیپ می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی خوب برای کشت در این منطقه مورد توجه قرار گیرند. ارقام وارداتی سازگاری خصوصی خوبی در ایستگاه کرج نشان ندادند به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های G6، G7 و G8 تنها در یک سال از دو سال آزمایش جزو چهار ژنوتیپ برتر آزمایش بودند. (جدول ۷). با توجه به میانگین صفات عملکردی و مورفولوژیک اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌ها (جدول ۱۲) مشاهده می‌شود که از نظر عملکردی به‌جز ژنوتیپ G6، بقیه از میانگین عملکرد کمتری نسبت به ارقام معرفی شده داخلی برخوردار هستند. بیشترین میزان پروتئین دانه در ژنوتیپ G1 و پس از آن در ژنوتیپ‌های G5، G8 و G6 مشاهده شد که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های وارداتی از این نظر نسبت به ژنوتیپ‌های داخلی برتر هستند. از نظر میانگین روز تا رسیدگی بین ژنوتیپ‌های مختلف تفاوت چندانی مشاهده نشد. از نظر ارتفاع بوته بیشترین ارتفاع مربوط به ژنوتیپ‌های G1 و G4 و از نظر وزن ۱۰۰۰ دانه نیز بیشترین وزن در ژنوتیپ‌های G5، G7 و G8 مشاهده شد. با توجه به نتایج تجزیه پایداری و سازگاری همچنین میانگین صفات اندازه‌گیری شده برای ژنوتیپ‌های مختلف به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های G1 و G6 تا حدود زیادی می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های منتخب معرفی شوند.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثرات اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درصد توجیه از مجموع مربعات کل
تیمار	۷۹	۵۹۹/۸	۷/۵۹۲**	-
ژنوتیپ	۷	۷/۲	۱/۰۳۴*	-
محیط	۹	۵۱۷/۱	۵۷/۴۵**	-
بلوک	۳۰	۵۷/۶	۱/۹۲**	-
محیط× ژنوتیپ	۶۳	۷۵/۵	۱/۲**	-
IPCA1	۱۵	۳۵/۹	۲/۳۹**	٪۴۷/۵۵
IPCA2	۱۳	۱۷/۱	۱/۳۲**	٪۲۲/۶۵
IPCA3	۱۱	۱۳/۹	۱/۲۶**	٪۱۸/۴۱
باقیمانده (نویز)	۲۴	۸/۶	۰/۳۶	٪۱۱/۳۹
خطا	۲۱۰	۱۰۴/۸	۰/۴۹۹	-

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

جدول ۷-نقش ژنوتیپ‌ها بر مقادیر اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط در مؤلفه‌های اصلی اول تا سوم

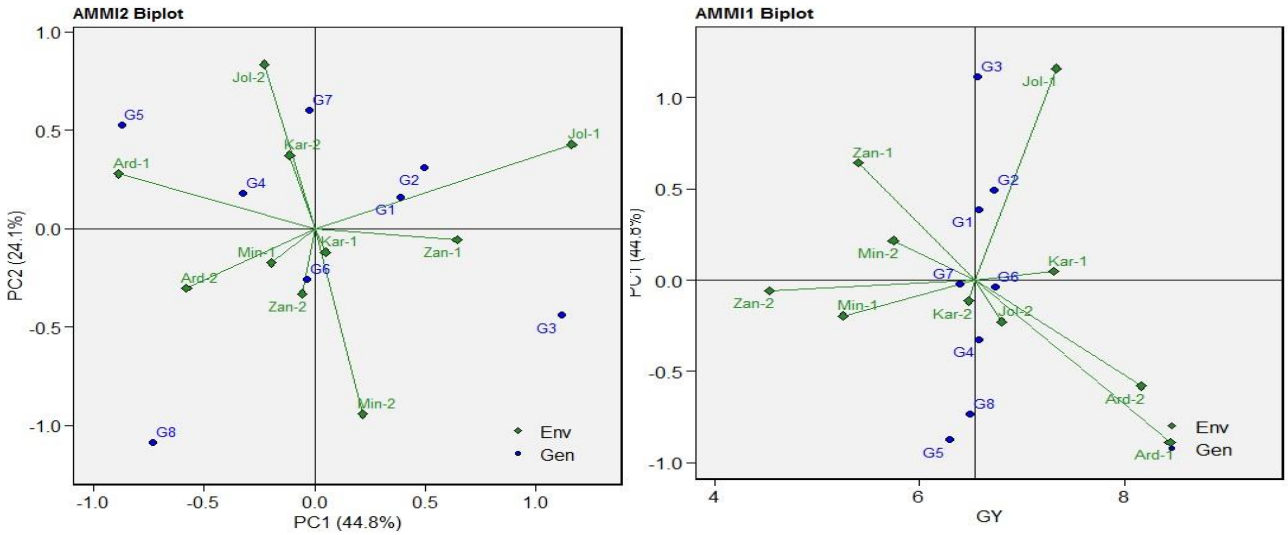
ژنوتیپ	میانگین	IPCAg[1]	IPCAg[2]	IPCAg[3]
G1	۶/۵۷۸	-۰/۳۵۲	۰/۰۶۸	۰/۱۶۱
G2	۶/۷۳۲	-۰/۳۸۴	-۰/۷۰۴	۰/۷۳۱
G3	۶/۵۷۱	-۱/۱۹۴	۰/۳۸	-۰/۵۰۴
G4	۶/۵۸۴	۰/۳۶۱	-۰/۲۳۵	۰/۲۷۸
G5	۶/۲۹۳	۰/۹۳۱	۰/۷۰۱	-۰/۰۵۴
G6	۶/۷۳۶	۰/۰۲۹	-۰/۰۶۱	-۰/۵۴۳
G7	۶/۳۹۳	۰/۰۶۵	۰/۵۸۲	۰/۵۴۵
G8	۶/۴۰۴	۰/۵۴۴	-۰/۷۳	-۰/۶۱۴

جدول ۸-نقش محیط‌ها بر مقادیر اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط در مؤلفه‌های اصلی اول تا سوم

محیط	میانگین ($Kg.ha^{-1}$)	واریانس	IPCAg[1]	IPCAg[2]	IPCAg[3]
E1	۸/۴۷۷	۰/۹۱۴	۰/۹۷۱	۰/۱۰۳	-۰/۰۱۳
E2	۵/۱	۰/۶۹۱	-۰/۰۴۸	۰/۴۵۹	۰/۲۶
E3	۵/۳۹۷	۱/۲۴	-۰/۶۵۴	۰/۲۷۴	-۰/۱۲۴
E4	۷/۳۹۱	۰/۷۴۸	-۱/۰۱۸	۰/۳۱۲	۰/۲۲۷
E5	۷/۳۴۷	۰/۸۲۷	۰/۰۳۴	-۰/۹۲۹	۰/۲۶
E6	۸/۱۲	۰/۸۸۸	۰/۴۹	۰/۴۰۲	-۰/۷۰۷
E7	۵/۷۳۹	۱/۱۷۸	-۰/۳۰۸	-۰/۶۲۸	-۰/۸۲۳
E8	۴/۴۴۵	۰/۳۸۶	-۰/۱۰۳	۰/۰۹۲	-۰/۰۱۷
E9	۶/۸۸۴	۰/۵۲۲	۰/۴۵۷	۰/۳۰۶	۰/۳۲
E10	۶/۴۶۴	۰/۵۱۳	۰/۱۷۹	-۰/۳۹۱	۰/۶۱۸

جدول ۹- سازگاری خصوصی چهار ژنوتیپ برتر دارای کمترین اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط در هر یک از محیط‌های آزمایشی

محیط	میانگین عملکرد	۴ ژنوتیپ برتر در هر محیط			
		۱	۲	۳	۴
E1	۸/۴۷۷	G5	G4	G8	G6
E6	۸/۱۲	G6	G5	G8	G3
E2	۵/۱	G7	G3	G1	G2
E7	۵/۷۳۹	G6	G8	G3	G2
E3	۵/۳۹۷	G3	G1	G6	G2
E8	۵/۴۴۵	G3	G6	G2	G1
E4	۷/۳۹۱	G3	G2	Gg1	G7
E9	۶/۸۸۴	G5	G7	G4	G2
E5	۷/۳۴۷	G2	G8	G4	G6
E10	۶/۴۶۴	G2	G4	G1	G7



شکل ۱- بای‌پلات‌های AMMI1 و AMMI2 برای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط

Fig 1- Biplots of AMMI1 and AMMI2 for for genotype×environment interaction

جدول ۱۰-میانگین صفات عملکردی و مورفولوژیکی ژنوتیپ‌ها در مناطق مورد بررسی

ژنوتیپ	میانگین ($Kg.ha^{-1}$)	میزان پروتئین دانه	روز تا ظهور خوشه	روز تا رسیدگی	ارتفاع بوته (cm)	وزن ۱۰۰۰ دانه (g)
G1	۶/۵۷۸	۱۰/۸	۱۳۷/۲	۱۸۳/۲	۹۹/۶	۴۲/۲
G2	۶/۷۳۲	۱۰/۵	۱۴۰	۱۸۳/۴	۹۴/۲	۴۳/۶
G3	۶/۵۷۱	۱۰/۲	۱۴۱/۸	۱۸۴/۸	۸۲/۲	۳۲/۴
G4	۶/۵۸۴	۱۰	۱۳۷/۴	۱۸۴/۲	۹۷/۶	۴۲/۶
G5	۶/۲۹۳	۱۰/۶	۱۳۹/۸	۱۸۴/۸	۹۵	۴۶
G6	۶/۷۳۶	۱۰/۵	۱۴۴	۱۸۶/۲	۹۲	۴۳
G7	۶/۳۹۳	۱۰/۲	۱۴۱	۱۸۴/۸	۹۳/۶	۴۵/۶
G8	۶/۴۰۴	۱۰/۶	۱۳۷/۲	۱۸۲/۲	۸۶	۴۵/۶

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق مشخص شد که اثر متقابل ژنوتیپ × منطقه برای عملکرد دانه معنی‌دار می‌باشد که می‌تواند به دلیل تفاوت در میزان بارندگی، درجه حرارت و سایر شرایط اقلیمی و نیز ویژگی‌های متفاوت ارقام تشدید شود. در روش ابرهارت و راسل ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 و در روش‌های پارامتری ژنوتیپ‌های G1، G4، G6 و تا حدودی G7 و در روش‌های ناپارامتری ژنوتیپ‌های G1، G4 و G6 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. شناسایی ارقام جو مناسب برای محیط‌های مختلف بر اساس سازگاری خصوصی آن‌ها می‌تواند مفید باشد چرا که سه مؤلفه اول اثر متقابل ژنوتیپ × محیط درصد بالایی از واریانس را توجیه نمودند (بیش از ۸۸ درصد). درمجموع با توجه به مقایسه میانگین عملکرد، معیارهای پایداری و خصوصیات زراعی و سازگاری عمومی، ژنوتیپ‌های G6، G1 و تا حدودی G7 با استفاده از تجزیه AMMI به ترتیب در این آزمایش به‌عنوان مناسب‌ترین و سازگارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند و می‌توانند به‌عنوان ارقام جو سازگار در کلیه مناطق سرد کشور مورد توجه قرار گیرند. ژنوتیپ‌های G2 و G3 نیز با سازگاری خصوصی بالا خصوصاً در مناطق پر پتانسیل و با به‌کارگیری نهاده‌های کشاورزی مناسب می‌توانند به‌عنوان ارقام زراعی مطلوب مورد کشت و کار قرار گیرند.

سپاسگزاری

در تهیه اطلاعات مربوط به این تحقیق، کارشناسان و تکنسین‌های محترم مراکز و ایستگاه‌های تحقیقاتی کرج، اردبیل، میاندوآب، زنجان و جلگه‌رخ همکاری صمیمانه‌ای داشته‌اند که بدین‌وسیله از آن‌ها قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abay F, and Bjornstad A. 2009. Specific adaptation of barley varieties in different locations in Ethiopia. Euphytica, 167: 181-195. DOI:10.1007/s10681-008-9858-3.

Acquaah G. 2012. Principles of plant genetics and breeding. Wiley-Blackwell. DOI:10.1002/9781118313718.

Ahmadi K, Ebadzadeh H, Hatami F, Abd Shah H, and Kazemian A. 2020. Agricultural Statistics of the Crop Year 2019-2020, Volume One: Crop Products. pp, 98. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Center (In Persian).

Ahmadi J, Vaezi B, and Pour-Aboughadareh AR. 2016. Evaluation of forage yield stability of advanced lines of Grass pea (*Lathyrus sativa* L.) by parametric and non- parametric methods. Journal of Crop Breeding, 8(17): 149-159 (In Persian). DOI:10.18869/acadpub.jcb.8.17.159.

Akbarpour OA, Dehghani H, and Sorkhi-Lalehloo B. 2011. Investigating univariate and multivariate stability parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising genotypes in cold climates of Iran. Iranian Journal of Field Crop Science, 42(1): 23-32 (In Persian). DOR: 20.1001.1.20084811.1390.42.1.3.9.

Amiri Oghan, H, Alemzadeh Khoomaram MH, and Javadifar F. 2004. Stability of seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus*) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences, 6(3): 203-204 (In Persian). DOR: 20.1001.1.15625540.1383.6.3.3.2

Badooei Delfard R, Mostafavi K, and Mohammadi A. 2016. Genotype environment interaction and yield stability of winter barley varieties (*Hordeum vulgare* L.). Jounal of Crop Breeding, 20(3): 99-106 (In Persian). DOR: 20.1001.1.22286128.1395.8.20.1.8

Barati A, Tabatabaee SA, Mahlooji M, and Saberi MH. 2019. Evaluation of grain yield and it's stability in barley promising lines in saline areas. Agricultural Science and Sustainable Production, 29(1): 1-13 (In Persian).

Dashtaki M, YazdanSepas A, NajafiMirak T, Ghanadha MR, Joukar R, Islampour MR, Moayedi AA, Nazeri M, AbediOskooie MS, Aminzadeh G, Soltani R, Ashouri S, and Kouchaki AR. 2004. Stability of grain yield and harvest index in winter and facultative bread wheat (Triticum aestivum l.) Genotypes. Seed and Plant Improvement Journal, 20(3): 263-280 (In Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.110583

Ebadi Segherloo A, Sabaghpour SH, Dehghani H, and Kamrani M. 2008. Nonparametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). Euphytica, 162: 221-229. DOI: 10.1007/s10681-007-9552-x

Ebdon JS, and Gauch HG. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national. Turfgrass performance trials: I. Interpretation of genotype-environment interaction. Crop Science, 42: 489-496. DOI: 10.2135/cropsci2002.4890

Eberhart SA, and Russell WA. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6: 36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

Farshadfar E, and Sutka J. 2006. Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. Acta Agronomica Hungarica, 54(4): 459- 467. DOI: 10.1556/AAgr.54.2006.4.8

Finlay KW, and Wilkinson GN. 1963. The analysis of adaptation in plant breeding program. Australian Journal of Agricultural Research, 14: 752-754. DOI: 10.1071/AR9630742

Francis TR, and Kannenberg LW. 1978. Yield stability studies in short-season maize: I - A descriptive method for grouping genotypes. Canadian Journal of Plant Science, 58: 1029-1034. DOI: 10.4141/cjps78-157

Ghazvini H, Pour-Aboughadareh A, Sharifalhossaini M, Razavi SA, Mohammadi S, Ghasemi Kalkhoran M, Fathi Hafshejani A, and Khakizade GH. 2018. Phenotypic stability analysis of the barley genotypes in the cold regions of Iran. Crop Breeding Journal, 8(1and 2): 17-29 (In Persian). DOI: 10.22092/cbj.2019.127226.1037

Harsh M, Sawhney RN, Singh SS, Chaudhary DN, Sarmara D, and Sharma JB, 2000. Stability analysis of high yielding wheat at varying fertility levels. Indian Journal of Genetic, 60: 471-476.

Huehn VM. 1990. Non-parametric measures of phenotypic stability. Part I: Theory. Euphytica, 47: 189-194. DOI: 10.1007/BF00024241

Jahromi HMA, Khodarahmi M, Mohammadi AR, and Mohammadi A. 2011. Stability analysis for grain yield of promising durum wheat genotypes in southern warm and dry agro-climatic zone of Iran. Iranean Journal of Crop Science, 13(3): 565-579 (In Persian). DOR: 20.1001.1.15625540.1390.13.3.9.7

Jamali SH. 2012. National guidelines for tests to determine the agronomic value of barley cultivars. Seed Registration and Certification Research Institute. Karaj.

Jamshi Moghaddam M, and Pourdad SS. 2009. Comparison of parametric and nonparametric methods for analyzing genotype × environment interactions in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agricultural Science, 147: 601-612 (In Persian). DOI**:** 10.1017/S0021859609990050

Kang MS. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. Agronomy Journal, 85: 754-757. DOI**:** 10.2134/agronj1993.00021962008500030042x

Kang MS. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communications, 16: 113-115. https://www.jstor.org/stable/23782771

Koocheki, A, Sorkhi B, and Eslamzadeh Hesari MR. 2012. Study on stability of elite barley (Hordeum vulgare L.) genotypes for cold regions of Iran using AMMI method. Cereal Research. 2(4), 261-249. (In Persian). DOR: 20.1001.1.22520163.1391.2.4.1.7

Mohammadi R, Abdulahi A, Haghparast R, and Armion M. 2007. Interpreting genotype × environment interactions for durum wheat grain yields using nonparametric methods. Euphytica, 157: 239-251. DOI: 10.1007/s10681-007-9417-3

Nassar R, and Huehn M. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics, 43: 45-53. DOI: 10.2307/2531947

Olivoto T. 2019. Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. https://github.com/TiagoOlivoto/metan (accessed 24 June 2019). DOI: 10.1111/2041-210X.13384

Plaisted RL. 1960. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. American Potato Journal, 37: 166-172. DOI: 10.1007/BF02855271

Plasted RL, and Peterson LC. 1959. A technique for evaluation the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. American Potato Journal, 36: 281-285. DOI: 10.1007/BF02852735

Pour-Aboughadareh A, Yousefian M, Moradkhani H, Poczai P, and Siddique KHM. 2019. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. Applications in Plant Sciences, 7(1): e1211. DOI: 10.1002/aps3.1211

Ramazani A. 2012. The study of yield stability of rice genotypes in Isfahan province. *Cereal Research*, 2(3): 181-192 (In Persian). DOI: 20.1001.1.22520163.1391.2.3.2.6

Rodriguez M, Rau D, and Papa R. 2007. Genotype by environment interactions in barley (*Hordeum vulgare* L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. Euphytica, 163(2): 231-247. DOI: 10.1007/s10681-007-9635-8

Romer T. 1917. Sind die ertragsreichen sorten ertragssichers? Milt. DLG. 32: 87-89.

Roustaie M, Sadeghzadeh Ahari D, Hesami A, Soleymani K, Pashapour H, Nader-Mahmoudi K, Pour Siahbidi MM, Ahmadi M, Hassanpour Hosni M, and Abedi-Asl M. 2003. Study of adaptability and stability of grain yield of bread wheat genotypes in cold and moderate-cold dry land areas. Seed and Plant Improvement Journal, 19(2): 263-275 (In Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.110953

Roustaie M, Mogaddam M, Mahfouzi S, and Mohammadi A. 1996. Comparison of stability analysis of grain yield in wheat and barley cultivars in dry lands. Proceedings of the 4th Iranian Congress of Crop Production and Plant Breeding. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. pp, 252 (In Persian).

Sabaghnia N, Dehghani H, and Sabaghpour SH. 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. Crop Science, 46: 1100-1106. DOI: 10.2135/cropsci2005.06-0122

Saeedi A, Akbari A, Bakhtiar A, Mehrvar MR, and Nategh Z. 2005. Specifications of bread wheat, durum wheat, barley, triticale and rye cultivars introduced by the Cereals Research Department. Publication of agricultural education. pp, 105.

Shukla GK. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity, 29: 237-245. DOI: 10.1038/hdy.1972.87

Soughi HA, Babaeian Jelodar NA, Ranjbar GA, and Hadi Pahlevani M. 2016. Simultaneous selection based on yield and yield stability in bread wheat genotypes. Journal of Crop Breeding, 8(18): 119-125 (In Persian). DOI: 10.29252/jcb.8.18.119

Soughi H, Vahabzadeh M, Kalateh-Arabi M, Jafarby JA, Khavarinejad S, Ghasemi M, Fallahi H, and Amini A. 2009. Study on grain yield stability of some promising bread wheat lines in northern warm and humid climate of Iran. Seed and Plant Improvement Journal, 25(1): 211-222 (In Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.111023

Sprague GF, and Federer WT. 1951. A comparison of variance components in corn yield trials. Π - Error, year × variety, location × variety and variety components. Agronomy Journal, 42: 531-541. DOI: 10.2134/AGRONJ1951.00021962004300110003X

Thennarasu K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Ph.D. Thesis. P. J. School, IARI, New Delhi. India.

Vaezi B, Pour-Aboughadareh A, Mohammadi R, Armion M, Mehraban A, Hossein-Pour T and Dorii M. 2017. GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. Cereal Research Communications, 45(3): 500-511. DOI: 10.1556/0806.45.2017.019

Vaezi B, Ahmadi J, and Pour-Aboughadareh AR. 2015. Stability analysis of barley advanced lines under Gachsaran tropical environment. Cereal Research, 5(3): 261-272. DOI: 20.1001.1.22520163.1394.5.3.5.0

Vaezi B, and Ahmadi J. 2010. Assessment of genotype × environment interaction and stability of yield in advanced barley lines in rain-fed conditions. Iranian Journal of Field Crop Science, 41(2): 395-402 (In Persian). DOI: 20.1001.1.20084811.1389.41.2.18.9

Wricks G. 1962. Uber eine method zur erfassung der okoiogschen streubreite in feldversuchen. Z. Pflanzenzuchtg. 47: 92-96.

Yan W, Cornelius PL, Crossa J, and Hunt LA. 2001. Two types of GGE biplot for analyzing multi-environment trial data, Crop Science, 41: 656-663. DOI: 10.2135/cropsci2001.413656x

Yates F, and Cochran WG. 1938. The analysis of groups of experiments. Journal of Agricultural Science, 28: 556-580. DOI: 10.1017/S0021859600050978

Zaifizadeh M, Mogaddam M, Ghasemi M, Mahfouzi S, and Ahmadi A. 1996. Stability analysis of grain yield of spring bread wheat cultivars in Caspian Sea regions. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 7 (1): 45-51 (In Persian).

Zali H, Farshadfar E, and Sabaghpour SH. 2011. Non-parametric analysis of phenotypic stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in Iran. Crop Breeding Journal, 1: 89-100 (In Persian).

Zarei L, Farshadfar E, Haghparast R, Rajabi R, Mohammadi Sarab Badieh M, and Zali H. 2012. Comparison of different methods of stability evaluation in bread wheat genotypes under drought stress conditions. Electronic Journal of Crop Breeding, 5(3): 81-97 (In Persian). DOR: 20.1001.1.2008739.1391.5.3.5.8

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 235-250

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

Genetic Assessment of Pheno-Physiological and Yield Traits of Maize under Optimal Irrigation and Water Deficiency Conditions

Mozhgan Shirinpour[1], Saeid Aharizad[2*], Ehsan Atazadeh[3], Ashkboos Amini[4], Ali Asghari[5], Ahmad Bybordi[6], Hassan Monirifar[7]

Received: 07 February 2023	Accepted: 22 September 2023

1- Horticulture and Crops Research Dept., East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Prof., Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- Assoc. Prof., Dept. of Plant, Cell and Molecular Biology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4- Assoc. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Karaj, Karaj, Iran.
5- Prof., Dept. of Production Engineering and Plant Genetics, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Ardabil, Iran.
6- Assoc. Prof., Soil and Water Research Dept, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Tabriz, Iran.
7- Assoc. Prof., Horticulture and Crops Research Dept, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding author. Email: s.aharizad@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: In order to the know the genetic parameters and heritability of yield-related traits for indirect selection of yield and production of superior maize hybrids, grain yield, physiological and phenological traits in seven generations of maize using the generations mean analysis method under controlled conditions and, moderate and severe water deficit stress were studied.

Materials and Methods: Evaluation of the generations drived from a cross between two inbred lines of maize including B73 and MO17, SC704 (as F_1 generation), F_2, BC_1, BC_2 and F_3 using a randomized complete block design with 20 replications was conducted during two crop years of 2018-2019 at the Agricultural Research Station of University of Tabriz.

Results: The results of combined analysis of variance and mean comparisons of data under three different irrigation regimes showed that water deficit stress significantly reduced grain yield and physiological traits, and a significant increase in phenological traits. Generation mean analysis showed a high contribution of non-additive gene effects in the genetic control of the studied traits. This indicated that the necessity of selection in advanced segregating generations and the production of hybrid varieties in maize to take advantage of the dominance variance. Also, the significant contribution of additive gene effects in controlling the inheritance of the number of days to silk emergence indicated that selection in early segregating generations and inbred parents can be effective for breeding of this trait and taking advantage of additive variance.

Conclusion: Based on the studied traits, inbred line MO17 and hybrid SC704 compared to other studied lines showed high tolerance to water deficit stress (from 5-6 leaf stage to silk emergence) and had the grain yield stability.

Keywords: Gene Action, Generations Mean Analysis, Heritability, Maize Generations, Water Deficit Stress

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Saeid Aharizad Email: s.aharizad@tabrizu.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.55247.2992

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۲۵۰-۲۳۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی ژنتیکی صفات فنو–فیزیولوژیکی و عملکرد ذرت در شرایط آبیاری مطلوب و کم‌آبی

مژگان شیرین‌پور[۱]، سعید اهری‌زاد[۲*]، احسان عطازاده[۳]، اشکبوس امینی[۴]، علی اصغری[۵]، احمد بابیوردی[۶]، حسن منیری‌فر[۷]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱

۱- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
۲- استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳- دانشیار، گروه زیست شناسی گیاهی، سلولی و ملکولی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۵- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۶- دانشیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
۷- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
مسئول مکاتبه: Email: s.aharizad@tabrizu.ac.ir

چکیده

اهداف: به منظور آگاهی از پارامترهای ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات مرتبط با عملکرد، جهت گزینش غیر مستقیم برای عملکرد و تولید هیبریدهای برتر ذرت، صفات مختلف عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی در هفت نسل ذرت با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها تحت شرایط کنترل شده و تنش متوسط و شدید کم‌آبی مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: ارزیابی نسل‌های حاصل از تلاقی دو لاین اینبرد ذرت شامل B73 و MO17، سینگل کراس ۷۰۴ (به عنوان نسل F_1) و نیز نسل‌های F_2، BC_1 ، BC_2 و F_3 در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۰ تکرار طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب و مقایسات میانگین داده‌ها تحت سه رژیم آبیاری مختلف نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار صفات عملکرد دانه و فیزیولوژیکی و افزایش معنی‌دار صفات فنولوژیکی گردید. تجزیه میانگین نسل‌ها سهم بالای اثرات ژنی غیر افزایشی را در کنترل ژنتیکی صفات مورد مطالعه نشان داد. این امر لزوم گزینش در نسل‌های در حال تفکیک پیشرفته و تولید ارقام هیبرید در ذرت را در جهت بهره‌برداری از واریانس غالبیت، نشان می‌دهد. همچنین، سهم بارز اثرات ژنی افزایشی در کنترل توارث تعداد روز تا کاکل‌دهی بیانگر این است که برای اصلاح این صفت و بهره‌گیری از واریانس افزایشی، گزینش در نسل‌های در حال تفرق اولیه و والدین اینبرد می‌تواند موثر باشد.

نتیجه‌گیری: بر اساس مجموعه صفات مورد بررسی لاین اینبرد MO17 و هیبرید SC704 در مقایسه با سایر لاین‌های مورد مطالعه، تحمل بالایی به تنش کم‌آبی (از مرحله ۵ الی ۶ برگی تا مرحله کاکل‌دهی) نشان داده و از پایداری عملکرد دانه برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه میانگین نسل‌ها، تنش کم‌آبی، عمل ژن، نسل‌های ذرت، وراثت‌پذیری

مقدمه

افزایش عملکرد گیاهان زراعی یکی از نیازهای ضروری جامعه است. ایران از جمله مناطق مستعد تولید ذرت به شمار می‌آید. زیرا، از تنوع آب و هوایی مناسبی برخوردار است. ذرت به عنوان یکی از گیاهان زراعی مهم و استراتژیک در ایران به شمار می‌رود. سطح زیر کشت آن ۵۰۲ هزار هکتار و تولید آن معادل ۰/۳۲ میلیون تن می‌باشد که تولید ۶/۷ درصد از کل غلات را به خود اختصاص می‌دهد (فائو ۲۰۲۱). تنش کم آبی یکی از عامل‌های مهم محیطی در کاهش رشد، توسعه و تولید گیاهان است. مطالعه تحمل به تنش کم-آبی در ذرت یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های به‌نژاد گران ذرت محسوب می‌شود. زیرا، این گیاه به تنش‌های غیر زیستی حساسیت بالایی نشان می‌دهد (نوکیو و همکاران ۲۰۱۵). آثار سوء ناشی از تنش کم‌آبی بر رشد و نمو و عملکرد ذرت به زمان وقوع تنش، شدت تنش، مرحله نموی و ژنوتیپ گیاه بستگی دارد (دی پائولو و رینالدی ۲۰۰۸). با توجه به این‌که هر مرحله از رشد و توسعه گیاه فرآیندهای فیزیولوژیکی متفاوتی را در بر می‌گیرد، اثر تنش روی عملکرد ذرت متفاوت خواهد بود. در سطح کل گیاه نیز پاسخ‌های ذرت تحت تنش کم‌آبی شامل کاهش توسعه برگ، ابریشم، ریشه و توسعه دانه، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و تعرق، کاهش انتقال فراورده‌ها به اندام‌های در حال رشد، تأخیر در رشد ابریشم و نازایی بیشتر گل‌های ماده است (اسلم و همکاران ۲۰۱۵). ایران با متوسط بارندگی ۲۲۸ میلی‌متر در سال در میان ۱۸۶ کشور از نظر میزان بارش در سال، جایگاه ۱۶۴ را دارد و به عنوان یکی از مناطق خشک به شمار می‌رود (فائو ۲۰۱۸). تنش رطوبتی یک عامل محدود کننده در نواحی خشک و نیمه‌خشک به دلیل بارش کم است (تزارا و همکاران ۱۹۹۹). تنش کم-آبی به مفهوم افزایش پتانسیل عملکرد، در تثبیت عملکرد گیاهان زراعی مورد توجه بوده و از طریق اصلاح برای اجزاء عملکرد امکان‌پذیر است (کامپوس و همکاران ۲۰۰۴). کمبود آب باعث تاخیر در ظهور رشته‌های ابریشمی (کاکل‌دهی) و در نتیجه افزایش فاصله زمانی گرده‌افشانی تا ظهور رشته‌های ابریشمی می‌شود که از مهم‌ترین دلایل پوکی بلال و کاهش عملکرد تا حدود ۵۰٪-۴۰ است (نیلسن ۲۰۱۶). با توجه به این‌که صفت عملکرد دانه صفت کمی (پلی‌ژنیک) پیچیده‌ای است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل شده، تحت تاثیر شدید اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بوده و نیز صرف هزینه و زمان زیادی جهت آزمون‌های ارزیابی لازم است. لذا، گزینش ارقام بر اساس اندازه‌گیری مستقیم عملکرد دانه مشکل بوده و از سودمندی کمتری برخوردار است. بنابراین، مطالعه و گزینش صفات مختلف که به‌طور مستقیم و غیر مستقیم با عملکرد دانه در ارتباط هستند، تحت شرایط تنش بسیار سودمند بوده و توصیه شده است (ریبو و همکاران ۲۰۰۹). محتوای نسبی آب برگ شاخص کلیدی برای درجه پسابیدگی سلول و بافت گیاه بوده و به عنوان معیار گزینش ارقام برای تحمل به تنش کم‌آبی پیشنهاد شده است (چن و همکاران ۲۰۱۰). مطالعات متعددی نشان داده است که تحت تنش کمبود آب محتوای نسبی آب برگ کاهش یافته و در نتیجه، ارقام متحمل به تنش، محتوای آب نسبی برگ بالاتری در مقایسه با ارقام حساس خواهند داشت (آنجورین و همکاران ۲۰۱۶، ون گیوی و همکاران ۲۰۱۷). اندازه-گیری میزان کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر تحت عنوان پارامتر شاخص سبزینگی یا SPAD نامیده می‌شود که یک روش سریع و غیر تخریبی بدون نیاز به نمونه‌برداری از بافت گیاه می‌باشد (هاوکینز و همکاران ۲۰۰۹). استفاده از شاخص SPAD هم‌چنین به منظور حذف اثرهای محیط، ژنوتیپ، مراحل رشدی گیاه، ضخامت برگ، سطح برگ و نقطه اندازه‌گیری روی برگ توصیه شده است (یوان و همکاران ۲۰۱۶). این شاخص در گیاهان زراعی مختلف برای اندازه‌گیری درجه یا

میزان سبزینگی برگ و نیز شناسایی گونه‌های گیاهی متحمل به تنش کم‌آبی به کار می‌رود (نمسکری و همکاران ۲۰۱۷). شاخص کلروفیل بالا در ارقام متحمل به تنش کم‌آبی باعث حفظ پتانسیل آب سلولی شده و سطح مناسبی از فتوسنتز و مواد مغذی را برای گیاه فراهم می‌کند (ون گیوی و همکاران ۲۰۱۷).

آگاهی از نحوه عمل ژن، وراثت‌پذیری، تعداد ژن‌های کنترل‌کننده و اثرهای متقابل آن‌ها به منظور افزایش عملکرد و اصلاح صفاتی که عملکرد را بهبود می‌بخشند، امری ضروری است (اسلپر و پوهلمن ۲۰۰۶). تجزیه میانگین نسل‌ها یکی از بهترین روش‌هایی است که برای تعیین پارامترهای ژنتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش یک روش بیومتریک است که به‌طور اختصاصی عمل کرده و اهمیت نسبی اثرهای ژنتیکی، به ویژه اثر اپیستازی را با استفاده از میانگین نسل‌های متفاوت حاصل از یک تلاقی مشخص می‌سازد (فرشادفر ۱۹۹۸). ولف و همکاران (۲۰۰۰) با مطالعه جمعیت F_2 حاصل از تلاقی لاین‌های اینبرد ذرت MO17 و B73 اظهار داشتند که واریانس غالبیت در کنترل عملکرد دانه و واریانس افزایشی در کنترل ژنتیکی صفات مرتبط با عملکرد سهم بالایی داشتند. هم‌چنین، سهم ناچیز اثرات اپیستازی را در کنترل صفات مورد مطالعه نشان دادند. در حالی‌که، شاهرخی و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ی اجزای ژنتیکی واریته‌های ذرت با استفاده از شش نسل پایه، مشاهده کردند که اپیستازی نقش قابل توجهی را در کنترل صفات ایفا می‌کند. الم و همکاران (۲۰۰۸) برتری واریانس ژنتیکی افزایشی را برای صفات اجزای عملکرد دانه و نیز برتری اثر ژنی غالبیت را برای صفات تعداد روز تا کاکل‌دهی و رسیدگی گزارش کردند. با بررسی اثرات ژنی و وراثت‌پذیری عملکرد دانه در شرایط نرمال آبیاری و تنش کم‌آبی، وجود اثرات فوق غالبیت ژنی در کنترل توارث این صفت تحت هر دو شرایط آزمایشی نرمال و تنش مهم قلمداد شده است (لیما و همکاران ۲۰۱۹). اثر ژنی فوق غالبیت باعث بهبود تحمل ذرت در شرایط تنش به ویژه تنش خشکی می‌شود (آدبایو و همکاران ۲۰۱۷).

هدف از این تحقیق، برآورد پارامترهای ژنتیکی و وراثت پذیری عملکرد دانه و برخی صفات زراعی مرتبط در نسل‌های حاصل از تلاقی دو لاین اینبرد B73 (لاین مادری) و MO17 (لاین پدری) در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

بذور دو لاین اینبرد ذرت شامل B73 (منشاء: رید یللو دنت؛ منبع: آیووا، ایالات متحده آمریکا؛ لاین مادری دارای نر عقیمی سیتوپلاسمی، پابلند و دیررس) و MO17 (منشاء: لنکستر؛ منبع: میسوری، ایالات متحده آمریکا؛ لاین پدری، پاکوتاه و زودرس)، سینگل کراس ۷۰۴ به عنوان نسل F_1 حاصل از تلاقی این دو لاین و نیز نسل‌های F_2، BC_1، BC_2 و F_3 حاصل از این لاین‌ها از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (ایستگاه طرق) تهیه گردیدند. ارزیابی این لاین-ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۰ تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام گرفت. آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، واقع در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز در منطقه کرکج اجرا شد. این محل با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح آب‌های آزاد قرار گرفته است. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، نیمه خشک سرد کوهستانی است. میانگین دمای هوا در طول فصل رشد (بر حسب درجه سلسیوس)، رطوبت متوسط هوا (بر حسب درصد) و سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (بر حسب متر بر ثانیه) به ترتیب ۳۷/۵، ۲۸/۷ و ۵/۹۳ بود. بذور داخل لوله‌های پلیکا (PVC) به ارتفاع یک متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر که با خاک زراعی شنی لومی پر شده بودند، به تعداد دو عدد در هر لوله کشت شدند که پس از سبز شدن و در مرحله پنجه‌زنی برای رعایت فاصله و تراکم کشت، به یک بوته تقلیل داده شدند. تنش‌ها در سه سطح آبیاری کامل (رطوبت در حد ظرفیت مزرعه)، تنش ملایم (۵۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل نگهداری) و تنش شدید (۷۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل نگهداری) اعمال شد. اعمال تنش بعد از مرحله ۵ الی ۶ برگی گیاه شروع شد و تا مرحله کاکل‌دهی ادامه یافت. نیاز آبی گیاه با اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و تعرق

توسط تشتک تبخیر کلاس A تعیین شد. با اندازه‌گیری روزانه رطوبت نسبی، سرعت باد و موقعیت تشتک، ضریب تشتک محاسبه و با اعمال آن تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_O) به دست آمد. سپس، با استفاده از نشریه‌ی فائو ۵۶ (آلن و همکاران ۱۹۹۸) منحنی ضریب گیاهی ذرت (K_C) رسم شد و با در نظر گرفتن آن، تبخیر و تعرق واقعی (ET_C) گیاه یا به عبارتی نیاز آبی گیاه ذرت بر حسب $mm.day^{-1}$ بر اساس این رابطه به دست آمد: $ET_C = K_C \cdot ET_O$ به منظور تعیین خصوصیات خاک، نمونه خاک مربوطه برای تجزیه به آزمایشگاه خاک شناسی ارسال شد و نتایج تجزیه در جدول ۱ ارایه شده است. در طول مراحل آزمایش و بعد از برداشت نهایی صفات مورد بررسی که عبارت بودند از عملکرد دانه، محتوای نسبی آب برگ، شاخص سبزینگی، تعداد روز تا ظهور تاسل، دانه گرده، کاکل و رسیدگی فیزیولوژیک، یادداشت و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. قبل از انجام تجزیه واریانس، برقراری پیش فرض‌های تجزیه واریانس مورد بررسی قرار گرفت که مفروضات برای تمامی صفات برقرار بود. وجود اختلاف معنی‌دار برای صفات مورد مطالعه در بین شرایط محیطی با استفاده از مقایسات میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. تجزیه میانگین نسل‌ها در صورت وجود اثر متقابل نسل × شرایط آبی به‌طور جداگانه برای هر کدام از محیط‌های فاقد و واجد تنش کم‌آبی با روش متر و جینکز (۱۹۸۲) انجام گرفت. برای برآورد دقیق‌تر پارامترهای مختلف ژنتیکی، به دلیل متفاوت بودن واریانس نسل‌های مختلف از روش حداقل مربعات وزنی روی داده‌های حاصل از هفت نسل پایه استفاده شد. در این مدل اجزای تشکیل دهنده میانگین کل هر صفت برای برآورد اثرات ژنی به شش جزء تفکیک می‌شود:

$$Y = m + \alpha\,[d] + \beta\,[h] + \alpha^2\,[i] + 2\alpha\beta\,[j] + \beta^2\,[l]$$

که در آن، Y: میانگین یک نسل، m: میانگین تمام نسل‌ها در یک تلاقی، [d]: مجموع اثر افزایشی، [h]: مجموع اثرهای غالبیت، [i]: مجموع اثر متقابل افزایشی × افزایشی، [j]: مجموع اثر متقابل افزایشی × غالبیت، [l]: مجموع اثر متقابل غالبیت × غالبیت و α، β، α^2، $2\alpha\beta$ و β^2: ضرایب هر یک از پارامترهای مدل می‌باشند. کفایت مدل افزایشی – غالبیت از طریق آزمون مقیاس مشترک و نیز با استفاده از آزمون مشترک وزنی کای‌اسکوئر (χ^2) مورد بررسی قرار گرفت. در صورت عدم کفایت مدل ساده افزایشی – غالبیت، مدل شش پارامتری انتخاب و از رگرسیون وزنی به روش نزولی برای برازش بهترین مدل استفاده شد. آزمون‌های مقیاس A، B، C و D توسط روش هیمن و متر (۱۹۵۵) برای بررسی کفایت مدل افزایشی – غالبیت انجام شد. برای برآورد وراثت‌پذیری عمومی، خصوصی و درجه غالبیت به ترتیب از روابط زیر استفاده شد:

$$\bar{a} = \sqrt{\frac{2V_D}{V_A}} \qquad h^2_{ns} = (V_A) / (V_A + V_D + V_E) \qquad h^2_{bs} = (V_A + V_D) / (V_A + V_D + V_E)$$

تمام تجزیه‌های ژنتیکی و آماری توسط نرم‌افزارهای SAS، SPSS و Excel انجام گرفت.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک مورد استفاده برای پر کردن لوله‌های کشت

بافت خاک	pH خاک	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	کربن آلی (٪)	ماده آلی (٪)	جرم مخصوص حقیقی خاک ($g.cm^{-3}$)	جرم مخصوص ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$)	رطوبت جرمی ظرفیت خاک (٪)	رطوبت نقطه پژمردگی (٪)
شنی لومی	۷/۸	۸۳/۶۷	۱۰/۹۷	۵/۳۶	۰/۵۸	۱/۰۱	۲/۰۲	۱/۴۱	۲۸/۲۰	۱۳/۸۰

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین

با توجه به نتایج تجزیه واریانس مرکب در دو سال زراعی و تحت سه شرایط آبیاری متفاوت (جدول ۲)، تمام صفات عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی (به جز صفت تعداد روز تا ظهور دانه گرده) از نظر اثر سال، شرایط آبیاری و نسل (هفت نسل ذرت) در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشتند. میانگین‌های برآورد شده برای صفات عملکرد دانه در بوته، محتوای نسبی آب برگ و شاخص سبزینگی نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار این صفات در هر دو شرایط تنش متوسط و شدید نسبت به شرایط آبیاری کامل شده است (جدول ۲). تنش کمبود آب در مرحله رشد رویشی بر گسترش برگ و توسعه ساقه تأثیر گذاشته و تجمع مواد در این اندام‌ها را به شدت کاهش می‌دهد. همچنین، با کاهش دوره سبزمانی برگ در مراحل زایشی و پایانی رشد، باعث کاهش فراورده‌های فتوسنتزی به قسمت‌های زایشی گیاه شده و در نتیجه کاهش پر شدن دانه و عملکرد دانه می‌شود (نیلسن ۲۰۱۶). در آزمایش حاضر، کاهش عملکرد دانه به دلیل کاهش اجزای عملکرد تحت هر دو تنش کمبود آب نسبت به شرایط کنترل به میزان ۳۷/۸۲ درصد بود. محققان دیگر با ارزیابی اثرات تنش کمبود آب در ذرت، کاهش ۴۰ درصدی (داریانتو و همکاران ۲۰۱۶)، ۳۲-۱۳ درصدی (وانگ و همکاران ۲۰۱۹) و ۵۲ درصدی (ساح و همکاران ۲۰۲۰) عملکرد دانه ذرت را در شرایط تنش کمبود آب نسبت به شرایط آبیاری کامل گزارش کردند. تحت تنش کم‌آبی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی زیادی در گیاهان اتفاق می‌افتد. بدین منظور، مطالعات گسترده‌ای برای تعیین صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف به عنوان معیار گزینش ارقام متحمل به خشکی و همچنین افزایش عملکرد در شرایط کمبود آب انجام گرفته است (دوتا و همکاران ۲۰۱۸). تحت تنش کمبود آب، کاهش در محتوای نسبی آب برگ به علت فقدان فشار تورژسانس سلولی در برگ اتفاق افتاده و منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سرعت فتوسنتزی می‌شود. در واقع کاهش میزان این صفت، پاسخ معمول گیاهان به تنش محسوب می‌شود (ژانگ و همکاران ۲۰۱۸). مطابق با نتایج ما، گزارش‌هایی مبنی بر کاهش شاخص سبزینگی بر اثر تنش کم‌آبی در ذرت وجود دارد (نمسکری و همکاران ۲۰۱۷، سونگ و همکاران ۲۰۱۸). .کلروفیل برگ از مهم‌ترین شاخص‌های نشان دهنده فشار محیطی وارد بر گیاه از جمله تنش کم‌آبی می‌باشد. غلظت کلروفیل به عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می‌شود. زیرا، غلظت کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد (پساراکلی ۲۰۱۹).

مقایسه میانگین شرایط آبیاری برای تمام صفات فنولوژیکی نشان داد که تنش کمبود آب منجر به افزایش این صفات در شرایط تنش نسبت به شرایط کنترل شد (جدول ۲). میزان توسعه و نمو گیاه در هر یک از مراحل فنولوژیک (فنوفازها)، میزان نمو را مشخص ساخته و بررسی نمو گیاه زراعی در ارتباط با شرایط محیطی فنولوژی نامیده می‌شود. ظهور تاسل (گل تاجی)، دانه گرده، کاکل (ابریشم) و رسیدگی فیزیولوژیک دانه از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک نمو ذرت محسوب می‌شوند. به‌طوری‌که، عملکرد دانه ذرت به میزان قابل توجهی تحت تاثیر فنولوژی هیبریدهای ذرت قرار می‌گیرد (کانر و همکاران ۲۰۱۱). شریف و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند که هیبریدهای ذرت دارای فنوتیپ‌های متفاوت بوده و هیبریدهایی که از نظر فنوتیپی طول دوره زایشی طولانی‌تری داشته باشند، از عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی بیش‌تری نیز برخوردار خواهند بود. تنش کم‌آبی باعث تاخیر در ظهور کاکل (رشته‌های ابریشمی) و در نتیجه افزایش فاصله زمانی گرده‌افشانی تا ظهور کاکل می‌شود که از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد محسوب می‌شود (نیلسن ۲۰۱۶). تنش کم‌آبی در مرحله کاکل‌دهی موجب تاخیر در ظهور گل‌آذین ماده ذرت بین ۸-۱ روز می‌شود که این اتفاق می‌تواند به علت عدم دسترسی گیاه به آب

کافی جهت رشد سلول‌های ابریشم بلال باشد (بولانوس و ادمیدز ۱۹۹۶). مازو و همکاران (۲۰۱۶) تاثیر بارز تنش کمبود آب را در ذرت، تاخیر در کاکل دهی و در نتیجه افزایش فاصله بین گرده‌افشانی و کاکل دهی بیان کرده‌اند که باعث کاهش ۳۰-۱۵ درصدی عملکرد دانه می‌شود.

اثر متقابل نسل در شرایط آبیاری برای عملکرد دانه، تعداد روز تا ظهور تاسل، دانه گرده و رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار شد که یکسان نبودن روند تغییرات میانگین نسل‌ها از نظر صفات مذکور را در شرایط تنش و آبیاری کامل نشان می‌دهد. بنابراین، در صفات محتوای نسبی آب برگ، شاخص سبزینگی و تعداد روز تا ظهور کاکل تجزیه ژنتیکی و تجزیه واریانس نسل‌ها برای میانگین سه شرایط آبیاری انجام شد. زیرا، در صفاتی که اثر متقابل نسل در شرایط آبیاری معنی‌دار نیست، واکنش نسل‌ها در هر سه شرایط آبیاری یکسان می‌باشد. مقایسه میانگین نسل-های ذرت در شرایط آبیاری مختلف نشان داد که سینگل کراس ۷۰۴ در هر سه شرایط آبیاری از عملکرد دانه بیش‌تری برخوردار بود (شکل ۱). والد B73، هیبرید SC704 و دو نسل مربوط به بک کراس‌ها در تنش شدید کمبود آب بیش‌ترین روز تا دانه گرده را داشتند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نسل در شرایط آبیاری برای تعداد روز تا ظهور تاسل نشان داد که در شرایط تنش شدید هر دو والد اینبرد MO17 و B73 بیش‌ترین مقدار را از نظر این صفت دارا بودند. در صورتی‌که هیبرید SC704 نسبت به دو والد مذکور کم-ترین تغییرات را در تنش کم‌آبی از نظر این صفت نشان داد. به نظر می‌رسد یکی از علل پایداری این هیبرید در اقلیم‌های متفاوت و سال‌های مختلف، انعطاف‌پذیری فنولوژیکی آن در مواجهه با تنش‌هایی مانند کمبود آب باشد. والد مادری (B73) از روز تا رسیدگی فیزیولوژیک طولانی‌تری برخوردار بود. والد پدری (MO17) نیز کم‌ترین تغییرات را از نظر این صفت در شرایط تنش کمبود آب نشان داد. این امر بیانگر این مطلب است که اینبرد MO17 از نظر تکمیل مراحل رشدی و رسیدگی کامل، تحمل بیش‌تری نسبت به تنش کمبود آب نشان می‌دهد.

تجزیه‌های ژنتیکی

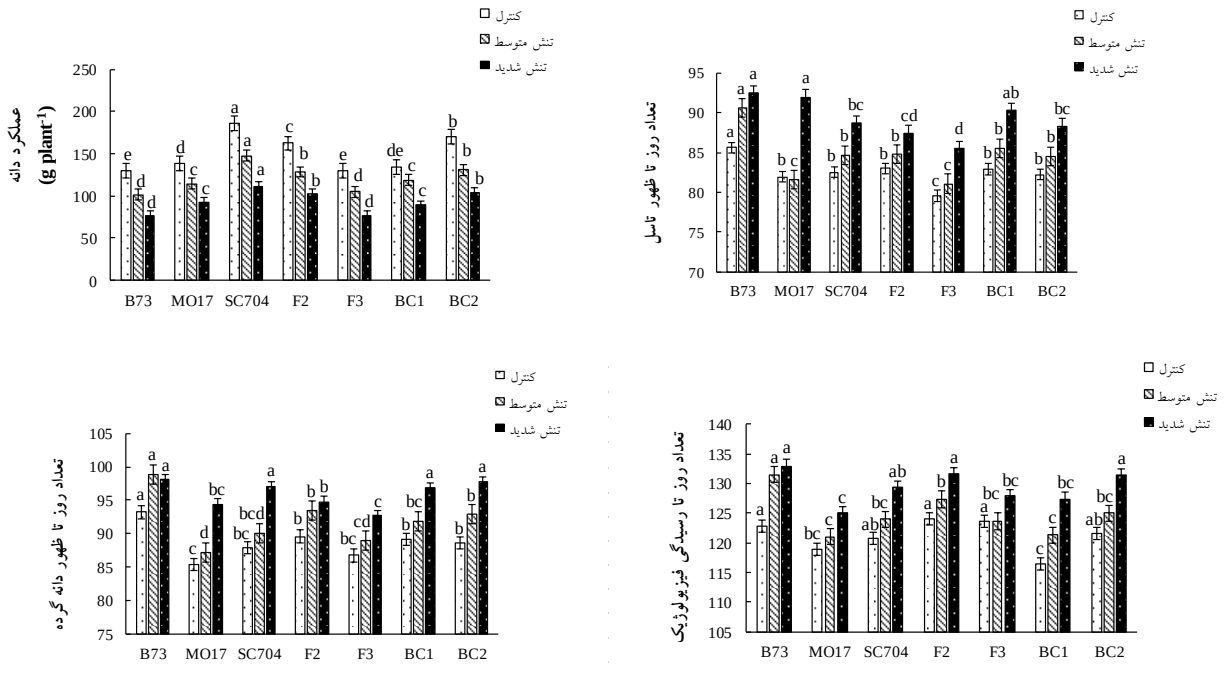
با توجه به نتایج آزمون‌های مقیاس، معنی‌دار شدن حداقل یک آزمون انفرادی کفایت مدل افزایشی – غالبیت در هر سه شرایط آزمایشی بیانگر وجود اثرات متقابل غیرآللی در توارث تمام صفات مورد مطالعه بود (جدول ۳). برازش مدل‌های مختلف برای این صفات، مدل‌های پنج و شش پارامتری را به عنوان مدل‌های مناسب برای توجیه تغییرات ژنتیکی مشاهده شده برای تمام صفات مورد آزمایش را نشان داد (جدول ۴). کای اسکوئر برای برخی صفات معنی‌دار شد که احتمال دخالت اثر اپیستازی سه گانه، پیوستگی ژنی و یا اثرات مادری را در تبیین میانگین نسل‌ها نشان می‌دهد. پارامتر m یا میانگین، بیانگر تمام اثرهایی است که برای همه نسل‌ها یکسان است. به عبارتی، اثر ژن‌های یک شکل و ثابت در زمینه ژنتیکی، اثرهای مشترک محیطی و متوسط اثر ژن‌هایی که چند شکلی دارند را نشان می‌دهد. معنی‌دار بودن این پارامتر در تمام صفات نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو والد می‌باشد.

در برآورد اجزای واریانس ژنتیکی، در صفت تعداد روز تا ظهور دانه گرده وایانس غالبیت منفی برآورد شد که جهت اجتناب از بروز خطا در انجام محاسبات مقادیر منفی، در جدول مربوطه صفر منظور شد (جدول ۵). مقادیر منفی واریانس ژنتیکی به علت اشتباه نمونه-برداری، کم بودن تعداد داده‌ها، استفاده از مدل‌های آماری نادرست، عدم وجود تنوع کافی، طرح آزمایشی مورد استفاده و تلاقی‌های غیر تصادفی بروز می‌نماید (هالوئر و همکاران ۲۰۱۰).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی در هفت نسل ذرت تحت سه شرایط آبیاری طی دو سال زراعی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		عملکرد دانه	محتوای نسبی آب برگ	شاخص سبزینگی	تعداد روز تا ظهور تاسل	تعداد روز تا ظهور دانه گرده	تعداد روز تا ظهور کاکل	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک
سال	۱	۱۵۲۷۶/۳۸**	۳۸۳۶۵/۶۰**	۲۵۸۸/۹۵**	۹۵/۶۱*	۶۳/۵۹ns	۹۵۲/۵۷**	۹۷۴/۷۷**
سطوح آبیاری	۲	۲۲۵۸۶۵/۷۹**	۲۹۵۸۹/۶۸**	۹۱۷۵/۶۱**	۳۳۱۵/۹۹**	۵۲۳۸/۴۹**	۲۵۹۸/۰۵**	۴۹۷۴/۰۰۴**
سال × سطوح آبیاری	۲	۱۰۳۹/۱۰*	۳۴۴/۵۲**	۱۲۶/۳۱*	۱۷۲/۵۶**	۷۵/۰۴ns	۱۵۹/۳۷**	۷۷/۵۳ns
تکرار / سال × سطوح آبیاری	۱۱۴	۳۴۴/۲۵	۶۷/۲۳	۴۴/۹۶	۴۵/۶۶	۵۵/۴۴	۵۲/۹۰	۵۲/۲۹
نسل	۶	۳۴۸۴۰/۵۳**	۱۰۳۶/۳۲**	۳۴۷۵/۹۲**	۵۸۹/۲۸**	۹۷۲/۹۳**	۴۱۶/۸۶**	۸۸۹/۸۸**
نسل × سال	۶	۲۸۱/۴۱ns	۷۳۳/۸۰**	۱۸۲/۹۴**	۱۳۹/۳۹**	۷۱/۳۹*	۹۸/۵۴**	۸۳/۷۰ns
نسل × سطوح آبیاری	۱۲	۱۴۴۹/۲۲**	۶۳/۲۲ns	۶۴/۹۱ns	۸۷/۵۰**	۶۶/۲۶**	۳۴/۶۱ns	۱۱۸/۶۸**
نسل × سال × سطوح آبیاری	۱۲	۴۳۷/۹۸ns	۱۰۸/۱۳**	۳۲/۹۰ns	۳۰/۸۸ns	۳۳/۴۹ns	۳۴/۲۹ns	۳۳/۸۸ns
خطا	۶۸۴	۳۳۲/۲۶	۵۰/۱۹	۴۳/۵۸	۲۵/۳۵	۳۱/۰۵	۲۹/۳۹	۴۳/۹۰
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۹۸	۱۰/۷۶	۱۶/۴۹	۵/۸۹	۶/۰۲	۵/۸۳	۵/۳۰
میانگین آبیاری کنترل		۱۵۰/۳۴a	۷۵/۶۸a	۴۶/۰۸a	۸۲/۵۳c	۸۸/۶۳c	۸۹/۶۸c	۱۲۱/۱۳c
میانگین تنش متوسط		۱۲۰/۹۸b	۶۶/۶۵b	۳۹/۶۰b	۸۴/۶۹b	۹۱/۸۸b	۹۳/۵۶b	۱۲۴/۸۴b
میانگین تنش شدید		۹۳/۴۸c	۵۵/۲۰c	۳۴/۴۴c	۸۹/۲۵a	۹۵/۹۲a	۹۷/۱۱a	۱۲۹/۴۰a

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



شکل ۱- روند تغییرات میانگین عملکرد دانه و صفات فنولوژیک در نسل‌های ذرت تحت سه شرایط آبیاری

جدول ۳- آزمون‌های مقیاس A، B، C و D برای صفات عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی تحت سه شرایط آبیاری

صفت	سطوح آبیاری	A	B	C	D
عملکرد دانه ($g\ plant^{-1}$)	کنترل	−۴۸/۲۰ ± ۶/۸۴**	۱۴/۶۰ ± ۶/۲۵**	۷/۶۸ ±۱۲/۷۳ns	−۷۳/۹۴ ± ۱۴/۳۸**
	تنش متوسط	−۱۱/۳۳ ± ۵/۵۲*	−۱/۰۴ ± ۷/۳۳ns	۱/۳۳ ± ۱۲/۸۹ns	−۵۳/۶۹ ± ۱۲/۶۵**
	تنش شدید	−۹/۴۶ ± ۵/۹۳ns	۴/۲۲ ± ۵/۶۴ns	۱۸/۸۳ ± ۱۱/۶۷ns	−۶۸/۲۱ ± ۱۱/۰۴**
محتوای نسبی آب برگ (٪)		−۴/۷۴ ± ۲/۳۳**	−۹/۳۶ ± ۲/۶۰**	−۲۲/۵۳ ± ۴/۹۰**	−۳/۲۰ ± ۵/۵۷ns
شاخص سبزینگی		−۱۹/۴۳ ± ۲/۴۶**	−۱۳/۶۶ ± ۳/۰۰**	−۱۱/۵۸ ± ۵/۵۳*	−۲۷/۰۷ ± ۶/۱۱**
تعداد روز تا ظهور تاسل	کنترل	−۲/۳۰ ± ۱/۴۱ns	۰/۰۲ ± ۱/۰۷ns	−۰/۴۲ ± ۲/۷۳ns	−۱۵/۳۷ ± ۲/۹۲**
	تنش متوسط	−۴/۱۰ ± ۱/۱۳**	۲/۶۶ ± ۱/۹۲ns	−۲/۲۴ ± ۳/۰۹ns	−۱۷/۵۹ ± ۳/۶۳**
	تنش شدید	−۰/۵۲ ± ۱/۸۱ns	−۴/۰۱ ± ۱/۹۰**	−۱۱/۹۴ ± ۴/۱۹**	−۱۷/۴۴ ± ۴/۴۵**
تعداد روز تا ظهور دانه گرده	کنترل	−۲/۸۷ ± ۲/۳۸ns	۳/۹۷ ± ۱/۸۱**	۴/۰۵ ± ۴/۸۵ns	−۱۰/۸۵ ± ۵/۲۵**
	تنش متوسط	−۵/۳۲ ± ۲/۴۴**	۸/۷ ± ۲/۸۵**	۷/۴۲ ± ۵/۱۴ns	−۱۷/۱۷ ± ۶/۳۲**
	تنش شدید	۰/۹۵ ± ۲/۱۵ns	۳/۰۷ ± ۲/۱۵ns	−۰/۶۲ ± ۴/۱۷ns	−۱۸/۰۷ ± ۴/۵۳**
تعداد روز تا ظهور کاکل		−۲/۶۴ ± ۱/۴۲ns	۳/۶۵ ± ۱/۸۶**	−۶/۶۳ ± ۴/۱۲**	−۱۳/۹۳ ± ۴/۴۰**
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	کنترل	−۱۰/۷۲ ± ۳/۲۲**	۳/۵۲ ± ۲/۵۰ns	۱۲/۷۵ ± ۵/۵۸**	۴/۶۵ ± ۶/۴۹ns
	تنش متوسط	−۱۲/۹۵ ± ۳/۲۹**	۴/۹۵ ± ۳/۴۹ns	۸/۶۰ ± ۷/۰۶ns	−۱۲/۵۰ ± ۶/۶۴ns
	تنش شدید	−۷/۴۲ ± ۳/۵۵*	۸/۷۰ ± ۲/۶۳**	۱۰/۲۲ ± ۶/۵۱ns	−۹/۸۷ ± ۴/۹۲*

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

جدول ۴- برآورد پارامترهای ژنتیکی و آزمون کفایت مدل برای صفات عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی در هفت نسل ذرت از طریق تجزیه میانگین نسل‌ها تحت سه شرایط آبیاری

صفت	سطوح آبیاری	m	d	h	i	j	l	x^2	df
عملکرد دانه ($g\ plant^{-1}$)	کنترل	۱۲۰/۳۳±۶/۱۷**	−۴/۴۹±۱/۷۵**	۶۰/۵۸±۱۷/۹۸**	۱۳/۷۳±۶/۲۲**	−۶۱/۴۴±۸/۷۱**	۵/۷۲±۱۳/۱۱ns	۱۹/۵۵**	۱
	تنش متوسط	۹۰/۱۱±۵/۵۱**	−۶/۴۴±۱/۵۴**	۷۰/۹۸±۱۶/۸۷**	۱۷/۶۸±۵/۵۶**	−۱۳/۰۳۷±۸/۵۲ns	−۱۲/۹۹±۱۲/۷۱ns	۵/۸۲ns	۱
	تنش شدید	۶۲/۰۱۷±۴/۷۷**	−۸/۱۷±۱/۴۵**	۷۷/۹۴±۱۴/۷۶**	۲۲/۱۳±۴/۸۳**	−۱۳/۰۷۲±۷/۶۴**	−۲۷/۸۷±۱۱/۲۲**	۱۵/۵۷**	۱
محتوای نسبی آب برگ (٪)		۵۸/۸۱±۱/۳۵**	−۲/۸۷±۰/۶۵**	۱۱/۳۵±۱/۸۱**	۷/۳۲±۱/۵۲**	۳/۹۷±۳/۲۸ns	–	۸/۵۷ns	۲
شاخص سبزینگی		۳۹/۳۵±۲/۶۱**	−۲/۷۲±۰/۷۰**	−۱۶/۶۸±۷/۵۸**	۱/۰۸±۲/۶۳ns	−۷/۱۹±۳/۶۱ns	۲۶/۶۲±۵/۵۶**	۱۷/۶۲**	۱
تعداد روز تا ظهور تاسل	کنترل	۷۸/۰۵±۱/۲۲**	۱/۷۰±۰/۲۹**	۹/۸۶±۳/۴۴**	۵/۶۵±۱/۲۲**	–	−۵/۳۸±۲/۴۶**	۸/۴۷ns	۲
	تنش متوسط	۷۹/۱۵±۱/۵۶**	۴/۴۹±۰/۳۴**	۱۲/۵۳±۴/۴۶**	۶/۹۲±۱/۵۶**	−۷/۷۸±۱/۹۵**	−۶/۹۶±۳/۳۱**	۴/۴۹ns	۱
	تنش شدید	۸۵/۲۷ ± ۱/۰۸**	۰/۲۶±۰/۴۵ns	۳/۶۵±۱/۴۰**	۷/۰۴±۱/۱۸**	۳/۶۰±۲/۴۹ns	–	۱/۴۹ns	۲
تعداد روز تا ظهور دانه گرده	کنترل	۸۶/۰۱±۲/۰۷**	۳/۸۲±۰/۷۸**	۷/۱۲±۵/۶۳ns	۳/۱۵±۲/۰۹ns	−۶/۵۰±۲/۵۶**	−۵/۲۳±۴/۲۸ns	۲/۳۰ns	۱
	تنش متوسط	۸۷/۲۷±۲/۶۸**	۵/۸۷±۰/۷۳**	۱۴/۳۶±۷/۵۹ns	۵/۵۹±۲/۶۹**	−۱۴/۴۵±۳/۵۳**	−۱۱/۴۷±۵/۴۲**	۳/۸۵ns	۱
	تنش شدید	۸۹/۹۱±۱/۹۵**	۲/۵۸±۰/۶۰**	۱۹/۵۹±۵/۷۶**	۹/۰۹±۱/۹۷**	−۲/۱۳±۲/۸۸ns	−۱۴/۲۷±۴/۲۲**	۱/۱۷ns	۱
تعداد روز تا ظهور کاکل		۸۵/۷۱±۱/۷۸**	۱/۵۲±۰/۶۱**	۱۷/۳۸±۴/۹۶**	۷/۹۶±۱/۸۰**	−۶/۳۰±۲/۳۷**	−۹/۰۳±۳/۵۵**	۰/۰۰۷ns	۱
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	کنترل	۱۲۹/۴۶±۲/۷۷**	۲/۰۳±۰/۷۹**	−۲۱/۷۰±۷/۸۰**	−۸/۷۵±۲/۷۹**	−۱۳/۲۶±۳/۷۹**	۱۳/۰۵±۵/۸۱**	۴/۳۲ns	۱
	تنش متوسط	۱۲۶/۰۳±۲/۸۵**	۵/۲۷±۰/۸۲**	−۶/۰۵±۸/۷۶ns	۰/۱۳±۲/۸۸ns	−۱۸/۱۵±۴/۴۷**	۴/۱۳±۶/۶۳ns	۵/۵۷ns	۱
	تنش شدید	۱۲۶/۲۹±۲/۱۲**	۳/۹۸±۰/۶۴**	۹/۵۴±۷/۳۴ns	۲/۶۲±۲/۱۶ns	−۱۵/۱۶±۴/۰۳**	−۶/۴۴±۵/۹۲ns	۲/۹۷ns	۱

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

عملکرد دانه در واحد بوته

با توجه به جدول تجزیه میانگین نسل‌ها (جدول ۴) تحت هر سه شرایط آبیاری علامت مخالف پارامترهای [d] و [i] نشان دهنده ماهیت متضاد اثر متقابل افزایشی در افزایشی می‌باشد. در تنش شدید کم‌آبی نیز علامت مخالف [h] و [l] نشان دهنده وجود اپیستازی دو گانه

در کنترل عملکرد دانه است که این نوع اپیستازی مشکلی را در جهت گزینش گیاهان مطلوب از نظر عملکرد دانه ایجاد نمی‌کند ولی روند اصلاحی را کند می‌کند. علامت مثبت [h] و منفی [j] به ترتیب بیانگر غالبیت ناقص در جهت افزایش عملکرد دانه و قدرت کاهندگی اثرات ژنی افزایشی تحت هر سه شرایط محیطی در عملکرد دانه است. به‌طور کلی، نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها نشان داد که مجموع اثرات غالبیت بیش‌تر از مجموع اثرات افزایشی هستند. تجزیه واریانس نسل‌ها برای عملکرد دانه مشخص کرد که واریانس غالبیت در شرایط کنترل و تنش کم‌آبی بیش‌تر از واریانس افزایشی بود (جدول ۵). در هر سه شرایط آزمایشی اختلاف زیادی بین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی وجود دارد که نشان می‌دهد، اثرات ژنتیکی غیر افزایشی نقش زیادی در کنترل عملکرد دانه دارند. هم‌چنین، درجه غالبیت بیش‌تر از یک بود که نشان از فوق غالبیت دارد. با توجه به این نتایج گزینش در نسل‌های بعد از تفرق و روش اصلاحی مبتنی بر دورگ‌گیری (هیبریداسیون) می‌تواند جهت بهبود عملکرد دانه موثر واقع شود. لیما و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی اثرات ژنی و وراثت‌پذیری عملکرد دانه در شرایط نرمال آبیاری و تنش کم‌آبی، وجود اثرات فوق غالبیت ژنی را در کنترل توارث این صفت تحت هر دو شرایط آزمایشی نرمال و تنش مهم قلمداد کردند که با نتایج ما مطابقت دارد. درحالی‌که، نقش موثر اثرات افزایشی نسبت به اثرات غیر افزایشی ژنی در کنترل عملکرد دانه توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (افوری و همکاران ۲۰۱۵، وانوز و همکاران ۲۰۱۵).

جدول ۵- برآورد اجزای واریانس، وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی و درجه غالبیت در هفت نسل ذرت برای صفات عملکرد دانه، فیزیولوژیکی و فنولوژیکی تحت سه شرایط آبیاری

صفت	سطوح آبیاری	V_E	V_A	V_D	V_{AD}	h_b^2	h_n^2	ā
عملکرد دانه ($g\ plant^{-1}$)	کنترل	۱۱۰/۹۸	۱۲/۸۹	۱۷۹/۷۰	۱۲/۶۵	۰/۶۳	۰/۰۴۲	۵/۲۸
	تنش متوسط	۹۹/۸۰	۳۵/۸۴	۲۰۸/۵۲	−۵۹/۲۱	۰/۷۱	۰/۱۰	۳/۴۱
	تنش شدید	۸۵/۳۹	۵۳/۶۸	۱۰۳/۶۷	۵/۷۷	۰/۶۵	۰/۲۲	۱/۹۶
محتوای نسبی آب برگ (٪)		۱۵/۰۳	۶/۳۷	۲۵/۴۹	−۵/۱۵	۰/۶۸	۰/۱۳	۲/۸۳
شاخص سبزینگی		۱۹/۶۱	۱۱/۶۶	۲۱/۷۳	−۷/۶۱	۰/۶۳	۰/۲۲	۱/۹۳
تعداد روز تا ظهور تاسل	کنترل	۳/۵۷	۷/۷۶	۲/۲۵	۲/۰۷۴	۰/۷۴	۰/۵۷	۰/۷۶
	تنش متوسط	۶/۹۹	۰/۲۵	۷/۵۵	−۵/۹۱	۰/۵۳	۰/۰۱۷	۷/۷۳
	تنش شدید	۷/۵۹	۲۲/۹۷	۰/۵۸	−۰/۸۴	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۲۲
تعداد روز تا ظهور دانه گرده	کنترل	۲۳/۹۸	۴۱/۰۳	۰	۲/۲۱	۰/۶۳	۰/۶۳	۰
	تنش متوسط	۱۸/۶۹	۱/۷۵	۲۷/۰۴	−۳/۸۵	۰/۶۱	۰/۰۳۷	۵/۵۵
	تنش شدید	۱۲/۱۹	۱/۶۰	۱۷/۸۶	−۰/۱۲	۰/۶۱	۰/۰۵۱	۴/۷۲
تعداد روز تا ظهور کاکل		۱۱/۳۶	۲۸/۷۹	۰/۰۵۷	−۱/۵۱	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۰۶۳
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	کنترل	۲۲/۴۰	۱/۷۸	۳۰/۱۵	۱۱/۴۹	۰/۵۹	۰/۰۳۳	۵/۸۲
	تنش متوسط	۲۸/۵۶	۳۲/۹۱	۲۵/۸۷	−۲/۴۳	۰/۶۷	۰/۳۸	۱/۲۵
	تنش شدید	۲۳/۱۲	۲۴/۷۱	۳۲/۱۱	۱۳/۸۳	۰/۷۱	۰/۳۱	۱/۶۱

V_E، V_A، V_D، V_{AD}، h_b^2، h_n^2 و ā: به ترتیب واریانس محیطی، واریانس افزایشی، واریانس غالبیت، کوواریانس افزایشی × غالبیت، وراثت‌پذیری عمومی، وراثت‌پذیری خصوصی و درجه غالبیت

صفات فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها نشان داد که اثرات اصلی و اثر متقابل افزایشی × افزایشی نقش موثری در کنترل توارث محتوای نسبی آب برگ داشتند (جدول ۴). بر اساس نتایج تجزیه واریانس نسل‌ها برای این صفت (جدول ۵)، واریانس غالبیت بیش‌تر از واریانس افزایشی

بود. محاسبه وراثت‌پذیری عمومی بالا در مقایسه با وراثت‌پذیری خصوصی نیز سهم بیش‌تر اثرات غیر افزایشی را در کنترل توارث این صفت نشان داد. همچنین، درجه غالبیت بزرگ‌تر از یک بود و می‌توان گزینش را در نسل‌های بعد از تفکیک به منظور بهبود این صفت انجام داد. مرادی و همکاران (۲۰۱۴) با ارزیابی ۶ لاین ذرت تحت شرایط نرمال و تنش خشکی، گزارش نمودند که رطوبت نسبی برگ تحت هر دو شرایط نرمال و تنش توسط اثرات فوق غالبیت ژن‌ها کنترل می‌شود که با نتایج ما مطابقت دارد. با مطالعه اثر ژنی محتوای نسبی آب برگ در آفتابگردان (پورمحمد و همکاران ۲۰۱۴) و گندم (ناروئی راد و همکاران ۲۰۱۳) به ترتیب اهمیت نقش اثرات ژنی افزایشی و سهم هر دو اثرات ژنی افزایشی و غیر افزایشی در کنترل وراثت-پذیری این صفت تحت تنش کم‌آبی بیان شده است.

در شرایط آبیاری کامل اثرات اصلی افزایشی و غالبیت و اثر متقابل غالبیت × غالبیت در کنترل توارث شاخص سبزینگی نقش موثری داشتند (جدول ۴). وجود اپیستازی مضاعف به دلیل مخالف بودن علامت پارامترهای [h] و [l] مشاهده شد. همچنین، علامت منفی اثر غالبیت نشان دهنده غالبیت نسبی در جهت کاهش این صفت بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقدار بالای واریانس غالبیت را در مقایسه با واریانس افزایشی برای این صفت نشان داد. مقایسه دو وراثت-پذیری عمومی و خصوصی و درجه غالبیت بیش‌تر از یک، سهم بالای اثرات غیر افزایشی را نسبت به اثر افزایشی در کنترل ژنتیکی این صفت نشان داد. با توجه به این نتایج، گزینش برای اصلاح این صفت بایستی در نسل‌های پیشرفته‌تر انجام بگیرد. چیوتا و موتنگوا (۲۰۲۰) با ارزیابی ژنتیکی شاخص کلروفیل (SPAD) در لاین‌های اینبرد ذرت تحت هر دو تنش گرما و کم‌آبی، اظهار داشتند که توارث این صفت تحت تاثیر اثرات ژنی افزایشی می‌باشد. دای و همکاران (۲۰۱۶) از طریق تجزیه میانگین نسل کلزا دریافتند که وراثت‌پذیری شاخص سبزینگی تحت کنترل اثرات اصلی (افزایشی و غالبیت) و اثرات متقابل غیرآللی (اپیستازی) است. در حالی‌که، مجموع اثرات ژنی غیر قابل تثبیت بیش‌تر از اثرات ژنی قابل تثبیت بود.

صفات فنولوژیکی

در تجزیه میانگین نسل‌ها (جدول ۴) علامت مثبت اثر افزایشی [d] برای تمام صفات در هر سه شرایط محیطی نشان دهنده برتری آلل‌های افزایش دهنده صفات فنولوژیکی در والد MO17 می‌باشد. علامت موافق پارامترهای [d] و [i] در تمام صفات فنولوژیکی نیز نشان دهنده نقش بارز اثر افزایشی در آلل‌های افزایش دهنده این صفات می‌باشد. تجزیه واریانس نسل‌ها (جدول ۵) برای تعداد روز تا ظهور تاسل (در شرایط آبیاری کامل و تنش شدید)، دانه گرده (در شرایط آبیاری کامل) و کاکل‌دهی (در هر سه شرایط آزمایشی) مشخص کرد که واریانس افزایشی بیش‌تر از واریانس غالبیت است. هم‌چنین، برآورد وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی نشان داد که واریانس افزایشی سهم بالایی از واریانس ژنتیکی را به خود اختصاص داده است و این مطلب با توجه به کمتر از یک بودن درجه غالبیت توجیه می‌شود. بنابراین، در اصلاح این صفت گزینش در نسل‌های اولیه در حال تفرق می‌تواند موثر باشد. درحالی‌که، برای صفات تعداد روز تا ظهور تاسل (در شرایط تنش متوسط)، دانه گرده (در شرایط تنش متوسط و شدید) و رسیدگی فیزیولوژیک (در هر سه شرایط آزمایشی) واریانس غالبیت بیش‌تر از واریانس افزایشی بوده و اختلاف زیاد بین وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی سهم بالای اثرات غیر افزایشی را در کنترل این صفات نشان می‌دهد. بدین جهت، گزینش به منظور اصلاح این صفات در نسل‌های پیشرفته‌تر موثر است. محققان متعددی نقش موثر اثر غالبیت ژنی (مرادی ۲۰۱۴)، غالبیت ناقص (ساتیانارایانا ۱۹۹۵) و فوق غالبیت (سلیم و همکاران ۲۰۰۲) را در کنترل توارث صفت روز تا ظهور تاسل نشان دادند. صوفی و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که اثرات ژنی غیر افزایشی (اثر غالبیت و اثرات اپیستازی) نقش مهمی در توارث روز تا تاسل‌دهی ایفا می‌کنند. اگر چه اهمیت نقش اثرات ژنی افزایشی در مقایسه با اثرات غالبیت در کنترل

ژنتیکی این صفت نیز توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است (تبسم و همکاران ۲۰۰۷، هفنی ۲۰۱۰).

در توجیه تغییرات ژنتیکی صفت روز تا ظهور دانه، سلیم و همکاران (۲۰۰۲) و اقبال و همکاران (۲۰۱۱) با تجزیه ژنتیکی برخی صفات کمی در لاین‌های اینبرد ذرت اظهار داشتند که اثرات متقابل غیرآللی و اثر غالبیت نقش مهمی در توجیه تغییرات ژنتیکی این صفت دارند. اهمیت اثرات غالبیت و غیر افزایشی در کنترل ژنتیکی روز تا گرده‌دهی توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (شر و همکاران ۲۰۱۲، ارشادالحق و همکاران ۲۰۱۴). پژوهشگران هم‌چنین نقش بارز اثر ژنی افزایشی را نسبت به اثر ژنی غالبیت در کنترل توارث تعداد روز تا ظهور دانه گرده عنوان کرده‌اند (آتاناو و همکاران ۲۰۰۶، هفنی ۲۰۱۰). برای تعداد روز تا ظهور کاکل، اثرات اصلی غالبیت و افزایشی و هر سه اثر متقابل غیرآللی معنی‌دار شدند که نشان دهنده اهمیت اثرات اپیستازی در کنترل این صفت می‌باشد. معنی‌داری اپیستازی افزایشی در افزایشی نشان داد که این اثر متقابل به وسیله گزینش در شرایط خودگشنی قابل تثبیت است. در تطابق با نتایج ما، کاهریمان و همکاران (۲۰۱۵) و پاوان و همکاران (۲۰۱۷) با تجزیه ژنتیکی صفات فنولوژیکی ذرت، وراثت‌پذیری خصوصی بالا و نقش مهم اثرات ژنی افزایشی و اپیستازی افزایشی در افزایشی را در کنترل این صفت عنوان کردند و به منظور اصلاح این صفت، گزینش در والدین را پیشنهاد نمودند. افزون بر این، نقش اثر غالبیت ژنی (کومار و همکاران ۲۰۱۲)، غالبیت ناقص (تولنار و همکاران ۲۰۰۴) و فوق غالبیت (علی و همکاران ۲۰۱۸) نیز در کنترل ژنتیکی تعداد روز تا ظهور کاکل گزارش شده است. با توجه به نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها برای صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، تمام پارامترهای وارد شده به مدل شش پارامتری در شرایط آبیاری کامل معنی‌دار بودند که نقش اثرات اصلی و اپیستازی را در توجیه تغییرات ژنتیکی این صفت مشخص می‌کند. شر و همکاران (۲۰۱۲) با تجزیه میانگین نسل‌ها برای صفات فنولوژیک در ذرت اظهار داشتند که مدل شش پارامتری بهترین برازش را برای صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک نشان می‌دهد. به‌طوری‌که، علاوه بر اثرات اصلی، اثرات اپیستازی هم معنی‌دار بودند و اثر متقابل غالبیت در غالبیت بیش‌ترین نقش را در کنترل ژنتیکی این صفت نشان داد. به‌طور کلی، این پژوهشگران اثرات غیر افزایشی را در کنترل توارث روز تا رسیدگی فیزیولوژیک مهم تلقی کردند که با یافته‌های ما مطابقت دارد. پاندیت و همکاران (۲۰۱۹) کفایت مدل سه پارامتری را برای روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بیان کرده و در کنترل این صفت اثر غالبیت ژنی را بیش‌تر از اثر افزایشی نشان دادند. بر خلاف این نتایج، محققان هم‌چنین اهمیت اثر افزایشی را در مقایسه با اثر غالبیت در کنترل توارث صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک عنوان کرده‌اند که با نتایج ما مغایرت دارد (اسندکور و کوکران ۱۹۸۹، سلیم و همکاران ۲۰۰۲).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که تنش متوسط (۵۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل نگهداری) و تنش شدید (۷۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل نگهداری) کم‌آبی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش صفات عملکرد دانه در بوته، محتوای نسبی آب برگ و شاخص سبزینگی در نسل‌های مورد مطالعه ذرت گردید. در حالی‌که، افزایش معنی‌دار صفات فنولوژیکی تحت تنش کمبود آب در مقایسه با شرایط نرمال آبیاری مشاهده شد. معنی‌داری اثر متقابل نسل در شرایط آبیاری برای صفات عملکرد دانه، تعداد روز تا ظهور تاسل، دانه گرده و رسیدگی فیزیولوژیک، رفتار متفاوت نسل‌های ذرت را در مواجهه با تنش کم‌آبی نشان داد. با ارزیابی صفات مورد مطالعه، لاین اینبرد MO17 و هیبرید SC704 تحمل بالایی به تنش کم‌آبی نشان داده و از بیش‌ترین میزان صفات مذکور و نیز پایداری عملکرد دانه برخوردار بودند. در تمام صفات مورد مطالعه معنی‌داری حداقل یکی از آزمون‌های مقیاس کفایت مدل افزایشی – غالبیت، نقش موثر اثرات متقابل غیرآللی را در کنترل توارث صفات نشان داد. اطلاعات در مورد نحوه عمل

ژن در تظاهر یک صفت، به به‌نژادگران کمک می‌کند که چه تصمیمی در برنامه‌های اصلاحی در جهت گزینش، اصلاح و بهبود آن صفت بگیرند. تجزیه ژنتیکی و برآورد وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی، سهم بالای اثرات ژنی غیر افزایشی (اثرهای غالبیت و اپیستازی) نسبت به اثر افزایشی در کنترل صفات عملکرد دانه، محتوای نسبی آب برگ، شاخص سبزینگی و صفات فنولوژیکی (به جز روز تا کاکل‌دهی) امکان بهبود این صفات را از طریق تولید هیبرید میسر می‌سازد. هم‌چنین، اصلاح هیبریدهای پر محصول ذرت با گزینش ترکیبات اپیستاتیک مطلوب موثر واقع می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری جناب آقای دکتر رسول‌زاده که در نحوه صحیح اعمال تنش کم‌آبی در آزمایشات تحقیق حاضر کمک نموده‌اند تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Adebayo M, Menkir A, Hearne S and Kolawole A. 2017. Gene action controlling normalized difference vegetation index in crosses of elite maize (*Zea mays* L.) inbred lines. Cereal Research Communications, 45(4): 675-686. https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.043

Alam A, Ahmed S, Begum M and Sultan M. 2008. Heterosis and combining ability for grain yield and its contributing characters in maize. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 33(3): 375-379. https://doi.org/10.3329/bjar.v33i3.1596

Ali S, Khan NU, Gul R, Naz I, Goher R, Ali N, Khan SA, Hussain I and Saeed M. 2018. Genetic analysis for earliness and yield traits in maize. Pakistan Journal of Botany, 50(4): 1395-1405.

Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome. 300(9): D05109.

Anjorin F, Adejumo S, Agboola L and Samuel Y. 2016. Proline, soluble sugar, leaf starch and relative water contents of four maize varieties in response to different watering regimes. Cercetari Agronomice in Moldova, 49(3): 51-62. https://repository.iuls.ro/xmlui/handle/20.500.12811/1182

Aslam M, Maqbool MA and Cengiz R. 2015. Drought stress in maize (Zea mays L.): Effects, resistance mechanisms, global achievements and biological strategies for improvement. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25442-5

Atanaw A, Wali MC, Salimath P and Jagadeesha R. 2006. Combining ability, heterosis and per se performance in maize maturity components. Karnataka Journal of Agricultural Sciences, 19(2): 268-271.

Bolaños J and Edmeades G. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. Field Crops Research, 48(1): 65-80. https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00036-6

Campos H, Cooper M, Habben J, Edmeades G and Schussler J. 2004. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. Field Crops Research, 90(1): 19-34. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.07.003

Chen J, Xu W, Burke JJ and Xin Z. 2010. Role of phosphatidic acid in high temperature tolerance in maize. Crop Science, 50(6): 2506-2515. https://doi.org/10.2135/cropsci2009.12.0716

Chiuta NE and Mutengwa CS. 2020. Combining ability of quality protein maize inbred lines for yield and morpho-agronomic traits under optimum as well as combined drought and heat-stressed conditions. Agronomy, 10(2): 184. https://doi.org/10.3390/agronomy10020184

Connor DJ, Loomis RS and Cassman KG. 2011. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. New York, USA: Cambridge University Press.

Dai W, Girdthai T, Huang Z, Ketudat-Cairns M, Tang R and Wang S. 2016. Genetic analysis for anthocyanin and chlorophyll contents in rapeseed. Ciencia Rural, 46(5): 790-795.

https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150564

Daryanto S, Wang L and Jacinthe PA. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. Plos One, 11(5): e0156362. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156362

Di Paolo E and Rinaldi M. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. Field Crops Research, 105(3): 202-210. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.10.004

Dutta T, Neelapu NR, Wani SH and Challa S. 2018. Compatible solute engineering of crop plants for improved tolerance toward abiotic stresses. In: biochemical, physiological and molecular avenues for combating abiotic stress tolerance in plants, 221-254 (Ed W. SH). United States: Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813066-7.00012-7

El-Sherif L, El-Eshmawiy K, El-Ghareeb N and Mohamed K. 2012. An analytical economic study of the corn crop at the world level. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(3): 734-740. http://www.ajbasweb.com/ajbas/2012/March/734-740.pdf

FAOSTAT. 2018. Food and Agricultural Organization Statistical Database. Rome, Italy: FAO. http://faostat.fao.org.

FAOSTAT. 2021. Food and Agricultural Organization Statistical Database. Rome, Italy*:* FAO. http://faostat.fao.org.

Farshadfar E. 1998. The application of quantitative genetics in plant breeding. Razi University Press. Kermanshah, Iran. (In persian). http://dx.doi.org/10.5539/jas.v4n9p1

Hallauer AR, Carena MJ and Miranda Filho Jd. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. (3rd Edition). Springer-Verlag New York. 1-22p. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766 -0

Hawkins TS, Gardiner ES and Comer GS. 2009. Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research. Journal for Nature Conservation, 17(2): 123-127. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2008.12.007

Hayman B and Mather K. 1955. The description of genic interactions in continuous variation. Biometrics, 11(1): 69-82. https://doi.org/10.2307/3001481

Hefny M. 2010. Genetic control of flowering traits, yield and its components in maize (*Zea mays* L.) at different sowing dates. Asian Journal of Crop Science, 2(4): 236-249. http://www.scialert.net/fulltext/?doi=ajcs.2010.236.249&org=11

Iqbal M, Khan K, Sher H and Al-Yemeni MN. 2011. Genotypic and phenotypic relationship between physiological and grain yield related traits in four maize (*Zea mays* L.) crosses of subtropical climate. Scientific Research and Essays, 6(13): 2864-2872. http://www.academicjournals.org/SRE/PDF/pdf2011/4Jul/Iqbal%20et%20al.pdf

Irshad ul Haq M, Kamal N, Khanum S, Siddique M and Arshadullah M. 2014. Generation mean analysis for flowering characteristics in maize (*Zea mays* L.). Persian Gulf Crop Protection, 3(1): 18-24.

Kahriman F, Egesel C, Cebeci R, Demir A and Bayraktar S. 2015. Genetic Analysis of Flowering in Maize based on Calendar and Thermal Time. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 25(2): 193-199. https://doi.org/10.29133/yyutbd.236302

Kumar TS, Reddy DM, Naik VS, Parveen SI and Subbaiah P. 2012. Gene action for yield and morpho-physiological traits in maize (*Zea mays* L.) inbred lines. Journal of Agricultural Science, 4(5): 13-16. http://dx.doi.org/10.5539/jas.v4n5p13

Lima VJd, Amaral Júnior ATd, Kamphorst SH, Bispo RB, Leite JT, Santos TdO, Schmitt KFM, Chaves MM, Oliveira UAd and Santos PHAD. 2019. Combined dominance and additive gene effects in trait inheritance of drought-stressed and full irrigated popcorn. Agronomy, 9(12): 782. https://doi.org/10.3390/agronomy9120782

Maazou ARS, Tu J, Qiu J and Liu Z. 2016. Breeding for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). American Journal of Plant Sciences, 7(14): 1858. http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.714172

Mather K and Jinks JL. 1982. Biometrical genetics: the study of continuous variation. Springer. https://doi.org/10.1007/978.1.4899.3406.2

Moradi M. 2014. Genetic analysis to determine the nature and magnitude of genetic variances and heritability estimates in maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 5(5): 183-118.

Moradi M, Choukan R, Heravan EM and Bihamta MR. 2014. Genetic analysis of various morpho-physiological traits in *Zea mays* L. using graphical approach under normal and water stress conditions. Research on Crops, 15(1): 62-70. https://doi.org/10.5958/j.2348-7542.15.1.008

Naroui Rad MR, Kadir MA, Yusop MR, Jaafar HZ and Danaee M. 2013. Gene action for physiological parameters and use of relative water content (RWC) for selection of tolerant and high yield genotypes in F_2 population of wheat. Australian Journal of Crop Science, 7(3): 407-413.

Nemeskéri E, Kovács-Nagy E and Sárdi É. 2017. Relationships between the biochemical and spectral traits of leaves and the productivity of apple trees in organic and integrated production systems. Biological Agriculture Horticulture, 33(2): 97-114. https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1235992

Nielsen RB. 2016.Silk development and emergence in corn. Purdue University: Corny News Network.

Nuccio ML, Wu J, Mowers R, Zhou HP, Meghji M, Primavesi LF, Paul MJ, Chen X, Gao Y and Haque E. 2015. Expression of trehalose-6-phosphate phosphatase in maize ears improves yield in well-watered and drought conditions. Nature Biotechnology, 33(8): 862-869. https://doi.org/10.1038/nbt.3277

Ofori A, Ofori K, Obeng-Antwi K, Tengan K and Badu-Apraku B. 2015. Combining ability and heterosis estimate of extra-early quality protein maize (QPM) single cross hybrids. Journal of Plant Breeding and Crop Science, 7(4): 87-93. https://doi.org/10.5897/JPBCS2015.0496

Pandit M, Chakraborty M, Yadav RK, Prasad K, Sah RP and Soti U. 2019. Association study in different generations of Maize *(Zea mays* L.). Cogent Food and Agriculture, 5(1): 1-15. https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1592062

Pavan R, Gangappa E, Ramesh S, Rao AM and Shailaja H. 2017. Detection of epistasis through triple test cross (TTC) analysis in maize (*Zea mays* L.). Journal of Applied and Natural Science, 9(4): 2496-2501. https://doi.org/10.31018/jans.v9i4.1560

Pessarakli M. 2019. Handbook of plant and crop stress. CRC press.

PourMohammad A, Toorchi M, Alavikia SS and Shakiba MR. 2014. Genetic analysis of yield and physiological traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under irrigation and drought stress. Notulae Scientia Biologicae, 6(2): 207-213. https://doi.org/10.15835/nsb629173

Ribaut JM, Betran J, Monneveux P and Setter T. 2009. Drought tolerance in maize. In Handbook of maize: its biology, 311-344 (Eds J. Bennetzen and S. Hake). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-79418-1_16

Saleem M, Shahzad K, Javid M and Ahmed A. 2002. Genetic analysis for various quantitative traits in maize (*Zea mays* L.) inbred lines. International Journal of Agriculture and Biology, 4(3): 379-382.

Satyanarayana E. 1995. Genetic analysis of flowering period in rabi maize (*Zea mays* L.). Journal of Agricultural Research, 29(3): 213-218.

Shahrokhi M, Khorasani S and Ebrahimi A. 2013. Study of genetic components in various maize (*Zea mays* L.) traits, using generation mean analysis method. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4(3): 405-412

Sah R, Chakraborty M, Prasad K, Pandit M, Tudu V, Chakravarty M, Narayan S, Rana M and Moharana D. 2020. Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. Scientific Reports, 10(1): 1-15. https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7

Sher H, Iqbal M and Khan K. 2012. Genetic analysis of maturity and flowering characteristics in maize (*Zea mays* L.). Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2(8): 621-626. https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60108-7

Sleper DA and Poehlman JM. 2006. Breeding field crops. Oxford, UK.: (5th Edition). Blackwell publishing. 432P.

Snedecor G and Cochran W. 1989. Statistical Methods, eight edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Sofi P, Rather A and Venkatesh S. 2006. Detection of epistasis by generation means analysis in maize hybrids. Pakistan Journal of Biological Sciences, 9(10): 1983-1986. https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.1983.1986

Song H, Li Y, Zhou L, Xu Z and Zhou G. 2018. Maize leaf functional responses to drought episode and rewatering. Agricultural and Forest Meteorology, 249: 57-70. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.023

Tabassum M, Saleem M, Akbar M, Ashraf M and Mahmood N. 2007. Combining ability studies in maize under normal and water stress conditions. Journal of Agricultural Research, 45: 261-268.

Tezara W, Mitchell V, Driscoll S and Lawlor D. 1999. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. Nature, 401(6756): 914-917. https://doi.org/10.1038/44842

Tollenaar M, Ahmadzadeh A and Lee E. 2004. Physiological basis of heterosis for grain yield in maize. Crop Science, 44(6): 2086-2094. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.2086

Van Gioi H, Mallikarjuna MG, Shikha M, Pooja B, Jha SK, Dash PK, Basappa AM, Gadag RN, Rao AR and Nepolean T. 2017. Variable level of dominance of candidate genes controlling drought functional traits in maize hybrids. Frontiers in Plant Science, 8: 940. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00940

Wang B, Liu C, Zhang D, He C, Zhang J and Li Z. 2019. Effects of maize organ-specific drought stress response on yields from transcriptome analysis. BMC Plant Biology, 19(1): 335. https://doi.org/10.1186/s12870-019-1941-5

Wannows A, Sabbouh M and Al-Ahmad S. 2015. Generation mean analysis technique for determining genetic parameters for some quantitative traits in two maize hybrids (*Zea mays* L.). Jordan Journal of Agricultural Sciences, 11: 59-72.

Wolf D, Peternelli L and Hallauer A. 2000. Estimates of genetic variance in an F_2 maize population. Journal of Heredity, 91(5): 384-391. https://doi.org/10.1093/jhered/91.5.384

Yuan Z, Cao Q, Zhang K, Ata-Ul-Karim ST, Tian Y, Zhu Y, Cao W and Liu X. 2016. Optimal Leaf Positions for SPAD Meter Measurement in Rice. Frontiers in Plant Science, 7: 719. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00719

Zhang X, Lei L, Lai J, Zhao H and Song W. 2018. Effects of drought stress and water recovery on physiological responses and gene expression in maize seedlings. BMC Plant Biology, 18(1): 68. https://doi.org/10.1186/s12870-018-1281-x

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 251-262

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

Corm Production and Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) under Different Drainage Depths and Distances in Sari Plain Conditions

Faezeh Zaefarian[1*], Abbas Jalali[2], Hamed Kaveh[3], Fatemh Delavarnia[4]

Received: 23 June 2023	Accepted: 31 August 2023

1- Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Sari, Iran.
2- Researcher of Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Mazandaran, AREEO, Sari, Sari, Iran.
3- Assist. Prof., Dept. of Plant Production and Researcher at Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.
4- MSc. Graduated Student of Agronomy Dept., Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Sari, Iran.
*Corresponding Author Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir

Abstract

Objective & Background: The purpose of this research is to evaluate the leaf weight and area, corm production, flower and dry stigma yield of saffron at different drainage depths and distances and to provide a suitable method of annual cultivation of saffron corm in plain and coastal areas of Sari.

Materials and Methods: In order to evaluate the effect of different drainage depths and distances on vegetative and reproductive traits of saffron, an experiment was conducted in the Research Farm of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University during 2021-2022 on randomized complete blocks as split plots design with three replications. The treatments included drainage depths (furrow depth) of 15, 30 and 45 cm in the main plots and three drainage distances (ridge width) of 50, 100 and 150 cm in the subplots. The measured traits included leaf length, number of leaves, leaf area index, number and weight of daughter corms, as well as the number and flower yield and dry stigma yield.

Results: The results showed that the maximum leaf weight, leaf length, and leaf area index were 1.76 g, 48.66 cm, and 0.757 cm, respectively, at a drainage distance of 100 cm and at a depth of 45 cm. In addition, the highest number and weight of corm above 8 g (354.4 and 1571.4 $g.m^{-2}$, respectively) was obtained in the treatment of 45 cm drain depth and 100 cm drain distance. According to the results, the highest number of flowers, flower yield and stigma yield were respectively 143.37 $flower.m^{-2}$, 43.01 and 0.323 $g.m^{-2}$ in the deepest drain, i.e. 45 cm deep and 100 cm drain distance, which no statistically significant difference was observed between the mentioned treatment and the treatment of 45 cm drain depth and 150 cm drain distance, as well as 30 cm drain depth and 100 cm drain distance treatment.

Conclusion: In general, the results showed that drainage with a depth of more than 30 cm could play a significant role in improving the index of saffron leaf surface, increasing the weight of daughter corms, increasing the average weight of saffron corm, and increasing the quantity of reproductive traits, especially dry stigma yield. Considering the best yield of the field, among the treatments, the treatment of 30 cm drain depth and 100 cm drain distance can have the best effect on the vegetative and reproductive characteristics of saffron in this region.

Keywords: Annual Planting, Leaf Area Index, Vegetative Traits, Weight of Daughter Corm

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

Copyright@ 2024 Faezeh Zaefarian Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir

https://doi.org/10.22034/saps.2023.57245.3072

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۲۶۲-۲۵۱

دانش کشاورزی و تولید پایدار

بنه‌زایی و عملکرد زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت تاثیر عمق و فواصل مختلف زهکشی در شرایط دشت ساری

فائزه زعفریان[1*]، عباس جلالی[2]، حامد کاوه[3]، فاطمه داورنیا[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

۱- استاد گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران - ۰۹۱۱۷۱۱۰۰۸۲
۲- محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
۳- استادیار گروه تولیدات گیاهی و پژوهشگر پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه. تربت حیدریه، ایران.
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
*مسئول مکاتبه: Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir

چکیده

اهداف: هدف از اجرای این تحقیق ارزیابی اثر عمق و فواصل مختلف زهکشی بر وزن و سطح برگ، تولید بنه و عملکرد گل و کلاله زعفران و ارائه شیوه مناسب کشت یک‌ساله بنه زعفران در نواحی دشت و ساحلی شهرستان ساری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی اثر عمق و فواصل مختلف زهکشی بر برخی صفات رویشی و زایشی زعفران، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل: عمق‌های زهکش (عمق جوی) ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر در کرت‌های اصلی و سه فاصله زهکش (عرض پشته) ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر در کرت‌های فرعی بود. صفات اندازه‌گیری شده شامل طول برگ، تعداد برگ، شاخص سطح برگ، تعداد و وزن بنه‌های دختری، تعداد گل، عملکرد گل و عملکرد کلاله خشک بود.

یافته‌ها: بر اساس نتایج بیشترین میزان وزن برگ، طول برگ و شاخص سطح برگ به‌ترتیب معادل ۱/۷۶ گرم، ۴۸/۶۶ سانتی‌متر و ۰/۷۵۷ در فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متری و در عمق ۴۵ سانتی‌متری به‌دست آمد. همچنین بیشترین تعداد و وزن بنه‌های بالای ۸ گرم (به‌ترتیب ۳۵۴/۴ و ۱۵۷۱/۴ گرم در متر مربع) در تیمار عمق زهکش ۴۵ سانتی‌متر و فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متر بدست آمد. براساس نتایج بالاترین تعداد گل، عملکرد گل و عملکرد کلاله خشک به‌ترتیب معادل با ۱۴۳/۳۷ گل در متر مربع، ۴۳/۰۱ و ۰/۳۲۳ گرم در متر مربع در عمیق‌ترین زهکش یعنی عمق ۴۵ سانتی‌متری و فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متری مشاهده شد که البته اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار مذکور و تیمار عمق زهکش ۴۵ و فاصله زهکش ۱۵۰ سانتی‌متری و همچنین تیمار عمق زهکش ۳۰ و فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متری مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، نتایج نشان داد که زهکشی با عمق بیش از ۳۰ سانتی‌متر می‌تواند در بهبود شاخص سطح برگ زعفران، افزایش وزن بنه‌های دختری تولید شده، افزایش متوسط وزن بنه زعفران و افزایش کمیت صفات زایشی بخصوص عملکرد کلاله خشک نقش به‌سزایی داشته باشد. با درنظر گرفتن بهترین بازدهی مزرعه، در بین تیمارها، تیمارهای با عمق

زهکش ۳۰ سانتی‌متر و فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متر می‌تواند بهترین اثر را در صفات رویشی و زایشی زعفران در این منطقه دشت ساری را داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، صفات زایشی، کشت یکساله، وزن بنه‌های دختری

مقدمه

زعفران یکی از گران‌بهاترین و اقتصادی‌ترین محصولات کشاورزی در ایران و ارزشمندترین ادویه جهان به‌شمار می‌آید. گیاه زعفران از جنس *Crocus* متعلق به خانواده Iridaceae می‌باشد. نزدیک به ۹ گونه از این جنس در ایران وجود دارد که فقط گونه *Crocus sativus* ارزش اقتصادی داشته و مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. این گونه اتوتریپلوئید بوده و به‌همین سبب از نظر تکثیر جنسی و تولید بذر، عقیم محسوب می‌گردد. از نظر پهنه‌بندی گیاه‌شناسی این گیاه متعلق به غرب آسیا و منطقه مدیترانه و به‌نوعی در منطقه ایران و توران پراکنده شده است. پاییز و زمستان‌های سرد به‌همراه تابستان‌های گرم همراه با میزان بارندگی پایین از خصوصیات بارز این مناطق محسوب می‌گردد (شریعتمداری و همکاران ۲۰۱۸). زعفران می‌تواند بسته به شرایط آب و هوای منطقه کشت شده از ۸ الی ۱۴ سال به‌روند تولیدی خود ادامه دهد. با این وجود، زعفران در برخی از مناطق دنیا به‌ویژه در ایتالیا به‌عنوان گیاهی یکساله مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (کومار و همکاران ۲۰۰۹).

به‌طورکلی، فنولوژی زعفران بر اساس رشد اندام‌های زیرزمینی در سال اول دارای شش مرحله می‌باشد که به‌ترتیب شامل مرحله رکود (اواخر اردیبهشت تا اواخر مهر)، دوره گلدهی (اواخر مهر تا اواخر آبان)، تشکیل و آغاز رشد بنه‌های دختری (اواخر آبان تا اواخر آذر)، مرحله میانی رشد بنه‌های دختری (اواخر آذر تا اواخر دی)، مرحله نهایی رشد بنه‌های دختری (اواخر دی تا اواخر فروردین) و در پایان تحلیل رشد ریشه و آغاز دوره رکود (اواخر فروردین تا اواخر اردیبهشت) می‌باشد. در سال‌های بعد نیز مراحل فنولوژی رشد مشابه سال اول می‌باشد؛ با این وجود هر بنه دختری تشکیل شده در انتهای دوره رشد در سال اول، در سال دوم یک بنه مادری تلقی شده و به‌این ترتیب چرخه زندگی گیاه تا حدود ۱۰ سال ادامه می‌یابد (کوچکی و سیدی ۲۰۲۰).

روش کاشت یکی از عوامل تعیین کننده عملکرد گل و عملکرد کلاله خشک زعفران می‌باشد. در آغاز رشد زعفران در فصل پاییز، بارندگی شدید می‌تواند باعث ایجاد تنش غرقاب شود که برای رشد بیشتر گیاهان از جمله گیاهان ژئوفیت همچون زعفران نامناسب است. این تنش در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی از جمله ظرفیت فتوسنتز گیاه، میزان رشد ریشه و شاخساره، میزان تولید زیست توده گیاهی، روابط آب، متابولیسم کربوهیدرات، ساختار سلولی، تغذیه، تعادل بین هورمون‌ها و بیان ژن تأثیر می‌گذارد (رضوانی‌مقدم و همکاران ۲۰۱۲). با توجه به این موارد کشت زعفران در مناطق دشت و ساحلی ساری به‌دلیل وجود بارش فراوان، ماندابی و زهکشی ضعیف اراضی، می‌تواند با محدودیت مواجه شود. میزان بارش فراوان در طی پاییز و زمستان در مناطق ساحلی، بطور کامل نیاز آبی زعفران را برطرف می‌کند و لذا شیوه کاشت در این مناطق نه با نگاه نوع سیستم آبیاری بلکه باید بصورتی باشد که تا حد زیادی از قرارگیری بنه‌های کشت شده در معرض رطوبت بالا و بخصوص از شرایط غرقابی ممانعت کند. لذا، ایجاد سیستم جوی و پشته با هدف ایجاد زهکش و خروج زه‌آب می‌تواند از ایجاد تنش غرقاب بخصوص در ابتدای فصل رشد گیاه ممانعت کند. لذا، میزان عمق جوی یا عمق زهکش و فاصله زهکش‌ها یا عرض پشته‌ها می بایست طوری انتخاب گردد تا ضمن تاثیر حداکثری در بهبود شرایط رشد گیاه، از نظر اقتصادی نیز برای کشاورز مقرون به صرفه باشد. در نتایج مطالعه‌ای در کشمیر در شرایط دیم نشان داد که طویل‌ترین مادگی در گیاه زعفران در روش کاشت بستر

برجسته[1] (۴/۶۳ سانتی‌متر) و سپس در روش کاشت مسطح[2] (۴/۲۳ سانتی‌متر) و درنهایت در روش جوی و پشته‌ای (۴/۱۳ سانتی‌متر) در پنج سال متوالی به‌دست آمد. بیشترین وزن تر مادگی در طی سال‌های اول تا پنجم در روش کاشت بستر برجسته (به‌ترتیب ۳۵/۹۵، ۳۷/۴۳، ۳۷/۶۳، ۳۸/۵۴ و ۳۷/۸۹ میلی‌گرم) به‌دست آمد. در مقابل کمترین میزان در روش کاشت بستر مسطح (به‌ترتیب ۳۱/۴۷، ۳۲/۱۳، ۳۴/۳۶، ۳۴/۷۸ و ۳۵/۰۶ میلی‌گرم) مشاهده شد. علاوه‌براین، بیشترین وزن خشک مادگی در روش کاشت برجسته و کمترین وزن خشک مادگی در روش جوی و پشته‌ای دیده شد (کومار و شارما ۲۰۱۷).

نتایج آزمایشی که به‌روش جوی و پشته‌ای با فاصله بین دو پشته ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع پشته ۲۵ سانتی‌متر و بسترهای برجسته و بستر مسطح با ابعاد به‌ترتیب ۱۰×۱/۵ متر مربع با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و ۱۰×۱/۵ متر مربع بر عملکرد زعفران طی پنج سال متوالی در منطقه کشمیر انجام شد؛ نشان داد که در طی هر پنج سال متوالی وزن تر کلاله بیشتر در روش بستر برجسته (به‌ترتیب ۳۴/۸۰، ۳۵/۴۳، ۳۵/۲۳، ۳۷/۰۸ و ۳۷/۲۵ میلی‌گرم) به‌دست آمد و درمقابل، وزن تر کلاله کمتر در روش بستر مسطح (به‌ترتیب ۳۰/۶۶، ۳۱/۹۳، ۵۷/۳۰، ۳۱/۳۵ و ۵۲/۳۲ میلی‌گرم) رویت گردید. بیشترین تعداد برگ، گل و عملکرد زعفران نیز به‌ترتیب در روش‌های بستر برجسته، روش جوی و پشته‌ای و بستر مسطح مشاهده شد (کومار و شارما ۲۰۱۸). در تحقیقی دیگر که به‌منظور بررسی ارتفاعات مختلف پشته‌ها در کاشت سیب‌زمینی شیرین (*Ipomea batatas*) با سه ارتفاع صفر (شاهد)، ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری برای پشته‌ها انجام شد، مشاهده شد که اندازه پشته ۳۰ سانتی‌متری در مقایسه با شاهد و ۱۵ سانتی‌متر بیشترین تعداد غده را موجب شد و اندازه پشته ۱۵ سانتی‌متری بیشترین وزن تر شاخساره را در مقایسه با شاهد و پشته ۳۰ سانتی‌متر ایجاد کرد. علاوه‌براین، بیشترین وزن غده نیز در پشته ۱۵ سانتی‌متر حاصل گردید و بالاترین شاخص برداشت نیز با پشته ۱۵ سانتی‌متری به‌دست آمد (تیفانی و همکاران ۲۰۲۰).

لذا، شیوه معمول کشت زعفران به‌صورت کرتی و چندساله، بدون شک به‌دلیل ماندابی و رطوبت زیاد در اراضی ساحلی و دشت ساری با مشکلات و خطرات زیادی از جمله آلودگی‌های قارچی و باکتریایی و پوسیدگی بنه در درازمدت مواجه خواهد شد. بنابراین جهت کاهش خسارت ناشی از ماندابی، بهترین راهکار ایجاد سیستم کشتی است که بتواند آب اضافه یا اصطلاحاً زه‌آب را از سطح مزرعه خارج کند. لذا، روش کشت جوی و پشته و کشت بنه‌های زعفران بر روی پشته احتمالاً می‌تواند شیوه مناسبی برای حل این موضوع باشد. بنابراین، هدف از اجرای این تحقیق ارزیابی رشد زعفران و تولید بنه و عملکرد گل و عملکرد کلاله خشک زعفران در عمق و فواصل زهکشی مختلف و ارائه شیوه مناسب کشت یک‌ساله بنه زعفران در نواحی دشت و ساحلی شهرستان ساری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طول ماه‌های شهریور ۱۴۰۰ تا مهر ماه سال ۱۴۰۱ به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. شهر ساری در استان مازندران، در عرض جغرافیایی °۳۶ و ′۳۷ و طول جغرافیایی °۵۳ و ′۱۱ و ارتفاع ۱۱/۵ متر از سطح دریای آزاد واقع شده است. میانگین رطوبت نسبی سالانه ۷۵ درصد است. شهر ساری دارای اقلیمی نیمه مرطوب با تابستان گرم و زمستان کمی سرد می‌باشد. متوسط بارش سال زراعی (مهر ۱۳۸۰ تا مهر ۱۴۰۰) ۶۲۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد، میانگین بیشینه دما ۲۲/۴ و میانگین کمینه دما ۹/۱۲ درجه سانتی‌گراد است (اداره کل هواشناسی استان مازندران، اقلیم دشت ناز www.mazmet.ir). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه پس از نمونه‌گیری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در جدول شماره ۱ بیان شده است.

[1] Raised bed

[2] Flat beds

جدول ۱- آنالیز خاک مزرعه تحت کشت در شهرستان ساری

pH	$EC*10^3$ (dS/m)	ماده آلی O.M %	کربن آلی O.C %	نیتروژن کل N %	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	بافت خاک		
							درصد شن	درصد سیلت	درصد رس
۷/۵	۰/۸	۲/۵۸	۱/۵	۰/۱۵	۱۲/۷	۱۷۰/۳۳	۵۲	۳۰	۱۸
							لومی شنی		

تیمارهای آزمایش شامل: عمق زهکش (جوی) ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر در کرت‌های اصلی و سه فاصله زهکش (عرض پشته): ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر در کرت‌های فرعی بود. به همین منظور جوی‌هایی بصورت دستی با عمق‌های مورد نظر (عمق زهکش) و عرض پشته‌ها یا فواصل جوی‌های مشخص شده (فاصله زهکش) ایجاد گردید و کاشت بنه‌های زعفران بر روی پشته‌ها انجام شد. عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر، فاصله بین ردیف کاشت بنه‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین بنه‌ها در روی ردیف کاشت ۵ سانتی‌متر و طول هر ردیف ۲ متر بود. فاصله تکرارها نیز ۲ متر در نظر گرفته شد. بنابراین در هر پشته ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری به‌ترتیب ۳، ۵ و ۷ ردیف کشت بنه زعفران با فواصل یکسان کشت شد. بنه‌های مورد نیاز با وزن یکسان و متوسط وزن ۱۰ گرم از منطقه تربت حیدریه واقع در استان خراسان رضوی تهیه شد و کشت در ۲۵ شهریور ماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. به‌دلیل بارندگی‌های کافی در طول فصل رشد و تامین نیاز آبی زعفران، آبیاری انجام نشد. وجین علف‌های هرز نیز در دو مرحله (مرحله اول در اوایل آبان ماه و مرحله دوم در اواخر آذر ماه) انجام شد. در انتهای فصل رشد و در زمانی‌که سطح برگ به حداکثر خود رسید، یعنی در اسفند ماه صفاتی مانند طول و تعداد برگ اندازه‌گیری شد و برای این منظور از سطحی معادل ۰/۲ متر مربع گیاه کامل خارج و برای اندازه‌گیری طول برگ به آزمایشگاه منتقل شد. به‌دلیل عدم دسترسی به دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ با دقت بالا، میزان سطح برگ بر اساس طول برگ و با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (جلالی و همکاران b ۲۰۲۲):

معادله (۱)

$$LA=192.33\exp(L)0.0037$$

در این رابطه LA نشان‌دهنده سطح برگ که در آن L طول برگ بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

و پس از اتمام مرحله رشد رویشی زعفران و در مرحله خواب واقعی در اواخر اردیبهشت ماه، از هر تکرار به مساحت ۰/۲ متر مربع بنه‌ها از خاک خارج و صفاتی شامل: تعداد بنه دختری، وزن خشک بنه دختری اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه وزن بنه‌ها از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ استفاده شد. پس از گلدهی زعفران در آبان ماه سال ۱۴۰۱ و برداشت گل‌ها در صبح زود به‌مدت ۳ هفته، اندازه‌گیری صفات زایشی زعفران شامل تعداد، عملکرد گل و عملکرد کلاله خشک در آزمایشگاه انجام شد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.0 و Excel 2016 و مقایسه میانگین داده‌ها با کمک آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات برگ

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات رویشی این آزمایش نشان داد که تیمار عمق زهکش در صفات وزن برگ و طول برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). از طرفی دیگر، وزن برگ تحت تاثیر تیمار فاصله زهکش اختلاف بسیار معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد. علاوه‌براین، اثر متقابل تیمارها بر صفات وزن برگ و طول برگ در سطح احتمال یک درصد و بر شاخص سطح برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد؛ اما تاثیر معنی‌داری بر تعداد برگ مشاهده نشد (جدول ۲).

اثر متقابل تیمارها بر صفات رویشی متوسط وزن برگ، متوسط طول برگ و شاخص سطح برگ، روند مشابهی

را نشان دادند؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان هر سه صفت (به‌ترتیب ۱/۷۶ گرم، ۴۸/۶۶ سانتی‌متر و ۰/۷۵۷) در فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متری و در عمق ۴۵ سانتی‌متری به‌دست آمد (جدول ۳). درحالی‌که کمترین میزان (به‌ترتیب ۱/۲۰ گرم، ۳۳/۴۱ سانتی‌متر و ۰/۴۲۷) صفات مذکور در فاصله زهکش ۱۵۰ سانتی‌متری و عمق زهکش ۱۵ سانتی‌متری مشاهده شد. تخلیه سریعتر زه‌آب پشته در نتیجه عمق بیشتر زهکش احتمالا می‌تواند در کاهش تراکم سطحی خاک تاثیرگذار باشد. درحالی‌که عدم تخلیه رطوبت از خاک موجب تشدید غرقابی و ایجاد سله در سطح خاک می‌گردد. بنابراین این احتمال می‌تواند قوی باشد که کاهش تراکم سطحی خاک موجب سهولت خروج جوانه‌ها از سطح خاک و سرعت بیشتر سطح برگ شده باشد که در نتیجه آن منجر به افزایش سطح برگ در تیمارهای با عمق زهکش بالاتر شده باشد (بهدانی و همکاران ۲۰۱۵).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آزمایشی روی برخی صفات رویشی زعفران

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن برگ	طول برگ	تعداد برگ	شاخص سطح برگ
تکرار	۲	۰/۰۲۸^{ns}	۳۱/۲۳*	۷۵۴/۴۴*	۰/۰۷۵۶۷*
عمق زهکش	۲	۰/۳۱۳**	۹۹/۳۳**	۴۰۵/۷۰^{ns}	۰/۰۱۷۸۱^{ns}
خطای عامل اصلی	۴	۰/۰۱۵۷^{ns}	۲/۲۴^{ns}	۵۲/۶۹^{ns}	۰/۰۰۱۸۳^{ns}
فاصله زهکش	۲	۰/۱۱۰**	۱۵/۱۱^{ns}	۹۶/۲۱^{ns}	۰/۰۲۲۷۱^{ns}
عمق زهکش×فاصله زهکش	۴	۰/۱۲۴**	۷۸/۵۵**	۲۲۵/۲۸^{ns}	۰/۰۳۴۲۷*
خطای عامل فرعی	۴	۰/۰۰۰۱	۳/۱۴	۷۳/۳۹	۰/۰۰۹۰۸
خطای کل	۲۶	۰/۰۱۵	۵/۳۸	۱۲۶/۰۸	۰/۰۱۰۹۲
ضریب تغییرات (٪)		۸/۷۲	۵/۷۵	۱۲/۲۲	۱۸/۷۳

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

جدول ۳- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری عمق زهکش × فاصله زهکش بر صفات رویشی

عمق زهکش (cm)	فاصله زهکش (cm)	متوسط وزن برگ (g)	متوسط طول برگ (cm)	شاخص سطح برگ
۱۵	۵۰	۱/۲۴ ^{de}	۴۳/۵۰^{b}	۰/۵۵۷^{bc}
	۱۰۰	۱/۲۲ ^{ef}	۳۸/۱۱^{d}	۰/۵۵۳^{bc}
	۱۵۰	۱/۲۰ ^{f}	۳۳/۴۱^{e}	۰/۴۲۷^{c}
۳۰	۵۰	۱/۶۳ ^{bc}	۳۴/۳۳^{e}	۰/۵۱۰^{bc}
	۱۰۰	۱/۷۱^{ab}	۳۸/۵۵^{cd}	۰/۵۳۰^{bc}
	۱۵۰	۱/۲۹ ^{d}	۴۲/۵۰^{bc}	۰/۶۴۰^{ab}
۴۵	۵۰	۱/۲۵ ^{de}	۴۱/۸۳^{bcd}	۰/۴۸۰^{bc}
	۱۰۰	۱/۷۶ ^{a}	۴۸/۶۶^{a}	۰/۷۵۷^{a}
	۱۵۰	۱/۶۲ ^{bc}	۴۱/۹۷^{bcd}	۰/۵۶۷^{bc}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

وزن و تعداد بنه‌های دختری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر صفات مربوط به اندازه و تعداد بنه دختری شامل تعداد و وزن بنه‌های زیر ۸ گرم، تعداد و وزن بنه‌های بالای ۸ گرم، متوسط وزن بنه دختری، تعداد کل بنه دختری و وزن کل بنه‌های دختری نشان داد که اثر ساده عمق زهکش و همچنین اثر ساده فاصله زهکش در تمامی صفات مذکور معنی‌دار شد (جدول ۴). همچنین جدول ۴

نشان می‌دهد که اثر متقابل تیمارها نیز بر تمامی صفات به‌جز وزن کل بنه‌های دختری اثر معنی‌داری داشت.

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد بنه‌های زیر ۸ گرم معادل ۳۴۵/۵ و ۱۱۹/۶ به‌ترتیب مربوط به تیمار عمق زهکش ۱۵ و ۴۵ سانتی‌متری و با فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متری می‌باشد (جدول ۵). این امر نشان می‌دهد با افزایش عمق زهکش تعداد بنه ریز با اندازه کمتر از ۸ گرم کاهش می‌یابد؛ همچنین بالاترین وزن بنه‌های زیر ۸ گرم برابر ۳۷۰/۲ و ۳۶۳/۱ گرم به ترتیب مربوط به عمق زهکش ۴۵ سانتی‌متر و فاصله زهکش ۱۵۰ سانتی‌متر و عمق زهکش ۱۵ سانتی‌متر با فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات مربوط به اندازه و تعداد بنه دختری زعفران

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد بنه‌های زیر ۸ گرم	وزن بنه‌های زیر ۸ گرم	تعداد بنه‌های بالای ۸ گرم	وزن بنه‌های بالای ۸ گرم	متوسط وزن بنه دختری	تعداد کل بنه‌های دختری	وزن کل بنه‌های دختری
تکرار	۲	۴۳۰/۷^{ns}	۷۴۵/۴^{ns}	۲۰/۹^{ns}	۲۶۵۵/۴**	۲/۹^{ns}	۲۶۷/۷^{ns}	۲۴۶۲۰/۶*
عمق زهکش	۲	۱۲۰۴۴/۵**	۸۵۳۰/۳*	۶۴۷۵**	۳۵۹۲۹۹/۲**	۲۶/۴**	۶۸۹۲/۱*	۸۲۴۲۲/۸**
خطای عامل اصلی	۴	۹۴۰/۳^{ns}	۱۴۲/۶^{ns}	۱۵/۵۲^{ns}	۳۴۱/۴**	۰/۳^{ns}	۱۲۲۲/۴^{ns}	۵۱۳۱/۹*
فاصله زهکش	۲	۱۱۵۲۲/۹**	۱۴۷۲۵/۸**	۳۹۸۴/۲**	۷۰۴۵۵/۳**	۲۹/۷**	۱۴۸۵۳/۹**	۱۶۵۸۵۱/۴**
عمق زهکش × فاصله زهکش	۴	۳۱۱۹۳/۸**	۴۷۶۰۳/۳**	۵۳۴۶/۷**	۸۹۷۸۰/۹**	۱۸**	۲۷۷۰۸/۸**	۱۴۷۷۸/۵^{ns}
خطای عامل فرعی	۴	۴۳۹/۶	۱۲۴۷/۴	۱۱۴/۸	۲۶۳۱	۱/۲	۲۲۷/۵	۱۳۷۵۲/۵
خطای کل	۲۶	۱۳۷۹/۹	۱۳۸۹/۹	۱۳۰/۳	۲۹۷۲/۴	۱/۵	۱۴۴۹/۹	۱۸۸۸۴/۴
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۸	۱۵/۶	۴/۷	۱/۵	۱۰/۱	۷/۸	۴/۶

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

جدول ۵- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری عمق زهکش و فاصله زهکش بر صفات مربوط به تعداد و وزن بنه دختری

عمق زهکش (cm)	فاصله زهکش (cm)	تعداد بنه‌های زیر ۸ گرم	وزن بنه‌های زیر ۸ گرم ($g.m^{-2}$)	تعداد بنه‌های بالای ۸ گرم ($g.m^{-2}$)	وزن بنه‌های بالای ۸ گرم ($g.m^{-2}$)	تعداد کل بنه دختری	متوسط وزن بنه دختری (g)
۱۵	۵۰	۲۲۳/۲۱^{b}	۲۱۸/۵۱^{d}	۲۲۸/۵۷^{bc}	۹۶۷/۵۰^{f}	۴۵۴/۴۳^{bc}	۹/۹۶^{c}
	۱۰۰	۳۴۵/۴۷^{a}	۳۶۳/۰۹^{ab}	۲۲۸/۵۷^{bc}	۱۰۵۱/۰۱^{e}	۵۷۴/۰۳^{a}	۸/۸۱^{c}
	۱۵۰	۱۷۶/۴۵^{bcd}	۱۸۳/۸۶^{d}	۲۲۸/۵۷^{bc}	۱۱۴۴/۰۶^{d}	۴۰۵/۰۲^{cd}	۱۲/۵۱^{b}
۳۰	۵۰	۳۳۱/۴۱^{a}	۳۰۸/۹۴^{bc}	۲۳۳/۶۸^{bc}	۱۰۵۸/۷۹^{e}	۵۶۵/۰۹^{a}	۹/۰۳^{c}
	۱۰۰	۱۳۲/۵۶^{cd}	۱۰۹/۷۵^{e}	۲۱۹/۴۱^{c}	۱۴۶۶/۳۱^{b}	۳۵۱/۹۷^{d}	۱۶/۹۱^{a}
	۱۵۰	۱۲۲/۰۳^{d}	۱۹۳/۲۵^{d}	۲۲۸/۵۷^{bc}	۱۲۲۵/۵۲^{c}	۳۵۰/۶۰^{d}	۱۵/۵۱^{a}
۴۵	۵۰	۱۸۴/۷۵^{bc}	۲۹۵/۱۴^{c}	۲۴۰/۰۵^{b}	۱۵۷۱/۴۰^{a}	۴۲۴/۸۰^{bc}	۱۰/۷۹^{ab}
	۱۰۰	۱۱۹/۵۶^{d}	۱۱۲/۲۹^{e}	۳۵۴/۴۰^{a}	۱۵۴۷/۲۴^{a}	۴۷۳/۹۶^{b}	۱۲/۲۱^{b}
	۱۵۰	۲۳۰/۳۸^{b}	۳۷۰/۲۲^{a}	۲۲۸/۵۷^{bc}	۱۲۴۲/۶۹^{c}	۴۵۸/۹۵^{bc}	۱۲/۱۰^{b}

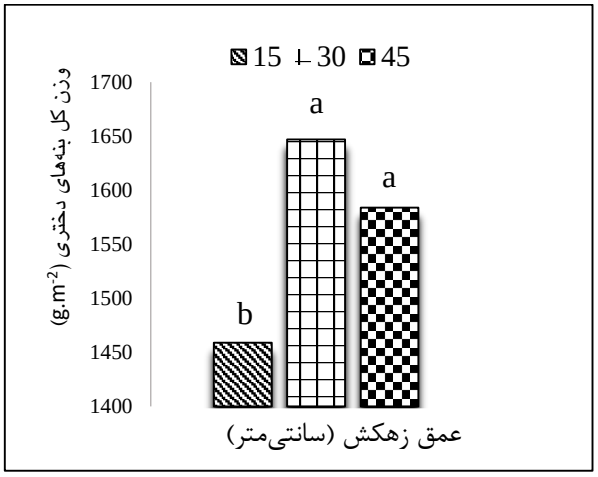
میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

بیشترین تعداد و وزن بنه‌های بالای ۸ گرم (به‌ترتیب ۳۵۴/۴۰ و ۱۵۷۱/۴۰ گرم) در تیمار عمق زهکش ۴۵ سانتی‌متر و فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متر بدست آمد (جدول ۵). یکی از عوامل مهم تولید زعفران، انتخاب بنه و تهیه بنه استاندارد برای کاشت این محصول می‌باشد؛ زیرا عملکرد نهایی بستگی زیادی به نوع بنه مصرفی دارد. تحقیقات نشان می‌دهد یک بنه استاندارد برای کاشت، بنه‌ای با وزن بالای ۸ گرم می‌باشد و بنه‌های زیر ۸ گرم قابلیت گل‌آوری ندارند (جلالی و همکاران b ۲۰۲۲؛ صحابی و همکاران ۲۰۱۸؛ بهدانی و فلاحی ۲۰۱۵)

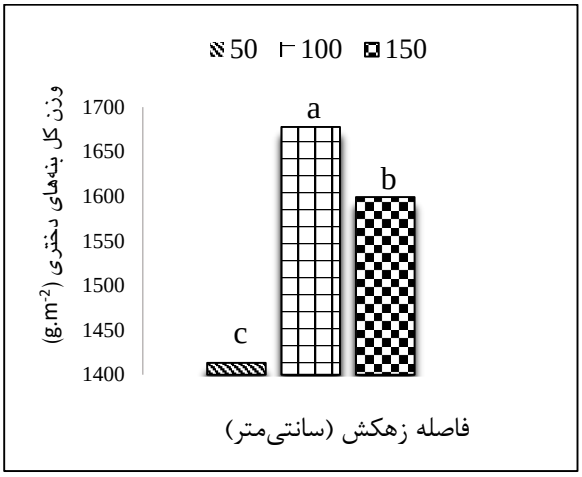
علاوه‌براین، نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد بیشترین تعداد کل بنه دختری (۵۷۴/۰۴) در تیمار عمق زهکش ۱۵

سانتی‌متر و فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متر به‌دست آمد؛ که البته اختلاف معنی‌داری بین تیمار مذکور و تیمار عمق ۳۰ سانتی‌متر و فاصله زهکش ۵۰ سانتی‌متر مشاهده نشد. درحالی‌که تعداد کل بنه‌های دختری در دو تیمار عمق زهکش ۳۰ سانتی‌متر و فواصل ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر حدود ۶۰ درصد پایین‌تر نسبت به تیمار حداکثر بدست آمد. نادری درباغشاهی و همکاران (۲۰۰۸) در آزمایش خود مشاهده کردند تعداد بنه در روش جوی و پشته‌ای با ۳۹۱/۸ بنه در متر مربع به‌طور معنی‌داری از تعداد بنه در روش کرتی با ۳۳۴/۱ بنه در متر مربع بیشتر بود. چون در عمق زهکشی ۵۰ سانتی‌متری تراکم خاک در اطراف بنه مادری کمتر بوده و از طرف دیگر به‌دلیل وضعیت و فاصله مناسب قرارگیری بنه‌ها در بستر کشت، امکان استفاده بیشتر از امکانات محیطی موجود فراهم شده باشد که در نتیجه آن تعداد بنه دختری در این عمق زهکش افزایش یافت (خاوری و همکاران ۲۰۱۶). اما متوسط وزن بنه دختری که صفت بسیار مهمی در ارزیابی تولید بنه برای هر تیمار به‌شمار می‌رود؛ در تیمار عمق زهکشی ۳۰ و فاصله زهکش ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر بیشترین مقدار معادل ۱۶/۹ و ۱۵/۵ گرم را به‌خود اختصاص داد و کمترین متوسط وزن بنه دختری نیز مربوط به عمق زهکش ۱۵ و فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متر در حدود ۵۰ درصد وزن کمتر می‌باشد. درواقع این یافته نشان می‌دهد که عمق زهکش ۳۰ سانتی‌متری و با فواصل ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری توانسته است بهترین شرایط محیطی به‌لحاظ میزان رطوبت و دما برای گیاه بوجود آورد؛ به‌طوری‌که گیاه بتواند در این عمق و فاصله زهکش نسبت به سایر تیمارها، بنه‌های دختری درشت‌تری را تولید کند. برعکس در تیمار عمق زهکش ۱۵ سانتی‌متر و فاصله زهکشی ۱۰۰ سانتی‌متری احتمالا این تیمار نتوانسته است شرایط محیطی مناسب برای رشد و افزایش متوسط وزن بنه‌های دختری فراهم کند. اما اینکه چرا عمق زهکش ۴۵ سانتی‌متری در مقایسه با عمق ۳۰ سانتی‌متری از متوسط وزن بنه پایین‌تری برخوردار می‌باشد، احتمالا علت این امر می‌تواند تخلیه بیشتر رطوبت خاک در نتیجه عمق بیشتر زهکش در این تیمار و عدم وجود شرایط محیطی مناسب در نتیجه کاهش بیش از حد رطوبت و نوسانات بیشتر دمایی در این تیمار باشد (مظلوم علی‌آبادی و همکاران ۲۰۱۸).

اثر عمق زهکش بر صفت وزن کل بنه‌های دختری نشان می‌دهد بیشترین وزن کل بنه‌های دختری معادل ۱۶۴۷ گرم در متر مربع در عمق زهکش ۳۰ سانتی‌متر و کمترین مقدار این صفت معادل ۱۴۵۹ گرم در عمق ۱۵ سانتی‌متری مشاهده شد (شکل ۱). همچنین، بیشترین وزن کل بنه‌های دختری معادل ۱۶۷۷ گرم در متر مربع در فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متر و کمترین وزن کل بنه‌های دختری معادل ۱۴۱۳ گرم در متر مربع در فاصله زهکش ۵۰ سانتی‌متری به‌دست آمد (شکل ۲). به‌عبارت دیگر با افزایش عمق زهکش از ۱۵ به ۳۰ سانتی‌متر و افزایش فاصله زهکش از ۵۰ به ۱۰۰ سانتی‌متر مجموع وزن بنه‌های دختری افزایش یافت. علت این امر احتمالا ایجاد شرایط محیطی مناسب به‌لحاظ میزان رطوبت نسبی و دما در بستر گیاه در نتیجه افزایش عمق زهکش تا ۳۰ سانتی‌متری و افزایش فاصله پشته تا ۱۰۰ سانتی‌متری باشد. این امر دور از انتظار نیست که بستر با عرض ۵۰ سانتی‌متری نسبت به بستر با عرض ۱۰۰ سانتی‌متری از تراکم کمتر بستر و در نتیجه نوسانات دمایی بالاتری برخوردار است. نتایج آزمایش خاوری و همکاران (۲۰۱۶) حاکی از برتری کشت جوی و پشته‌ای بر دو روش کاشت دیگر در افزایش مجموع وزن بنه‌های دختری است، به‌طوری‌که تغییر روش کاشت از جوی و پشته‌ای به نواری و کپه‌ای منجر به کاهش وزن بنه به‌ترتیب با ۱۶/۳۶ و ۱۳/۵۳ درصد شد.



شکل ۱- اثر عمق زهکش بر وزن کل بنه‌های دختری



شکل ۲- اثر فاصله زهکش بر وزن کل بنه‌های دختری

صفات عملکرد

نتایج به‌دست آمده در جدول ۶ حاکی از آن است که اثر ساده عمق زهکش تاثیر معنی‌داری بر صفات زایشی زعفران شامل تعداد گل، عملکرد گل و عملکرد کلاله خشک در سطح احتمال یک درصد دارد. درحالی‌که اثر ساده فاصله زهکش بر هیچ یک از صفات فوق اثر معنی‌داری نداشت و این درحالی است که اثر متقابل عمق و فاصله زهکش بر هر سه صفت ذکر شده معنی‌دار می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات زایشی زعفران

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد گل	عملکرد گل	عملکرد خشک کلاله
تکرار	۲	۱۰/۷۲^{ns}	۰/۹۶^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}
عمق زهکش	۲	۱۷۴۱۱/۲۴**	۱۵۶۶/۹۸**	۰/۰۸۹۵۸**
خطای عامل اصلی	۴	۸۴/۳۶^{ns}	۷/۵۹^{ns}	۰/۰۰۰۴۲^{ns}
فاصله زهکش	۲	۳۰۶/۲۲^{ns}	۲۷/۵۸^{ns}	۰/۰۰۱۲۷^{ns}
عمق زهکش×فاصله زهکش	۴	۵۰۲/۱۴**	۴۵/۲۱**	۰/۰۰۲۶۰**
خطای عامل فرعی	۴	۵۴/۲۴	۴/۸۸	۰/۰۰۰۲۴
خطای کل	۲۶	۱۳۸/۶۰	۱۲/۴۷	۰/۰۰۰۶۶
ضریب تغییرات (٪)		۷/۳۱	۸/۴۳	۱۰/۸۱

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

براساس مقایسه میانگین اثر متقابل عمق و فاصله زهکش بر صفات زایشی زعفران، روند مشابهی در تعداد گل، عملکرد گل و عملکرد کلاله خشک مشاهده شد (جدول ۷). به‌طوری‌که کمترین تعداد گل، عملکرد گل و کلاله به‌ترتیب معادل ۴۷/۵۱ گل در متر مربع، ۱۴/۲۵ و ۰/۱۰۶ گرم در متر مربع در عمق زهکش ۱۵ سانتی‌متری و فاصله زهکش ۱۵۰ سانتی‌متری به‌دست آمد؛ که البته اختلاف معنی‌داری در سایر فواصل زهکش (۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) برای این عمق زهکش (۱۵ سانتی‌متر) مشاهده نشد. درحالی‌که بیشترین تعداد گل، عملکرد گل و عملکرد کلاله خشک به‌ترتیب معادل ۱۴۳/۳۷ گل در متر مربع، ۴۳/۰۱ و ۰/۳۲۳ گرم در متر مربع در عمیق‌ترین زهکش یعنی عمق ۴۵ سانتی‌متری و فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متری مشاهده شد (جدول ۷). البته اختلاف

معنی‌داری از نظر آماری بین تیمار مذکور و تیمار با عمق زهکش ۴۵ و فاصله ۱۵۰ سانتی‌متری و همچنین تیمار عمق زهکش ۳۰ و فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متری مشاهده نشد.

همانطورکه اشاره شد وزن بنه زعفران عملکرد نهایی گل و کلاله را تعیین می‌کند. براساس نتایج جدول ۳، افزایش شاخص سطح برگ در نتیجه افزایش عمق زهکش و همچنین نتایج جدول ۵ با توجه به تولید بیشترین تعداد و وزن بنه‌های بالای ۸ گرم در زهکش‌های با عمق بیشتر و بخصوص تیمار با عمق ۴۵ سانتی‌متر، لذا عملکرد بالاتر گل و کلاله زعفران در این تیمارها دور از انتظار نیست. همچنین تراکم کمتر خاک در این تیمارها و از طرفی کاهش میزان سله خاک، شرایط مناسب‌تری را برای سهولت خروج جوانه از زیر خاک فراهم می‌کند و به این علت، بنه زعفران جهت خروج جوانه گل از بستر خاک انرژی کمتری را صرف نموده و انرژی اندوخته شده بیشتری صرف تولید گل می‌گردد (بهدانی و فلاحی ۲۰۱۵).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل عمق زهکش × فاصله زهکش بر صفات زایشی زعفران در شرایط مزرعه

عمق زهکش (cm)	فاصله زهکش (cm)	تعداد گل (m^{-2})	عملکرد گل ($g.m^{-2}$)	عملکرد کلاله خشک ($g.m^{-2}$)
۱۵	۵۰	۶۴/۳۴^{d}	۱۹/۳۰^{d}	۰/۱۴۶^{d}
	۱۰۰	۴۸/۵۱^{d}	۱۴/۵۵^{d}	۰/۱۰۶^{d}
	۱۵۰	۴۷/۵۱^{d}	۱۴/۲۵^{d}	۰/۱۰۶^{d}
۳۰	۵۰	۱۲۷/۴۴^{bc}	۳۸/۲۳^{abc}	۰/۲۸۶^{abc}
	۱۰۰	۱۴۱/۰۱^{ab}	۴۲/۳۰^{ab}	۰/۳۱۶^{ab}
	۱۵۰	۱۲۳/۱۸^{bc}	۳۶/۹۵^{bc}	۰/۲۸۰^{bc}
۴۵	۵۰	۱۱۱/۳۹^{c}	۳۳/۴۱^{c}	۰/۲۵۳^{c}
	۱۰۰	۱۴۳/۳۷^{a}	۴۳/۰۱^{a}	۰/۳۲۳^{a}
	۱۵۰	۱۳۱/۳۳^{ab}	۳۹/۴۰^{ab}	۰/۲۹۶^{ab}

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج انتخاب عمق زهکش مناسب بیش از ۱۵ سانتی‌متر و فاصله پشته کمتر از ۱۵۰ سانتی‌متر می‌تواند شرایط مناسبی را برای رشد رویشی و افزایش میزان صفاتی مانند متوسط وزن برگ، متوسط طول برگ و شاخص سطح برگ فراهم کند. به طوری که بتوان میزان این صفات را بطور متوسط تا ۶۰ درصد بهبود بخشید. نتایج نشان داد متوسط وزن بنه دختری که صفت بسیار مهمی در ارزیابی تولید بنه برای هر تیمار به‌شمار می‌رود، با افزایش عمق زهکش می‌تواند تا ۵۰ درصد افزایش یابد. همچنین بر اساس نتایج افزایش عمق زهکشی (۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر) در فواصل مختلف بهترین شرایط محیطی به لحاظ میزان رطوبت و دما برای گیاه بوجود آورد. به‌طوری‌که گیاه توانست بنه‌های دختری درشت‌تری را تولید کند. نتایج مشابهی همچنین برای صفات تعداد گل، عملکرد گل و عملکرد کلاله خشک بدست آمد. بطوری‌که با افزایش عمق زهکش بیش از ۱۵ و با فاصله زهکش۱۰۰ سانتی‌متر حداکثر میزان برای این صفات (به‌ترتیب ۱۴۳/۳۷ گل در متر مربع، ۴۳/۰۱ و ۰/۳۲۳ گرم در متر مربع) به‌دست آمد.

به‌طورکلی، نتایج نشان داد که زهکشی با عمق بیش از ۳۰ سانتی‌متر می‌تواند در بهبود صفات رویشی زعفران از جمله شاخص سطح برگ متوسط وزن بنه دختری و همچنین افزایش کمیت صفات زایشی نقش به‌سزایی داشته باشد. اما از طرفی با توجه به اینکه با افزایش عمق جوی زهکشی، عرض آن نیز ناگزیر افزایش

می‌یابد، بنابراین ایجاد زهکش عمیق‌تر سطح مفید بیشتری را از مزرعه به‌خود اختصاص می‌دهد. لذا، با درنظر گرفتن بهترین بازدهی مزرعه به‌منظور پرورش بنه در دشت ساری، عمق زهکش ۳۰ سانتی‌متر و فاصله زهکش ۱۰۰ سانتی‌متر پیشنهاد می‌گردد. همچنین با توجه به ریسک هجوم آفات و بخصوص بیماری‌های قارچی در فصول گرم سال بویژه تابستان و در نتیجه کاهش مصرف سموم شیمیایی در راستای پایداری سیستم، و از طرفی محدودیت گلدهی زعفران در نتیجه بارش زودهنگام در فصل پاییز و گاهی مواقع در اواخر شهریور که به‌خودی خود اگر با دمای بالاتر از ۱۷ درجه سانتی‌گراد نیز همراه باشد؛ منجر به کاهش عملکرد گل و کلاله در آن سال خواهد شد، و ضمن اینکه بارش باران در زمان گلدهی، خود موجب خسارات کمّی و کیفی به گل و کلاله می‌گردد؛ لذا پیشنهاد می‌شود پرورش بنه زعفران در دشت ساری محدود به رشد رویشی و به‌منظور تولید بنه استاندارد و بالای ۸ گرم صورت گیرد و این بنه تولید شده می‌تواند در مناطقی از استان که شرایط اقلیمی و خاکی مناسب‌تری دارد مانند مناطق مرتفع و ییلاقی، پشت کوه ساری و یا در شرایط هواکشت (کنترل شده) مورد استفاده قرار گیرد تا ضمن ایجاد اشتغال، حداکثر سود را برای کشاورز به‌همراه داشته باشد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره قرارداد ۱۳۳۳۱۲ از محل اعتبارات پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت حیدریه می‌باشد. لذا نویسندگان این مقاله از حمایت مادی و معنوی پژوهشکده زعفران کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع مورد استفاده

Behdani M A and Fallahi H R. 2015. Saffron (*Crocus sativus* L.): Technical Knowledge Based on Research Approaches. University of Birjand Press. PP.412. (In Persian).

Jalali A, Zaefarian F, Torabi B, Abbasi R. 2022 a. Changes of some growth indices and yield of saffron *(Crocus sativus* L.) in different altitudes. Saffron Agronomy & Technology, 10(3): 195-213. (In Persian). https://doi.org/10.22048/jsat.2022.340439.1460

Jalali A, Zaefarian F, Torabi B and Abbasi R. 2022 b. The Effect of maternal corm weight and planting depth on flower yield and daughter corm of saffron (*Crocus sativus* L.) in Sari plain. Journal of Saffron Research (semi-annual), 10(2): 231-244. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/jsr.2022.5568.1194

Khavari A, Behdani MA, Zamani GR and Mahmoodi S. 2016. Effects of planting methods and corm weight on corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in Qaenat region. Journal of Saffron Research, 4(1): 120-133. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/jsr.2016.397

Koocheki A and Seyyedi SM. 2020. Nutrition management and farm's age affect saffron daughter corms behavior, nutrients uptake and economic water and fertilizer use efficiency: A large scale on-farm experiment in Torbat Heydarieh, Iran. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 51(9): 1161-1183. https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1751191.

Kumar R. 2009. Calibration and validation of regression model for non-destructive leaf area estimation of saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulturae, 122: 142-145. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.03.019

Kumar R. and Sharma OC. 2018. Enhancing saffron (*Crocus sativus* L.) productivity by land configuration and corm intensity manipulation under Kashmir condition. Indian Journal of Agricultural Sciences, 8(5): 798-804. https://doi.org/10.56093/ijas.v88i5.80098

Mazllom Aliabadi U, Vaezi AR and Nikbakht J. 2019. The role of soil management using straw mulch application in rainfed wheat production under various climatic condition in a semi-arid area. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(13): 552-564. [In Persian].Dor: 20.1001.1.20087942.1398.13.2.24.2

Molina RV, Valero M, Navarro Y, Guardiola JL and Garcia-Luis A. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulturae, 103: 361-379. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.06.005

Naderi-Darbaghshahi MR, Khajabashi SM, Baniateba S and Dehdashti SM. 2008. Effects of planting method, density, and depth on yield and production period of saffron (*Crocus sativus* L.) in Isfahan region. Seed and Plant Improvement Journal 24(4): 643-657. [In Persian].https://sid.ir/paper/20359/en

Rezvani-Moghaddam P, Khorramdel S, Aminghafori A, Shabahang J and Asadi GA. 2012. The effects of mushriimcompost rate and corm density on corm yield and stigma yield of saffron (*Crocus sativus* L.). In 4th International Saffron Symposium. October, 22-25. Kashmir, India. http://www.ivinternationalsaffronsymposium.com

Sahabi H, Jahan M, Koocheki AR and Nassiri-Mahallati M. 2017. Effect of mother corm weight and foliar application of nutrients on flower and corm yield of Spanish and Iranian saffron (*Crocus sativus* L.). Saffron Agronomy & Technology 5(2): 123-131. [In Persian]. https://doi.org/10.22048/jsat.2016.40888

Shariatmadari Z. 2018. Physiological and morphological study of saffron corm and flower in response to different irrigation frequency, corm size, organic and NPK fertilizers. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. [In Persian].

Tiffani S, Rahmawati N and Setiado H. 2020. Effect of the ridge size on the growth and production of several sweet potato clones (*Ipomoea batatas* L.). International Conference on Agriculture, Environment and Food Security (AEFS) 2019. https://doi:10.1088/1755-1315/454/1/012175.

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 263-273

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

The Effect of Nanosilicon Foliar Application on Morphological, Yield and Tolerance of Drought Stress in Quinoa Plant (*Chenopodium quinoa* L.)

Vahid Mohasseli [1*], Hojat Dialamy[2], Mahmood Izadi [2]

Received: 12 June 2023	Accepted: 22 September 2023

1- Assist. Prof., of Fars Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shiraz, Shiraz, Iran.
*Corresponding Author Email: v.mohasseli@areeo.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The present study was conducted with aim of investigating the effect of nanosilicon on yield the performance and reducing the effect caused by water stress in Quinoa plant.

Materials and Methods: The experiment was conducted as split plot based on randomized complete blocks design with three replications in Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. The treatments included irrigation regimes in four rounds of 7, 14, 21 and 28 days and nanosilicon spraying at zero, 30 and 60 mg L^{-1} levels.

Results: Application of irrigation cycles of 21 and 28 days compared to no stress (7 days) caused a decrease of 5.93 and 24.65% in panicle length, 8.77 and 27.81% in panicle width, 5.14 and 29.44% in panicle number, 12.05 and 23.87% in total aerial organ weight, 24.73 and 54.95% in seed yield, 26.11 and 55.94% in the weight of one thousand seeds and 14.53 and 41.16% in the plant harvest index. Also, nanosilicon foliar has a significant effect on Quinoa plant growth, so that the maximum morphological growth, grain yield and water consumption efficiency observed in nanosilicon application with concentration 30 mg L^{-1}.

Conclusion: Nanosilicon spraying with 30 mg L^{-1} concentration in beginning of clustering and granulation stages reduces the negative effects of moisture stress in irrigation cycles 21 and 28 days on the Quinoa plant. Spraying 30 mg L^{-1} of nanosilicon leds to a decrease in total aerial organ weight, seed yield and thousand seed weight respectively by 5.25%, 14.24% and 19.91% due to stress in 21 days irrigation cycle.

Keywords: Chemical Improver**,** Drought Stress, Grain Yield, Plant Growth

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Vahid Mohasseli Email: v.mohasseli@areeo.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.57081.3064

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۲۷۳-۲۶۳

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

اثر محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و تحمل تنش خشکی در گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* L)

وحید محصلی[۱*]، حجت دیالمی[۱]، محمود ایزدی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲۲	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱

۱-استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
* مسئول مکاتبه: v.mohasseli@areeo.ac.ir

چکیده

اهداف: پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر نانوسیلیکون برعملکرد و کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه کینوا اجراء شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس اجراء گردید. تیمارها شامل رژیم‌های آبیاری در چهار سطح با دور آبیاری‌های ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در سطوح صفر، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر در دو مرحله ابتدای خوشه‌دهی و ابتدای دانه‌بندی درنظر گرفته شد.

یافته‌ها: اعمال تنش رطوبتی با دور آبیاری ۲۱ و ۲۸ روز در مقایسه با عدم تنش (دور آبیاری ۷ روز) سبب کاهش ۵/۹۳ و ۲۴/۶۵ درصد در طول پانیکول، ۸/۷۷ و ۲۷/۸۱ درصد در عرض پانیکول، ۵/۱۴ و ۲۹/۴۴ درصد در تعداد پانیکول، ۱۲/۰۵ و ۲۳/۸۷ درصد در وزن کل اندام هوایی، ۲۴/۷۳ و ۵۴/۹۵ درصد در عملکرد دانه، ۲۶/۱۱ و ۵۵/۹۴ درصد در وزن هزار دانه و ۱۴/۵۳ و ۴۱/۱۶ درصد در شاخص برداشت گیاه گردید. همچنین محلول‌پاشی نانوسیلیکون تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گیاه کینوا داشت بطوری که حداکثر ارتفاع بوته، طول, عرض و تعداد پانیکول، وزن کل اندام هوایی، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری: محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر در دو مرحله ابتدای خوشه‌دهی و دانه‌بندی سبب پایین آمدن اثرات منفی تنش‌های رطوبتی در شرایط تنش با دور آبیاری ۲۱ و ۲۸ روز در گیاه کینوا می‌گردد. محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم نانوسیلیکون در لیتر منجر به کاهش افت وزن کل اندام هوایی، عملکرد دانه و وزن هزار دانه به ترتیب به میزان ۲۵/۵، ۲۴/۱۴ و ۹۱/۱۹ درصد در اثر تنش در دور آبیاری ۲۱ روز گردید.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، رشد گیاه، عملکرد دانه، ماده بهبود دهنده شیمیایی

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* L) گیاهی یک ساله که علاوه بر دانه از برگ آن نیز استفاده می‌شود (سپهوند و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به ارزش غذایی بالای کینوا و همچنین انعطاف‌پذیری فنولوژیکی، تنوع بالای ژنتیکی و همچنین توسعه مکانیزم‌های منحصر به فرد مقاومت به

تنش خشکی در کینوا موجب دامنه بالای سازگاری این گیاه به شرایط مختلف اقلیمی به‌خصوص خشکی شده و علاقه جهانی به این محصول را افزایش داده است (رپو- کاراسکو و همکاران، ۲۰۰۳؛ سزن و همکاران، ۲۰۱۶). بدلیل سازگاری بالای ارقام کینوا با شرایط مختلف محیطی می‌توان از این گیاه به‌عنوان جایگزین مناسب برای مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده نمود (احمدی و همکاران، ۲۰۱۹).

پدیده کمبود آب در نقاط مختلف دنیا بر پتانسیل تولید گیاهان اثرگذار بوده و تنش خشکی می‌تواند اثرات مخرب شدیدی بر تمامی صفات مورفولوژیک و فیزیوبیوشیمیایی گیاه داشته باشد (سانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ صدیق و همکاران، ۲۰۱۷). کمبود منابع آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده توسعه کشاورزی در ایران می‌باشد لذا کم‌آبیاری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گزینه‌ها جهت مقابله با شرایط موجود مدنظر قرار گرفته است (عابدی و همکاران، ۲۰۰۲). تنش خشکی در مناطق مختلف سبب ایجاد محدودیت در کشت محصولات کشاورزی می‌گردد لذا انتخاب و کشت گیاهان زراعی متحمل به تنش خشکی رویکردی مناسب جهت حفظ و یا افزایش تولید محصولات در مناطق تحت تنش کمبود آب می‌باشد (جان گروانگ‌لانگ و همکاران، ۲۰۱۳). راهکار سازگاری گیاهان به تنش خشکی از طریق فرار، اجتناب و تحمل به خشکی است. عکس‌العمل گیاهان نسبت به خشکی وابسته به نوع گیاه، شدت و مدت تنش خشکی است (کویرس، ۲۰۱۵). مطالعات علی و همکاران (۲۰۱۸) بر روی گیاه کینوا در کشور عربستان سعودی نشان داد که کاهش میزان آب آبیاری سبب کاهش در طول ریشه، ارتفاع، وزن تر اندام هوایی و عملکرد دانه گردید. در تحقیقی دیگر نیز مشاهده شد که اعمال تیمار کم‌آبیاری بر روی گیاه کینوا رقم تیتیکاکا سبب کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه و وزن هزار دانه شد (جمالی، ۲۰۱۶). عزیز و همکاران (۲۰۱۸) نتیجه گرفتند که کم‌آبیاری بر خواص رشدی گیاه کینوا تأثیر منفی بر جای گذاشت بطوری که اعمال تنش خشکی منجر به کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتفاع بوته گردید. همچنین کاهش در ارتفاع بوته و وزن تر و خشک اندام هوایی در چهار ژنوتیپ گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی توسط اقبال و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش شده است. مطالعات جایمی اولیویرا و همکاران (۲۰۱۷) در کشور برزیل نشان داد که اعمال تیمار کم‌آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد بر روی گیاه کینوا سبب کاهش در ارتفاع بوته، زیست توده و عملکرد دانه شد.

به‌نظر می‌رسد که کاربرد برخی از عناصر غذایی مانند سیلیسیم در شرایط تنش آبی که کاهش رشد و عملکرد گیاهان را به دنبال دارد می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب جهت تعدیل یا کاهش آثار منفی ناشی از این تنش محسوب شود. از نظر فراوانی سیلیسیم دومین عنصر بعد از اکسیژن در خاک بوده و هرچند در بسیاری از گیاهان در شرایط بهینه و طبیعی، به‌عنوان یک عنصر ضروری مطرح نیست اما کاربرد منابع خارجی این عنصر می‌تواند منجر به ارتقاء رشد و افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی شود (هادی و همکاران، ۲۰۱۶). استفاده از نانو ذرات سیلیسیم جهت تحریک رشد و نمو گیاه و همچنین کاهش آسیب-های ناشی از تنش‌های محیطی از قبیل تنش خشکی در گیاهان شناخته شده است (رایچوهری، ۲۰۲۰). محققان تأثیر مثبت سیلیسیم بر رشد گیاه را به اثر این ماده در افزایش حجم و وزن ریشه‌ها، نسبت دادند (داکورا و نلوامودو، ۲۰۰۳). لیو و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که مصرف سیلیسیم سبب افزایش استحکام برگ‌ها، غلظت کلروفیل و سرعت فتوسنتز در گیاه شده و همچنین پیری در برگ‌ها را به تأخیر می‌اندازد. نتایج پارساپور و همکاران (۲۰۱۹) بیانگر تعدیل اثر منفی تنش آبی بر عملکرد گیاه توسط محلول‌پاشی نانوسیلیکون می‌باشد.

با توجه به محدودیت منابع آب در ایران و با در نظر گرفتن خشکسالی‌های اخیر، نیاز به راهکارهایی جهت استفاده حداکثری از آب در دسترس بوده که یکی از این راهکارها اعمال تنش آبی یا کم‌آبیاری است. همچنین بررسی اثر نانوسیلیکون در کاهش یا تعدیل اثر ناشی از تنش آبی می‌تواند برای مدیریت بهتر کم‌آبیاری در شرایط محدودیت منابع آب موجود در کشور مفید باشد. از این‌رو با توجه به ارزش غذایی گیاه کینوا پژوهش فوق با هدف بررسی اثر نانوسیلیکون بر گیاه کینوا در شرایط تنش آبی اجراء شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس واقع در شهرستان پاسارگاد استان فارس با مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۸ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۱ دقیقه شمالی و ۱۷۸۷ متر ارتفاع از سطح دریا اجراء گردید. اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. همچنین جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از کشت اقدام به نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از نقاط مختلف مزرعه نموده که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای جوی ثبت شده محل اجرای آزمایش در سال ۱۴۰۰ (مأخذ: ایستگاه کلیماتولوژی علی‌آباد)

ماه‌ها	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مجموع
بارندگی (mm)	۰/۴	۴/۰	–	۳/۸	۲/۴	–	–	۰/۲	۲۷/۴	۳۳/۱	۸۰/۰	۲۲/۰	۱۷۳/۳
میانگین دما (C°)	۱۷/۷	۲۱/۸	۲۸/۴	۲۹/۸	۲۷/۸	۲۳/۹	۱۸/۴	۱۱/۱	۷/۵	۳/۱	۳/۴	۱۶/۳	۱۷/۴۳

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

ویژگی‌ها	شن	سیلت	رس	بافت خاک	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	pH	کربن آلی (٪)	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس
	(٪)							($mg.Kg^{-1}$)					
مقدار	۱۹/۱	۵۹/۳	۲۱/۶	لومی سیلتی	۱/۷	۷/۹	۰/۵۵	۹/۵	۲۵۶/۸	۶/۷	۲/۴	۰/۶۱	۰/۵۲

تیمارها شامل رژیم‌های آبیاری در چهار سطح با دور آبیاری‌های ۷ (شاهد)، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز یک بار و همچنین محلول‌پاشی نانوسیلیکون در سطوح صفر (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد)، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. محلول‌پاشی نانوسیلیکون در دو مرحله ابتدای خوشه‌دهی و ابتدای دانه‌بندی به‌صورت یکنواخت و با استفاده از سم‌پاش کوله‌ای انجام شد. نانوسیلیکون ($Nano\text{-}SiO_2$) با اندازه ذرات ۳۰-۲۰ نانومتر محصول شرکت آمریکایی US Research Nanomaterial بوده که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه گردید. به‌دلیل حلالیت بهتر نانوسیلیکون در آب، ابتدا در آب دی‌یونیزه به‌صورت معلق درآمده و با استفاده از لرزش و ارتعاشات دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه) نانوسیلیکون در دو غلظت ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر محلول گردید (پراساد و همکاران ۲۰۱۲). آبیاری اول (خاک آب) و دو آبیاری سبک (جهت جلوگیری از سله بستن خاک) برای کل مزرعه به‌صورت یکسان انجام شد و اعمال تیمارهای مختلف آبیاری پس از اطمینان از استقرار کامل بوته‌ها در مزرعه صورت گرفت. آبیاری به شیوه نشتی و با استفاده از سیفون و با نصب کنتور براساس تیمار مربوط انجام شد. کرت‌های آزمایشی در ابعاد ۷*۳ متر طراحی شدند. به‌منظور اطمینان از عدم تداخل آب آبیاری به کرت‌های مجاور، فاصله بین کرت‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. کشت کینوا (رقم تیتیکاکا) به‌صورت بذری در اوایل مرداد ماه سال ۱۴۰۰ با فاصله خطوط کشت ۲۵ سانتی‌متر (فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر) انجام شد. براساس نتایج آزمون خاک میزان ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار در طول فصل رشد و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم قبل از کشت به خاک اضافه گردید. در طول مدت آزمایش وضعیت رشد گیاهان مورد بررسی و یادداشت برداری‌های لازم انجام

شد. پس از اتمام دوره آزمایش (اواخر آبان ماه)، گیاهان به‌صورت دستی در کوادرات‌های یک متر مربعی در سه تکرار از هر تیمار برداشت و سپس ارتفاع بوته، طول، عرض و تعداد پانیکول در هر بوته اندازه‌گیری و پس از خشک شدن، وزن کل اندام هوایی (عملکرد زیستی)، عملکرد دانه و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. همچنین شاخص برداشت (معادله ۱) و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه برداشت شده (معادله ۲) نیز محاسبه گردید. در معادله ۱ و ۲، به‌ترتیب GY،HI ، WP،BY و CWR بیانگر شاخص برداشت، عملکرد دانه ($Kg\ ha^{-1}$)، عملکرد بیولوژیک ($Kg\ ha^{-1}$)، بهره‌وری مصرف آب ($Kg\ m^{-3}$) و آب مصرفی ($m^3\ ha^{-1}$) است. در نهایت داده‌های بدست آمده را با نرم‌افزار SPSS 27 مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن ($p < 0.01$) استفاده شد. همچنین رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

$$HI = \frac{GY}{BY} \times 100$$ معادله (۱)

$$\wp = \frac{GY}{CWR}$$ معادله (۲)

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (جدول ۳) تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح نانوسیلیکون بر ارتفاع گیاه کینوا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با تغییر دور آبیاری از ۷ به ۱۴ روز، ارتفاع بوته در گیاه کینوا افزایش اما با بالا رفتن دور آبیاری (۲۱ و ۲۸ روز) ارتفاع گیاه کاهش یافت (جدول ۴). میانگین ارتفاع گیاه کینوا در شرایط تنش با دور آبیاری‌های ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز نسبت به شرایط عدم تنش (دور آبیاری ۷ روز) به‌ترتیب ۷/۵۴، ۰/۴۹ درصد افزایش و ۶/۵۷ درصد کاهش نشان داد. کاهش ارتفاع گیاه در تنش‌های شدید رطوبتی می‌تواند به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از خاک و همچنین کاهش جذب دی‌اکسیدکربن به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در شرایط خشکی و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز و کربوهیدرات‌های تولید شده طی فرآیند فتوسنتز باشد. به‌طور عمده از اثرات اولیه تنش خشکی اختلال در جذب آب و مواد معدنی، هدایت روزنه‌ای و تولیدات فتوسنتز و کاهش رشد گیاه است (کوسوران ۲۰۱۲). اعمال نانوسیلیکون با غلظت ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب موجب ۱۰/۳۸ و ۷/۶۵ درصد افزایش در ارتفاع بوته گردید. بر اساس نتایج حاصل از انجام این پژوهش حداکثر ارتفاع گیاه (۷۵/۳۳ سانتی‌متر) در شرایط دور آبیاری ۱۴ روز و محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر و حداقل آن (۶۰/۶۷ سانتی‌متر) در شرایط دور آبیاری ۲۸ روز و بدون محلول‌پاشی می‌باشد که در واقع معادل ۱۶/۸۴ درصد افزایش نسبت به شاهد است (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون به‌طور معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد، ارتفاع گیاه را افزایش داد. کاهش فشار آماس در شرایط تنش آبی منجر به کاهش انبساط سلولی شده که در نهایت منجر به کاهش پارامترهای رشد گیاه مانند ارتفاع گیاه، وزن کل اندام هوایی و عملکرد دانه می‌شود (تایز و زیگر، ۲۰۱۲). علاوه بر این گیاهان در تنش خشکی قادر به حفظ خود در برابر دیگر تنش‌های زیستی یا غیر زیستی نیستند در نتیجه بهره‌وری گیاه بیشتر محدود می‌شود (رامگودا و سنتیل‌کومار، ۲۰۱۵).

طول، عرض و تعداد پانیکول

اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح نانوسیلیکون بر طول، عرض و تعداد پانیکول در گیاه کینوا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین طول (۱۵/۳۳ سانتی‌متر)، عرض (۷/۲۳ سانتی‌متر) و تعداد پانیکول (۵/۶۰) به‌ترتیب در شرایط دور آبیاری ۱۴ روز و محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت‌های ۳۰، ۶۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین طول (۸/۸۰ سانتی‌متر)، عرض (۳/۶۷ سانتی‌متر) و تعداد پانیکول (۲/۷۰) در شرایط دور آبیاری ۲۸ روز و بدون محلول‌پاشی نانوسیلیکون مشاهده گردید (جدول ۴).

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در گیاه کینوا تحت تأثیر نانوسیلیکون و رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول پانیکول	عرض پانیکول	تعداد پانیکول	وزن کل اندام هوایی	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	بهره‌وری مصرف آب
تکرار	۲	۱/۰۲۸ ns	۰/۲۴۱ ns	۰/۲۸۷ *	۰/۱۶۱ ns	۰/۱۱۲ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۲۰ ns	۲/۱۲۱ ns	۰/۰۰۰
رژیم‌های آبیاری	۳	۱۳۷/۲۱۳**	۲۹/۸۲۹**	۹/۸۱۳**	۶/۲۶۱**	۱۵/۴۶۴**	۹/۷۶۶**	۱۱/۵۳۵**	۴۸۹/۵۰۴**	۰/۷۰۴**
خطای (الف)	۶	۱/۹۹۱	۰/۲۱۲	۰/۲۱۵	۰/۱۶۵	۰/۰۴۳	۰/۰۲۳	۰/۰۵۱	۲/۶۵۴	۰/۰۰۳
نانوسیلیکون	۲	۱۴۳/۳۶۱**	۲۳/۰۴۳**	۴/۴۸۰**	۳/۰۵۱**	۳/۳۰۰**	۱/۰۹۰ **	۰/۷۷۳**	۴۹/۰۰۶**	۰/۱۴۸**
رژیم‌های آبیاری × نانوسیلیکون	۶	۷/۹۹۱ ns	۰/۴۹۴ ns	۰/۳۳۱**	۰/۰۶۹ ns	۰/۰۸۶ ns	۰/۰۸۱**	۰/۱۷۸*	۱۲/۹۵۴**	۰/۰۲۵**
خطای (ب)	۱۶	۷/۱۶۷	۰/۷۹۵	۰/۰۷۰	۰/۱۰۶	۰/۱۴۸	۰/۰۱۶	۰/۰۵۰	۲/۴۲۰	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)	-	۷/۳۴	۹/۰۵	۱۹/۵۶	۲۱/۹۳	۱۳/۸۹	۱۹/۸۲	۲۵/۸۰	۲۰/۱۷	۲۹/۸۹

ns ، * و ** به‌ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌دار، معنی‌دار درسطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۴- اثر نانوسیلیکون و رژیم‌های مختلف آبیاری بر صفات مورفولوژیکی گیاه کینوا

سطوح نانوسیلیکون ($mg\ L^{-1}$)	رژیم‌های مختلف آبیاری (روز) ۷	۱۴	۲۱	۲۸	میانگین
	ارتفاع بوته (Cm)				
صفر	۶۴/۳۳ c	۶۸/۶۷ b	۶۳/۰۰ c	۶۰/۶۷ c	۶۴/۱۷ B
۳۰	۷۰/۶۷ b	۷۴/۶۷ a	۷۰/۶۷ b	۶۷/۳۳ bc	۷۰/۸۳ A
۶۰	۶۸/۳۳ b	۷۵/۳۳ a	۷۰/۶۷ b	۶۲/۰۰ c	۶۹/۰۸ A
میانگین	۶۷/۷۸ B	۷۲/۸۹ A	۶۸/۱۱ B	۶۳/۳۳ C	
	طول پانیکول (Cm)				
صفر	۱۱/۴۷ b	۱۲/۴۳ ab	۱۰/۳۰ bc	۸/۸۰ c	۱۰/۷۵ B
۳۰	۱۳/۹۷ a	۱۵/۳۳ a	۱۳/۵۷ a	۱۱/۰۳ b	۱۳/۴۸ A
۶۰	۱۳/۵۰ a	۱۴/۴۳ a	۱۲/۷۷ ab	۹/۵۰ bc	۱۲/۵۵ A
میانگین	۱۲/۹۸ AB	۱۴/۰۷ A	۱۲/۲۱ B	۹/۷۸ C	
	عرض پانیکول (Cm)				
صفر	۵/۱۳ b	۶/۱۳ ab	۵/۰۰ b	۳/۶۷ c	۴/۹۸ B
۳۰	۶/۹۳ a	۷/۱۷ a	۵/۶۰ b	۴/۴۷ bc	۶/۰۴ A
۶۰	۶/۰۷ ab	۷/۲۳ a	۵/۹۳ b	۴/۹۳ bc	۶/۰۴ A
میانگین	۶/۰۴ AB	۶/۸۴ A	۵/۵۱ B	۴/۳۶ C	
	تعداد پانیکول				
صفر	۳/۷۷ b	۴/۸۷ ab	۳/۶۰ b	۲/۷۰ c	۳/۷۳ B
۳۰	۴/۸۳ ab	۵/۶۰ a	۴/۶۳ ab	۳/۶۳ b	۴/۶۸ A
۶۰	۴/۲۳ b	۴/۶۷ ab	۳/۹۳ b	۲/۷۳ c	۳/۸۹ B
میانگین	۴/۲۸ AB	۵/۰۴ A	۴/۰۶ B	۳/۰۲ C	
	وزن کل اندام هوایی ($Kg\ ha^{-1}$)				
صفر	۹۶۶۶/۷ b	۱۰۰۰۰/۰ ab	۸۲۳۳/۳ c	۷۰۳۳/۳ d	۸۷۳۳/۳ B
۳۰	۱۰۴۳۳/۳ a	۱۰۹۶۶/۷ a	۹۴۳۳/۳ b	۸۰۶۶/۷ c	۹۷۲۵/۰ A
۶۰	۹۵۰۰/۰ b	۱۰۴۳۳/۳ a	۸۳۶۶/۷ c	۷۴۳۳/۳ cd	۸۹۳۳/۳AB
میانگین	۹۸۶۶/۷ A	۱۰۴۶۶/۷ A	۸۶۷۷/۸ B	۷۵۱۱/۱ C	

برای هر یک از پاسخ‌های گیاهی، میانگین‌هایی که در هر ردیف و یا در هر ستون در یک حرف بزرگ و یا میانگین‌هایی که در متن جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

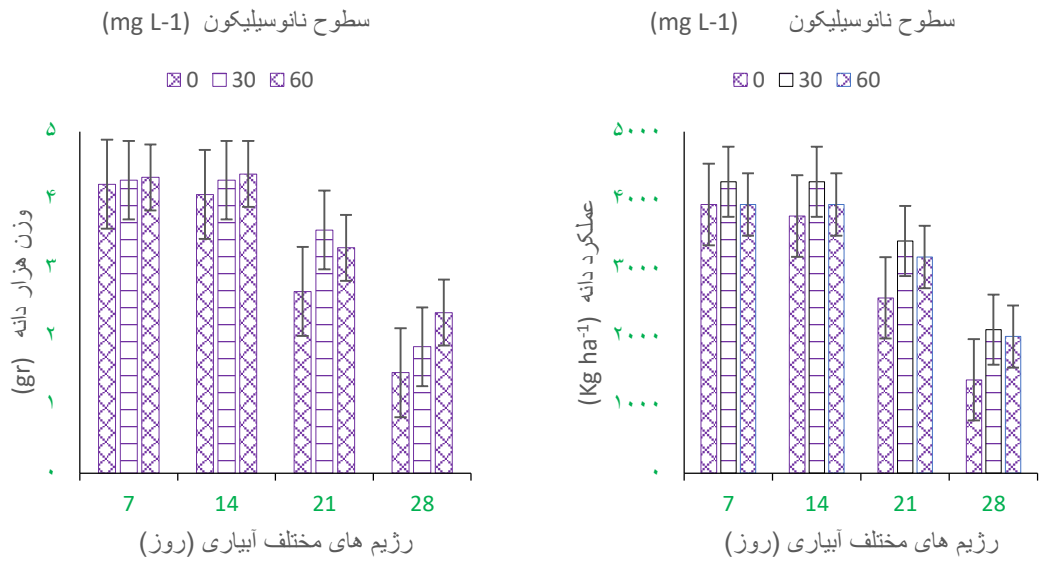
مقایسه میانگین‌ها نشان داد که پاسخ‌های گیاهی فوق در شرایط دور آبیاری ۲۱ و ۲۸ روز به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد (عدم تنش) کاهش یافت به‌طوری که این میزان کاهش در طول پانیکول به‌ترتیب ۵/۹۳ و ۲۴/۶۵ درصد، در عرض پانیکول به‌ترتیب ۸/۷۷ و ۲۷/۸۱ درصد و در تعداد پانیکول به‌ترتیب ۵/۱۴ و ۲۹/۴۴ درصد بدست آمد. از طرفی دیگر مصرف نانوسیلیکون با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش معنی‌داری در طول، عرض و تعداد پانیکول به‌ترتیب به‌میزان ۲۵/۴۰، ۲۱/۲۹ و ۲۵/۴۷ درصد گردید (جدول ۴).

وزن کل اندام هوایی

تنش‌های رطوبتی و محلول‌پاشی نانوسیلیکون اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر وزن کل اندام هوایی گیاه کینوا برجای گذاشت (جدول ۳). بررسی نتایج این پژوهش نشان داد که تنش رطوبتی بر وزن کل اندام هوایی گیاه کینوا تاثیر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت به‌طوری که در شرایط دور آبیاری ۲۱ و ۲۸ روز در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به میزان ۱۲/۰۵ و ۲۳/۸۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). حداقل (۹/۵۸ درصد) و حداکثر (۲۷/۲۴ درصد) کاهش در وزن کل اندام هوایی گیاه در اثر تنش رطوبتی به‌ترتیب مربوط به محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط دور آبیاری ۲۱ روز و عدم کاربرد نانوسیلیکون در شرایط دور آبیاری ۲۸ روز بدست آمد. تحقیقات نشان داده است که کاهش وزن اندام هوایی در شرایط تنش آبی می‌تواند به دلیل فشار آماس سلولی ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و همچنین کاهش میزان فتوستنز باشد (لولار و کورنیک، ۲۰۰۲). همچنین گزارش شده است که تنش آبی سبب کاهش سطح برگ و در نتیجه پایین آمدن جذب نور توسط پوشش گیاهی و بدنبال آن کاهش وزن اندام هوایی گیاه گردیده است (رادریگس و همکاران ۲۰۱۰). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به عدم کاربرد، وزن کل اندام هوایی را به‌ترتیب ۱۱/۳۶ و ۲/۲۹ درصد افزایش داد (جدول ۴). بیشترین وزن اندام هوایی گیاه (۱۰۹۶۶/۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط دور آبیاری ۱۴ روز بدست آمد که در واقع معادل ۹/۶۷ درصد افزایش در وزن اندام هوایی نسبت به شاهد می‌باشد. کمترین وزن اندام هوایی (۷۰۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به عدم محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط دور آبیاری ۲۸ روز بدست آمد. حداقل (۱/۶۲ درصد) و حداکثر (۱۴/۶۹ درصد) افزایش در وزن کل اندام هوایی گیاه در اثر مصرف نانوسیلیکون به‌ترتیب مربوط به محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط دور آبیاری ۲۱ روز و محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط دور آبیاری ۲۸ روز بدست آمد.

عملکرد و وزن هزار دانه

با توجه به نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه کینوا در سطح یک درصد معنی‌دار بدست آمد. همچنین اثرات متقابل تنش خشکی و کاربرد نانوسیلیکون بر صفات فوق در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار آماری بود. همانطور که در شکل یک مشاهده می‌گردد اعمال شرایط دور آبیاری‌های ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز، میانگین عملکرد دانه کینوا را نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۱/۳۷، ۲۴/۷۳ و ۵۴/۹۵ درصد کاهش داد. هر چند کاهش عملکرد دانه در اثر تنش رطوبتی در شرایط بدون مصرف نانوسیلیکون در شرایط دور آبیاری ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز نسبت به عدم تنش به‌ترتیب ۴/۲۳، ۳۴/۷۵ و ۶۵/۲۵ درصد بدست آمد اما این کاهش عمکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب صفر، ۲۰/۳۱ و ۵۰/۷۸ درصد و با محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم نانوسیلیکون در لیتر به‌ترتیب صفر، ۱۹/۴۹ و ۴۹/۱۵ درصد مشاهده گردید که بیانگر نقش نانوسیلیکون در تعدیل نمودن اثر منفی تنش رطوبتی در کاهش عملکرد دانه در گیاه کینوا می‌باشد.



شکل ۱- اثر نانوسیلیکون و رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه کینوا

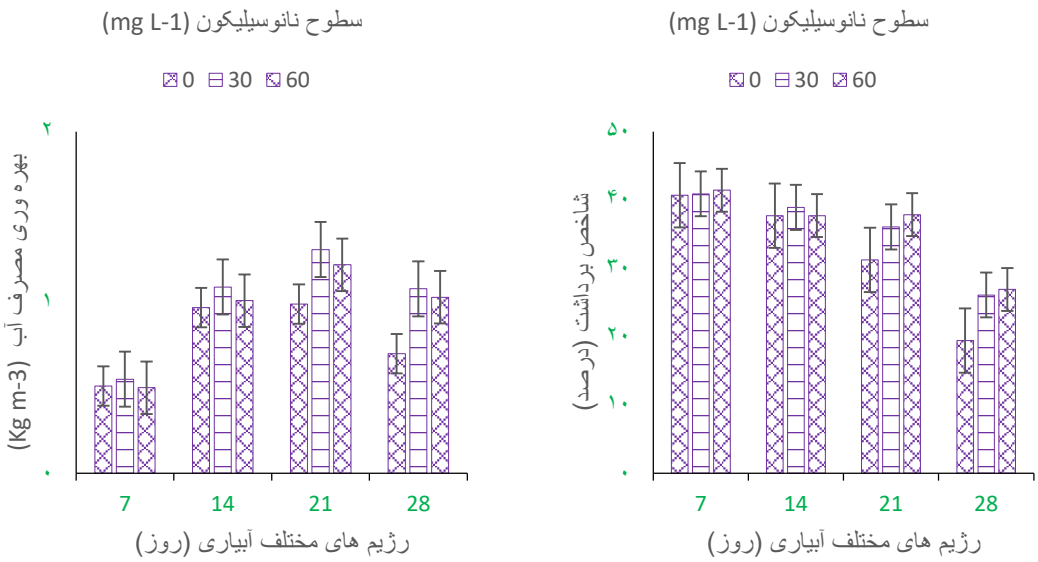
نتایج اثر نانوسیلیکون بر عملکرد دانه نشان داد که با محلول‌پاشی نانوسیلیکون میزان عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد به‌طوری که در غلظت ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر میزان افزایش میانگین عملکرد دانه نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۰/۶۳ و ۱۲/۰۳ درصد مشاهده شد (شکل ۱). حداکثر (۴۲۶۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار) و حداقل (۱۳۶۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه در گیاه کینوا به‌ترتیب مربوط محلول‌پاشی نانوسیلیکون با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط دور آبیاری ۱۴ روز و عدم محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط دور آبیاری ۲۸ روز بدست آمد.

اعمال تنش رطوبتی بر وزن هزار دانه نیز تأثیر معنی‌داری از نوع منفی برجای گذاشت بطوری که در دور آبیاری ۲۱ روز، وزن هزار دانه نسبت به شاهد ۲۶/۱۱ درصد و در دور آبیاری ۲۸ روز نسبت به شاهد ۵۵/۹۴ درصد کاهش نشان داد (شکل ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مصرف ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در مقایسه با سطح صفر آن به‌ترتیب سبب افزایش وزن هزار دانه به میزان ۱۲/۵۴ و ۱۵/۴۳ درصد گردید. بیشترین وزن هزار دانه (۴/۳۸ گرم) در شرایط دور آبیاری ۱۴ روز و با محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم نانوسیلیکون در لیتر حاصل گردید که نسبت به کمترین وزن هزار دانه (۱/۴۷ گرم) که در تیمار بدون مصرف نانوسیلیکون و در شرایط دور آبیاری ۲۸ روز مشاهده شد، ۱۹۷/۹۶ درصد افزایش را نشان می‌دهد (شکل ۱).

شاخص برداشت و بهره‌وری مصرف آب

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) تأثیر تنش‌های مختلف رطوبتی و محلول‌پاشی نانوسیلیکون و همچنین برهمکنش آن‌ها بر شاخص برداشت و بهره‌وری مصرف آب در گیاه کینوا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که اعمال تنش رطوبتی سبب کاهش در شاخص برداشت در گیاه کینوا می‌گردد (شکل ۲). بطور میانگین شاخص برداشت در شرایط دور آبیاری‌های ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز نسبت به عدم تنش به‌ترتیب ۷/۰۷، ۱۴/۵۳ و ۴۱/۱۶ درصد کاهش نشان داد. حداکثر شاخص برداشت (۴۱/۴۳ درصد) مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط دور آبیاری ۷ روز (عدم تنش رطوبتی) و حداقل آن (۱۹/۴۱ درصد) مربوط به بدون مصرف نانوسیلیکون در شرایط دور آبیاری ۲۸ روز مشاهده گردید که بیانگر ۱۱۳/۴۵ درصد اختلاف می‌باشد. مقایسه میانگین‌های شاخص برداشت در گیاه نیز نشان داد که علی‌رغم کاهش آن در اثر تنش رطوبتی اما

مصرف نانوسیلیکون توانسته است میزان شاخص برداشت را در گیاه کینوا نسبت به شاهد، افزایش دهد بطوری که مصرف ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون نسبت به شاهد به‌ترتیب سبب ۱۰/۰۱ و ۱۱/۵۳ درصد افزایش در آن گردید (شکل ۲).



شکل ۲- اثر نانوسیلیکون و رژیم‌های مختلف آبیاری بر شاخص برداشت و بهره‌وری مصرف آب در کینوا

بهره‌وری مصرف آب با اعمال تنش رطوبتی در ابتدا افزایش و سپس در شرایط دور آبیاری ۲۸ روز کاهش نشان داد بطوری که در شرایط دور آبیاری‌های ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز نسبت به شاهد به‌ترتیب ۹۶/۱۵، ۱۲۵ و ۷۸/۸۴ درصد افزایش یافت (شکل ۲). از طرف دیگر محلول‌پاشی نانوسیلیکون سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب در گیاه کینوا گردید. کاربرد نانوسیلیکون به‌صورت برگ‌پاشی در غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب سبب ۲۶/۵۸ و ۱۸/۹۹ درصد افزایش در بهره‌وری مصرف آب در گیاه شد. حداکثر بهره‌وری مصرف آب (۱/۳۱ کیلوگرم در مترمکعب) مربوط به محلول‌پاشی ۳۰ میلی-گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط دور آبیاری ۲۱ روز و حداقل آن (۰/۵۰ کیلوگرم در مترمکعب) مربوط به عدم مصرف نانوسیلیکون در شرایط بدون تنش رطوبتی می-باشد که بیانگر ۱۶۲ درصد افزایش است.

نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که اعمال تنش رطوبتی در شرایط دور آبیاری ۲۱ و ۲۸ روز بر ارتفاع، طول، عرض و تعداد پانیکول، وزن کل اندام هوایی، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت در گیاه کینوا تأثیر منفی بر جای گذاشت. از طرفی دیگر کاربرد نانوسیلیکون به‌صورت برگ‌پاشی سبب افزایش شاخص‌های فوق در شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی گردید. بطور کلی می‌توان گفت که نانوسیلیکون بدلیل تأثیر در ارتقاء رشد و افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی می‌تواند نقش موثری در پایین آوردن اثرات منفی تنش‌های رطوبتی در گیاهان داشته باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیریت محترم پردیس آموزشی علی-آباد کمین واقع در شهرستان پاسارگاد، که صمیمانه ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند قدردانی می‌نماییم.

منابع مورد استفاده

Abedi MJ, Nairizi S, Ebrahimi Birang N, Maherani M, Khaledi H, Mehrdadi N and Cheraghi AM. 2002 Saline Water Utilization in Sustainable Agriculture. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, 224p.

Ahmadi SH, Solgi S and Sepaskhah AR. 2019. Quinoa: A super or pseudo-super crop? Evidences from evapotranspiration, root growth, crop coefficients, and water productivity in a hot and semi-arid area under three planting densities. Agricultural Water Management, 225: 105784.

Aly AA, Al-Barakah FN and El-Mahrouky MA. 2018. Salinity Stress Promote Drought Tolerance of Chenopodium Quinoa Willd. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 49(11): 1331-1343.

Aziz A, Akram NA and Ashraf M. 2018. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. Plant Physiology and Biochemistry, 123: 192-203.

Dakora FD and Nelwamondo A. 2003. Silicon nutrition promotes root growth and tissue mechanical strength in symbiotic cowpea. Functional Plant Biology, 30 (9): 947-953.

Hadi H, Seyed Sharifi R and Namvar A. 2016. Phytoprotectants and Abiotic Stresses. Urmia University press, 342p.

Iqbal S, Basra SM, Afzal I, Wahid A, Saddiq MS, Hafeez MB and Jacobsen SE. 2019. Yieldpotential and salt tolerance of quinoa on salt-degraded soils of Pakistan. Journal of Agronomy and Crop Science, 205 (1): 13-21.

Jamali S. 2016. Investigating the combined effect of different levels of salinity and irrigation low on the yield and yield components of Quinoa plant. Master's thesis in irrigation and drainage. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).

Jayme-Oliveira A, Ribeiro Júnior WQ, Ramos MLG, Ziviani AC and Jakelaitis A. 2017. Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 52(8): 561-571.

Jongrungklang N, Toomsan B, Vorasoot N, Jogloy S, Boote KJ, Hoogenboom G and Patanothai A. 2013. Drought tolerance mechanisms for yield responses to pre-flowering drought stress of peanut genotypes with different drought tolerant levels. Field Crops Research, 144: 34-42.

Kooyers NJ. 2015. The evolution of drought escape and avoidance in natural herbaceous populations. Plant Science, 234: 155-162.

Kusvuran S. 2012. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). African Journal of Agricultural Research, 7(5): 775-781.

Lawlor DW and Cornic G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plant. Plant Cell & Environment, 25: 249-279.

Liu F, Andersen MN and Jensen CR. 2004. Root signal controls pod growth in droughtstressed soybean during the critical, abortion-sensitive phase of pod development. Field Crop Research, 85:159-166.

Parsapour O, Bakhshandeh AM, Gharineh MH, Feizi H and Moradi Telavat MR. 2019. The effect of foliar application of nano- and bulk silicon dioxide particles on grain yield and redistribution of dry matter in wheat under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12 (2): 377-388.

Prasad TN, Sudhakar P, Sreenivasulu Y, Latha P, Munaswamy V, Raja Reddy K, Sreeprasad TS and Sajanlal PR. 2012. Effect of nanoscale Zinc-oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition, 35: 905-927.

Ramegowda V and Senthil-Kumar M. 2015. The interactive effects of simultaneous biotic and abiotic stresses on plants: Mechanistic understanding from drought and pathogen combination. J. Plant Physiology, 176: 47- 54.

Repo-Carrasco R, Espinoza C and Jacobsen S E. 2003. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Reviews International, 19 (1-2): 179-189.

Rodrigues JG, Edvardo PMJ, Forner B and Angeles F. 2010. Citrus rootstock response to water stress. Scientia Horticulturae, 126: 95-102.

Roychoudhury A. 2020. Silicon-nanoparticles in crop improvement and agriculture. International Journal on Recent Advancement in Biotechnology & Nanotechnology, 3: 54-65.

Sadiq M, Akram NA, Ashraf M and Ali S. 2017. Tocopherol confers water stress tolerance: sugar and osmoprotectant metabolism in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. Agrochimica, 61 (1): 28-42.

Sephovand NA, Serhangi M, Mehrabi A and Mustafavi Kh. 2015. Investigating the genetic diversity of Quinoa morphotypes using microsatellite molecular markers. New genetics, 10 (1): 115-122. (In Persian).

Sezen SM, Yazar A, Tekin S and Yildiz M. 2016. Use of drainage water for irrigation of quinoa in a Mediterranean environment. In Proceedings of 2nd World Irrigation Forum (WIF2), pp. 6-8.

Song Q, Liu C, Bachir DG, Chen L and Hu YG. 2017. Drought resistance of new synthetic hexaploid wheat accessions evaluated by multiple traits and antioxidant enzyme activity. Field Crops Research, 210: 91-103.

Taiz L and Zeiger E. 2012. Plant Physiology. Sinauer Associates Inc., Publishers, Sunderland, MA, pp. 769.

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 275-294

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

Improvement of Physiological Indices of Growth and Root Yield of sugar beet through Seed Hydropriming and Foliar Application of humic acid under Delayed Planting Conditions

Ali Sarkhosh[1], Mohammad Ali Aboutalebian[2*], Hamed Mansouri[3]

Received: 11 May 2023 22	Accepted: September 2023

1- Ph.D Student of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, , Hamedan, Iran.
2-Assoc. Prof., Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, , Hamedan, Iran.
3- Scientific Staff of Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center
*Corresponding Author Email: m.aboutalebian@basu.ac.ir

Abstract

Background & Objective: This study was conducted with the aim of investigating the interaction of planting date, hydropriming of seeds and humic acid foliar application on the growth physiological indices and root yield of sugar beet.

Materials & Methods: The research was conducted as a split plot factorial based on a randomized complete block design with three replications. The main factor was planting dates (March 25, April 8 and 22, May 6) and hydropriming (primed and unprimed) and humic acid (water and humic acid spray) were factorially placed in sub-plots.

Results: The effect of planting date, hydropriming and humic acid foliar were significant on the growth indices and root yield. Planting date had the greatest effect and the highest maximums of leaf area index and crop growth rate, net assimilation rate, relative growth rate and root yield were related to March 25th planting date and the lowest were obtained on May 6th planting date. On the last planting date, hydropriming alone caused an increase of 17.5% and 24.4% relative growth rate and tuber yield, respectively, compared to the treatment water spraying without hydropriming.

Conclusion: If both seed hydropriming and humic acid foliar spraying are done at the same time, it will increase plant growth indices and improve root yield. In case of a 6-week delay in planting (planting on May 6), separate application of hydropriming is preferable to spraying humic acid, and their combination use can completely compensate for the effects of a 2-week delay in planting.

Keywords: Crop Growth Rate, Leaf Area Index, Net Assimilation Rate, Total Dry Matter, Relative Growth Rate, Root Yield

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Mohammad Ali Aboutalebian Email: m.aboutalebian@basu.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2023.56557.3044

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۲۹۴-۲۷۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

بهبود شاخص های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد ریشه چغندرقند از طریق هیدروپرایمینگ بذر و محلول پاشی اسید هیومیک در شرایط تاخیر کاشت

علی سرخوش[۱] ، محمد علی ابوطالبیان *[۲]، حامد منصوری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱

۱- دانشجوی دکترای اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
۳- عضو هیات علمی بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
*مسئول مکاتبه: Email: m.aboutalebian@basu.ac.ir

چکیده

اهداف: پژوهش حاضر با هدف بررسی برهمکنش تاریخ کاشت، هیدروپرایمینگ بذر و محلول پاشی اسید هیومیک بر شاخص های رشد و عملکرد چغندرقند انجام گردید.

مواد و روش ها: این پژوهش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل اجرا شد. عامل اصلی چهار تاریخ کشت ۵ و ۱۹ فروردین، ۲ و ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۰ و عوامل هیدروپرایمینگ (پرایم شده و پرایم نشده) و محلول پاشی اسید هیومیک (اسپری آب و محلول پاشی ۶ در هزار) بصورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار داده شدند.

یافته ها: تاثیر تاریخ کاشت، هیدروپرایمینگ و محلول پاشی اسید هیومیک بر شاخص های رشد و عملکرد چغندرقند مثبت و معنی‌دار بود. تاریخ کاشت بیشترین تاثیر را داشت و بیشترین بیشینه‌های شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، سرعت رشد نسبی و عملکرد ریشه مربوط به تاریخ کاشت پنجم فروردین بود و کمترین آنها در تاریخ کاشت شانزدهم اردیبهشت بدست آمد. در تاریخ کشت آخر، هیدروپرایمینگ به تنهایی به‌ترتیب سبب افزایش ۱۷/۵ و ۲۴/۴ درصدی سرعت رشد نسبی و عملکرد غده نسبت به تیمار اسپری آب بدون هیدروپرایمینگ گردید.

نتایج: اگر هر دو تیمار هیدروپرایمینگ و محلول پاشی اسید هیومیک همراه با هم انجام شود، سبب افزایش رشد بوته و بهبود شاخص های رشد و عملکرد غده می شود. در صورت تاخیر ۶ هفته ای کاشت (کشت ۱۶ اردیبهشت) کاربرد جداگانه هیدروپرایمینگ بر محلول پاشی اسید هیومیک ارجحیت دارد و مصرف همراه با هم آنها می تواند عوارض تاخیر کاشت دو هفته ای را کامل جبران کند.

واژه های کلیدی: کل ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، سرعت رشد نسبی، عملکرد ریشه

مقدمه

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) یک محصول ریشه ای تجاری مهم است که تقریباً ۲۰ درصد از تولید جهانی شکر را تأمین می کند (پوگلیسی و همکاران ۲۰۲۰). در سال ۲۰۲۰ تولید چغندر قند در جهان حدود ۲۵۳ میلیون تن بوده و کشور روسیه با تولید ۳۴ میلیون تن بزرگترین تولید کننده این محصول و ایران با تولید ۶/۵ میلیون تن، یازدهمین تولید کننده این محصول در جهان بوده است (فائو ۲۰۲۰). در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ محصول چغندر قند سومین محصول زراعی آبی در ایران با سطح کشتی بالغ بر ۱۲۰ هزار هکتار بوده که ۹/۹ درصد از کل تولید محصولات زراعی آبی کشور را شامل شده و استان آذر بایجان غربی بالاترین میزان سطح کشت و تولید این محصول را دارا بوده و استان همدان با سطح زیر کشت ۸۳۱۷ هکتار ششمین استان از نظر سطح زیر کشت و تولید این محصول بوده است. سطح زیر کشت این محصول در شهرستان اسدآباد حدود ۲۴۹۵ هکتار و با میانگین تولید ۷۱۲۳۱ کیلوگرم عملکرد ریشه در سال ۱۴۰۰ اعلام شده است (وزارت جهاد کشاورزی ۲۰۲۰). در شرایط محیطی خشک، تاریخ کاشت مناسب چغندرقند نقش حیاتی در رشد، تولید، صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دارد. گزارش شده است که کاشت زودهنگام چغندرقند باعث تولید بالاترین عملکرد ریشه می شود (گوباره و همکاران ۲۰۱۹). مشخص شده است که شاخص سطح برگ چغندرقند در تاریخ کاشت اول اردیبهشت بالاتر از تاریخ کاشت سوم خرداد بوده و عملکرد ماده خشک کل در تاریخ کاشت زودتر به طور معنی داری بیشتر از تاریخ کاشت تأخیری بود. بنابراین، مراحل رشد در تاریخ کاشت زودتر نسبت به تاریخ کاشت تأخیری از انطباق بهتری با تغییرات فصلی تابش خورشید و دما برخوردار است (سلیمانی و همکاران ۲۰۰۳). هافمن(۲۰۱۹) بیان داشت زمان لازم جهت دریافت واحدهای گرمائی مورد نیاز جهت رسیدن به شاخص سطح برگ مطلوب در تاریخ کاشت زودتر، نسبت به تاریخ کاشت تاخیری بیشتر بود. مقداد و همکاران(۲۰۲۱) با کاشت چغندر قند در تاریخ های اول سپتامبر و اول اکتبر نشان دادند که کاشت زودهنگام (اول سپتامبر) منجر به بهبود قابل توجهی در تمام صفات فیزیولوژیکی و رشد گیاه نسبت به کاشت تاخیری(اول اکتبر) شد.

فرآیند جوانه‌زنی یک مرحله حساس برای رشد گیاه است و به شدت با کیفیت بذر مرتبط است (رحمان و همکاران ۲۰۱۵). متأسفانه، بهره‌وری بذر چغندرقند اغلب به دلیل جوانه‌زنی ناهمگن در مزرعه، احتمالاً به دلیل وجود مواد بازدارنده در پریکارپ بذر و همچنین حملات عوامل بیماری‌زا، محدود می‌شود (دوتو و سیلویا ۲۰۱۷). تأثیرات محیطی مانند دمای پایین خاک یا سله بستن سطح خاک معمولاً ظهور گیاهچه و رشد سریع گیاهچه را کاهش می دهد و چغندرقند برای توسعه مطلوب در مزرعه، به سبز شدن و استقرار سریع و همگن نیاز دارد (بزهین و همکاران ۲۰۱۸). پرایمینگ بذر به عنوان یک تکنیک پیش از کاشت می‌تواند خروج ریشه چه، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص ویگور گیاهچه، استقرار و عملکرد گیاه را با تغییر در فعالیت‌های متابولیکی در بذر بسیاری از محصولات کشاورزی بهبود بخشد (موسوی کیا و همکاران ۲۰۲۰). هنگامی که بذر پرایم شده در محیط مناسب جوانه زنی قرار میگیرد، سریعتر از بذرهای پرایم نشده جوانه می زند (لی مایر و همکاران ۲۰۰۸). در طی پرایمینگ، بذرها یک فرآیند فیزیولوژیکی را طی می کنند، یعنی هیدراتاسیون و خشک شدن کنترل شده که منجر به افزایش و بهبود فرآیند متابولیک جوانه زنی می شود(داوود ۲۰۱۸). پرایمینگ بذر از طریق افزایش فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدانت از قبیل گلوتاتیون و آسکوربات، فعالیت پراکسیداسیون لیپید را طی جوانه زنی کاهش داده و باعث افزایش شاخص های جوانه زنی و رشد گیاهچه و عملکرد ریشه چغندر قند در شرایط شوری میشوند. محققین اعلام کردند، پرایمینگ بذر میتواند راهکار مفیدی جهت بهبود رشد اولیه و عملکرد چغندر قند در شرایط محیطی نرمال (بدون تنش) و تنش شود (پدرام و همکاران ۲۰۱۷). فرج زاده معماری تبریزی و قطبی(۲۰۱۷) اعلام کردند پرایمینگ بذر چغندر قند باعث بهبود در سرعت جوانه

زنی، درصد جوانه زنی و شاخص سطح برگ و افزایش مقدار جیبرلین و درنتیجه بهبود فعالیت آلفا آمیلاز شده و آن را از مهمترین دلایل افزایش رشد و عملکرد چغندرقند دانستند.

مواد هیومیکی (HS) ترکیبات طبیعی، پیچیده و ناهمگنی از ترکیبات آلی چند گانه هستند. مواد هیومیکی در نتیجه فرایند هیومیفیکاسیون[1] تشکیل می شوند که دومین فرآیند آلی بزرگ روی زمین پس از فتوسنتز است که شامل واکنش های بیوشیمیایی و شیمیایی است که در طی پوسیدگی و تبدیل بقایای گیاهی و میکروبی رخ می دهد (شارما و آنتا ۲۰۱۶). از اثرات فیزیولوژیکی مواد هیومیک می توان به ایجاد کلوئیدهای هیومیک (کایا و همکاران ۲۰۱۸ و الحسنین و همکاران ۲۰۱۶)، ارتقاء جذب یون با واسطه سنتز و عملکرد پروتئین های غشایی به ویژه پمپ های پروتون(آزودو و همکاران ۲۰۱۹)، تغییر در تعادل یون‌ها (راموس و همکاران ۲۰۱۵)، جلوگیری از استرس اکسیداتیو (گارسیا و همکاران ۲۰۱۲)، کاهش غلظت H_2O_2، افزایش سطح پرولین سلولی (گارسیا و همکاران ۲۰۱۶)، افزایش رشد سلولی (آگویار و همکاران ۲۰۱۸) و در نهایت افزایش عملکرد (کانلاس و همکاران ۲۰۱۹) اشاره کرد. تاثیر مثبت و معنی دار کاربرد خاکی، محلول پاشی و پرایم بذر با اسید هیومیک درلوبیا گزارش شده است (واگاس و همکاران ۲۰۱۴). محلول پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش محصول پیاز و قندهای محلول آن گردید(کندیل و همکاران ۲۰۱۳). گزارش شده محلول پاشی اسید هیومیک از نظر آماری باعث بهبود تجمع ساکارز، قند قابل استحصال، خلوص، درصد استخراج قند و عملکرد چغندرقند گردید (الحسنین و همکاران ۲۰۱۶). در تحقیقی روی چغندرقند گزارش شد که کاربرد چهار سطح مختلف اسید هیومیک به میزان ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم در هکتاربه صورت محلول‌پاشی در سه مرحله چهار، هشت (پس از وجین) و شانزده برگی (پس از دومین خاکدهی) بیشترین شاخص سطح برگ و عملکرد ریشه در غلظت شش لیتر در هکتاراسید هیومیک و کمترین میزان آن در شرایط عدم کاربرد اسید هیومیک مشاهده شد (اسماعیلی و تدین ۲۰۱۹). نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که کوددهی چغندرقند با ۷/۵ کیلوگرم هومات پتاسیم منجر به مقادیر بالاتر شاخص سطح برگ، رنگدانه‌های فتوسنتزی، قطر ریشه، وزن تر و عملکرد ریشه گردید (هیتام و همکاران ۲۰۲۱).

از آنجا که خلاء عملکرد چغندرقند در ایران حدود ۴۵ درصد برآورد شده است (محمد زاده و همکاران ۲۰۲۱) به نظر می رسد استفاده از تکنیک های ساده و کم هزینه ای همچون هیدروپرایمینگ بذر، انتخاب بهترین زمان کاشت و محلول پاشی اسید هیومیک باعث بهبود شاخص های فیزیولوژیکی رشد چغندر قند و در نهایت تولید عملکرد ریشه بیشتر با کاربرد نهاده های زراعی مناسب باشد که در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه پرایمینگ بذر و محلول پاشی اسید هیومیک بر برخی شاخص های فیزیولوژیک رشد و عملکرد چغندر قند در تاریخ های مختلف کاشت، آزمایشی به صورت بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در شهرستان اسدآباد با مختصات جفرافیائی "۲۴ '۴۶ °۳۴ عرض شمالی و "۳۰ '۰۴ °۴۸ طول شرقی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. عامل اصلی چهار تاریخ کشت ۵ و ۱۹ فروردین، ۲ و ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۰ بود و عوامل هیدروپرایمینگ (در دو سطح بذور هیدرو پرایم شده و پرایم نشده) و محلول پاشی اسید هیومیک (در دو سطح محلول پاشی ۶ در هزار اسید هیومیک و اسپری آب معمولی) بصورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی منظور شدند. محلول پاشی طی دو مرحله ۶-۴ برگی (مرحله رشد برگی مطابق با کد ۱۵) و زمانی که کانوپی ۳۰-۲۰ درصد سطح زمین را پوشانده بود (مرحله پوشش رزت مطابق با کد ۳۳) بر اساس مقیاس BBCH[2] انجام شد (سینار و اونای رقم مورد استفاده در این طرح دوروتی بود که از کارخانه قند هکمتان همدان تهیه شد. مبدا این رقم کشور فرانسه است و تولید شرکت سینجنتا می‌باشد که در سال

[1] -Humification

[2] - Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and CHemical industry

۱۳۷۹ معرفی شده است. دارای تیپ رشد بهاره، با عملکرد ریشه و عیار بالا بوده و مقاوم به رایزومانیا، رایزوکتونیا و خشکی می‌باشد. رقم دوروتی با رشد و توسعه مطلوب و برداشت آسان به دلیل ریشه مخروطی شکل و بدون انشعاب، مورد علاقه کشاورزان ایران می‌باشد (باقری شیروان و همکاران ۲۰۲۰).

برای تعیین بهترین زمان هیدروپرایمینگ بذر پیش آزمایشی با زمان های مختلف هیدرو پرایمینگ (۱۲ تا ۳۲ ساعت) انجام و با بررسی نتایج به دست آمده از سرعت جوانه زنی، بهترین تیمار ۲۸ ساعت هیدروپرایمینگ تعیین گردید. سپس بذور تیمار شده در دمای معمولی خشک و در محیط مناسب نگهداری گردید و قبل از کاشت با سم کاربوکسین تیرام ضد عفونی گردید. هر کرت از ۶ خط کاشت با فواصل ۵۰ سانتی‌متر به طول ۵ متر با تراکم ۱۰ بوته در متر مربع تنظیم شد و فاصله بین کرت ها یک خط نکاشت و فاصله بین بلوک ها ۲ متر در نظر گرفته شد. کودهای فسفاته و پتاسه و یک سوم کود مورد نیاز نیتروژنی بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) قبل از کاشت (به میزان ۲۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، ۲۵۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره) و دو سوم بعدی کود نیتروژنی در دو مرحله و پس از عملیات وجین علف های هرز مصرف گردید. آبیاری به روش بارانی کلاسیک ثابت و با رایزرهای Zk30 صورت گرفت. پس از استقرار بوته ها در سطح خاک و انجام مراحل محلولپاشی اسید هیومیک از ۴۰ روز پس از کاشت به فاصله هر ۱۵ روز ۸ مرحله نمونه برداری به منظور ارزیابی شاخص های فیزیولوژیک انجام گرفت و در هر بار نمونه گیری پنج بوته از نیمه اول هر کرت برداشت و سطح برگ و وزن خشک بخش هوائی و غده ها در طی فصل رشد اندازه گیری شد. کل برگ‌های تازه نمونه های چغندرقند از ریشه‌ها جدا شد تا طول و عرض (در پهن‌ترین قسمت) برگ تعیین شود که برای محاسبه سطح برگ (LA) استفاده شد(وارگا و همکاران ۲۰۲۱).

$$LA = \text{طول برگ (سانتی متر)} \times \text{عرض برگ (سانتی متر)} \times ۰/۷۵$$ (رابطه ۱)

برداشت نهایی از کرت ها پس از سپری شدن ۱۸۰ روز از تاریخ کاشت، در چهار مرحله و با فاصله دو هفته ای در تاریخ های ۳۱ شهریور، ۱۴ مهر، ۲۸ مهر و ۱۲ آبان انجام شد. نمونه برداری با حذف دو ردیف کناری و حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت از چهار ردیف وسط کرت در سطحی معادل ۲ متر مربع صورت گرفت. عملیات برداشت (شامل کندن و سرزنی چغندر قند) به صورت دستی و توسط نیروی کارگری انجام شد. شرایط اقلیمی ماه‌های رشد در جدول ۲ آورده شده است. برای برآورد مقادیر شاخص سطح برگ روزانه از برازش معادله (۲) استفاده شد(دولت پرست و همکاران ۲۰۲۳):

$$LAI = a + b \times 4 \times (\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2$$ (رابطه ۲)

که در آن a عرض از مبداء b زمان رسیدن به حداکثر LAI و c حداکثر LAI و d نقطه عطف منحنی مطابق با زمانی است که در آن رشد برگ وارد مرحله خطی می شود و x زمان بر حسب روز پس از کاشت است. مقادیر تجمع ماده خشک نیز از برازش معادله (۳) بدست آمد (دولت پرست و همکاران ۲۰۲۲):

$$TDM = á / (1 + b' \times \exp(-ć \times x))$$ (رابطه ۳)

که در آن TDM تجمع ماده خشک بر حسب گرم بر متر مربع، á حداکثر تجمع ماده خشک، b' ثابت معادله، ć سرعت رشد نسبی و x زمان بر حسب روزهای پس از کاشت است. برای محاسبه سرعت رشد محصول چغندر قند(CGR) از روش مشتق گیری از معادله تجمع ماده خشک و برای محاسبه سرعت رشد نسبی(RGR) از مشتق معادله سرعت رشد (صدرآبادی حقیقی و همکاران ۲۰۱۱) و برای محاسبه میزان جذب خالص(NAR) نیز ازمعادله (۴) استفاده شد (نصرت و همکاران ۲۰۲۰):

$$NAR = CGR/ LAI$$ (رابطه ۴)

در پژوهش حاضر، داده های مربوط به بیشینه‌های منحنی های شاخص سطح برگ، وزن خشک کل و سرعت رشد محصول با استخراج از روابط رگرسیونی بدست آمده، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین شدند. همچنین داده های مربوط به سرعت رشد نسبی و میزان جذب خالص در هنگامی که سرعت رشد گیاه (CGR) در بیشینه خود بوده است، مورد تجزیه واریانس و مقایسه میانگین قرار گرفتند. در پایان فصل رشد برای اندازه گیری عملکرد غده از نیمه دوم هر کرت دو متر مربع برداشت شد و داده ها با استفاده از نرم افزار SAS بعد از اطمینان از نرمال بودن باقیمانده ها آنالیز واریانس شد و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد استفاده شد. به منظور تهیه نمودار روند تغییرات شاخص های فیزیولوژیک رشد از برنامه Excel و برای برازش داده از نرم افزارSlide Write V7.01 استفاده شد (دولت پرست و همکاران ۲۰۲۳).

جدول ۱- نتایج آزمون خاک محل اجرای آزمایش

عمق نمونه برداری (cm)	بافت خاک	رس (٪)	سیلت (٪)	شن(٪)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	واکنش (pH)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)
۰-۳۰	لوم	۲۲/۷۲	۴۴/۷۲	۳۲/۵۶	۰/۲۶	۷/۸	۱/۱	۰/۱	۱۰/۴	۱۷۸

جدول ۲- پارامتر های اقلیمی منطقه مورد آزمایش

پارامتر اقلیمی	ماه							
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
مجموع بارش (mm)	۹/۲	۲۸/۳	۱/۶	۰	۱/۸	۰	۰	۳۵/۶
مجموع تبخیر (mm)	۱۶۹/۶	۲۲۹/۱	۳۳۳/۱	۳۶۰/۱	۳۴۴/۸	۳۸۰/۳	۱۹۰/۲	۴۹/۲
مجموع ساعات آفتابی	۲۷۹/۸	۲۸۲/۷	۳۶۸/۲	۳۷۰/۳	۳۱۶/۴	۳۴۶	۳۰۷/۴	۱۵۰/۷
بیشینه سرعت باد($km\ h^{-1}$)	۲۷	۲۲	۲۳	۱۰	۹	۹	۱۶	۱۲
میانگین دما (°C)	۱۱	۱۶/۵	۲۱	۲۵	۲۴/۹	۲۲	۱۵/۳	۷
میانگین دمای کمینه (°C)	۳/۲	۶/۴	۱۱/۹	۱۵/۵	۱۷/۲	۱۱/۲	۶/۸	۲/۱
میانگین دمای بیشینه (°C)	۲۰	۲۶/۴	۳۲/۱	۳۶/۸	۳۸/۳	۳۴/۱	۲۹/۱	۱۹/۴
میانگین رطوبت نسبی(%)	۳۹	۴۱	۲۵/۸	۲۰/۸	۲۵/۲	۲۰/۳	۳۱	۷۱

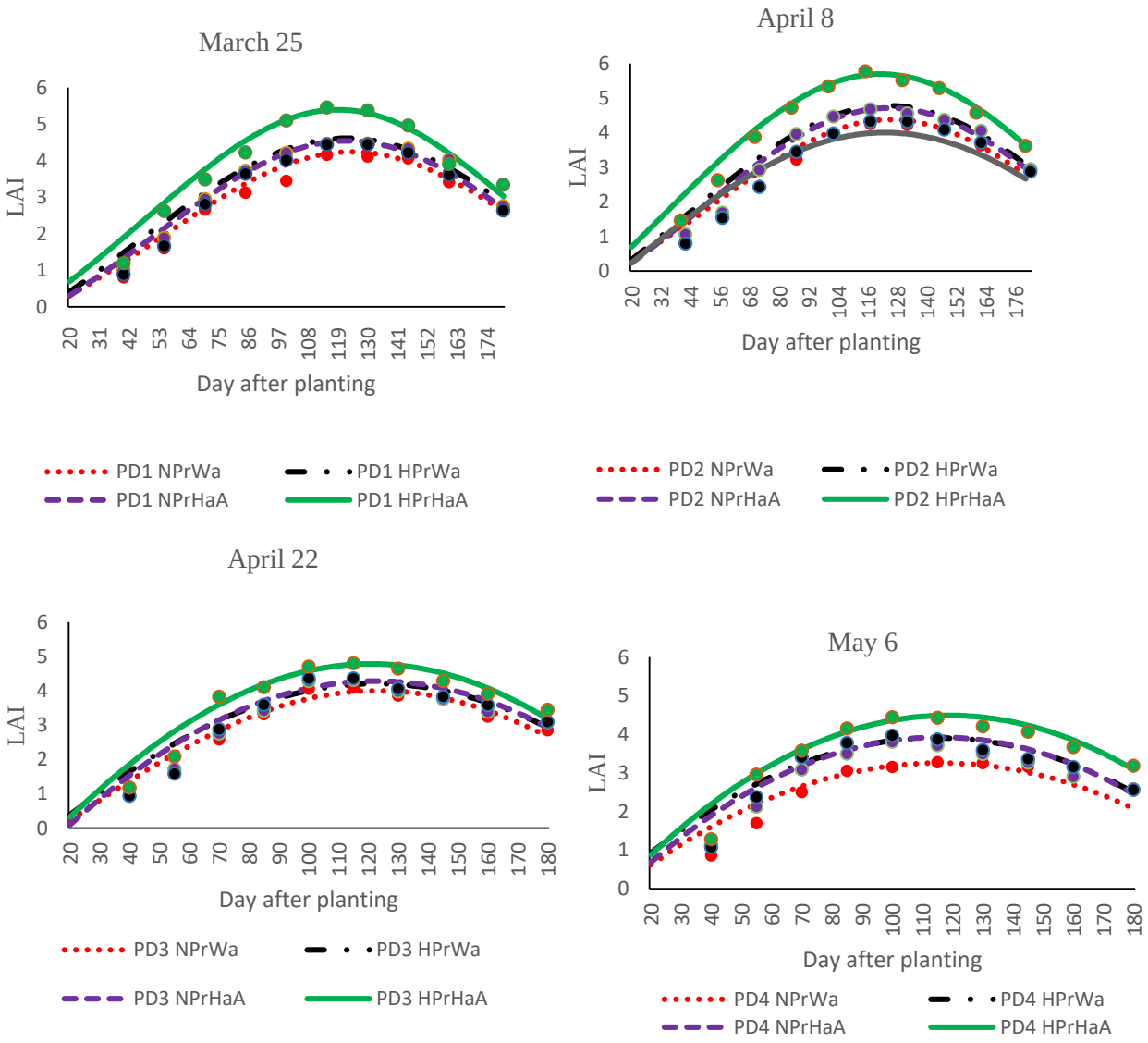
نتایج و بحث

در جدول ۳ ضرایب رگرسیونی بکار رفته در نمودارهای شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک کل آورده شده است.

شاخص سطح برگ(LAI)

این شاخص تحت تاثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت و هر سه عامل اصلی تاریخ کاشت، پرایمینگ بذر و محلول پاشی اسید هیومیک در سطح یک درصد و برهمکنش پرایمینگ در اسید هیومیک در سطح پنج درصد بر روی بیشینه شاخص سطح برگ معنی دار شدند (جدول ۴). تغییرات شاخص سطح برگ در تمام تیمارها دارای الگوی سیگموئیدی بود. در اوایل رشد و تا ۴۰ روز پس از کاشت سطح برگ به دلیل کوچک بودن برگها و کامل نبودن پوشش گیاهی پائین بود اما از این مرحله به بعد، در تمام تیمارها رشد سریع آغاز شد و این مرحله تا رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ ادامه یافت، پس از آن به دلیل پیر شدن برگها، روند تغییرات شاخص

سطح برگ به صورت کاهشی بود (شکل ۱). به طور کلی اهمیت سطح برگ در رابطه با رشد ریشه چغندرقند و عملکرد یک عامل شناخته شده است. در یک تحقیق، شاخص سطح برگ بهینه برای چغندرقند از اواسط ژوئن(خرداد) تا پایان جولای(تیر) بدست آمد (جکلی و همکاران ۲۰۱۸).



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ چغندرقند تحت تأثیر پرایمینگ بذر و محلول پاشی اسید هیومیک در تاریخ های مختلف کاشت. P تاریخ کاشت (Planting Date)، بدون پرایمNP (No Priming)، پرایم با آبHP (Hydro Priming)، محلولپاشی با آبW(Water Foliar Application) و محلول پاشی با اسید هیومیک HA (Humic Acid Foliar Application). Simple۱-۴ نمونه برداری های انجام شده در طول دوره آزمایش.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ در اسید هیومیک، شاخص سطح برگ بیشینه در ترکیب تیماری بدون پرایمینگ و مصرف اسید هیومیک کمترین میزان را به خود اختصاص داد در صورتی‌که کاربرد همراه با هم هیدروپرایمینگ بذر و محلول‌پاشی اسید هیومیک شاخص سطح برگ بیشینه را ۲۴/۵ درصد افزایش داد (جدول ۵). با توجه به شکل ۱ ایجاد بیشینه شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت اول (پنجم فروردین) حدود۱۲۲ روز پس از کاشت واقع شده است اما از تاریخ کاشت دوم تا چهارم رسیدن به اوج شاخص سطح برگ

به ترتیب ۱۱۹، ۱۱۷ و ۱۱۳ روز پس از کاشت اتفاق افتاده است (شکل ۱) این در حالی است که کاربرد همراه با هم اسید هیومیک و هیدروپرایمنگ بذر در هر چهار تاریخ کاشت به ویژه تاریخ کاشت اول این شاخص را ۲۱/۵۲ درصد نسبت به تیمار بدون پرایمینگ و بدون کاربرد اسید هیومیک در این تاریخ کاشت افزایش داده است (شکل ۱) این نتایج با یافته های (میلفورد ۲۰۰۶) در مورد بسته شدن سریع کانوپی گیاه و تاثیر مثبت بر رشد سلولی (آگویار و همکاران ۲۰۱۹) با کاربرد اسید هیومیک مطابقت دارد. کشت به هنگام با بهره گیری بیشتر از منابع رشد می تواند منجر به افزایش دوره فتوسنتزی گیاه و بیوماس آن شود (گوباره و همکاران ۲۰۱۹). رینالدی و وونلا (۲۰۰۶) گزارش دادند که تاریخ کاشت با تاثیر بر تعداد و اندازه برگ‌های سبز روی میزان تشعشع دریافت شده گیاه اثر می گذارد. همچنین پرایمینگ بذر با افزایش سرعت سبز شدن (بزهین و همکاران ۲۰۱۸) توانسته است سودمندی اسید هیومیک را تقویت کند (شکل ۱). جوکار و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند هیدروپرایمینگ بذر چغندرقند باعث افزایش ۱۷ درصدی سطح برگ نسبت به تیمار بدون پرایمینگ شد و این افزایش را به جوانه زنی زودتر و رشد سریعتر برگها نسبت دادند. کمتر بودن زمان به حداکثر رسیدن شاخص سطح برگ، با تاخیر در کاشت، می تواند به دلیل مواجهه گیاه با شرایط نامطلوب اقلیمی (جدول ۲) و در نتیجه کاهش دوره رشد (نصرت و همکاران ۲۰۲۰) باشد که خود عامل اصلی در کاهش شاخص سطح برگ خواهد بود. در آزمایش عبدالهیان نوقابی(۲۰۰۰) گزارش شد که دوام کمتر حداکثر شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت دیرهنگام سبب کاهش ۲۳ درصدی عملکرد ریشه و شکر سفید گردید.

جدول ۳- ضرایب رگرسیونی معادلات شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک

تاریخ کاشت	پرایمینگ بذر	اسید هیومیک	شاخص سطح برگ				ضرایب رگرسیون ماده خشک کل		
			a	b	c	d	á	b̀	ć
پنج فروردین	بدون پرایم	اسپری آب	-۱/۲۲	۴/۲۷	۱۲۵/۵	۴۶/۶۹	۱۳۴۸/۸۳	۲۰۱/۷۶	۰/۰۵۹
		اسید هیومیک	-۱/۹۹	۶/۶۲	۱۲۵/۳	۴۷/۵۸	۱۵۲۴/۰۹	۲۵۲/۷۹	۰/۰۶۴
	هیدروپرایمینگ	اسپری آب	-۱/۵۶	۶/۱	۱۲۴/۴	۴۳/۳۴	۱۵۶۹/۲۵	۲۱۳/۵۲	۰/۰۶۱
		اسید هیومیک	-۲/۱۵	۷/۵۹	۱۲۲/۰۶	۴۵/۶۷	۱۷۵۸/۵۳	۱۸۲/۶۶	۰/۰۵۹
۱۹ فروردین	بدون پرایم	اسپری آب	-۱/۲۸	۵/۶۵	۱۲۸/۲۷	۴۳/۲۷	۱۴۰۲/۵	۷۳/۷۵	۰/۰۴۲
		اسید هیومیک	-۱/۸۴	۶/۶۴	۱۲۵/۲۳	۴۵/۶۶	۱۶۱۶/۴۷	۱۲۴/۰۶	۰/۰۵
	هیدروپرایمینگ	اسپری آب	-۱/۵	۵/۹۴	۱۲۷/۸۹	۴۴/۰۶	۱۶۱۳/۷۷	۱۱۶/۳	۰/۰۴۸
		اسید هیومیک	-۲/۹۲	۸/۶۶	۱۲۳/۰۲	۵۰/۳۳	۱۷۳۸/۳	۱۵۶/۴۲	۰/۰۵۹
۲ اردیبهشت	بدون پرایم	اسپری آب	-۱/۸۹	۶/۰۱	۱۲۵/۳۳	۴۹/۰۶	۱۲۵۵/۴۳	۴۷/۱۷	۰/۰۳۵
		اسید هیومیک	-۱/۶۵	۵/۹	۱۲۵/۳۲	۴۸/۸۲	۱۳۵۸/۰۲	۴۸/۶۲	۰/۰۳۵
	هیدروپرایمینگ	اسپری آب	-۱/۸۱	۶/۱۹	۱۲۵/۶	۴۸/۳	۱۴۱۹/۴۸	۵۳/۸۸	۰/۰۳۷
		اسید هیومیک	-۲/۶۲	۷/۴۹	۱۲۳/۵	۵۳/۳۱	۱۴۴۵/۳۵	۷۳/۵۷	۰/۰۴۸
۱۶ اردیبهشت	بدون پرایم	اسپری آب	-۲/۶۶	۶/۰۶	۱۲۷/۲	۶۲/۸۴	۹۲۸/۳۳	۵۳/۲۳	۰/۰۳۹
		اسید هیومیک	-۳/۳۱	۷/۰۹	۱۱۸/۳۹	۶۱/۵۴	۱۱۱۹/۲۹	۵۵/۱۶	۰/۰۴
	هیدروپرایمینگ	اسپری آب	-۴/۱۱	۸/۰۹	۱۱۶/۹۲	۶۴/۱۴	۱۲۰۹/۳۳	۹۳/۳۴	۰/۰۴۶
		اسید هیومیک	-۵/۷۷	۱۰/۲۸	۱۲۰/۱۵	۷۲/۱۸	۱۴۷۰/۶	۵۱/۴	۰/۰۳۹

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده تحت تأثیر پرایمینگ بذر و محلول پاشی در تاریخ های مختلف کاشت.

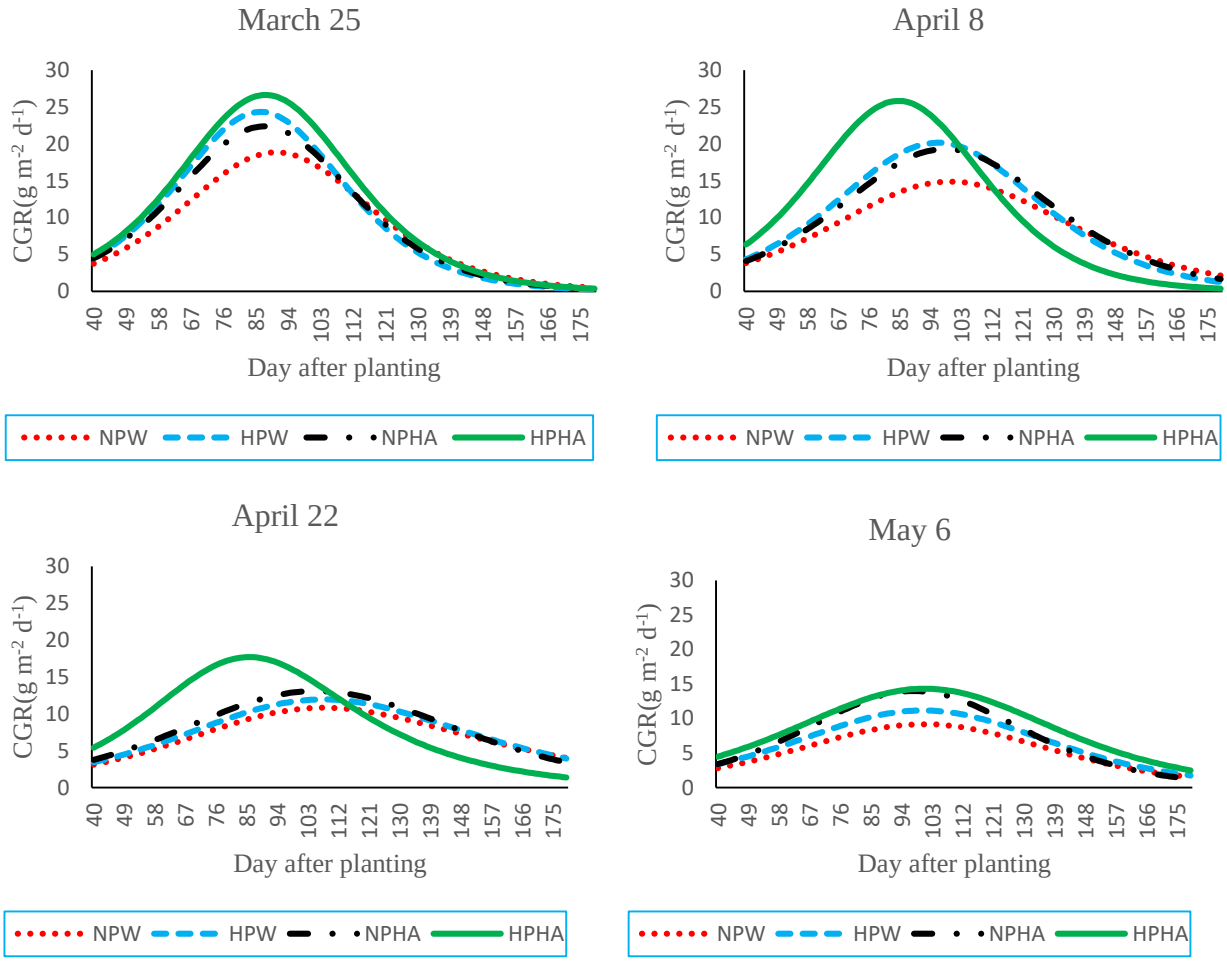
		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	بیشینه شاخص سطح برگ LAI_{max}	بیشینه سرعت رشد CGR_{max}	سرعت جذب خالص NAR	سرعت نسبی رشد RGR	بیشینه تجمع ماده خشک TDM_{max}	عملکرد غده RY
تکرار(R)	۲	۶/۷۱**	۱/۹^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۳/۸۶*	۱/۷۴^{ns}	۷/۰۹**
تاریخ کاشت(D)	۳	۱۹/۶۷**	۱۲۲/۵۲**	۹۲/۱۶**	۱۴۰/۱۴**	۴۳/۰۹**	۵۳/۷۸**
خطای الف	۶	۱/۷۳	۱/۲۶	۱/۹۶	۷/۸۶	۰/۷۳	۱/۱۲
پرایم بذر(P)	۱	۳۳/۱۶**	۶۸/۹۷**	۱۷/۵۱**	۲۰/۸۵**	۴۵/۳۲**	۷۸/۵۳**
محلولپاشی(F)	۱	۳۸/۰۵**	۵۸**	۱۰/۰۹**	۱۶/۴۴**	۳۲/۶۷**	۸۵/۰۷**
D*P	۳	۰/۹۲^{ns}	۱/۸۸^{ns}	۴/۴۹*	۵/۹۲*	۱/۶۳^{ns}	۵۵/۱۸**
D*F	۳	۰/۸۲^{ns}	۴/۹۵**	۳/۱۱*	۱۰/۱۲**	۱/۶۲^{ns}	۱/۲۶^{ns}
P*F	۱	۵/۵۲*	۰/۳۵^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۴۱^{ns}	۵/۵۲**
D*P*F	۳	۰/۳۲^{ns}	۱/۶۴^{ns}	۲/۷۹^{ns}	۷/۴۹**	۰/۵۵^{ns}	۶/۸*
خطای ب	۲۴	۰/۲۸۴	۱/۶۱۶	۰/۵	۰/۰۰۱۵	۱۰/۰۵	۰/۴۹
ضریب تغییرات (٪)		۶/۴۳	۹/۳۳	۱۱/۱۸	۶/۲۲	۷/۵۱	۵/۳۶

ns ،* و ** ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪ می باشد.

سرعت رشد محصول(CGR)

زمان رسیدن به بیشینه سرعت رشد، تحت تاثیر تمام اثرات ساده و برهمکنش تاریخ کاشت در محلول‌پاشی اسید هیومیک قرار گرفت (جدول ۴). از آن جا که سرعت رشد محصول تابعی مستقیم از شاخص سطح برگ و سرعت فتوسنتز خالص در طول دوره رشد است، بنظر می رسد کاهش LAI، مایل شدن تابش انرژی خورشیدی و کاهش طول روز و ساعات آفتابی (جدول ۲) موجب کاهش CGR می شود (نادری و همکاران ۲۰۰۵). روند تغییرات سرعت رشد محصول در اوایل فصل رشد، به دلیل کوچک بودن سطوح برگ های فتوسنتز کننده، دریافت و جذب نور کم بوده و سرعت رشد محصول نیز ناچیز است ولی به تدریج و با افزایش سطح برگ، جذب نور، فتوسنتز و تولید ماده خشک افزایش یافته و به تبع سرعت رشد گیاه نیز افزایش یافت(شکل ۲). پس از به حد اکثر رسیدن سرعت رشد محصول در تیمارهای مختلف (از ۸۶ تا ۱۰۱ روز پس از کاشت)، روند کاهشی سرعت رشد محصول آغاز گردید که دلیل آن، پیر شدن برگ ها و کاهش فتوسنتز بوده است. به نظر می رسد این روند تغییرات با افزایش میزان تنفس نسبت به فتوسنتز کاهش شدیدتر سرعت رشد محصول را در پی داشته است (رحمانی و ابوطالبیان ۲۰۲۱). بنظر می رسد در آخر فصل رشد، با خنک شدن هوا در پاییز از میزان تنفس کاسته شده و روند کاهشی سرعت رشد محصول با آهنگ کمتری ادامه یافت تا به صفر رسید (شکل ۲). بیشینه سرعت رشد محصول در تاریخ کاشت پنجم فروردین(۲۵ مارچ) در هنگام ۸۶ روز پس از کاشت و در تاریخ کاشت شانزدهم اردیبهشت (۶ می) در هنگام ۱۰۱ روز پس از کاشت بدست آمد (شکل ۲). بالاترین میزان بیشینه سرعت رشد محصول در تاریخ کاشت اول (پنجم فروردین) در شرایط محلول‌پاشی اسید هیومیک (۲۵/۳۲ گرم در متر مربع در روز) و کمترین میزان در تاریخ

کاشت شانزدهم اردیبهشت در حالت اسپری آب بدست آمد (جدول ۵). آنچه مسلم است این که در سه تاریخ کاشت اول محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش معنی دار بیشینه سرعت رشد محصول گردید (جدول ۴). دلیل احتمالی این سودمندی تاثیر اسید هیومیک بر توسعه ریشه (آگویار و همکاران ۲۰۱۸) و بهبود جذب آب و املاح (موسوی کیا و همکاران ۲۰۲۰) است اتفاقی که در تاریخ کشت چهارم (۱۶ اردیبهشت) مشاهده نشد. بنظر می‌رسد که تاخیر قابل توجه در زمان کشت با کاهش سطح برگ (شکل ۱)، فرصت جذب کافی اسید هیومیک محلول‌پاشی شده را به بوته های چغندرقند نداده است و در نتیجه گیاه نتوانسته است واکنش معنی‌داری به محلول‌پاشی اسید هیومیک بدهد.



شکل ۲- روند تغییرات سرعت رشد محصول در چغندر قند تحت تاثیر پرایم بذر و محلول پاشی اسید هیومیک در تاریخهای مختلف کاشت. P تاریخ کاشت (Planting Date)، بدون پرایم NP (No Priming)، پرایم با آب HP (Hydro Priming)، محلولپاشی با آب W(Water Foliar Application)و محلول پاشی با اسید هیومیک HA (Humic Acid Foliar Application).

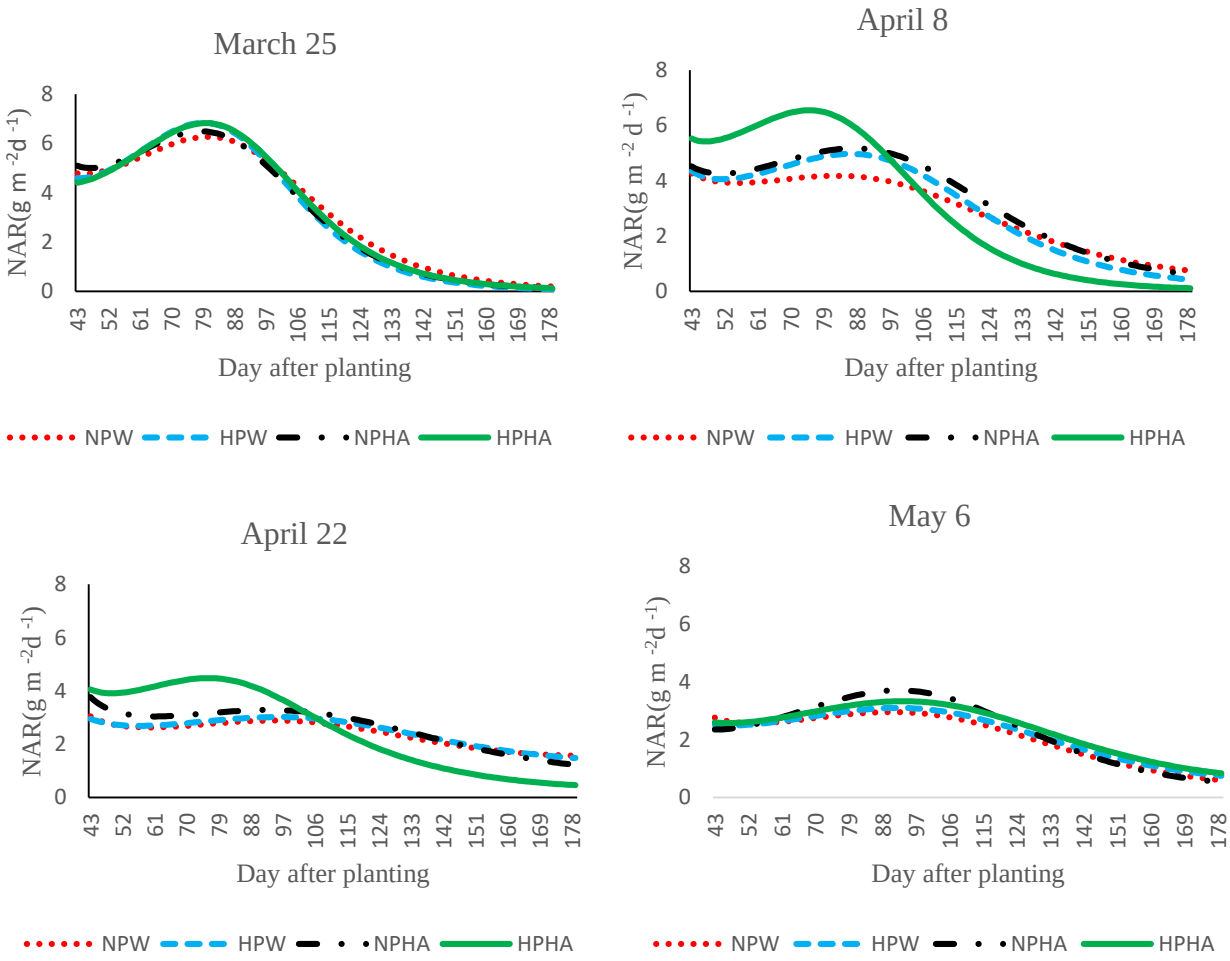
سرعت جذب خالص(NAR)

نتایج آنالیز واریانس شاخص جذب خاص در زمانی که گیاهان به بیشینه سرعت رشد محصول رسیدند حاکی از این است که علاوه بر معنی‌دار شدن اثرات اصلی، برهمکنش‌های دو گانه تاریخ کشت در پرایمینگ و تاریخ کشت در محلول‌پاشی در سطح یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۴). سرعت جذب خالص در اوایل دوره رشد که رشد برگها کم و بر روی هم سایه اندازی نداشتند، در بالاترین میزان خود بوده و با گذشت زمان و افزایش سطح برگ و افزایش سن برگ ها و سایه اندازی در نتیجه کاهش

کارائی فتوسنتزی، سیر نزولی نشان داد (شکل ۳). افزایش سطح برگ اگر چه باعث افزایش فتوسنتز کل گیاه می شود ولی به دلیل سایه اندازی برگها بر روی یکدیگر منجر به کاهش سرعت جذب خالص می‌گردد (نصرت و همکاران ۲۰۲۰). در تاریخ کاشت اول بدلیل شرایط مطلوب و دوره رشد مناسب تر بین روند تغییرات سرعت جذب خالص در تیمارهای مختلف (پرایمینگ و محلول پاشی اسید هیومیک) تفاوت قابل توجهی وجود ندارد اما با تاخیر در تاریخ کاشت‌های دوم و سوم اثر هیدروپرایمینگ و محلول‌پاشی اسید هیومیک به خوبی مشخص شده است البته در تاریخ کاشت چهارم به دلیل تاخیر زیاد در کشت عملاً بین روند تغییرات جذب خالص تفاوتی مشاهده نمی‌شود (شکل ۳).

جدول ۵- جدول اثرات متقابل دوگانه تاریخ کاشت، پرایم بذر و محلول پاشی بر شاخص های رشد چغندر قند

تاریخ کاشت	پرایمینگ بذر	بیشینه شاخص سطح برگ LAI_{max}	بیشینه سرعت رشد CGR_{max} ($g\ m^{-2}\ d^{-1}$)	سرعت جذب خالص NAR ($g\ m^{-2}\ d^{-1}$)
۵ فروردین	بدون پرایم	–	–	۶/۳۲^{a}
	هیدروپرایمینگ	–	–	۶/۱۳^{ab}
۱۹ فروردین	بدون پرایم	–	–	۴/۴^{c}
	هیدروپرایمینگ	–	–	۵/۶۳^{b}
۲ اردیبهشت	بدون پرایم	–	–	۳/۰۲^{e}
	هیدروپرایمینگ	–	–	۳/۹۳^{cd}
۱۶ اردیبهشت	بدون پرایم	–	–	۳^{e}
	هیدروپرایمینگ	–	–	۳/۴۹^{de}
تاریخ کاشت	محلول پاشی			
۵ فروردین	اسپری آب	–	۲۱/۱۵^{b}	۶/۱۲^{ab}
	اسید هیومیک	–	۲۵/۳۲^{a}	۶/۳۴^{a}
۱۹ فروردین	اسپری آب	–	۱۶/۹۵^{c}	۴/۴۹^{c}
	اسید هیومیک	–	۲۳/۰۱^{b}	۵/۵۵^{b}
۲ اردیبهشت	اسپری آب	–	۱۲/۵۱^{d}	۳/۱۴^{e}
	اسید هیومیک	–	۱۵/۳۳^{c}	۳/۸^{d}
۱۶ اردیبهشت	اسپری آب	–	۱۱/۶^{d}	۳/۳^{de}
	اسید هیومیک	–	۱۲/۷۶^{d}	۳/۱۹^{e}
پرایمینگ بذر	محلول پاشی			
بدون پرایمینگ بذر	اسپری آب	۴/۰۱۵^{c}	–	–
	اسید هیومیک	۴/۳۲۷^{b}	–	–
هیدروپرایمینگ بذر	اسپری آب	۴/۲۹۴^{b}	–	–
	اسید هیومیک	۴/۹۹۱^{a}	–	–



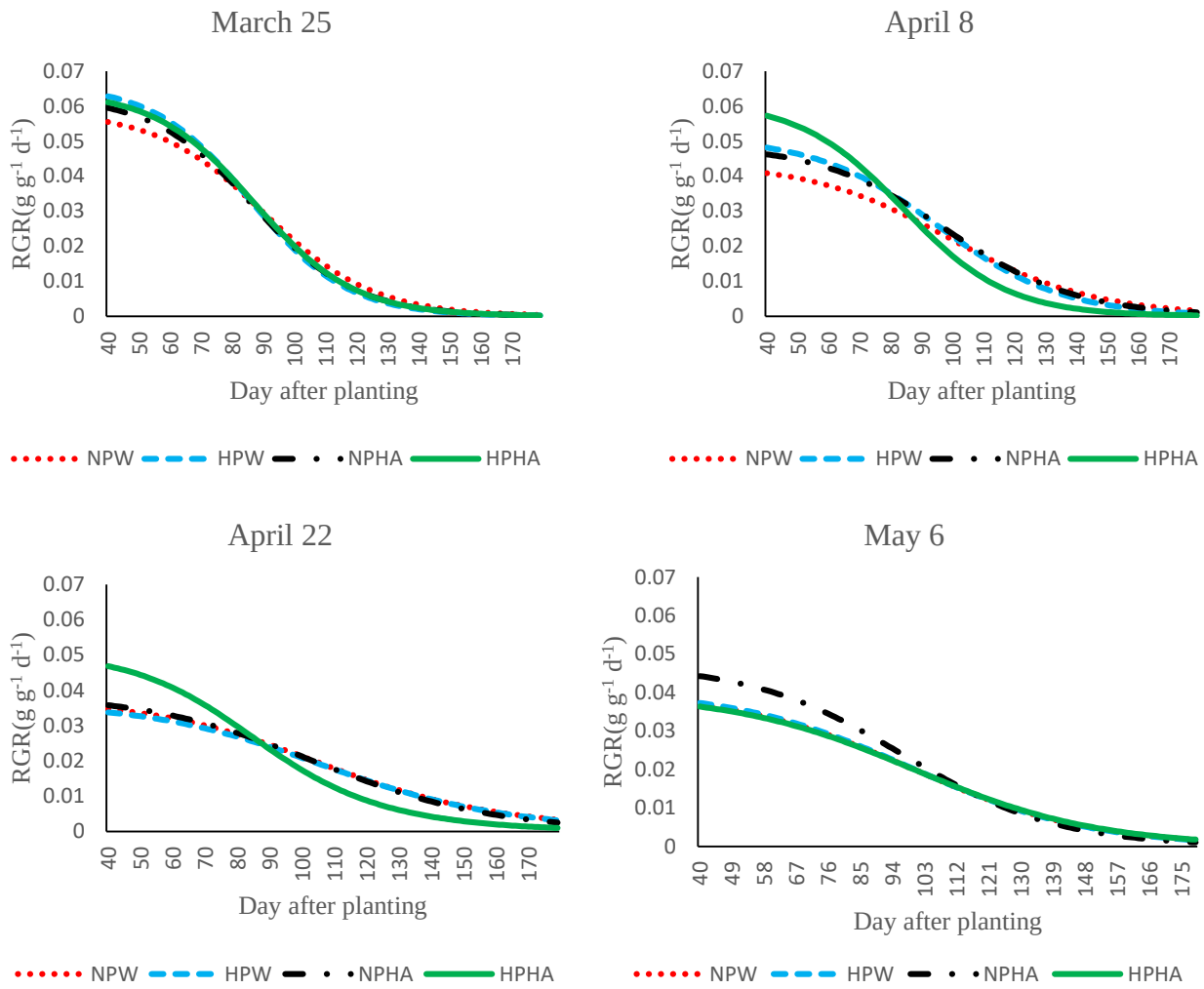
شکل ۳-روند تغییرات سرعت جذب خالص در چغندر قند تحت تاثیر پرایم بذر و محلول پاشی اسید هیومیک در تاریخهای مختلف کاشت.P تاریخ کاشت (Planting Date)، بدون پرایم NP (No Priming)، پرایم با آب HP (Hydro Priming)، محلولپاشی با آب W(Water Foliar Application) و محلول پاشی با اسید هیومیک HA (Humic Acid Foliar Application).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کشت در پرایمینگ (جدول ۵) مشاهده می‌شود که در تاریخ‌های کشت اول و چهارم هیدروپرایمینگ اثر معنی‌داری بر سرعت جذب خالص نداشت اما در تاریخ های دوم و سوم (۱۹ فروردین و دوم اردیبهشت) هیدروپرایمینگ به ترتیب سبب افزایش ۲۷/۷ و ۳۰/۱ درصدی سرعت جذب خالص گردید که سودمندی پرایمینگ بذر در بهبود سرعت استقرار (رحمان و همکاران ۲۰۱۵) و افزایش سطح برگ (بزهین و همکاران ۲۰۱۸) را نشان می‌دهد. این تفاوت در برهمکنش تاریخ کشت و محلول‌پاشی اسید هیومیک نیز مشاهده شد به نحوی که کمترین و بیشترین سرعت جذب خالص به ترتیب در تاریخ‌های اول و چهارم واقع شد و محلول‌پاشی اسید هیومیک در تاریخ‌های دوم و سوم به ترتیب این سرعت را ۲۳/۶ و ۲۱ درصد افزایش داد (جدول ۵). با مقایسه دو برهمکنش مورد اشاره تاثیر پرایمینگ بذر در سرعت جذب خالص کمی بیشتر از تاثیر اسید هیومیک محلول‌پاشی شده می باشد. البته در تاریخ‌های کشت اول و چهارم (پنج فروردین و ۱۶ اردیبهشت) در هر دو برهمکنش کاربرد پرایمینگ و اسید هیومیک موثر واقع نشدند که بنظر می رسد در تاریخ اول بدلیل شرایط بهتر رشد گیاه و در تاریخ چهارم بدلیل تاخیر قابل توجه کشت، سودمندی پرایمینگ و اسید هیومیک نتوانسته است موثر واقع گردد.

سرعت رشد نسبی(RGR)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد تمام اثرات اصلی و برهمکنش‌ها به جز برهمکنش دوگانه پرایمینگ بذر در محلول پاشی اسید هیومیک، بر سرعت رشد نسبی در زمانی که سرعت رشد گیاه در حداکثر بوده است، معنی دار بوده اند (جدول ۴). سرعت رشد نسبی، میزان تجمع ماده خشک جدید در واحد وزن خشک موجود است و نشان دهنده کارایی در تولید ماده خشک جدید است(لاوری و اسمیت ۲۰۱۸). روند تغییرات این شاخص در تیمارهای مختلف حاکی از آن است که سرعت رشد نسبی در ابتدای دورهٔ رشد در بالاترین میزان خود بود و با طی شدن دورهٔ رشد، از حدود ۶۰ روز پس از کاشت به علت بسته شدن پوشش گیاهی و افزایش وزن گیاه و در پی آن افزایش هزینه های نگه داری گیاه (افزایش سایه اندازی) (رحمانی و ابوطالبیان ۲۰۲۱) و کاهش نسبت تبدیل بافت های بالغ به بافت های مریستمی (نصرت و همکاران ۲۰۲۰) ، با شدت کاهش یافته و در انتهای دورهٔ رشد به حدود صفر رسید (شکل ۴). مانند آنچه در نمودارهای سرعت جذب خالص مشاهده شد (شکل ۳) در تاریخ کاشت اول در روند تغییرات تیمارهای پرایمینگ و محلول‌پاشی اسید هیومیک در طول رشد، تفاوت قابل توجهی ملاحظه نمی‌شود اما در دو تاریخ دوم و سوم کاشت کاربرد همراه با هم هیدروپرایمینگ و محلول‌پاشی اسید هیومیک برتری محسوسی در سرعت رشد نسبی بوته‌های چغندرقند در طی رشد ایجاد نموده است و البته تیمار مذکور شیب کاهشی بالاتری نیز دارد که علت آن دارا بودن شاخص سطح برگ بیشتر (شکل ۱) و سایه‌اندازی شدیدتر است (شکل ۴). به طور کلی با گذشت زمان، سرعت رشد نسبی گیاه کاهش یافته است زیرا هرچند که مقدار وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می کند اما سرعت افزایش، به دلیل افزایش سایه اندازی، کاهش می یابد. در تاریخ کشت اول نمودار تیمارهای پرایمینگ و محلول‌پاشی تفاوت قابل توجهی ندارند اما با تاخیر در کاشت تفاوت آنها ملموس شده است بطوریکه تیمار هیدروپرایمینگ بذر در ترکیب با محلول‌پاشی اسید هیومیک در تاریخ های دوم و سوم در ابتدای دوره رشد سرعت رشد نسبی بالا ایجاد کرده و البته با شیب تندتری نسبت به سایر تیمارها دچار کاهش در سرعت رشد نسبی شده است.

بنظر می رسد که کاربرد همراه با هم هیدروپرایمینگ و محلول پاشی اسید هیومیک در اوایل رشد گیاه سبب استفاده بهتر بوته از نور شده است و در ادامه با تولید برگ بیشتر و ایجاد سایه اندازی (جدول ۵) سبب تندتر شدن شیب کاهش سرعت رشد نسبی شده است. با توجه به مفهوم سرعت رشد نسبی که تابعی از سرعت رشد محصول و ماده خشک تولیدی می‌باشد، انتظار می رود تیمارهایی که دارای بالاترین میزان سرعت رشد محصول باشند، سرعت رشد نسبی بالاتری هم تولید نمایند. در بررسی برهمکنش سه گانه تاریخ کاشت، پرایمینگ و اسید هیومیک، بالاترین مقدار سرعت رشد نسبی در تاریخ کاشت اول (پنجم فروردین) تحت شرایط بدون پرایمینگ ومحلول‌پاشی اسید هیومیک بدست آمد که البته تنها با تیمار بدون پرایم و اسپری آب برتری ۸/۹ درصدی نشان داد (جدول ۶). کاربرد همراه با هم هیدروپرایمینگ و محلول‌پاشی اسید هیومیک در تاریخ‌های کشت دوم (۱۹ فروردین)و سوم (دوم اردیبهشت) نیز توانست این شاخص را نسبت به تیمار شاهدشان به ترتیب ۱۹/۲ و ۳۲ درصد افزایش دهد. لذا پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی اسید هیومیک نتوانستند تحت شرایط تاخیر زیاد کشت (تاریخ کشت ۱۶ اردیبهشت) سبب بهبود سرعت نسبی رشد چغندرقند شوند که بنظر می رسد علت در نداشتن فرصت گیاه در واکنش به تیمارهای مذکور بوده است.



شکل۴-روند تغییرات سرعت رشد نسبی در چغندر قند تحت تاثیر پرایم بذر و محلول پاشی اسید هیومیک در تاریخهای مختلف کاشت.P تاریخ کاشت (Planting Date)، بدون پرایمNP (No Priming)، پرایم با آبHP (Hydro Priming)، محلولپاشی با آبW(Water Foliar Application)و محلول پاشی با اسید هیومیک HA (Humic Acid Foliar Application).

تجمع ماده خشک(TDM)

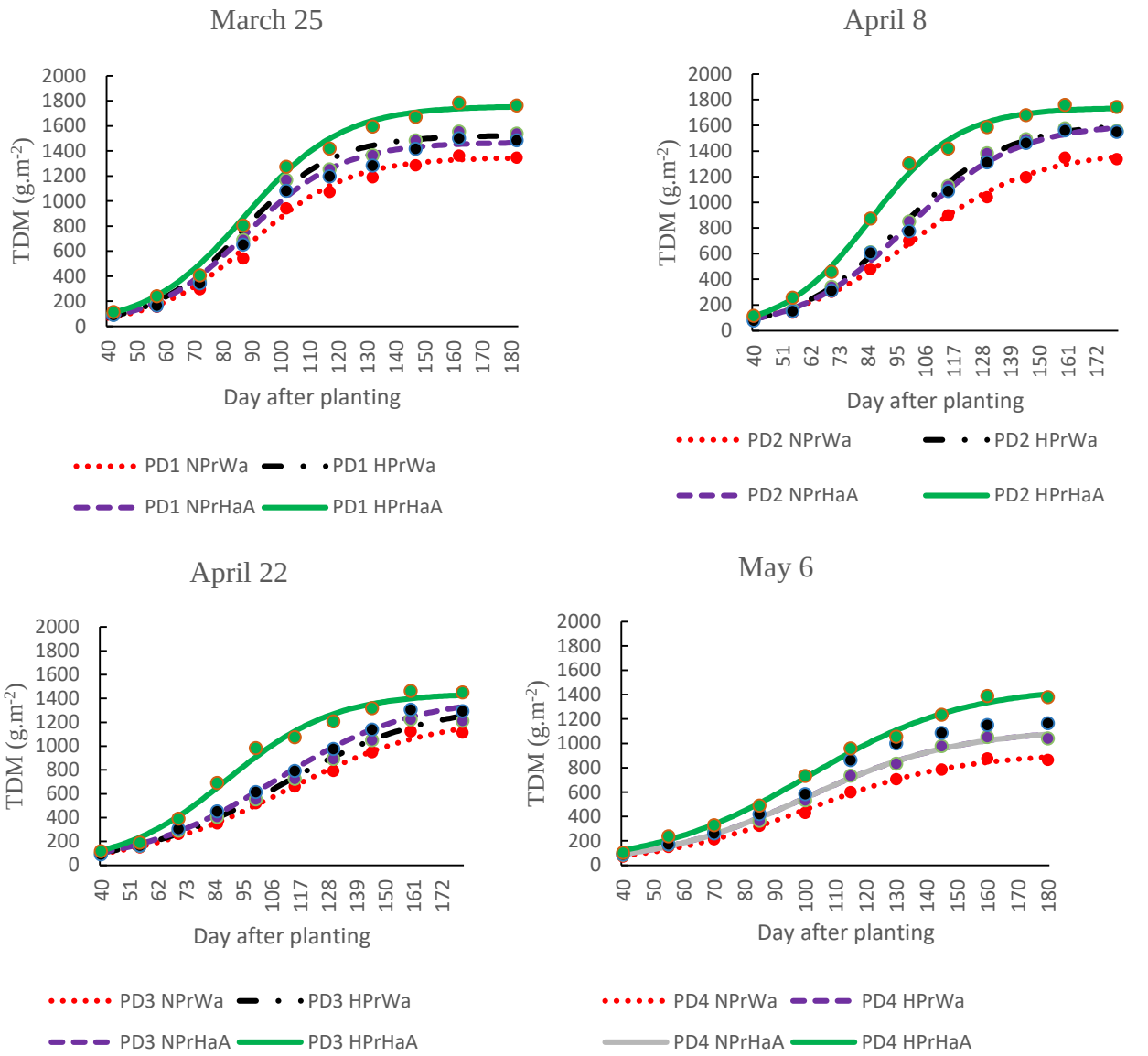
نتایج آنالیز واریانس حاکی از معنی دار شدن تمام اثرات اصلی روی تجمع ماده خشک می باشد(جدول ۴). به دلیل ارتباط مستقیم و نزدیک بین میزان شاخص سطح برگ و میزان تجمع ماده خشک، در تیمارهای با شاخص سطح برگ بالا میزان تجمع ماده خشک نیز بالاتر بود که با یافته های دیگر محققین نصرت و همکاران(۲۰۲۰) و گوباره و همکاران ۲۰۱۹ مطابقت دارد. مکانیسم افزایش ماده خشک در طول فصل رشد در تمام تیمارها به صورت سیگموئیدی بود. در ابتدای دوره رشد مقدار و سرعت تجمع ماده خشک به دلیل کم بودن اندام های فتوسنتز کننده کم بوده‌است و با گذشت زمان همراه با افزایش سطح برگ میزان فتوسنتز گیاه افزایش یافته و روند منحنی تجمع ماده خشک سرعت بیشتری گرفت و پس از آن به دلایل مختلف مثل پیر شدن گیاه، زرد شدن برگ ها و افزایش تنفس گیاه به دلیل افزایش بافت های غیرفتوسنتز کننده (رحمانی و ابوطالبیان ۲۰۲۱)، شیب منحنی تجمع ماده خشک ثابت باقی ماند البته برتری ترکیب تیماری پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی اسید هیومیک در تمام تاریخ‌های کشت بویژه دوم و سوم به خوبی مشاهده می‌شود (شکل ۵). روند تغییرات در تجمع ماده خشک کل شبیه روند تغییرات در شاخص سطح برگ است (شکل ۱) زیرا هر میزان جذب نور در جامعه گیاهی افزایش یابد، تولید زیست توده نیز بیشتر خواهد

شد (رمبرگ و همکاران ۲۰۰۲). در تیمارهای تاریخ کشت بالاترین میزان ماده خشک در تاریخ کشت نوزدهم فروردین بدون وجود اختلاف معنی دار با تاریخ کشت پنجم فروردین به دست آمد که نسبت به تیمار تاریخ کشت شانزدهم اردیبهشت ۳۳/۶ درصد افزایش داشت (جدول ۷).

جدول ۶- جدول مقایسه میانگین اثرات تاریخ کاشت، پرایم بذر و محلول پاشی اسید هیومیک بر سرعت رشد نسبی و عملکرد غده چغندرقند

تاریخ کاشت	پرایم بذر	محلول پاشی	سرعت رشد نسبی RGR ($g\ g^{-1}\ d^{-1}$)	عملکرد غده RY ($kg.m^{-2}$)
۵ فروردین	بدون پرایم	اسپری آب	۰/۰۳۰۴۹^{b}	۹/۰۶^{de}
		اسید هیومیک	۰/۰۳۳۲۱^{a}	۹/۹۱^{bc}
	پرایم با آب	اسپری آب	۰/۰۳۱۴۱^{ab}	۹/۳۷^{cde}
		اسید هیومیک	۰/۰۳۰۶۵^{ab}	۱۱/۹۲^{a}
۱۹ فروردین	بدون پرایم	اسپری آب	۰/۰۲۱۷۴^{de}	۸/۶۱^{fg}
		اسید هیومیک	۰/۰۲۵۳۶^{c}	۱۰/۵^{b}
	پرایم با آب	اسپری آب	۰/۰۲۴۲۱^{cd}	۱۰/۵۷^{b}
		اسید هیومیک	۰/۰۳۰۲۵^{b}	۱۱/۹^{a}
۲ اردیبهشت	بدون پرایم	اسپری آب	۰/۰۱۸۵۰۳^{f}	۸/۰۵^{g}
		اسید هیومیک	۰/۰۱۸۴۸۱^{f}	۸/۵۷^{efg}
	پرایم با آب	اسپری آب	۰/۰۱۹۱۳^{f}	۸/۹۶^{def}
		اسید هیومیک	۰/۰۲۵۱۴^{c}	۹/۵۴^{cd}
۱۶ اردیبهشت	بدون پرایم	اسپری آب	۰/۰۱۹۸^{ef}	۶/۶^{h}
		اسید هیومیک	۰/۰۲۰۰۷^{ef}	۷/۱۸^{h}
	پرایم با آب	اسپری آب	۰/۰۲۳۲۷^{cd}	۸/۲۸^{fg}
		اسید هیومیک	۰/۰۱۹۶۴^{ef}	۸/۵۳^{fg}

تیمار هیدروپرایمینگ بذر با تولید ۱۴۶۳/۳۱ گرم در متر مربع نسبت به تیمار بدون پرایم سبب افزایش زیست توده ۲۲ درصدی گردید و محلول پاشی اسید هیومیک نیز با تولید ۱۴۴۱/۸۴ گرم در متر مربع ماده خشک نسبت به تیمار اسپری آب معمولی ۱۸ درصد زیست توده چغندرقند را افزایش داد (جدول ۷). هیدروپرایمینگ با افزایش سرعت سبز شدن و استفاده سریعتر بوته از منابع رشد (موسوی کیا و همکاران ۲۰۲۰) موثر واقع شده و اسید هیومیک از طریق اثرات شبه هورمونی و بهبود توسعه سیستم ریشه (آگویار و همکاران ۲۰۱۸) و افزایش سطح برگ (شکل ۱) اثر مثبت داشته است.



شکل ۵- روند تغییرات تجمع ماده خشک کل در چغندر قند متاثر از پرایم بذر و محلول پاشی اسید هیومیک در تاریخهای مختلف کاشت. P تاریخ کاشت (Planting Date)، بدون پرایمNP (No Priming)، پرایم با آبHP (Hydro Priming)، محلولپاشی با آبW(Water Foliar Application)و محلول پاشی با اسید هیومیک HA (Humic Acid Foliar Application) Simple ۱۰-۴. نمونه برداری های انجام شده در طول دوره آزمایش.

عملکرد غده (RY)

نتایج آنالیز واریانس بیانگر تاثیر مثبت و معنی دار تمامی اثرات ساده و برهمکنش عوا مل آزمایش(به غیر از برهمکنش دوگانه تاریخ کاشت و محلول پاشی) بر عملکرد غده می باشد (جدول ۴). بر اساس نتایج جدول ۴ در همه تاریخ‌های کشت ترکیب هیدروپرایمینگ بذر و محلول‌پاشی اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار عملکرد غده نسبت به شرایط شاهد (عدم پرایم و اسپری آب) شد. همچنین ترکیب هیدروپرایمینگ و محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به جبران عوارض تاخیر کشت دو هفته ای نسبت به تاریخ کشت اول گردید (جدول ۶). نتایج تحقیقات محمدیان (۲۰۱۶) نشان داده است که در زراعت چغندر قند با ۲۶ روز تاخیر در کاشت، عملکرد ریشه ۱۱ درصد کاهش یافت که در این تحقیق نیز نتایج مشابهی بین تاریخ کشت اول و سوم بدست آمد (جدول ۶). موضوع مهم دیگر اینست که در حالت کاربرد جداگانه هیدروپرایمینگ

و اسید هیومیک، در کشت اول اسید هیومیک بهتر از پرایمینگ عمل کرد در صورتی که در تاریخ های کشت سوم و چهارم این تیمار پرایمینگ بود که بهتر از محلول‌پاشی اسید هیومیک عملکرد غده را بهبود بخشید و البته در تاریخ کشت دوم هر دو تیمار در سطح یکسانی سبب افزایش عملکرد غده شدند (جدول ۶). بنظر می رسد در کشت اول که سطح برگ بیشتری وجود داشته است (شکل ۱) جذب اسید هیومیک نیز بیشتر بوده و مفیدتر از پرایمینگ بذر عمل کرده است. محققین اعلام کردند محلول پاشی ترکیبات آلی هیومیکی باعث بهبود جذب مواد مغذی، محتوای کلروفیل، ویژگی‌های رشد و عملکرد می‌شود (توران و همکاران ۲۰۲۲). اما در دو کشت آخر (سوم و چهارم) پرایمینگ بذر بر اسید هیومیک برتری داشت (جدول ۶) که بنظر می رسد در شرایط تاخیر زیاد در کشت، پرایم کردن با افزودن سرعت استقرار (جوکار و همکاران ۲۰۱۸) مفیدتر بوده است زیرا سطح کم برگها در این هنگام جذب مناسبی از اسید هیومیک ندارد. ناردی و همکاران ۲۰۰۵ گزارش دادند که هیدروپرایمینگ بذور چغندرقند می تواند محتوای کلروفیل کل و میزان فتوسنتز گیاه را افزایش دهد.

جدول۷- جدول مقایسه میانگین اثرات تاریخ کاشت، پرایم بذر و محلول پاشی بر تجمع ماده خشک چغندرقند

تاریخ کاشت	تجمع ماده خشک TDM (g m $^{-2}$)	پرایمینگ بذر	تجمع ماده خشک TDM (g m $^{-2}$)	محلول پاشی	تجمع ماده خشک TDM (g m $^{-2}$)
پنجم فروردین	۱۵۱۹/۴۵^{a}	بدون پرایم	۱۲۰۰/۴۷^{b}	اسپری آب	۱۲۲۱/۸۴^{b}
نوزدهم فروردین	۱۵۶۵/۵^{a}				
دوم اردیبهشت	۱۳۱۸/۰۳^{b}	هیدروپرایمینگ بذر	۱۴۶۳/۳۱^{a}	اسید هیومیک	۱۴۴۱/۸۴^{a}
شانزدهم اردیبهشت	۱۱۳۷/۰۲^{c}				

نتیجه گیری کلی

چغندر قند یک محصول با دوره رشد طولانی می باشد که درمناطقی با اقلیم سرد و کوهستانی مانند شهرستان اسدآباد با وجود روزهای یخبندان بهاره می بایست جهت بهره مندی از محدودیت های زراعی از جمله نور، آب و دمای مناسب در اولین فرصت در اواخر زمستان یا اوایل بهار کشت گردد. تاخیر در کاشت با هدف گریز از سرمای دیررس بهاره باعث هدر رفت منابع پایه تولید از جمله آب و خاک و کارائی پایین در تولید و عملکرد این محصول می گردد. لذا با اتخاذ شیوه های مدیریت صحیح زراعی و بکار گیری تکنیک های کاربردی و کم هزینه ای مانند هیدروپرایمنگ بذر و محلول پاشی اسید هیومیک در کنار تاریخ مناسب کاشت می‌توان سبب افزایش شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد غده چغندرقند شد. بر اساس نتایج، کاربرد همراه با هم پرایمینگ بذر و اسید هیومیک شاخص سطح برگ را حدود ۲۴ درصد افزایش داد و سبب بهبود سرعت رشد نسبی چغندرقند گردید. ماده خشک کل نیز تحت تاثیر پرایم کردن بذر ۲۲ درصد و تحت تاثیر محلول پاشی اسید هیومیک ۱۸ درصد افزایش یافت. در مورد عملکرد غده نیز عوارض تاخیر دو هفته ای کاشت (تاریخ کشت ۱۹ فروردین در برابر ۵ فروردین) بطور کامل با کاربرد همراه با هم هیدروپرایمینگ بذر و محلول‌پاشی اسید هیومیک جبران گردید. بطور کلی کاربرد همراه با هم هر دو تیمار (پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی اسید هیومیک) در تمام تاریخ‌های کشت سودمند بود امادر صورت تاخیر زیاد در تاریخ کشت پرایمینگ بذر سودمندی بیشتری در مقایسه با محلول‌پاشی اسید هیومیک دارد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از رساله دکتری بوده است که آزمایشهای مربوطه آن در شهرستان اسدآباد با حمایت دانشگاه بوعلی سینا انجام گردیده است. به این وسیله نویسندگان مقاله از دانشگاه مذکور تشکر و قدردانی می نمایند.

منابع مورد استفاده

Abdollahian-Noghabi, M. 2000. The effect of drought stress and re-irrigation on the dry matter partitioning of three sugar beet cultivars. The 6th Iranian Crop Science Congress Proceeding, University of Mazandaran, Iran. (in Persian).

Aguiar NO, Olivares FL, Novotny EH, and Canellas LP. 2018. Changes in metabolic profiling of sugarcane leaves induced by endophytic diazotrophic bacteria and humic acids. PeerJ, 6, e5445. https://doi.org/10.7717/peerj.5445

Azevedo IG, Olivares FL, Ramos AC, Bertolazi AA, and Canellas L P. 2019. Humic acids and Herbaspirillum seropedicae change the extracellular H+ flux and gene expression in maize roots seedlings. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 6(1), 1-10. https://doi.org/10.1186/s40538-019-0149-0

Bezhin A, Hans-Joachim Santel A, and Roland Gerhards AA. 2018. The Effect of sugar beet seed priming on sugar beet yield and weed suppressive ability Kostyantyn. Journal of Plant Sciences, 6(4), 146-156. https://doi.org/ 10.11648/j.jps.20180604.15

Bagheri Shirvan M, Asadi GA, and Koocheki A. 2020. Evaluation of quantity and quality characteristics of sugar beet varieties in different sowing date of direct sowing and transplanting in Shirvan and Mashhad. Iranian Journal of Field Crops Research, 17(4), 551-565. (in Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v17i4.76512

Çınar VM. and Ünay A. 2021. The effects of some biofertilizers on yield, chlorophyll index and sugar content in sugar beet (Beta vulgaris var. saccharifera L.). Journal of Agriculture Faulty of Ege University, 58(2), 163-170. http://doi.org/10.20289/zfdergi.714633

Dawood MG. 2018. Stimulating plant tolerance against abiotic stress through seed priming. In Advances in seed priming (pp. 147-183). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5_10

Dolatparast B, Hosseinpanahi F, Siosemardeh A, and Mansory H. 2023. Evaluation of the effect of different irrigation and nitrogen fertilizer levels on growth indices and grain yield of winter oilseed rape (Brassica napus L.) in drip irrigation method. Journal of Crops Improvement, 25, 33-49. (in Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2022.335869.2658

Dotto L, and Silva VN. 2017. Beet seed priming with growth regulators. Semina: Ciências Agrárias, 38(4), 1785-1798. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4p1785

El-Hassanin AS, Samak MR, Moustafa N, Shafika AM, Khalifa N, and Ibrahim-Inas M. 2016. Effect of foliar application with humic acid substances under nitrogen fertilization levels on quality and yields of sugar beet plant. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 5(11), 668-680. http://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.511.078

Esmaili A, and Tadayon MR. 2019. Influence of drought stress and humic acid on growth, yield and sugar production of sugar beet. Journal of Agroecology, 11(1), 185-198. (in Persian). http://doi.org/10.22067/JAG.V11I1.62811

Food and Agriculture Organization (FAO). 2020. The FAOSTAT Database. Available at Web site http://faostat.fao.org/default.aspx.

Farajzadeh-Memari-Tabrizi E, and Ghotbi A. 2018. Evaluation of seed priming with different nutrient solutions at different levels of water stress on the physiological characteristics and performance of sugar beet of genetic monocot seed variety. Environmental Stresses in Crop Sciences, 11, 117-126. (in Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2017.160.1040

García AC, Santos LA, de-Souza LG A, Tavares OCH, Zonta E, Gomes ETM, and Berbara RLL. 2016. Vermicompost humic acids modulate the accumulation and metabolism of ROS in rice plants. Journal of Plant Physiology, 192, 56-63. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.01.008

Gobarah ME, Hussein MM, Tawfik MM, Ahmed AG and Mohamed MF. 2019. Effect of different sowing dates on quantity and quality of some promising sugar beet (Beta vulgaris L.) varieties under North Delta, condition. Egyptian Journal of Agronomy, 41, 343–354. https://doi.org/10.21608/agro.2019.20126.1197

Hoffmann-Christa M. 2019. Importance of canopy closure and dry matter partitioning for yield formation of sugar beet varieties. Field Crops Research, 236, 75–84. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.03.013

Hunt R. 2017. Growth analysis, individual plants. In: Thomas, B., Murray, B.G., Murphy, D.J. (Eds.), Encyclopedia of Applied Plant Sciences, Second edition. Academic Press, Oxford, pp. 421–429. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807- 6.00226-4

Jákli B, Hauer-Jákli M, Böttcher F, Meyer-zur-Müdehorst J, Senbayram M, and Dittert K. 2018. Leaf, canopy and agronomic water use efficiency of field grown sugar beet in response to potassium fertilization. Journal Agronomy and Crop Science, 204, 99–110. https://doi.org/10.1111/jac.12239

Jokar M, Armin M, Jami-moini M. 2018. The effect of priming on reducing the effects of Epirus herbicide residues in sugar beet. Seed Research Journal, 9(2), 1-12. (in Persian).

Kandil A, Sharief A, and Fathalla F. 2013. Onion yield as affected by foliar application with amino and humic acids under nitrogen fertilizer levels. ESci Journal of Crop Production, 2, 62-72.

Kaya CN, Akram MA, and Sonmez O.2018. Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress in maize (Zea mays L.) plants by improving some key physico-biochemical attributes. Cereal Research Communications 46(1), pp. 67–78. https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.064

Mekdad AAA, Rady MM, Ali EF, Hassan FAS. 2021. Early sowing combined with adequate potassium and sulfur fertilization: promoting Beta vulgaris (L.) yield, yield quality, and K- and S-use efficiency in a dry saline environment. Agronomy, 11(4), 806. https://doi.org/10.3390/agronomy11040806

Milford GFJ. 2006. Plant structure and crop physiology. Pp. 30–49. In: Philip Draycott A. (eds). Sugar Beet. Wiley online liberary. https://doi.org/10.1002/9780470751114.ch3

Mosavikia AA, Mosavi SG, Seghatoleslami M, and Baradaran R. 2020. Chitosan nanoparcicle and pyridoxine seed priming improves tolerance to salinity in milk thistle seedling. Noculae Bocanicae Horti Agrobocanici Cluj-Napoca, 48, 221-233. https://doi.org/10.15835/nbha48111777

Mohammad-zadeh Z, Soltani A, Noruzi HA, and Bazrgar AB. 2021. Modeling of sugar beet yield gap and potential in Iran. Sugar Beet, 36(1), 27-46. (in Persian). https://doi.org/10.22092/jsb.2021.352324.1255

Mohammadian R. 2016. Effect of sowing date and defoliation intensity on root yield and quality of sugar beet (Beta vulgaris L.). Iranian Journal of Crop Sciences, 18(2), 88-103. (In Persian). http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1395.18.2.1.2

Naderi MR, Nour-mohammadi G, Majidi I, Darvish F, Shirani-rad AH, and Madani H. 2005. Evaluation of summer safflower reaction to different intensities of drought stress at Isfahan region. Iranian Journal of Crop Sciences, 7 (3), 212-225. (in Persian).

Nemeat-Alla HEA, El-Gamal ISH, and El-Safy NK. 2021. Effect of potassium humate and boron fertilization levels on yield and quality of sugar beet in sandy soil. Alexandria Science Exchange Journal, 42, 395-405. https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2021.171635

Nosrat N, Morteza G, and Rezaei J. 2020. Effect of N fertilizer and growth stimulating bacteria on growth traits of sugar beet (Beta vulgaris L.) under delayed sowing condition. Journal of Crop Ecophysiology, 14(3), 381-400. (in Persian). https://doi.org/10.22055/ppd.2020.30457.1811

Lemaire S, Maupas F, Cournède PH, and Reffye PD. 2009. A morphogenetic crop model for sugar-beet (Beta vulgaris L.). Pp. 116-129. In: Cao W, White JW and Wang E. Crop modeling and decision support. Springer, Berlin, Heidelberg.

Lowry CJ, and Smith RG. 2018. Weed control through crop plant manipulations. Pp. 73–96. In: Non chemical weed control. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12- 809881-3.00005-X

Pedram A, Tajbakhsh M, Fathollah-Taleghani D, and Ghiyasi M. 2017. Sugar beet quantitative and qualitative yield related traits as affected by different seed priming treatments. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 11(2), 13-18.

Puglisi I, Barone V, Fragalà F, Stevanato P, Baglieri A, and Vitale A. 2020. Effect of microalgal extracts from Chlorella vulgaris and Scenedesmus quadricauda on germination of Beta vulgaris seeds. Plants, 9(6), 675. https://doi.org/10.3390/plants9060675

Ramos AC, Olivares FL, Silva LS, Aguiar NO, Canellas LP. 2015. Humic matter elicits proton and calcium fuxes and signaling dependent on Ca2+-dependent protein kinase (CDPK) at early stages of lateral plant root development. Chemical and Biological Technology Agriculture, 1, 1–12. https://doi.org/10.1186/s40538-014-0030-0

Rahmani M, Aboutalebian MA. 2021. Response of tuber yield and some physiological growth indices of potato to phosphate and mycorrhizae under moisture stress. Journal of Crop Production and Processing, 11(3), 35-49. (In Persian). http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.11.3.26307

Ramberg HA, Bradley JC, Olson JSC, Nishio JN, Markwell J, and Osterman JC. 2002. The role of methanol in promoting plant growth: An update. Review Plant Biochemistry Biotechnology, 1(2), 113-126.

Rehman H, Iqbal H, Basra SM, Afzal I, Farooq M, Wakeel A, and Ning WANG. 2015. Seed priming improves early seedling vigor, growth and productivity of spring maize. Journal of Integrative Agriculture, 14(9), 1745-1754. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)61000-5

Rinaldi M and Vonella AV. 2006. The response of autumn and spring sown sugar beet (Beta vulgaris L.) to irrigation in Southern Italy: Water and radiation use efficiency. Field Crops Reserch.95:103-114. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.12.004

Sadrabadi Haghighi R, Amir moradi Sh, and Mirshahi A. 2011. Investigation of growth analysis of conventional and commercial sugar beet (Beta vulgaris) varieties at delayed planting date in Chenaran (Khorasan Razavi Province). Iranian Field Crop Research, 9(3), 505-513. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v9i3.11999

Sharma A, Antha R. 2016. Humic substances in aquatic ecosystems: A Review. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 5(10), 18462–18470. http://dx.doi.org/10.15680/IJIRSET.2016.0510051

Soleymani A, Khajehpour MR, Nourmohammadi G, and Sadeghian Y. 2003. Effects of planting date and pattern on some physiological growth indices of sugar beet. Journal of Agricultural Sciences, 9(1), 105-124. (In Persian).

Turan M, Melek-Ekinci M, Kul R, Kocaman A, Argin S, Zhirkova AM, Irina V, Perminova IV, and Yildirim E. 2022. Foliar applications of humic substances together with Fe/Nano Fe to increase the iron content and growth parameters of spinach (Spinacia oleracea L.). Agronomy, 12, 2044. https://doi.org/10.3390/agronomy12092044

Varga I, Loncaric Z, Kristek S, Markulj-Kulundzic A, Rebekic A, and Antunovic M. 2021. Sugar beet root yield and quality with leaf seasonal dynamics in relation to planting densities and nitrogen fertilization. Agriculture, 11(5), 407. https://doi.org/10.3390/agriculture11050407

Waqas M, Ahmad B, Arif M, Munsif F, Khan AL, Amin M, Kang SM, Kim YH, Lee J. 2014. Evaluation of humic acid application methods for yield and yield components of mung bean. American Journal of Plant Sciences, 5, 2269-2276. http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.515241

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 295-308

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

Effect of Urea and some Organic Fertilizers on Growth and Field Performance of faba bean (*Vicia faba* L.)

Safar Nasrollahzadeh[1], Jalil Shafagh Kolvanagh[2], Parviz Shah Mohammadzadeh[3], Roghiyeh Farzi-Aminabad[4*]

Received: 22 August 2023	Accepted: 09 November 2023

1-Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- Master of Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4- PhD Student in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author: Email: roghiyehfarzi374@gmail.com

Abstract

Background & Objective: The use of chemical fertilizers has created environmental problems. Therefore, the application of organic fertilizers can be considered a suitable solution to maintain soil fertility and increase fertilizer productivity**.**

Materials & Methods: To investigate the effect of organic and chemical fertilizers on the growth and field performance of faba bean (*Vicia faba* L.), an experiment was conducted with a randomized Complete Block Design (RCB) with three replications in 2021 at the research farm of the Faculty of Agriculture at Tabriz University. In this experiment, the treatments included four different sources of fertilizers, including the application of nitrogenous chemical fertilizer in the form of urea (50 kg ha^{-1}), leaf mould (5 tons ha^{-1}), farmyard manure (8 tons ha^{-1}), vermicompost (5 tons ha^{-1}) and control**.**

Results: The highest chlorophyll index, plant height, number of pods per plant, 100-grain weight, grain yield, and biomass were obtained from urea fertilizer application treatment which was not significantly superior to other treatments. in terms of leaf area index and the number of leaves per plant, the application of farmyard manure was significantly superior to other treatments**.**

Conclusion: In order to produce more biomass and grain yield in faba bean, two treatments of urea and farmyard manure were identified as the most favorable nutritional treatments. The application of farmyard manure at a rate of 8 tons ha^{-1}, in addition improving crop production, can replace the application of nitrogenous chemical fertilizers.

Keywords: Biomass, Chemical Fertilizer, Faba Bean, Grain Yield, Farmyard Manure

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Roghiyeh Farzi-Aminabad Email: roghiyehfarzi374@gmail.com
https://doi.org/10.22034/saps.2023.58085.3099

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۳۰۸-۲۹۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر کود اوره و برخی کودهای آلی بر رشد و عملکرد مزرعه‌ای باقلا (*Vicia faba* L.)

صفر نصراله زاده [۱]، جلیل شفق کلوانق [۲]، پرویز شاه محمدزاده [۳]، رقیه فرضی امین آباد [۴*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۳۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۸

۱- استاد گروه اکوفیزیولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- استاد گروه اکوفیزیولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳- کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۴- دانشجوی دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
* مسئول مکاتبه: Email: roghiyehfarzi374@gmail.com

چکیده

اهداف: استفاده از کودهای شیمیایی موجب مشکلات زیست محیطی گردیده است. بنابراین، کاربرد کودهای آلی بعنوان یک راهکار مناسب جهت حفظ باروری خاک و افزایش بهره‌وری کود می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای بررسی اثر کودهای آلی و شیمیایی بر خصوصیات رشدی و عملکرد مزرعه‌ای باقلا (*Vicia faba* L.)، آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، طراحی و اجرا گردید. در این آزمایش تیمارها چهار منبع مختلف کودی شامل کود شیمیایی نیتروژن دار اوره (۵۰ کیلوگرم در هکتار)، خاکبرگ (۵ تن در هکتار)، کود دامی (۸ تن در هکتار)، ورمی کمپوست (۵ تن در هکتار) و شاهد بود.

یافته‌ها: بیشترین شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته، تعداد نیام در بوته، وزن صددانه، عملکرد دانه و زیست توده از کاربرد کود شیمیایی اوره حاصل شد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با کود دامی نداشت. بالاترین شاخص سطح برگ و تعداد برگ در بوته در کاربرد کود دامی گاوی نسبت به سایر تیمارهای کودی برتر بود و تفاوت معنی‌داری با کود اوره نداشت.

نتیجه‌گیری: به منظور تولید زیست توده و عملکرد دانه بیشتر در باقلا دو تیمار کود شیمیایی اوره و کود دامی گاوی مطلوب‌ترین تیمار تغذیه‌ای شناسایی شدند. در تولید باقلا در راستای تحقق اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از کود دامی گاوی به مقدار ۸ تن در هکتار علاوه بر بهبود تولید محصول می‌تواند جایگزین مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن دار از جمله اوره شود.

واژه های کلیدی: باقلا، محصول دانه، کود شیمیایی، کود دامی، زیست توده

مقدمه

حبوبات دومین منبع تأمین غذای انسان در بین گیاهان زراعی می‌باشد. این گیاهان به دلیل همزیستی با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، نقش مؤثری در افزایش حاصلخیزی خاک دارند و به همین دلیل در تناوب با سایر گیاهان زراعی کشت شده و یا به عنوان کود سبز

مورد استفاده قرار می‌گیرند (سوسی و همکاران ۲۰۱۹). باقلا (*Vicia faba* L.)، یکی گیاهانی است که کشت آن در کشورهای آسیایی و آفریقایی به منظور تغذیه انسان و دام به صورت سبز و خشک متداول است. باقلا در نقاط مختلف ایران به خصوص نواحی شمالی و غربی تولید می‌شود. متوسط پروتئین در بذر خشک آن در حدود ۲۴ درصد است که از لحاظ تأمین پروتئین می‌تواند نقش مؤثری در تغذیه ایفا کند (شاکر کوهی و همکاران ۲۰۲۱). در نظام‌های کشاورزی رایج به کمک کودهای شیمیایی می‌توان در کوتاه‌مدت عملکرد گیاهان زراعی را افزایش داد ولی در درازمدت، پایداری و حاصلخیزی خاک، سلامت محیط زیست و جانداران خاکزی و نیز سایر اجزای زیستی نظام‌های طبیعی دچار تغییرات منفی بسیاری خواهند شد. یکی از ارکان‌های اصلی در نظام-های کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای آلی با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشد (ده شیخ و همکاران ۲۰۲۰). در تولید گیاهان زراعی، نیتروژن عامل کلیدی می‌باشد و نقش مهمی در افزایش عملکرد دارد، به طوری که کمبود آن بیش از سایر عناصر غذایی عملکرد را محدود می‌کند و یکی از مهمترین عناصر در تولید پروتئین است که به شکل آمونیوم یا نیترات توسط گیاه جذب می‌شود (والیا و کومار ۲۰۲۱). استفاده از کودهای آلی و دامی به خصوص در خاک‌های فقیر علاوه بر اثرات مثبتی که بر خصوصیات خاک، حفظ کیفیت خاک و افزایش مواد آلی خاک نسبت به کاربرد کودهای معدنی دارد، از جنبه‌های اقتصادی و زیست محیطی نیز مفید واقع شده و می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی در بلندمدت باشد (بورکا و همکاران، ۲۰۱۹). کودهای آلی به خصوص کودهای دامی در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند که می‌توانند به عنوان منابعی از عناصر غذایی به ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم به شمار آیند. همچنین، با بهبود ساختمان فیزیکی خاک تا حدی سبب ایجاد تعادل در خصوصیات شیمیایی خاک خواهند شد (ال یازال ۲۰۲۰). خاکبرگ از طریق کاهش جرم حجمی باعث بهبود خصوصیات فیزیکی خاک می‌گردد و تخلخل کل و ظرفیت نگهداری آب را نیز افزایش می‌دهد (پاوار و همکاران ۲۰۱۹). از طرفی کودهای شیمیایی از طریق تأمین سریع نیازهای غذایی گیاهان، سبب افزایش چشمگیر رشد و عملکرد می‌شوند. مواد آلی، کیفیت خاک را از طریق بهبود ساختمان خاک، نگهداری مواد غذایی و فعالیت بیولوژیکی افزایش می‌دهد و علاوه بر این موجب افزایش مقاومت گیاهان به شرایط کم‌آبی، بیماری‌ها و آفات و همچنین موجب رشد بیشتر گیاهان می‌گردد (عباس و همکاران ۲۰۲۱). کود نیتروژنی رشد رویشی را در گیاهان افزایش می‌دهد، به طوری که بوته‌هایی که به خوبی با نیتروژن تغذیه شده‌اند، دارای ارتفاع بوته بیشتری خواهند بود. افزایش ارتفاع بوته در اثر کاربرد اوره را می‌توان به اثر تشدیدکنندگی نیتروژن در رشد رویشی و تقسیمات سلولی در گیاه به ویژه ساقه نسبت داد (پروین و همکاران ۲۰۲۱). در این راستا، استفاده از کودهای آلی به منظور جلوگیری از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی نیتروژنی و کاهش غلظت نیترات در اندام‌های مختلف باقلا ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، این تحقیق برای بررسی اثرات کود شیمیایی اوره و برخی کودهای آلی بر رشد و عملکرد مزرعه‌ای باقلا جهت دستیابی به مناسب‌ترین تیمار کودی از نظر عملکرد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ برای ارزیابی اثرات کاربرد کود شیمیایی اوره و برخی کودهای آلی بر رشد و عملکرد مزرعه‌ای باقلا به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز طراحی و اجرا گردید. با مساعد شدن شرایط اقلیمی، عملیات آماده سازی زمین با انجام شخم بهاره و دیسک زنی به منظور خرد کردن کلوخ‌ها صورت گرفت. بعد از ایجاد جوی و پشته‌های مورد نیاز، نسبت به کرت بندی زمین اقدام شد. هر بلوک شامل ۵ واحد آزمایشی و هر واحد آزمایشی شامل ۱۲ ردیف کاشت ۳ متری بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌های روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت آزمایش تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام گردید (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج آزمایش خاک

عمق (cm)	pH گل اشباع	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (٪)	کربنات کلسیم (٪)	نیتروژن کل (٪)	عناصر قابل جذب (mg.Kg^{-1})				اجزای معدنی خاک (٪)			بافت خاک
						P	K	Zn	Fe	رس	سیلت	شن	
۳۰-۰	۷/۸۳	۱/۱۶	۰/۸۸	۸/۱۴	۰/۰۶	۱۷/۱	۳۱۶	۰/۹۲	۸/۶	۱۴	۲۵	۶۱	لومی شنی

بعد از ضد عفونی بذرها توسط قارچکش بنومیل (دو در هزار) عملیات کاشت آغاز گردید. بذرهای مورد استفاده در این پژوهش توده محلی باقلای قراملک تبریز بود. عملیات کاشت در اواخر فروردین ماه سال ۱۴۰۰ انجام گردید. بذرها در عمق ۳ سانتی متری و در هر نقطه ۲ بذر قرار گرفتند. برای خروج هر چه بهتر گیاهچه‌ها، روی بذرهای کاشته شده ماسه بادی ریخته شد. بلافاصله بعد از کاشت همه واحدهای آزمایشی آبیاری گردیدند. با توجه به حساسیت این گیاه نسبت به تنش خشکی، آبیاری‌های بعدی با توجه به نیاز گیاه و هر ۷ روز یک بار انجام شد. میانگین بارندگی و دما طی سال زراعی ۱۴۰۰ در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- میانگین بارندگی و دما طی سال زراعی ۱۴۰۰

ماه	بارندگی (mm)	دما (^{0}C)
فروردین	۲۷/۵	۱۱/۸
اردیبهشت	۴۹/۴	۱۹
خرداد	۶/۶	۲۴/۳
تیر	۱۴/۲	۲۸/۵
مرداد	۲۱/۹	۲۷/۳
شهریور	۰	۲۴/۹

پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها، بوته‌ها تنک گردید و تراکم کاشت به ۴۰ بوته در متر مربع رسانده شد. مبارزه با علف‌های هرز به صورت مداوم و دستی انجام گردید. در این آزمایش تیمارهای کودی شامل: کاربرد کود شیمیایی نیتروژن دار اوره (۵۰ کیلوگرم در هکتار، برای دسترسی بهتر گیاه ۸۰ درصد در زمان کاشت و بقیه به صورت سرک)، خاکبرگ (۵ تن در هکتار)، ورمی کمپوست (۵ تن در هکتار) و کود دامی گاوی (۸ تن در هکتار) با خاک تیمار مورد نظر قبل از کاشت به صورت یکنواخت مخلوط گردید. عناصر موجود در ورمی-کمپوست در جدول ۳ آورده شده است.

صفات فیزیولوژیکی

شاخص کلروفیل برگ

برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از دستگاه کلروفیل سنج قابل حمل (CCM-200) استفاده شد. در اوایل مرحله گلدهی باقلا (R_2) ۵ بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب و شاخص کلروفیل برگ‌های بالایی، میانی و پایینی هر کدام در ۳ نقطه اندازه‌گیری و ثبت گردید. در نهایت میانگین آن‌ها به عنوان شاخص کلروفیل برای هر واحد آزمایشی در نظر گرفته شد.

جدول ۳- عناصر موجود در ورمی‌کمپوست

ماده آلی	مقدار یا درصد
کربن آلی	%۱۰/۵
نیتروژن کل	%۰/۸
فسفر	%۰/۱۵
سدیم	%۰/۰۶
مس	ppm۳/۱
آهن	ppm۲
روی	ppm ۵/۹

شاخص سطح برگ

در مرحله گلدهی، ۵ بوته به صورت تصادفی از ردیف‌های میانی هر کرت انتخاب (سطح نمونه‌گیری برابر با ۱۲۵۰ سانتی‌متر مربع و معادل فضای اشغال شده توسط ۵ بوته انتخابی بود که از نسبت بین ۵ بوته با ۴۰ بوته موجود در یک متر مربع (۱۰۰۰۰ سانتی‌متر مربع) محاسبه گردید) و برگ‌ها از ساقه جدا شدند. سطح برگ-ها با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (LI-COR, MODEL Li-3100C Area Meter, USA) اندازه-گیری شد. شاخص سطح برگ نیز با تقسیم سطح برگ بوته بر مساحت زمین تحت پوشش محاسبه شد.

صفات مورفولوژیکی

در زمان رسیدگی دانه‌ها، ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی به صورت تصادفی برداشت گردید. سپس ارتفاع بوته با استفاده از خط کش و قطر ساقه با کولیس اندازه‌گیری و ثبت شد، همچنین تعداد برگ در بوته نیز شمارش گردید.

اجزای عملکرد و عملکرد دانه

۱۰ بوته در زمان رسیدگی دانه‌ها از هر واحد آزمایشی برداشت گردید و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از شمارش تعداد نیام در بوته، دانه‌ها را از نیام جدا و تعداد دانه در نیام و وزن صد دانه (۵ تکرار ۱۰ تایی از بذرهای باقلا به صورت جداگانه توزین گردید، بعد از میانگین‌گیری وزن صددانه برآورد گردید) تعیین گردیدند. برای تعیین عملکرد دانه، از هر واحد آزمایشی یک متر مربع (با حذف حاشیه‌ها) علامت‌گذاری گردید و بوته‌های آن (در اواخر شهریور ۱۴۰۰) کف‌بر شده و دانه‌ها از نیام جداسازی شدند. سپس دانه‌های هر واحد آزمایشی با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین گردیدند. تمامی بوته‌های کف‌بر شده به مدت ۷۲ ساعت در آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن خشک نمونه‌ها تعیین گردید. در نهایت با افزودن عملکرد دانه هر واحد آزمایشی، زیست توده برای هر واحد آزمایشی در هر تکرار ثبت شد.

شاخص برداشت

محاسبه شاخص برداشت هر واحد آزماشی با استفاده از فرمول زیر انجام گرفت:

شاخص برداشت = (عملکرد دانه / زیست توده) × ۱۰۰

تجزیه و تحلیل‌های آماری

قبل از تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن و یکنواختی واریانس خطای داده‌ها انجام گردید تا در صورت نیاز، تبدیل مناسب صورت بگیرد. از نرم افزارهای MSTATC و SPSS Ver. 21 (بر حسب نیاز) برای تجزیه داده‌های آماری استفاده گردید. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها و شکل‌ها با استفاده از نرم افزار EXCEL انجام گردید.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش (جدول ۴)، شاخص کلروفیل برگ، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته تحت تأثیر تیمار کودی قرار گرفت.

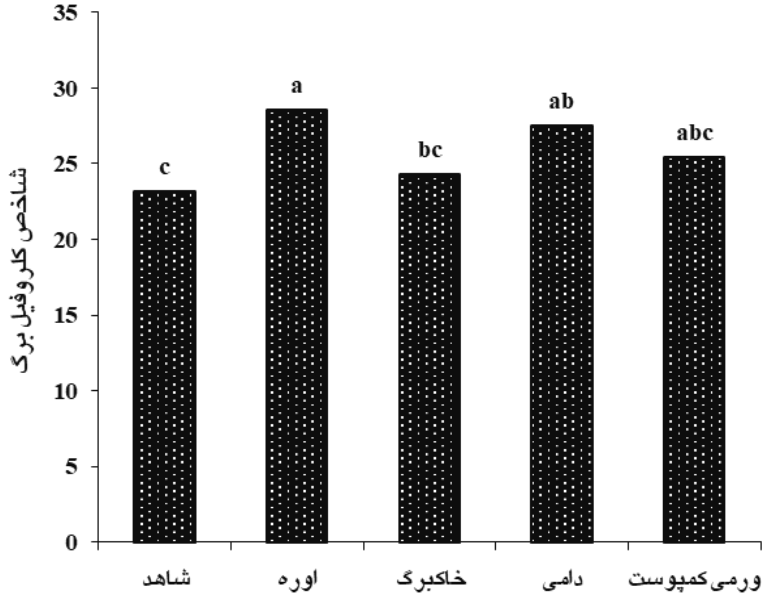
جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورفوفیزیولوژیکی باقلا تحت تیمارهای مختلف کودی

		میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص کلروفیل برگ	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد برگ در بوته
تکرار	۲	۱۶/۵۶	۰/۵۹۹	۱۷/۶۷	۱/۲۲	۱۰/۹۵
تیمار کودی	۴	۱۸/۵۴*	۰/۳۸۴*	۱۹۹/۴۷**	۰/۲۲۶ns	۵/۲۰۵*
خطا	۸	۴/۶۱	۰/۰۹۷	۲۰/۸۷	۰/۸۹	۱/۲۵۲
ضریب تغییرات (٪)	-	۸/۳۶	۱۰/۴۲	۷/۸۵	۱۳/۱۹	۶/۵۴

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

شاخص کلروفیل برگ

بیشترین شاخص کلروفیل برگ (۲۸/۶) از تیمار کود اوره به دست آمد که نسبت به شاهد از افزایش ۲۵/۹ درصدی برخوردار بود. با وجود این، بین تیمارهای کاربرد کود اوره، کود دامی و ورمی کمپوست اختلاف معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد (شکل ۱). با توجه به این که عمده ترکیبات رنگیزه فتوسنتزی ساختار نیتروژنی داشته و به ویژه نیتروژن از مهمترین عناصر تشکیل دهنده کلروفیل، پروتوپلاسم، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و بسیاری از آنزیم‌های گیاهی است. کاربرد کودهای نیتروژنی توانسته تا حد زیادی مقدار کلروفیل را در گیاه باقلا افزایش دهد. همبستگی بالایی بین میزان کلروفیل و غلظت نیتروژن برگ وجود دارد (روسیس و همکاران ۲۰۱۹). وفادار ینگجه و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کاربرد ورمی کمپوست سبب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ باقلا گردیده است، به دلیل این که نیتروژن از عناصر ضروری بیوسنتز کلروفیل است و وجود مقادیر قابل توجهی از عناصر غذایی پرمصرف و به ویژه ورمی کمپوست (جدول ۳)، از دلایل اصلی افزایش محتوای کلروفیل برگ باقلا بر اثر کاربرد این کود آلی بوده است.



شکل ۱-مقایسه میانگین شاخص کلروفیل برگ باقلا در واکنش به تیمارهای مختلف کودی

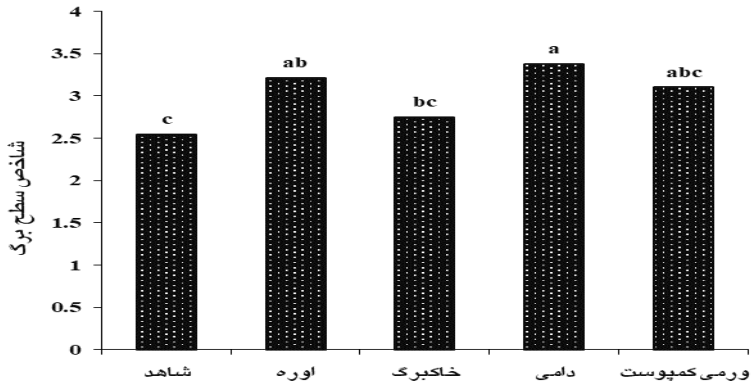
حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ باقلا به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۳۸) بر اثر افزودن ۸ تن در هکتار کود دامی گاوی به خاک حاصل شد که نسبت به شاهد (۲/۵۴) ۳۳/۱ درصد افزایش نشان داد. بین تیمارهای کاربرد کود دامی گاوی، اوره و ورمی کمپوست تفاوت معنی‌داری از نظر آماری وجود نداشت (شکل ۲). افزایش شاخص سطح برگ در اثر کاربرد کود دامی گاوی به دلیل افزایش شاخص کلروفیل بر اثر استفاده از این کود بوده است (شکل ۱)، با افزایش شاخص کلروفیل گیاه به طور مؤثرتری از نور خورشید استفاده کرده و نور بیشتری را به دام می‌اندازد، در نتیجه سطح برگ بیشتری تولید می‌کند. کود دامی موجب تأمین اغلب نیازهای غذایی گیاه به عناصر کم مصرف و پرمصرف شده و سبب بهبود خصوصیاتی از خاک مثل افزایش ظرفیت نگهداری آب (در بخش سطحی خاک) و حاصلخیزی خاک می‌گردد و از این طریق موجب توسعه و گسترش سطح برگ گیاه می‌شود (فرخی و همکاران ۲۰۱۸). بهبود شرایط محیطی برای رشد گیاه می‌تواند با افزایش سطح برگ گیاه و پوشش سریع کانوپی، کارایی گیاه را در استفاده از انرژی نورانی و ساخت مواد فتوسنتزی افزایش دهد. عدم وجود عناصر غذایی و بستر مناسب رشد، با کاستن از رشد رویشی گیاه، سطح برگ و سطح سبز کاهش می‌یابد، با کاربرد کودهای نیتروژن دار شاخص سطح برگ و زیست توده گیاه به طور معنی-داری نسبت به شاهد افزایش یافته است (واگار و همکاران ۲۰۲۲).

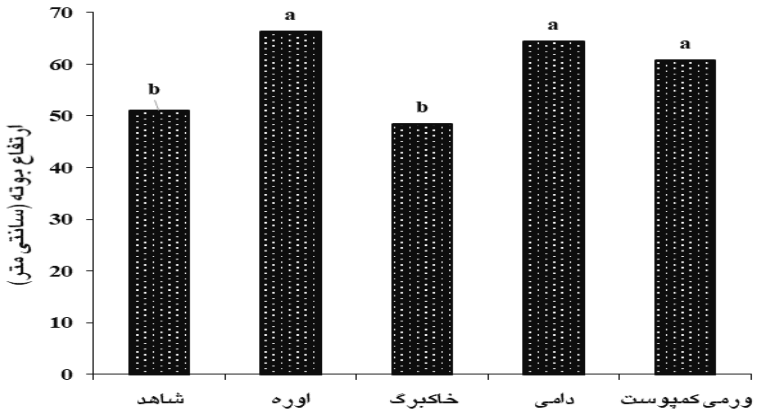
ارتفاع بوته

تغذیه باقلا با منابع مختلف کودی به جز خاکبرگ، به افزایش میانگین ارتفاع بوته منجر شد. ارتفاع بوته در شرایط کاربرد کود اوره (۶۶/۴ سانتی‌متر)، کود دامی گاوی (۶۴/۵ سانتی‌متر) و ورمی کمپوست (۶۰/۸ سانتی-متر) از نظر آماری مشابه بود، ولی به طور معنی‌دار از شاهد و خاکبرگ بیشتر بود (شکل ۳). افزایش ارتفاع بوته بر اثر کاربرد کود نسبت به شاهد به دلیل افزایش شاخص کلروفیل برگ (شکل ۱)، به ویژه در تیمار کودی اوره و دامی نسبت داد که با فراهمی بیشتر عناصر غذایی و استفاده کارآمدتر از نور خورشید نسبت داد. کود نیتروژنی رشد رویشی گیاه را تحریک می‌کند و بوته‌هایی که به خوبی با نیتروژن تغذیه شده باشند، ارتفاع بوته بیشتری خواهند داشت. افزایش ارتفاع بوته بر اثر کاربرد کود اوره را می‌توان به اثر تشدید کنندگی نیتروژن در رشد رویشی و تقسیمات سلولی در اندام گیاه به ویژه ساقه نسبت داد (پروین و همکاران ۲۰۲۱). گزارش شده است که ورمی کمپوست از طریق قدرت زیاد جذب آب و فراهمی مطلوب عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف، بر روی میزان فتوسنتز و تولید بیوماس تأثیر مثبت گذاشته و موجب بهبود ارتفاع بوته ذرت می‌شود (یوناس و همکاران ۲۰۲۱).



شکل ۲- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ باقلا در واکنش به تیمارهای مختلف کودی

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.



شکل ۳- تغییرات ارتفاع بوته باقلا در واکنش به تیمارهای مختلف کودی

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

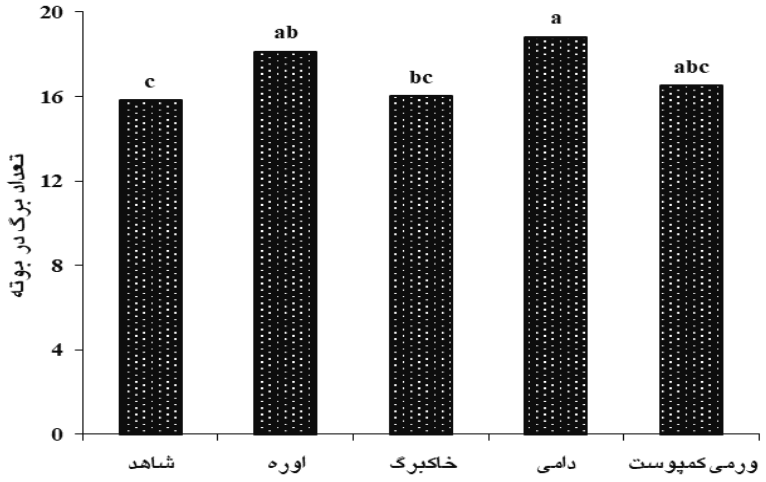
تعداد برگ در بوته

افزودن کود دامی گاوی به خاک به مقدار ۸ تن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار تعداد برگ در بوته شد، ولی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمارهای کود اوره و ورمی کمپوست نداشت (شکل ۴). با افزایش ارتفاع بوته (شکل ۳) تعداد و طول میانگره‌ها افزایش می‌یابد و بنابراین تشکیل برگ‌های جدید تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بر این اساس، فکادو و همکاران، (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاربرد کود دامی گاوی به مقدار ۸ تن در هکتار که قبل از کاشت با خاک مزرعه به صورت یکنواخت مخلوط شده بود، سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول نیام، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام و وزن هزاردانه شده و عملکرد دانه را نسبت به شاهد در حدود ۲۴ درصد افزایش داده است. فکادو و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاربرد ۸ تن در هکتار کود دامی قبل از کاشت، سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول نیام، تعداد نیام در بوته، دانه در نیام، وزن هزاردانه و عملکرد دانه به مقدار ۲۴ درصد گردیده است. القادر و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به فرم کود شیمیایی اوره سبب افزایش تعداد برگ در ارقام باقلا شده که دلیل آن را به نقش نیتروژن در متابولیسم گیاه نسبت داده‌اند و عنوان کردند که این کود نیاز گیاهی را از لحاظ نیتروژن تأمین کرده و سبب افزایش فراورده‌های فتوسنتزی، بهبود رشد رویشی و افزایش زیست توده گیاه می‌گردد.

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۵، اثر منابع مختلف کودی بر تعداد نیام در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی باقلا معنی‌دار بودند.

تعداد نیام در بوته

با این که تعداد نیام در بوته باقلا بر اثر کاربرد اوره نسبت به شاهد ۹/۷ درصد افزایش یافت، ولی این تیمار کودی تفاوت معنی‌داری از نظر آماری با تیمارهای کودهای دامی گاوی و ورمی کمپوست نداشت (شکل ۵). تعداد نیام در باقلا یکی از اجزای مهم عملکرد می‌باشد زیرا نیام از یک طرف در برگیرنده تعداد دانه در بوته و از طرف دیگر تأمین کننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای دانه‌ها می‌باشد به طوری که تعداد نیام بیشتر اغلب منجر به افزایش عملکرد نهایی گیاه می‌شود. تیموتیوو و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که افزایش نیتروژن در طی گلدهی سویا، تعداد نیام در بوته را ۴۰ درصد در مقایسه با شاهد (عدم مصرف نیتروزن) افزایش داد و اظهار داشتند که وجود نیتروژن، ریزش گل و نیام را کاهش داده و موجب افزایش تعداد دانه در گیاه و در نهایت بالا رفتن عملکرد دانه در مزرعه (۲۸-۳۲ درصد) شد. بالا بودن تعداد نیام در بوته در بالاترین سطح کود نیتروژن دار می‌تواند به دلیل تولید ماده خشک بیشتر و پتانسیل بیشتر تولید نیام در این میزان از کود مصرفی باشد (ساندراکیرانا و آرفین، ۲۰۲۱).



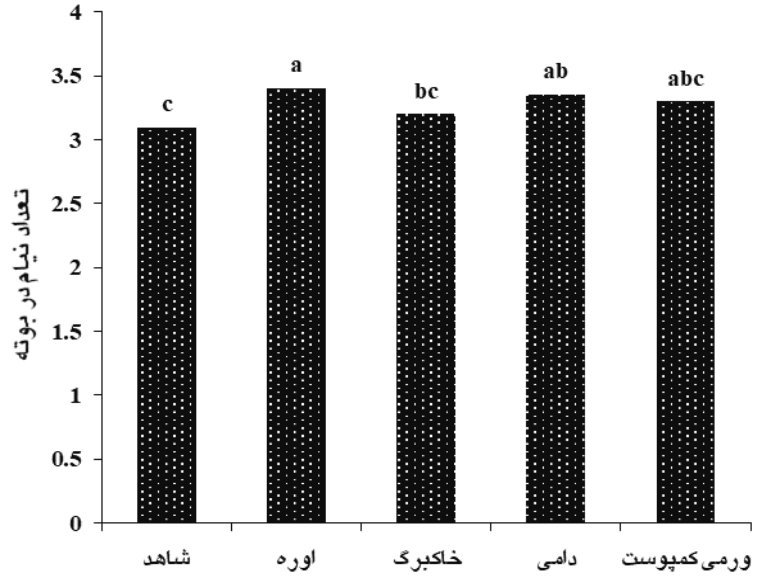
شکل ۴- تغییرات تعداد برگ در بوته باقلا در واکنش به تیمارهای مختلف کودی

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۵- تجزیه واریانس اجزای عملکرد و عملکرد باقلا تحت تیمارهای مختلف کودی

		میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	نیام در بوته	دانه در نیام	وزن صد دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی
تکرار	۲	۰/۰۰۰۸	۰/۳۹۲	۳۹/۲۱	۸۶۶۹/۴	۱۳۳۴۹۷/۸
تیمار کودی	۴	۰/۰۴۹*	۰/۰۰۳ ns	۱۴۱/۷۵**	۴۱۳۵/۱**	۴۹۴۵۳/۳**
خطا	۸	۰/۰۱۲	۰/۲۰۷	۲۰/۴۸	۴۱۸/۳	۴۰۹۹/۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۳/۳۷	۱۹/۱۳	۴/۱۸	۶/۵۲	۵/۸۷

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

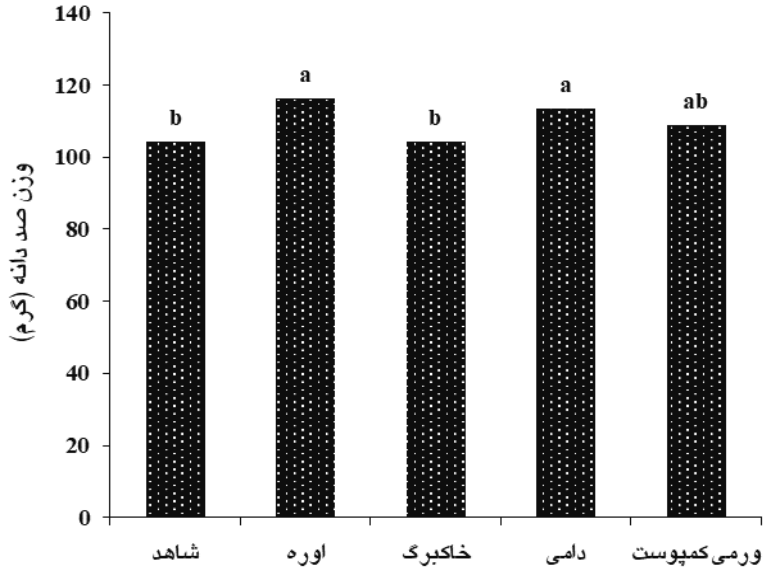


شکل ۵- تغییرات تعداد نیام در بوته باقلا در واکنش به تیمارهای مختلف کودی

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

وزن صد دانه

تغذیه باقلا با منابع مختلف کودی به جز خاکبرگ به افزایش میانگین وزن صد دانه منجر گردیدند. وزن صد دانه در شرایط کاربرد کود اوره (۱۱۶/۳ گرم)، کود دامی گاوی (۱۱۳/۵ گرم) و ورمی کمپوست (۱۰۸/۸ گرم) از نظر آماری مشابه بود ولی به طور معنی‌داری بیشتر از کاربرد خاکبرگ و شاهد بودند (شکل ۶). اثرات مثبت کودهای اوره، دامی گاوی و ورمی کمپوست در افزایش وزن صد دانه ممکن است نتیجه افزایش شاخص کلروفیل برگ (شکل ۱) و شاخص سطح برگ (شکل ۲) در دوره پر شدن دانه‌ها باشد. استفاده از کود نیتروژنه به دلیل افزایش دوام سطح برگ و تولید ماده خشک بیشتر، مواد فتوسنتزی بیشتری را به دانه‌ها منتقل کرده و منجر به افزایش وزن هزار دانه می‌شود. افزایش نیتروژن موجب افزایش انتقال اسیمیلات‌های ساخته شده توسط گیاه به دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن دانه‌ها می‌گردد. همچنین یکی از دلایل افزایش وزن هزار دانه بر اثر کاربرد کودهای نیتروژن دار را احتمالاً به دلیل افزایش سطح سبز گیاهی و طولانی تر شدن مرحله گلدهی می‌باشد (درولیس و همکاران ۲۰۲۲). ورمی‌کمپوست به دلیل داشتن ترکیبات نیتروزنی بیشتر با درجه اکسیداسیونی کمتر سبب ایجاد پایداری و سلامت خاک و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود و با افزایش جذب عناصر موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (لو و همکاران ۲۰۲۰). کود دامی موجب تأمین اغلب نیازهای غذایی گیاه به عناصر کم مصرف و پرمصرف شده و سبب بهبود خصوصیاتی از خاک مانند افزایش ظرفیت نگهداری آب (در بخش سطح خاک) و حاصلخیزی خاک می‌گردد و از این طریق موجب توسعه و گسترش سطح برگ گیاه می‌شود (فرخی و همکاران ۲۰۱۸). کاربرد کود دامی گاوی به مقدار ۸ تن در هکتار که قبل از کاشت با خاک مزرعه به صورت یکنواخت مخلوط شده بود، سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول نیام، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام و وزن هزار دانه شده و عملکرد دانه را نسبت به شاهد در حدود ۲۴ درصد افزایش داده است (فکادو و همکاران ۲۰۱۸).

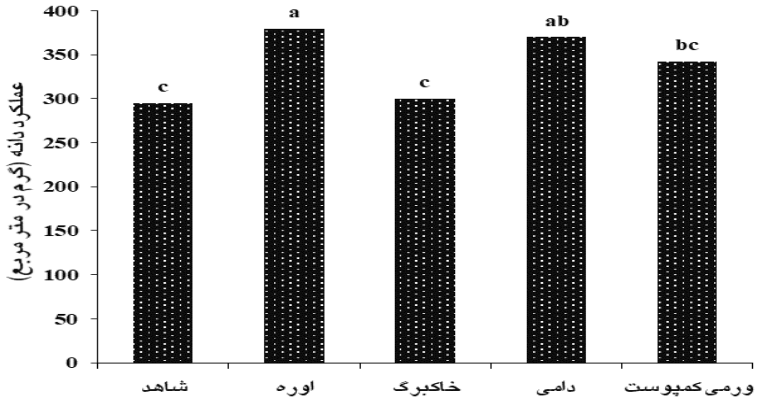


شکل ۶-تغییرات تعداد نیام در بوته باقلا در واکنش به تیمارهای مختلف کودی

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

عملکرد دانه

تیمارهای مختلف کودی به جز استفاده از خاک برگ، عملکرد دانه را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی-داری افزایش دادند. بیشترین عملکرد دانه (۳۷۹۶ کیلوگرم در هکتار) بر اثر استفاده از کود شیمیایی اوره حاصل شد که نسبت به شاهد (۲۹۵/۲ گرم در متر مربع) ۲۸/۵ درصد افزایش نشان داد. بین دو تیمار کود اوره و کود دامی گاوی تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری وجود نداشت بنابراین، این دو کود (کود شیمیایی و آلی) به میزان قابل توجهی موجب افزایش عملکرد دانه باقلا در مقایسه با سایر منابع کودی شده‌اند (شکل ۷). برتری کودهای دامی گاوی و اوره نتیجه بهبود شاخص کلروفیل برگ (شکل ۱)، شاخص سطح برگ (شکل ۲)، تعداد نیام در بوته (۵) و وزن صد دانه (شکل ۶) بوده است. رورانگوا و همکاران، (۲۰۱۸) عنوان کردند که کاربرد کود دامی به مقدار ۴/۸ تن در هکتار نه تنها عملکرد دانه و زیست توده لوبیا و سویا را افزایش داده است، بلکه نیاز به استفاده از کود شیمیایی به نصف کاهش یافته و همچنین میزان تثبیت نیتروزن اتمسفری را در این دو گیاه به طور معنی‌داری افزایش داده است. کودهای نیتروژنه با اثرات خود بر مکانیسم‌های گیاهی مانند فتوسنتز، افزایش طول دوره رشدی و تجمع ماده خشک بر عملکرد دانه اثرات بارزی دارند (وانگ و همکاران ۲۰۱۶). استفاده ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن با افزایش تعداد برگ در بوته، ارتفاع بوته، زیست توده و تعداد خورجین در بوته کلزا موجب افزایش عملکرد دانه در این گیاه گردید (مام نبی و همکاران، ۲۰۲۰). هوموس موجود در ورمی‌کمپوست که یکی از اجزای آن هیومیک اسید است، مکان‌هایی برای جذب عناصر غذایی در اختیار دارد این عناصر در مولکول‌های اسید هیومیک به فرم قابل استفاده برای گیاه جذب می‌شوند و در هنگام نیاز گیاه آزاد می‌گردند که موجب حفظ و افزایش حاصلخیزی خاک و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌شود (ایوینش و همکاران ۲۰۲۰). کاربرد کودهای آلی و دامی به خصوص در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی علاوه بر اثرات مثبتی که بر خصوصیات خاک، حفظ کیفیت خاک و افزایش مواد آلی خاک نسبت به کاربرد کودهای معدنی دارد، از جنبه-های اقتصادی و زیست محیطی نیز مفید واقع شده و می-تواند به عنوان جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی در بلند مدت باشد (بوراکا و همکاران ۲۰۱۹).



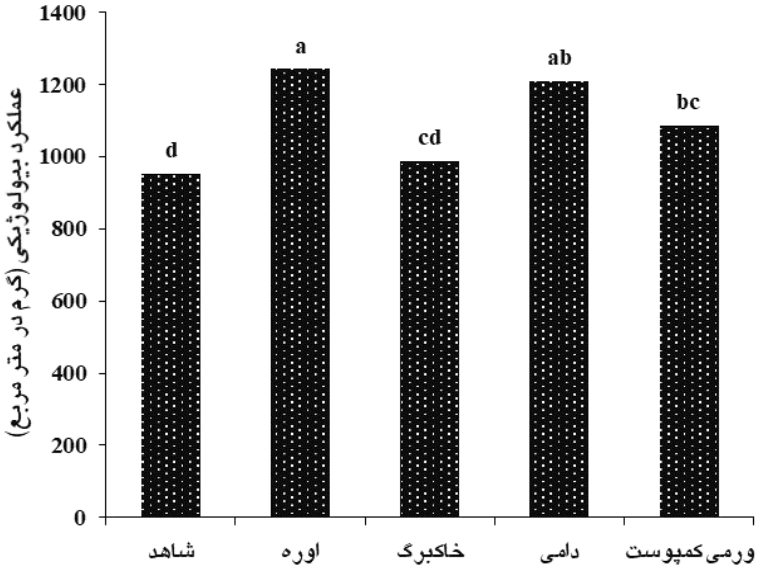
شکل ۷-تغییرات تعداد عملکرد دانه باقلا در واکنش به تیمارهای مختلف کودی

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

عملکرد بیولوژیکی

بیشترین عملکرد بیولوژیکی (۱۲۴۱۷ کیلوگرم در هکتار) بر اثر کاربرد کود شیمیایی اوره حاصل شد که نسبت به شاهد (۹۵۲۲ کیلوگرم در هکتار) ۳۰/۴ درصد افزایش نشان داده است، اما بین تیمارهای مود دامی گاوی و اوره تفاوت معنی‌داری از نظر آماری وجود نداشت (شکل ۸). افزایش شاخص کلروفیل (شکل ۱)، شاخص سطح برگ (شکل ۲) و تعداد برگ در بوته (شکل ۴) تحت کاربرد کودهای دامی گاوی و اوره موجب بهبود

فتوسنتز و رشد گیاه گردیده و زیست توده باقلا را افزایش داده است. گزارش شده است که به طور متوسط ۸۰ درصد نیتروژن، ۸۰ درصد فسفر، ۹۰ درصد پتاسیم و ۵۰ درصد ماده آلی موجود در جیره غذایی مصرف شده توسط دام، به صورت کود دفع می‌شود. کاربرد کود دامی سبب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شده و برآیند تأثیرات کود دامی بر ویژگی-های خاک موجب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (آسای و همکاران ۲۰۲۱). القادر و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به فرم کود شیمیایی اوره سبب افزایش تعداد برگ ارقام باقلا شده است که دلیل آن را به نقش نیتروژن در متابولیسم گیاه نسبت دادند و عنوان کردند که این کود نیاز گیاه را از جهت نیتروژن تأمین کرده و سبب افزایش فراورده‌های فتوسنتزی، بهبود رشد رویشی و افزایش زیست توده گیاه می‌گردد.



شکل ۸- تغییرات عملکرد بیویوژیکی باقلا در واکنش به تیمارهای مختلف کودی

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در تولید باقلا، استفاده از کود دامی گاوی به مقدار ۸ تن در هکتار علاوه بر بهبود تولید محصول، می‌تواند جایگزین مصرف کود شیمیایی نیتروژن دار مانند اوره شود. در بین کودهای آلی مورد بررسی در این پژوهش، کود دامی گاوی بیشترین عملکرد دانه در باقلا را ایجاد نمود (افزایش ۷۱ کیلوگرم در هکتار)، ولی کاربرد ۸ تن در هکتار کود دامی گاوی با توجه به قیمت آن توجیه اقتصادی برای این مقدار افزایش عملکرد دانه را ندارد، بنابراین توصیه می‌گردد تا کشاورزان در صورت دسترسی کم هزینه به این کود آلی مانند پرورش گاو در نظام کشاورزی خود یا موارد مشابه، اقدام به استفاده از کود دامی گاوی نمایند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از اعضای محترم هیئت علمی، کارکنان و کارشناسان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز جهت مساعدت در اجرا و اتمام این پژوهش نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

منابع مورد استفاده

Abbas MS, Badawy RA, Abdel-Latif HM and El-Shabrawi HM. 2021. Synergistic effect of organic amendments and bio stimulants on faba bean grown under sandy soil conditions. Scientia Agricola, 79: 1-10. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0300

Alqader OA, Layth Mazin SMA and Eshoaa H. 2020. Effect of nitrogenous and urea nano-hydroxyapatite fertilizer on growth and yield of two cultivars of broad bean (*Vicia faba* L.). Euphrates Journal of Agriculture Science, 12 (2): 202-227.

Asai S, Rabenarivo M, Andeiamananjara A, Tsujimoto Y, Nishigaki T, Takashi T, Rakotoson T, Rakotoarisoa NM and Razafimbelo T. 2021. Farmyard manure application increase spikelet fertility and grain yield of lowland rice on phosphorus deficient and cool-climate conditions in Madagascar highlands, Plant Production Science, 24 (4): 481-489. https://doi.org/10.1080/1343943X.2021.1908150

Burka T, Manore D and Lealago A. 2019. Responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to phosphorus fertilizer and farm yard manure on acidic soil in highland of Tembaro Woreda, southern Ethiopia. Journal of biology, Agriculture and Healthcare, 9: 24-33. https://doi.org/10.7176/JBAH

Cucci G, Lacolla G, Summo C and Pasqualone A. 2019. Effect of organic and mineral fertilization on faba bean (*Vicia faba* L.). Scientia Horticulture, 243: 338-343. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.051

Dehsheikh A, Mahmoodi Sourestanii M, Zolfaghari M and Enayatizamir N. 2020. Changes in soil microbial activity, essential oil quality, and quality of Thai basil as response to bio fertilizers and humic asid. Journal of Cleaner Production, 256: 120439. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120439

Drulis P, Kriauciuniene Z and Liakas V. 2022. The influence of different nitrogen fertilizer rates, urease inhibitors and biological preparations on maize grain yield and yield structure elements. Agronomy, 12: 741. https://doi.org/10.3390/agronomy12030741

Farrokhi E, Koocheki A, Nassiri Mahalati M and Khademi R. 2018. The Effect of Manure, Chemical and Biological Fertilizers on Aloe vera Growth in Boushehr Province. Journal of Agroecology, 10 (1): 1-21. https://doi.org/10.22067/jag.v10i1.26900

Fekadu E, Kibret K, Melese A and Bedadi B. 2018. Yield of faba bean (*Vicia faba* L.) as affected by lime, mineral P, farmyard manure, compost and rhizobium in acid soil of Lay Gayint District, northwestern highlands of Ethiopia. Agriculture & Food Security, 7: 16. https://doi.org/10.1186/s40066-018-0168-2

El-Yazal MS. 2020. Impact of some organic manure with chemical fertilizers on growth and yield of broad been (*Vicia faba* L.) grown in newly cultivated land. Sustainable Food Production, 9: 23-36.

Ievinsh G, Andersone-Ozola U and Zeipina, S. 2020. Comparison of the effects of compost and vermicompost soil amendments in organic production of four herb specie. Biological Agriculture & Horticulture, 36: 267-282. https://doi.org/10.1080/01448765.2020.1812116

Lv M, Li J and Zhang W. 2020. Microbial activity was greater in soils added with herb residue vermicompost than chemical fertilizer. Soil Ecology Letters, 2: 209-219. https://doi.org/10.1007/s42832-020-0034-6

Mamnabi S, Nasrollahzadeh S, Ghassemi-Golezan K and Raei Y. 2020. Morpho-Physiological Traits, Grain and Oil Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Affected by Drought Stress and Chemical and Bio-Fertilizers. Agricultural Science and Sustainable Production, 30 (3): 359-377. https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.3.21.6

Pawar A, More NB, Amrutsagar VM and Tamboli, BD. 2019. Influence of organic residue recycling on crop yield, nutrient uptake, and microbial and nutrient status of rabi sorghum (*Sorghum biochar* L.) under dryland condition. Communications in soil science and plant analysis, 50: 435-443. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1566467

Perveen S, Ahmad S, Skalicky M, Hussain I, Habibur-Rahman M, Ghaffar A, Shafqat Bashir M, Batool M, Hassan MM and Brestic, M. 2021. Assessing the potential of polymer coated urea and Sulphur

fertilization on growth, physiology, yield, oil contents and nitrogen use efficiency of sunflower crop under arid environment. Agronomy, 11: 269. https://doi.org/10.3390/agronomy11020269

Roussis L, Kakabouki I and Bilalis D. 2019. Comparison of growth indices of *Nigella Sativa* L. under different plant densities and fertilization. Emirates Journal of Food and Agriculture, 31 (4): 231-247. https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i4.1934

Rurangwa E, Vanlauwe B and Giller, KE. 2018. Benefits of inoculation, P fertilizer and manure on yield of common bean and soybean also increase yield of subsequent maize. Agriculture, Ecosystems and Environment, 261: 219- 229. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.015

Sandrakirana R and Arifin Z. 2021. Effect of organic and chemical fertilizers on the growth and production of soybean (*Glycine max* L.) in dry land. Revest Faulted Nacional de Agronomia Medellin, 74 (3): 9643-9653.

Shaker-Kouhi S, Nasrollahzadeh S, Ghassemi-Golezani K and Najafi N. 2021. Morpho-physiological Changes of Rotated Barley and Faba bean plants in Response to Nickel Toxicity and Chemical and Biological Fertilization. Agricultural Science and Sustainable Production, 31 (2): 199-215. https://doi.org/10.22034/saps.2021.13158

Timotiwu P, Nurmiaty Y, Pramono E and Maysaroh S. 2020. Growth and yield responses of four soybean (*Glycine max* L.) cultivars to different methods of NPK fertilizer application. Planta Tropika, 8(1): 39-43.

Vafadar-Yengeje L, Amini R and Dabbagh Mohammadi Nasab, A. 2019. Chemical compositions and yield of essential oil of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under different fertilizers application. Journal of Cleaner Production, 239: 118033. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118033

Walia S and Kumar R. 2021. Nitrogen and sulfur fertilization modulates the yield, essential oil and quality traits of wild marigold (*Tagetes minuta* L.) in the western Himalaya. Frontiers in plant science, 11: 2320. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.631154

Wang Z, Zhang Z, Beebout SS, Zhang H, Liu L, Yang J and Zhang J. 2016. Grain yield, water and nitrogen use efficiencies of rice as influenced by irrigation regimes and their interaction with nitrogen rates. Field Crops Research, 193:54-69. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.006

Wagar M, Habib-ur-Rahman M and Hasnain, M. 2022. Effect of slow-release nitrogenous fertilizers and biochar on growth, physiology, yield and nitrogen use efficiency of sunflower under arid climate. Environmental Science and Pollution Research, 22: 600-614. https://doi.org/10.1007/s11356-022-19289-6

Younas M, Zou H, Laraib T, Abbas W, Akhtar MW, Aslam MN, Amrao L, Hayat S, Abdul Hamid T, Hameed A, Ayaz Kachelo G, Elseehy MM, El-Shehawi AM, Zuan ATK, li Y and Arif M. 2021. The influence of vermicomposting on photosynthetic activity and productivity of maize (*Zea mays* L.) crop under semi-arid climate. PLOS One, 16 (8): 256450. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256450

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 309-325

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

The effect of Symbiosis with mycorrhizal fungi on the Physiological Properties and Nutrient Uptake of 'Supernova' almonds grafted on GN15 rootstocks under Salt Stress Conditions

Shabnam Mostafavi[1*], Jafar Hajilou [2], Sahebali Bolandnazar[2]

Received: 27 February 2024	Accepted: 13 June 2024

1-PhD Student of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran.
2-Prof. of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: mostafavi.shabnam@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: Cultivating salt-tolerant species and inoculating them with beneficial soil microorganisms can be an effective solution to alleviate the salinity problems. The aim of this experiment was to investigate the physiological responses and nutrient uptake of the almond cultivar 'Supernova' grafted on GN15 rootstock when inoculated with mycorrhizal fungi at different salinity levels.

Material and Methods: The current study followed a factorial design in the form of a randomized complete block design with two factors: (1) inoculation with fungi at two levels (non-inoculated and inoculated with *Rhizophagus intraradices*) and (2) salinity at three levels (0, 60 and 120 mM) with three replicates under greenhouse conditions.

Results: The results showed that inoculation with mycorrhizal fungi improved growth indices, F_v/F_m and chlorophyll content under high salt stress. Inoculation with *R. intraradices* significantly reduced H_2O_2 and MDA content, while antioxidant capacity and proline content increased compared to non-inoculated plants under high salinity conditions. Inoculated plants showed significantly higher phosphorus and potassium content in the leaves at all salinity levels and in the roots at medium salinity compared to non-inoculated plants. Under salt stress, the sodium content of leaves in inoculated plants was significantly lower than in non-inoculated plants, while the opposite was observed for root sodium content.

Conclusion: The use of mycorrhizal fungi in combination with a tolerant rootstock can be an effective and environment-friendly approach to mprove the salt tolerance of almond trees. In this regard, it seems necessary to conduct more experiments with different almonds genotypes under garden conditions.

Keywords: Almond, Mycorrhizal Fungi, Nutrient Uptake, Physiological Properties, Salt Stress

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Shabnam Mostafavi Email: mostafavi.shabnam@yahoo.com
https://doi.org/10.22034/saps.2024.60735.3188

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۳۲۵-۳۰۹

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر همزیستی با قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی بادام رقم 'سوپرنوا' پیوند شده روی پایه GN15 تحت تنش شوری

شبنم مصطفوی [۱*]، جعفر حاجی‌لو [۲] ، صاحبعلی بلندنظر [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۴

۱-دانشجوی دکترای علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲-استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*مسئول مکاتبه: mostafavi.shabnam@yahoo.com

چکیده

اهداف: کشت گونه‌های متحمل به شوری به همراه تلقیح آن‌ها با ریزجانداران مفید خاک، می‌تواند یک راهکار موثر برای کاهش مشکلات شوری باشد. هدف از این آزمایش، بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی بادام رقم 'Supernova' پیوند شده روی پایه GN15 به تلقیح با قارچ میکوریزا در سطوح مختلف شوری است.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور (۱) تلقیح با قارچ در دو سطح (تلقیح نشده و تلقیح شده با *Rhizophagus intraradices*) و (۲) شوری در سه سطح (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد تلقیح با قارچ میکوریزا باعث بهبود شاخص‌های رشدی، نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر و محتوای کلروفیل در تنش شوری بالا گردید. تلقیح با *R. Intraradices* بطور معنی‌داری باعث کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده در سطح بالای شوری شد. در گیاهان تلقیح شده محتوای فسفر و پتاسیم در برگ در تمام سطوح شوری و در ریشه در شوری متوسط بطورمعنی‌داری بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود. تحت تنش شوری، محتوای سدیم برگ گیاهان تلقیح شده بطور معنی‌داری کمتر از گیاهان تلقیح نشده بود، درحالیکه در مورد سدیم ریشه برعکس بود.

نتیجه‌گیری: استفاده از قارچ میکوریزا به همراه پایه متحمل می‌تواند یک روش کارآمد و سازگار با محیط زیست برای افزایش تحمل بادام به شوری باشد. در این راستا انجام آزمایشات بیشتر با ژنوتیپ‌های مختلف بادام در شرایط باغ ضروری بنظر میرسد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، بادام، قارچ میکوریزا، ویژگی‌های فیزیولوژیک، جذب عناصر

مقدمه

شوری خاک یک چالش بسیار جدی است که باعث تخریب زمین‌های کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان بویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود و بطور پیوسته در حال افزایش است. افزایش شوری در زمین‌های قابل کشت دارای پیآمدهای مخرب در سطح

جهانی می‌باشد (مونس و تستر ۲۰۰۸).

بادام با نام علمی (*Prunus dulcis* Miller.) یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین میوه‌های خشک در جهان بوده و بومی ایران می‌باشد (لادیزینسکی ۱۹۹۹). از لحاظ حساسیت به شوری، بادام مانند سایر درختان هسته‌دار جزو گیاهان حساس به شوری طبقه‌بندی می‌شود و غلظت نمک بالای ۱/۵ $dS.m^{-1}$ در محلول خاک بتدریج باعث کاهش رشد و تولید محصول در آن می‌شود (اوتمن و برن ۱۹۸۸). بنابراین شوری را می توان یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید بادام در سطح جهان دانست (زریگ و همکاران ۲۰۱۶).

روش‌های مختلفی برای کاهش اثرات مخرب شوری بر گیاهان پیشنهاد شده است که میزان کارایی و هزینه بکارگیری آن‌ها در مقیاس کلان حائز اهمیت می‌باشد. استفاده از پایه‌های متحمل به شوری در درختان میوه یک راهکار مناسب و عملی برای کاهش اثرات نامطلوب شوری می‌باشد (گراتن و گریو ۱۹۹۸). پایه‌های متحمل بادام با تجمع کمتر Na^+ و Cl^- در اندام‌های هوایی باعث بهبود تحمل به تنش شوری می‌شوند (مسی و همکاران ۲۰۰۴). طبق مطالعات انجام شده استفاده از هیبریدهای درون گونه‌ای *Prunus* مانند GN15 (*P.amygdalus* cv. Garfi × *P.persica* cv. Nemared) باعث افزایش تحمل به تنش‌های خشکی و شوری می‌شود (حاتمی و همکاران ۲۰۱۸).

در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های زیستی مانند استفاده از قارچ‌ها و باکتری‌های همیار جهت غلبه بر تنش شوری توجه زیادی را در سرتاسر جهان به خود جلب کرده است که گسترش فزاینده تحقیقات در این زمینه نشان‌دهنده میزان اهمیت این موضوع در کشاورزی می‌باشد. درمیان میکروارگانیسم‌های همزیست، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار از اهمیت ویژه‌ای برخوردارهستند (میرانصاری ۲۰۱۰). این قارچ‌ها با بکارگیری مکانیسم‌های مختلفی از جمله افزایش جذب مواد غذایی، بیوسنتز هورمون‌های رشد گیاه، بهبود وضعیت ریزوسفر و خاک وتغییر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی میزبان باعث افزایش تحمل به تنش شوری می‌شوند (رویز-لوزانو و همکاران ۲۰۱۲).

تنش شوری با اختلال در فتوسنتز و ایجاد شرایط خشکی فیزیولوژیک در گیاهان منجر به کاهش تولید محصول می‌شود. تجمع غلظت‌های بالا Na^+ و Cl^- در کلروپلاست برگ‌های جوان باعث کاهش فتوسنتز و محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در گیاه می‌شود (چینوسامی و همکاران ۲۰۰۵). مطالعات انجام شده در بادام، مرکبات، گوجه‌فرنگی و گندم نشان داده است که همزیستی با قارچ میکوریزا باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و تعدیل اثرات تنش شوری بر میزان فتوسنتز گیاه میزبان در شرایط تنش شوری و خشکی می‌شود (شهوالی و همکاران ۲۰۲۰؛ ناوارو و همکاران ۲۰۱۴؛ حاجی‌بلند و همکارن ۲۰۱۰؛ یعقوبیان و همکاران ۲۰۱۴).

تنش شوری نیز مانند سایر تنش‌ها باعث القاء تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن مانند پراکسید هیدروژن و سوپراکسید قادرند با واکنش و آسیب اکسیداتیو به مولکول‌های زیستی مانند پراکسیداسیون لیپیدها، دناتوره کردن پروتئین‌ها و جهش در اسیدهای نوکلئیک، متابولیسم طبیعی سلول را مختل نمایند (بولر و همکاران ۱۹۹۲). مطالعات نشان داده است که قارچ‌های میکوریزا با افزایش فعالیت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش محتوای گونه‌های فعال اکسیژن و دز نهایت کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود تحمل به تنش شوری می‌شوند. کاهش شاخص‌های مهم تنشی مانند محتوای مالون‌دی‌آلدهید (محصول اصلی پراکسیداسیون لیپیدهای غشا)، پراکسید هیدروژن و نشت الکترولیت در گیاهان همزیست در معرض تنش شوری نشان دهنده این موضوع می‌باشد (حاجی‌بلند و همکاران ۲۰۱۰؛ وو و همکاران ۲۰۱۰؛ چانگ و همکاران ۲۰۱۸؛ آیت‌المختار و همکاران ۲۰۱۹؛ شهوالی و همکاران ۲۰۲۰).

در خاک‌های شور، کشت گونه‌های متحمل به شوری به همراه تلقیح آن‌ها با ریزجانداران مفید خاک، می‌تواند یک راهکار موثر برای کاهش مشکلات شوری باشد (بنچریف و همکاران ۲۰۱۹). در این تحقیق از رقم بادام سوپرنوا (یک رقم دیرگل و خودسازگار) پیوند شده بر پایه GN15 که یکی از پایه‌های مهم و تجاری هیبرید

بادام- هلو می‌باشد در شرایط هیدروپونیک استفاده شد. هدف از این آزمایش، بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی این ترکیب پیوندی بادام به تلقیح با قارچ *Rhizophagus intraradices* در سطوح مختلف شوری می‌باشد. بدین منظور پارامترهای مختلفی از جمله رنگیزه‌های فتوسنتزی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، محتوای پرولین ، پراکسیداسیون لیپیدها ، پراکسید هیدروژن و محتوای عناصر معدنی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

تهیه نهال و اعمال تیمارها

این آزمایش در گلخانه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد. نهال‌های بادام دو ساله از مؤسسه تولید نهال «رویان پژوهش آذربایجان» تهیه شد. نهال‌ها به گلدان‌های پلاستیکی ۵ لیتری حاوی پرلیت و پیت ماس به نسبت حجمی ۵:۱ منتقل شدند. قبل از انتقال نهال، ۸۰ گرم زادمایه قارچ میکوریزا که مخلوطی از هاگ، هیف، قطعات ریشه میکوریزی و بستر کشت بود در زیر محل قرارگیری ریشه‌ها اضافه شد. ۶۰ روز پس از تلقیح با قارچ میکوریزا، تیمار تنش شوری به مدت ۳۰ روز اعمال شد. تیمارهای شوری به همراه محلول غذایی نیم‌هوگلند با نصف مقدار فسفر، هر ۴ روز یکبار به مقدار حدود ۶۵۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان به صورت دستی انجام شد (هوگلند و آرنون ۱۹۵۰). در هر بارمحلول‌دهی، مقداری محلول از زهکش گلدان‌ها خارج می‌شد. همچنین برای جلوگیری از تجمع املاح در بستر کشت، شستشوی گلدان‌ها هر۷ روز یکبار با آب لوله‌کشی صورت گرفت. به منظور جلوگیری از شوک اسمزی، تیمار تنش شوری با افزایش روزانه ۳۰ میلی‌مولار سدیم کلرید تا رسیدن به غلظت نهایی در هر سطح شوری انجام شد.

طرح آزمایشی

این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور: (۱) تلقیح با قارچ در دو سطح (شامل تلقیح نشده و تلقیح شده با قارچ میکوریزا) و (۲) شوری حاصل از سدیم کلرید در سه سطح (شامل صفر (بدون تنش)، ۶۰ (تنش شوری متوسط) و ۱۲۰ میلی‌مولار (تنش شوری بالا)) با ۳ تکرار انجام شد. بنابراین در مجموع ۱۸ گلدان (یک نهال در هر گلدان) برای این آزمایش در نظر گرفته شد.

تکثیر قارچ میکوریزا

زادمایه قارچ *Rhizophagus intraradices* از گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه گردید. تکثیر این قارچ در گلخانه و به روش گلدانی در بستر ماسه استریل با گیاه سورگوم بعنوان میزبان صورت گرفت. درصد کلونیزاسیون قارچی ریشه‌ها در زادمایه ۸۰/۱ درصد بود ودرصد کلونیزاسیون قارچی ریشه‌ها در زادمایه بعنوان شاخص پتانسیل زادمایه درنظر گرفته شد (علی‌اصغرزاد و همکاران ۲۰۰۱).

صفات اندازه‌گیری شده

درصد کلونیزاسیون ریشه

قطعات ریشه گرفته شده از قسمت میانی سیستم ریشه طبق روش فیلیپس و هیمن (۱۹۷۰) رنگ آمیزی شدند. درصد کلونیزاسیون ریشه با استفاده از روش تلاقی خطوط شبکه تعیین شد (مک‌گونیگل و همکاران ۱۹۹۰).

شاخص‌های رشدی

ارتفاع پیوندک با متر نواری و سطح برگ با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Model Li1300,USA LI,Cor)، ۳۰ روز پس از اعمال تیمار شوری اندازه‌گیری شد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید با استفاده از ۰/۱ گرم برگ (منجمد در نیتروژن مایع) به ترتیب طبق روش آرنون (۱۹۵۰) و لیختنتالر (۱۹۸۷) انجام شد. به

منظور تعیین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها، جذب نمونه‌ها در طول موج های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد.

نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m) و شاخص سبزینگی برگ (SPAD)

نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر با دستگاه کلروفیل فلوریمتر (Hansatech Instruments Ltd, King's Lynn, UK) و با اتصال گیره‌های مخصوص دستگاه به سطح برگ مورد نظر و قرارگیری در تاریکی به مدت ۲۰ دقیقه به دست آمد. شاخص سبزینگی برگ (SPAD) نیز با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (CL-01, Hansatech) ارزیابی شد. برای هر دو صفت، از هر تکرار سه برگ جوان و توسعه یافته انتخاب شد و میانگین کل به عنوان عدد مورد نظر یادداشت گردید. هر دو شاخص ۳۰ روز پس از اعمال تنش شوری مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

محتوای پرولین برگ

کل محتوای پرولین آزاد با استفاده از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) اندازه گیری شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و محتوای پرولین با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده با مقدار مشخص پرولین محاسبه شد و برحسب $\mu mol\ g^{-1}\ FW$ بیان شد.

محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ (MDA)

پراکسیداسیون لیپیدها با اندازه‌گیری محتوای مالون‌دی‌آلدهید به روش هث و پکر (۱۹۶۸) انجام شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۳ و ۶۰۰ نانومتر خوانده شد. محتوای MDA با استفاده از اختلاف طول موج‌های جذبی و ضریب خاموشی $155\ mM^{-1}\ cm^{-1}$ محاسبه شد و برحسب $\mu mol\ MDA\ g^{-1}\ FW$ بیان شد.

محتوای پراکسید هیدروژن برگ (H_2O_2)

سنجش پراکسید هیدروژن با روش ولیکووا و همکاران (۲۰۰۰) انجام گرفت. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت گردید. محتوای هیدروژن پراکسید بر اساس منحنی استاندارد و برحسب $\mu mol\ g^{-1}\ FW$ محاسبه شد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل با استفاده از خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد دی‌فنیل‌پیکریل‌هیدرازیل (DPPH) طبق روش بلویس (۱۹۵۸) و با قرائت جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر ارزیابی شد.

عناصر غذایی

نمونه های برگ و ریشه پس از شستشو، به مدت ۲ روز در آون روی کاغذ صافی در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و پس از خشک شدن، نمونه‌ها با آسیاب برقی پودر شدند. ۰/۵گرم از هر نمونه برای آنالیز استفاده شد. نمونه ها جهت هضم در مخلوطی از نیتریک اسید (HNO_3) و پرکلریک اسید ($HClO_4$) غلیظ روی هیتر در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. محتوای فسفر کل با روش رنگ سنجی وانادات-مولیبدات اندازه‌گیری شد (چپمن و پرت، ۱۹۶۲). محتوای عناصر سدیم (Na) و پتاسیم (K) توسط دستگاه جذب اتمی مدل Varian AAS 240 مورد سنجش قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 و مقایسه‌های میانگین نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\leq ۰/۰۵$) انجام گرفت.

نتایج و بحث

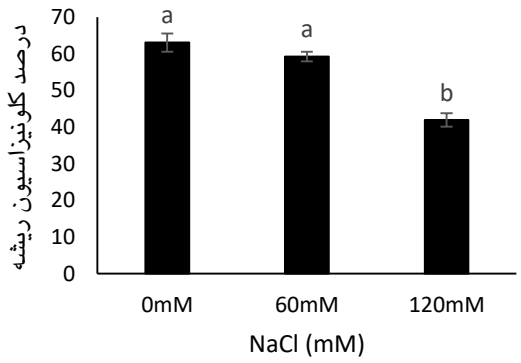
درصد کلونیزاسیون ریشه

بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که کلونیزاسیون قارچ *R. Intraradices* در تمامی گیاهان تلقیح شده و در تمام سطوح شوری صورت گرفته است و هیچ کلونیزاسیونی در ریشه گیاهان بادام تلقیح نشده مشاهده نشد. اثر تنش شوری بر درصدکلونیزاسیون قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱) . سطح شوری ۶۰ میلی‌مولار تاثیر معنی‌داری بر درصد کلونیزاسیون ریشه نداشت. درحالیکه شوری

۱۲۰ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌دار و ۳۳/۵ درصدی درصد کلونیزاسیون قارچ میکوریزا در مقایسه با شرایط بدون تنش گردید (شکل ۱). کاهش درصد کلونیزاسیون در شرایط تنش شوری را می‌توان به ممانعت از جوانه‌زنی هاگ و رشد هیف یا کاهش گسترش کلونیزاسیون قارچ میکوریزا نسبت داد (جونیپر و ابوت ۲۰۰۶؛ حاجی‌بلند و همکاران ۲۰۱۰). همچنین مشخص شده است که شوری با افزایش تجمع پراکسید هیدروژن در ریشه‌های میکوریزی باعث تخریب آربوسکول‌ها می‌شود (هاوس و فستر ۲۰۰۵).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر شوری بر درصد کلونیزاسیون ریشه بادام با قارچ *R. Intraradices*

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
		درصد کلونیزاسیون
بلوک	۲	۰/۲۲۸ ns
شوری	۲	۳۸۱/۰۲ **
اشتباه آزمایشی	۴	۱۷/۰۱



شکل ۱-مقایسه میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه بادام با قارچ *R. intraradices* تحت سطوح مختلف شوری

شاخص‌های رشدی

اثر ساده شوری و تلقیح با قارچ میکوریزا بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ و مساحت تک برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. درحالیکه اثر متقابل آن‌ها بر شاخص‌های فوق معنی‌دار نبود (جدول ۲). افزایش شوری تا غلظت ۶۰ میلی‌مولار تاثیر معنی‌داری بر هیچ یک از شاخص‌های رشدی نداشت، در حالیکه سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشدی گردید. همچنین ارتفاع، تعداد و سطح تک برگ گیاهان تلقیح شده بطور معنی‌داری بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود (به ترتیب ۱۰، ۱۳/۵ و ۱۹ درصد) (جدول ۳). کاهش شاخص‌های رشدی در شرایط تنش شوری در ژنوتیپ‌های مختلف بادام توسط مومن‌پور و همکاران (۲۰۱۵) و انگوتی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش شده است. تنش شوری با تغییر در ویژگی‌های دیواره سلولی باعث کاهش تورژسانس برگ، کاهش میزان فتوسنتز و در نهایت کاهش سطح برگ می‌شود. علاه بر این رشد ساقه در غلظت‌های بالای نمک کاهش می‌یابد که به همراه کاهش برگ در مجموع باعث کاهش اندازه و ارتفاع گیاهان تحت تنش میگردد (مونس و تستر ۲۰۰۸). در اغلب مطالعات انجام شده تحریک رشد در گیاهان تلقیح شده را همواره به بهبود و افزایش جذب عناصر معدنی به ویژه فسفر نسبت داده می‌شود (آیت‌المختار و همکاران ۲۰۱۹؛ میرانصاری ۲۰۱۳) که در آزمایش ما نیز همینطور بود (شکل ۴ الف و ب).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر شوری و قارچ میکوریزا بر برخی صفات رشدی، شاخص سبزینگی برگ (SPAD)، نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (DPPH) بادام

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع گیاه	تعداد برگ	سطح تک برگ	شاخص سبزینگی برگ	نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل
بلوک	۲	۱۷/۰۴۵ ns	۲۸/۶۶۷ ns	۰/۲۳۳ ns	۰/۳۲۶ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۴/۳۸۳ ns
شوری	۲	۷۷۹/۵۰۲ **	۳۱۸/۵ **	۶۳/۱۴۳ **	۲۰/۰۶ **	۰/۰۲۴ **	۶۶/۵۴ **
قارچ	۱	۳۲۲/۵۸ **	۳۹۲ **	۴۳/۴۶۹ **	۳/۰۰۱ *	۰/۰۰۸ **	۶۳/۱۳۶ **
شوری×قارچ	۲	۲۵/۸۶۵ ns	۸/۱۶۷ ns	۰/۶۲۳ ns	۳/۵۰۳ **	۰/۰۰۳ *	۳۶/۲۵۴ **
اشتباه آزمایشی	۱۰	۳۵/۲۷۶	۴/۹۳۳	۱/۲۳۸	۰/۳۹	۰/۰۰۰۱ ns	۳/۲۵۸

ns، * و ** بترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۳ – مقایسه میانگین برخی از شاخص‌های رشدی بادام تحت سطوح مختلف شوری و تلقیح با قارچ میکوریزا

شوری (میلی‌مولار)	قارچ	ارتفاع گیاه (cm)	تعداد برگ	سطح تک برگ (cm^2)
صفر	تلقیح نشده	۹۰/۵ ± ۳/۷ ab	۷۳ ± ۳/۷ abc	۱۷/۴ ± ۰/۶ cd
	تلقیح شده	۹۴/۲ ± ۲/۱ a	۸۴/۶ ± ۲/۹ a	۲۰/۶ ± ./۳ ab
۶۰	تلقیح نشده	۸۰/۹ ± ۳/۱ bc	۸۰ ± ۴/۶ bc	۱۹/۲ ± ۰/۳ bc
	تلقیح شده	۹۲/۲ ± ۳/۵ a	۶۱/۳ ± ۳/۷ ab	۲۱/۶ ± ۰/۳ a
۱۲۰	تلقیح نشده	۶۵/۱ ± ۲/۴ d	۶۸/۳ ± ۳/۷ c	۱۲/۳ ± ۰/۹ e
	تلقیح شده	۷۵/۵ ± ۴ cd	۶۸/۳ ± ۲/۶ bc	۱۶/۱ ± ۰/۶ d

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

شاخص سبزینگی برگ (SPAD) و نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m)

اثر متقابل شوری و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر شاخص سبزینگی برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در تنش شوری شدید شاخص سبزینگی برگ گیاهان تلقیح شده بطور معنی‌داری بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود(۲۰/۶ درصد). بعلاوه، کمترین داده مربوط به شاخص سبزینگی برگ در گیاهان تلقیح نشده در سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۲ الف). شاخص سبزینگی برگ ارتباط نزدیکی با محتوای کلروفیل و نیتروژن برگ دارد (نتو و همکاران ۲۰۰۵). نتایج حاصل نشان داد مشابه کلروفیل کل، گیاهان تلقیح شده شاخص سبزینگی برگ بیشتری در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده در تنش شوری بالا داشتند که نشان‌دهنده این امر است که گیاهان تلقیح شده پتانسیل فتوسنتزی بیشتری را درشرایط تنش شوری دارا هستند.

اثر متقابل شوری و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر گیاه بادام در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تمامی سطوح شوری باعث کاهش معنی‌دار فلورسانس متغیر به حداکثر در گیاهان تلقیح نشده گردید، در حالیکه کاهش معنی‌دار آن در گیاهان تلقیح شده تنها در سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مشاهده شد. نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر در گیاهان تلقیح شده در سطوح شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار بطور معنی‌دار و بترتیب ۱۰ و ۷/۹

درصد بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود (شکل ۲ ب). نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر یک معیار مناسب جهت بیان و برآورد راندمان فتوشیمیایی فتوسیستم II می‌باشد. کاهش قابل توجه در کارایی فتوسیستم II ، زنجیره انتقال الکترون و میزان جذب CO_2 تحت تنش شوری مشاهده شده است (استپین و کلوبوس ۲۰۰۵). بالا بودن نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر در برگ گیاهان تلقیح شده در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده در شرایط تنش شوری نشان دهنده این امر است که تلقیح با قارچ میکوریزا می‌تواند باعث تقلیل اثرات مضر شوری بر فتوسیستم II شود. افزایش فلورسانس متغیر به حداکثر در برگ گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان تلقیح نشده در مطالعات حاجی‌بلند و همکاران (۲۰۱۰) و زای و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش شده است.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (DPPH)[۱]

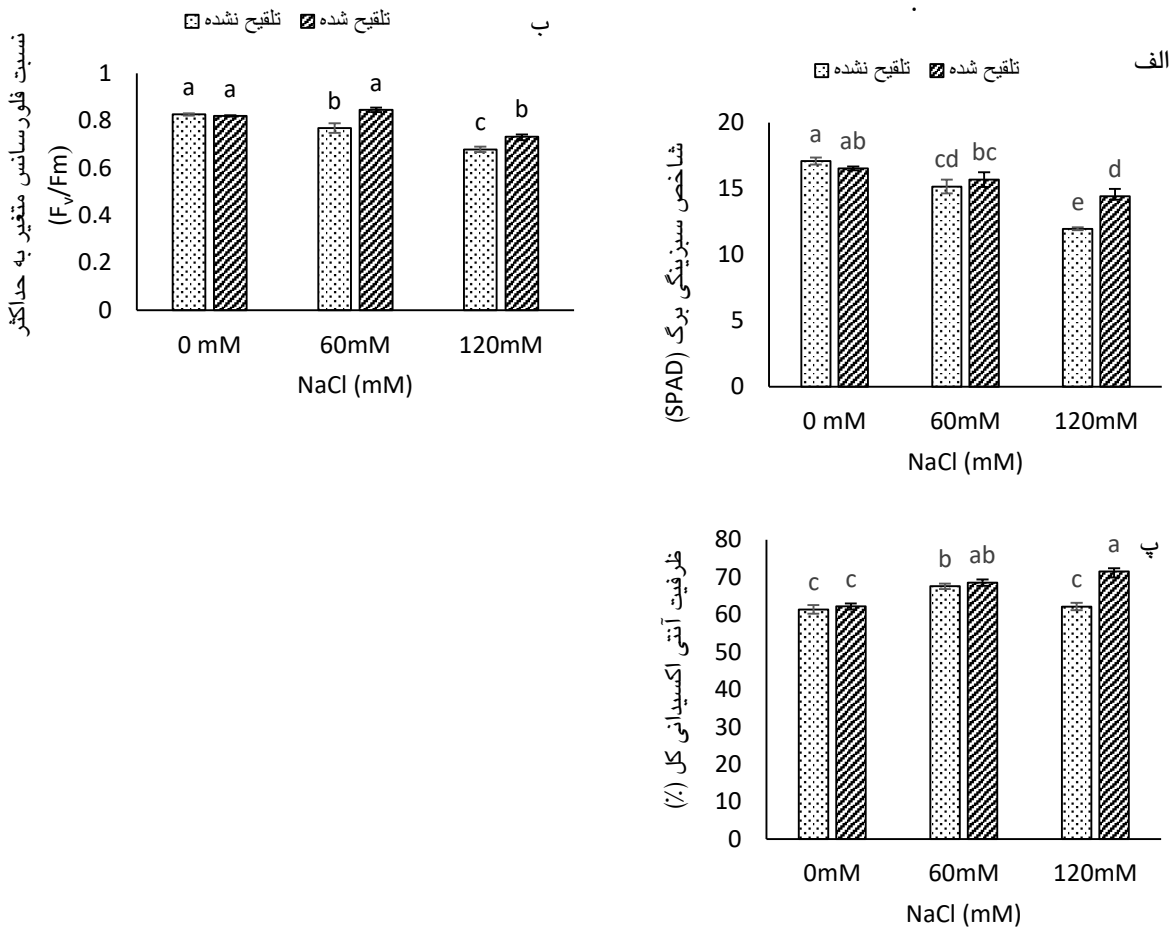
اثر متقابل تیمار شوری و تلقیح با قارچ میکوریزا بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش شوری تا غلظت ۶۰ میلی‌مولار باعث افزایش معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در گیاهان تلقیح نشده و تلقیح شده گردید. با این وجود، سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در گیاهان تلقیح نشده گردید ولی تاثیر معنی‌داری بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در گیاهان تلقیح شده نداشت (شکل ۲ پ). بطورکلی در شرایط تنش شوری بخصوص تنش شوری بالا، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در گیاهان تلقیح شده در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده بیشتر بود. استفاده از رادیکال آزاد DPPH یک روش رایج برای ارزیابی اثر آنتی اکسیدانی می‌باشد (بلویس ۱۹۵۸). جدول ۴)

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که همزیستی بین گیاه میزبان و قارچ میکوریزا می‌تواند باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌های غیرآنزیمی مانند ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی و آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی می‌شود (بلیلو و همکاران ۲۰۰۰؛ بونانومی و همکاران ۲۰۰۱؛ شارما و همکاران ۲۰۱۹؛ شهوالی و همکاران ۲۰۲۰؛ مارزی‌زاده و همکاران ۲۰۲۱). از این رو، درصد بالای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در گیاهان تلقیح شده به ویژه در تنش بالای شوری می‌تواند نشان‌دهنده کارایی بالای آنتی‌اکسیدانت‌های غیرآنزیمی و آنزیمی در دفع موثر گونه‌های فعال اکسیژن در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده باشد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

اثرات ساده شوری و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر محتوای کلروفیل a،b و کل و کاروتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود درحالیکه اثر متقابل آنها فقط بر محتوای کلروفیل کل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). حداقل محتوای کلروفیل a و b در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مشاهده شد که بطور معنی‌دار و بترتیب ۲۹/۲ و ۲۷/۶ درصد کمتر از گیاهان در شرایط بدون تنش بود. همچنین محتوای کلروفیل a و b در گیاهان تلقیح شده بطور معنی‌دار و بترتیب ۱۸/۵ و ۱۳/۱ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود. محتوای کلروفیل کل گیاهان تلقیح شده در سطوح شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار بطور معنی‌دار و بترتیب ۲۴ و ۲۳/۶ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود. همچنین، افزایش شوری باعث کاهش معنی‌دار محتوای کارتنوئید گردید. گیاهان تلقیح شده بطور معنی‌داری محتوای کارتنوئید بیشتری در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده (۱۸/۹ درصد) داشتند (

[۱] 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)



شکل ۲-مقایسه میانگین (الف) شاخص سبزینگی برگ (SPAD)، (ب) نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m) و (پ) ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (DPPH) بادام تحت سطوح مختلف شوری و تلقیح با قارچ میکوریزا

کاهش غلظت کلروفیل در شرایط شوری را می توان با مهار آنزیم های خاصی که در تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی شرکت می‌کنند مرتبط دانست (مورکوته و همکاران ۲۰۰۹). علاوه بر این، در غلظت بالای Na^+، تأثیر آنتاگونیستی Na^+ بر Mg^{2+} منجر به کاهش بیوسنتز و فتوسنتز کلروفیل می شود (گیری و همکاران ۲۰۰۳). بعلاوه، بهبود جذب فسفر در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا با کمک به حفظ یکپارچگی غشای سلولی، کاهش نشت یون و کده‌بندی یون های سمی در واکوئل، تحمل به تنش شوری را افزایش می دهد (ایولین و همکاران ۲۰۱۲). براساس نتایج بدست آمده از این مطالعه ،غلظت بالاتر کلروفیل در گیاهان تلقیح شده تحت تنش شوری را می‌توان عمدتاً به کاهش انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی و بهبود تغذیه فسفرنسبت داد. از آنجاییکه شدت تغییرات محتوای کلروفیل در پاسخ به شوری می تواند به عنوان شاخصی از تحمل گیاه به تنش شوری عمل کند (اشرف و هریس ۲۰۱۳). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان تلقیح نشده تحمل بیشتری به تنش شوری دارند.

محتوای پرولین

اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر محتوای پرولین برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌داری بود (جدول ۵). افزایش شوری باعث افزایش معنی‌دار محتوای پرولین برگ در گیاهان تلقیح نشده و تلقیح شده گردید. در سطوح شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار محتوای پرولین برگ گیاهان تلقیح شده بطور معنی‌دار و بترتیب ۳۰/۹ و ۲۶/۸ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود.

جدول ۴- مقایسه میانگین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی بادام تحت سطوح مختلف شوری و تلقیح با قارچ میکوریزا

شوری (میلی‌مولار)	قارچ	کلروفیل a (mg. g^{-1} FW)	کلروفیل b (mg. g^{-1} FW)	کلروفیل کل (mg. g^{-1} FW)	کاروتنوئید (mg. g^{-1} FW)
صفر	تلقیح نشده	۱/۳۵ ± ۰/۰۸ a	۱/۳۴ ± ۰/۰۶ a	۲/۷ ± ۰/۰۷ ab	۰/۲۲ ± ۰/۰۱ab
	تلقیح شده	۱/۴۲ ± ۰/۰۵ a	۱/۳۹ ± ۰/۰۵ a	۲/۸۱ ± ۰/۰۴ a	۰/۲۵ ± ۰/۰۰۷ a
۶۰	تلقیح نشده	۱/۰۵ ± ۰/۰۵ b	۱/۰۴ ± ۰/۰۵ c	۲/۱ ± ۰/۰۴ c	۰/۱۸ ± ۰/۰۱ cd
	تلقیح شده	۱/۳۴ ± ۰/۰۳ a	۱/۲۵ ± ۰/۰۴ ab	۲/۶ ± ۰/۰۴ b	۰/۲۲ ± ۰/۰۰۸ ab
۱۲۰	تلقیح نشده	۰/۸۶ ± ۰/۰۵ c	۰/۹ ± ۰/۰۴ c	۱/۷۵ ± ۰/۰۵ d	۰/۱۶ ± ۰/۰۰۸ d
	تلقیح شده	۱/۱۹ ± ۰/۰۴ d	۱/۰۷ ± ۰/۰۴ bc	۲/۱ ± ۰/۰۵ c	۰/۲۱ ± ۰/۰۱ bc

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

بنابراین حداکثر محتوای پرولین برگ (µmol.g^{-1} FW ۲۲/۳۸) در گیاهان تلقیح شده در سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۳ الف). تحقیقات نشان داده‌اند که گونه‌های متحمل به شوری اغلب پس از مواجه با تنش پرولین بیشتری را تجمع می‌دهند (مونس و تستر ۲۰۰۸). مطالعات نشان داده است که قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز پرولین، مانند پرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز (P-5-CS) و گلوتامات دهیدروژناز (GDH) به همراه محدود کردن فعالیت آنزیم پرولین دهیدروژناز، باعث تجمع پرولین در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در شرایط تنش شوری می‌شوند (گرگ و باهر ۲۰۱۳). گزارشات متعددی مبنی بر افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش شوری در گیاهان تلقیح شده با *R. intraradices* نسبت به گیاهان تلقیح نشده وجود دارد (تایگی و همکاران ۲۰۱۷؛ حاجی‌بلند و همکاران ۲۰۱۰).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر شوری و قارچ میکوریزا بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن بادام

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	پرولین	مالون‌دی‌آلدهید	پراکسید هیدروژن
بلوک	۲	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۴ ns	۰ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۷۹۹ ns	۱/۸۰۹ ns	۰/۰۰۱ ns
شوری	۲	۰/۲۴۹ **	۰/۲۱۵ **	۰/۹۲۵ **	۰/۰۰۰۴ **	۱۶۹/۴۲ **	۲۱/۵۸ **	۰/۰۱۵ **
قارچ	۱	۰/۱۸۵ **	۰/۰۹۴ *	۰/۵۴۲ **	۰/۰۰۶ **	۳۲/۲۰ **	۱۲/۲۳ **	۰/۰۰۵ **
شوری×قارچ	۲	۰/۰۲ ns	۰/۰۱۱ ns	۰/۰۶۱ *	۰/۰۰۰۷ ns	۱۱/۴۳ *	۱/۶۱۲ ns	۰/۰۰۳ *
اشتباه آزمایشی	۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱۱	۰	۲/۰۱	۰/۸۰۸	۰

ns، * و ** بترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

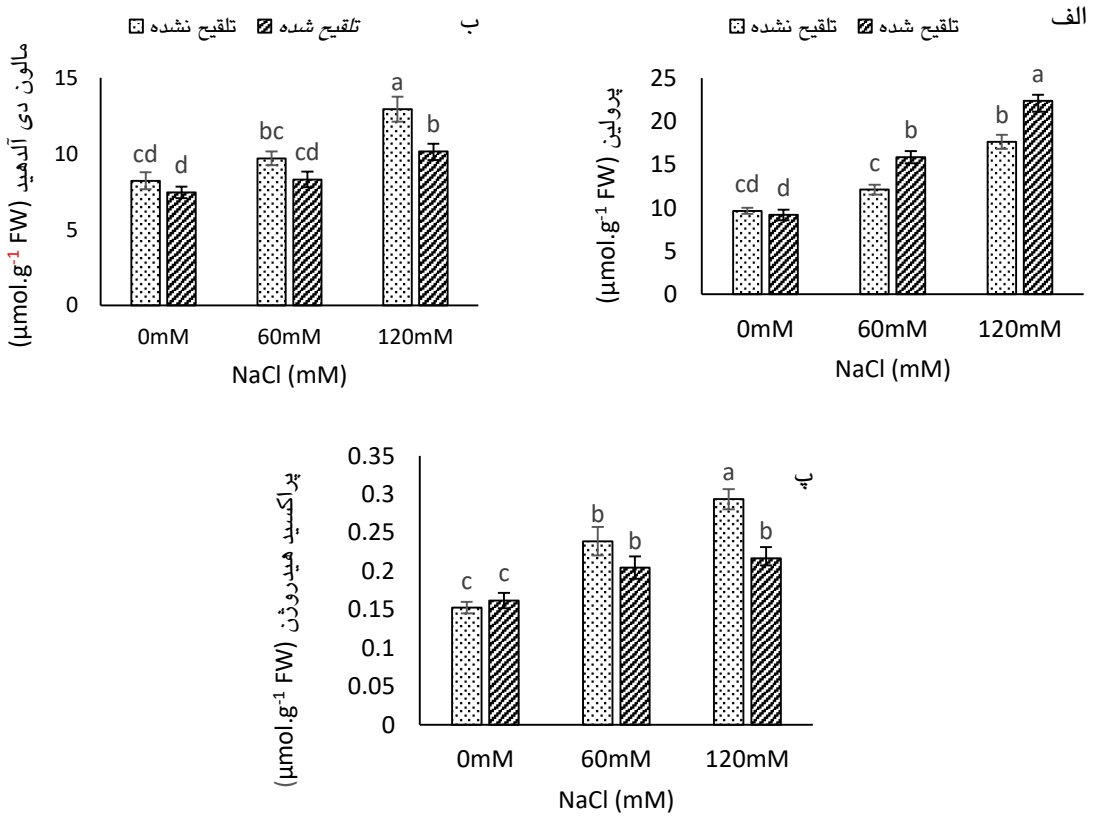
محتوای مالون‌دی‌آلدهید (MDA)

اثرات ساده شوری و تلقیح با قارچ بر محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، اما اثر متقابل معنی‌دار نبود (جدول ۵). تشدید تنش شوری با افزایش معنی‌دار محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ همراه بود. شوری در سطوح ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار بترتیب باعث افزایش معنی‌دار و ۱۴/۸ و ۴۷/۳ درصدی محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ در مقایسه با شرایط

بدون تنش شد. بعلاوه محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ گیاهان تلقیح نشده بطور معنی‌داری و حدود ۱۹ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح شده بود (شکل ۳ ب). نتیجه این مطالعه مشابه نتایج شهوالی و همکاران (۲۰۲۰) می‌باشد که گزارش کردند تلقیح پایه GF677 با *R. intraradices* و *F. mosseae* تاثیر معنی‌داری بر محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ در شرایط تنش شوری نداشت. کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید در برگ و ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا تحت تنش شوری در بسیاری از مطالعات نیز گزارش شده است (حاجی‌بلند و همکاران ۲۰۱۰؛ وو و همکاران ۲۰۱۰؛ ناوارو و همکاران ۲۰۱۴؛ آیت‌المختار و همکاران ۲۰۱۹)

محتوای پراکسید هیدروژن برگ (H_2O_2)

اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر محتوای پراکسید هیدروژن برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). افزایش شوری باعث افزایش معنی‌دار محتوای پراکسید هیدروژن برگ در گیاهان تلقیح نشده و تلقیح شده گردید. بیشترین محتوای پراکسید هیدروژن برگ، در گیاهان تلقیح نشده در سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار مشاهده شد که بطور معنی‌دار و ۳۵/۴ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح شده بود (شکل ۳ پ). تجمع کم‌تر محتوای پراکسید هیدروژن برگ در گیاهان تلقیح شده در تنش شوری بالا نشان‌دهنده تجمع کم‌تر گونه‌های فعال اکسیژن و در نهایت آسیب اکسیداتیو کم‌تر در گیاهان تلقیح شده می‌باشد. کاهش محتوای پراکسید هیدروژن برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا را می‌توان با افزایش قابل توجه فعالیت آنتی اکسیدانی و متابولیسم فسفات مرتبط دانست (هی و همکاران ۲۰۰۷).



شکل ۳- مقایسه میانگین (الف) محتوای پرولین، (ب) مالون‌دی‌آلدهید و (پ) پرواکسید هیدروژن بادام تحت سطوح مختلف شوری و تلقیح با قارچ میکوریزا

محتوای فسفر برگ و ریشه

اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر محتوای فسفربرگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، درحالیکه در مورد فسفر ریشه فقط اثرات ساده شوری و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بدون در نظر گرفتن تلقیح با قارچ میکوریزا، افزایش شوری با کاهش محتوای فسفر برگ و ریشه همراه بود. در تمامی سطوح شوری محتوای فسفر برگ گیاهان تلقیح شده بطورمعنی‌دار و قابل توجهی بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود، بطوریکه در سطوح شوری صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار محتوای فسفر در برگ گیاهان تلقیح شده بطور معنی‌دار و بترتیب ۵۳، ۷۷/۴ و ۴۱/۵ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود. محتوای فسفر ریشه در سطوح شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار بطور معنی‌دار و بترتیب ۱۷/۵ و ۴۳/۵ درصد کاهش یافت. از طرفی محتوای فسفر در ریشه گیاه تلقیح شده بطور معنی‌دار و ۵۸/۵ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود (شکل ۴ الف و ب). کاهش رشد ریشه و رسوب آنیون $H_2PO_4^{-1}$ با کاتیون های Ca^{+2} دو مانع اساسی در جذب فسفر در شرایط تنش شوری می‌باشند (مارچنر و همکاران ۱۹۹۶). در میان عناصر پرنیاز و کم نیاز، جذب فسفر بیشتر تحت تاثیر قارچ‌های مایکوریزا قرار میگیرد (میرانصاری ۲۰۱۳) در مطالعات زیادی بهبود جذب فسفر در گیاهان همزیست با قارچ میکوریزا را در شرایط بدون تنش و تنش شوری گزارش شده است (حاجی بلند و همکاران ۲۰۱۰؛ آیت‌المختار و همکاران ۲۰۱۹؛ امانی‌فر و طغرانگر ۲۰۲۰؛ مارزی‌زاده و همکاران ۲۰۲۱). از آنجاییکه فسفر جز عناصر بی تحرک می‌باشد گسترش شبکه هیف‌های قارچی در گیاه میزبان، سطح جذب ریشه را افزایش داده و ریشه گیاه را قادر می‌سازد تا به نقاط بیشتر و عمیق‌تری از ریزوسفر نفوذ کرده و در نهایت آب و مواد غذایی بیشتری جذب کند (رویز-لوزانو و آزکون ۲۰۰۰). همچنین در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا ، ترشح فسفاتازهای قلیایی و اسیدها توسط هیف های قارچی با افزایش هیدرولیز فسفر آلی باعث بهبود تغذیه گیاه با فسفر به ویژه در شرایط کمبود فسفر را می شود (گویکوچه و همکاران ۲۰۰۴).

محتوای سدیم و پتاسیم برگ و ریشه

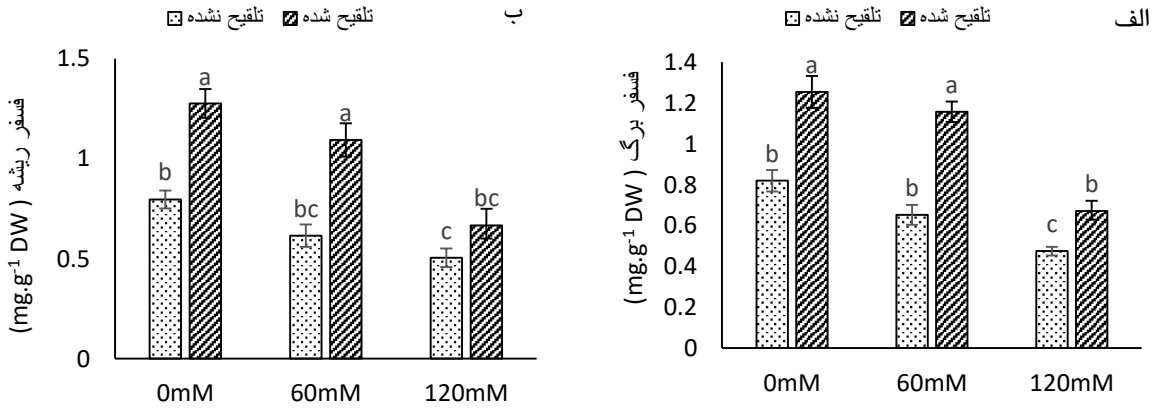
اثر متقابل شوری و تلقیح با قارچ میکوریزا بر محتوای سدیم برگ و ریشه به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). صرف نظر از تلقیح با قارچ میکوریزا، افزایش شوری با افزایش معنی‌دار محتوای سدیم در برگ و ریشه گیاهان بادام همراه بود. محتوای سدیم در برگ گیاهان تلقیح شده در سطوح شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار بطور قابل توجهی و معنی‌داری کمتر از گیاهان تلقیح نشده بود (بترتیب ۳۹/۷ و ۳۶/۳ درصد). برخلاف برگ، محتوای سدیم در ریشه‌های تلقیح شده بطور معنی‌داری بیشتر از ریشه‌های تلقیح نشده بود. محتوای سدیم در ریشه‌های تلقیح شده در سطوح شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار بطور معنی‌دار و بترتیب ۴۵/۵ و ۲۷ درصد بیشتر از ریشه‌های تلقیح نشده بود (شکل ۴ پ و ت). اثرات متقابل فاکتورهای آزمایشی بر محتوای پتاسیم برگ وریشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). در سطوح شوری صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار محتوای پتاسیم برگ گیاهان تلقیح شده بطور معنی‌دار و بترتیب ۴۴/۳، ۷۰/۸ و ۳۶/۸ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود. سطوح شوری متوسط و بالا باعث کاهش معنی‌دار محتوای پتاسیم ریشه گیاهان تلقیح نشده گردید. درحالیکه کاهش معنی‌دار محتوای پتاسیم ریشه گیاهان تلقیح شده فقط در تنش شوری بالا مشاهده شد. محتوای پتاسیم ریشه گیاهان تلقیح شده در سطوح شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار بطور معنی‌دار و بترتیب ۶۳/۹ و ۲۳/۷ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود (شکل ۴ ج و چ). نتایج انگوتی و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد افزایش تنش شوری با افزایش محتوای سدیم در برگ و ریشه پایه GN15 همراه است. تحقیقات نشان داده است که غشای میسلیوم قارچ‌های میکوریز آربوسکولار قادر به کاهش

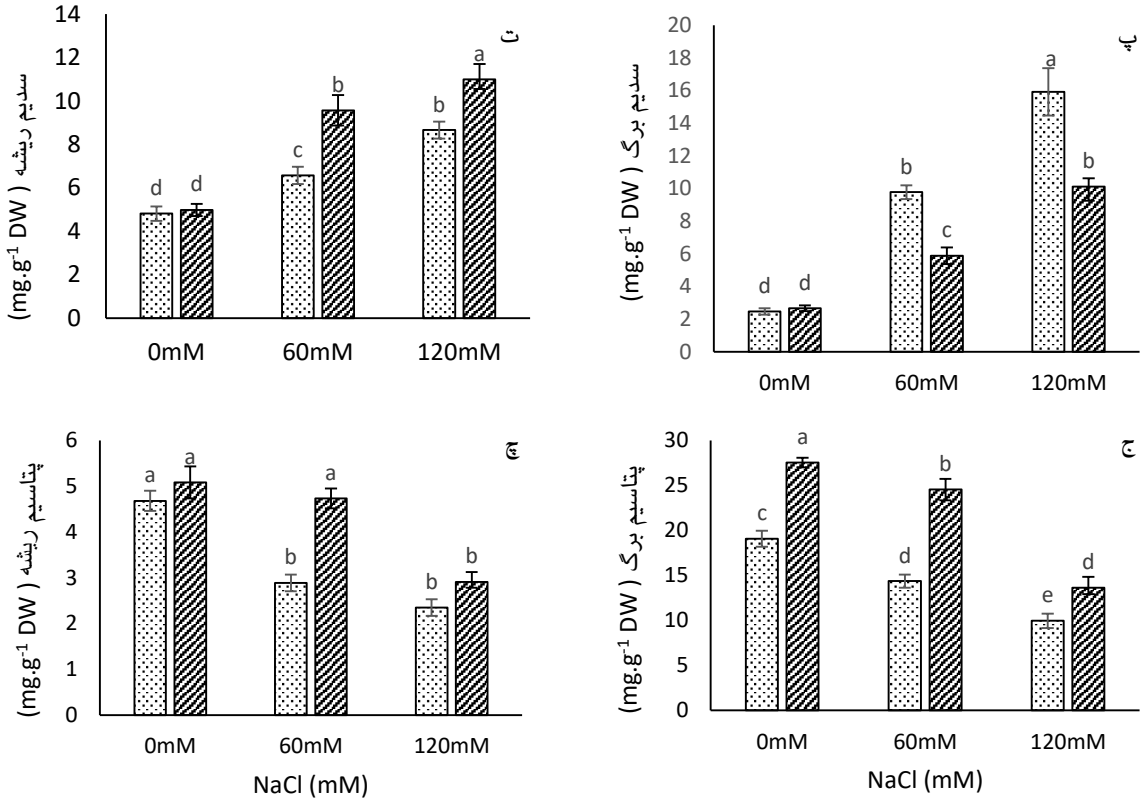
اثرات نامطلوب تنش شـــوری از طریق جذب انتخابی یون‌های K^+ و Ca^{+2} و جلوگیری از ورود یون‌های Na^+ می‌باشـــد. از طرفی غشـــای پری‌آربوســـکولار دارای نفوذپذیری انتخابی نسبت به تمام یون‌ها است. بنابراین، در نتیجه‌ی نفوذپذیری انتخابی مضـــاعف ایجاد شـــده توســـط غشـــای میســـلیوم و غشـــای پری آربوســـکولار کـاهش جذبNa^+ و افزایش جذب K^+ در گیاهان تلقیح شـــده با قارچ میکوریزا مشـــاهده می‌شـــود (حاجی‌بلند ۲۰۱۳). از طرفی نشان داده شده است که تخصیص Na^+ در هیف‌ها و یا وزیکول‌های درون ریشـــه‌ای و کده‌بندی Na^+ در واکوئل‌های سلول‌های ریشه مانع از انتقال Na^+ از ریشـــه به قســـمت‌های هوایی گیاه تلقیح شـــده با قارچ میکوریزا می‌شـــود (کانترل و لیندرمن ۲۰۰۱). همچنین قارچ‌های میکوریزا آربوســـکولار با بیش بیان ژن‌های پروتئین‌های ناقل غشـــای پلاســـمایی باعث خروج Na^+ به فضای آپوپلاستی سلول و کنترل بارگیری Na^+ در آوند چوبی ریشـــه می‌شـــوند (پورســـل و همکاران ۲۰۱۶). بنـابراین طبق نتایج بدســـت آمده از این مطالعه بنظر می‌رســـد تجمع Na^+ در هیف و یا وزیکول‌های درون ریشه‌ای و واکوئل‌های ریشه و جلوگیری از انتقال آن به قســـمت‌های هوایی باعث تجمع Na^+ در ریشـــه گیاهان تلقیح شـــده و در عین حـال کـاهش محتوای آن در برگ‌های این گیاهان شده است.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر شوری و قارچ میکوریزا بر محتوای عناصر فسفر، سدیم و پتاسیم برگ و ریشه بادام

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		برگ			ریشه		
		فسفر	سدیم	پتاسیم	فسفر	سدیم	پتاسیم
بلوک	۲	۰/۰۰۱ ns	۳/۰۵۲ ns	۰/۱۵۴ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۶۶۴ ns	۰/۰۸۶ ns
شوری	۲	۰/۳۴۳ **	۱۶۳/۷۴۵ **	۲۰۵/۴۵۹ **	۰/۳۰۹ **	۳۷/۴۶۵ **	۷/۵۹۹ **
قارچ	۱	۰/۶۴۷ **	۴۴/۹۴۱ **	۲۴۸/۷۷۷ **	۰/۶۲۸ **	۱۵/۱۰۶ **	۳/۹۴۳ **
شوری× قارچ	۲	۰/۰۳۹ *	۱۳/۹۹ **	۱۷/۰۴۲ *	۰/۰۵ ns	۳/۲۸۷ *	۰/۹۳۷ *
اشتباه آزمایشی	۱۰	۰/۰۰۹	۱/۴۱۱	۲/۵۰۴	۰/۰۱۴	۰/۵۸۲	۰/۱۶۴

ns، * و ** بترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.





شکل ۴- مقایسه میانگین محتوای (الف) فسفر، (پ) سدیم و (ج) پتاسیم در برگ و محتوای (ب) فسفر، (ت) سدیم و (چ) پتاسیم در ریشه بادام تحت سطوح مختلف شوری و تلقیح با قارچ میکوریزا

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تلقیح با قارچ میکوریز آربوسکولار با بهبود فتوسنتز، افزایش تجمع پرولین، کاهش تنش اکسیداتیو، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، بهبود جذب عناصر فسفر و پتاسیم و کاهش محتوای سدیم در برگ‌ها که مهم‌ترین اندام فتوسنتزی‌اند باعث افزایش تحمل به تنش شوری در بادام می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استفاده از قارچ‌های میکوریزی به همراه پایه متحمل می‌تواند یک روش کارآمد و سازگار با محیط زیست برای افزایش تحمل بادام به شوری باشد. در این راستا انجام آزمایشات بیشتر با ژنوتیپ‌های مختلف بادام در شرایط باغ ضروری بنظر میرسد.

سپاسگزاری

در پایان از تلاش تمامی اساتید گروه علوم و مهندسی دانشگاه تبریز، مسئول محترم آزمایشگاه بیولوژی گلدهی و فیزیولوژی رشد و نمو میوه و گلخانه و دوستان عزیزم کمال تشکر و قدردانی را دارم.

منابع مورد استفاده

Ait-El-Mokhtar M, Laouane RB, Anli M, Boutasknit A, Wahbi S and Meddich A, 2019. Use of mycorrhizal fungi in improving tolerance of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings to salt stress. Scientia Horticulturae, 253: 429-438. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.066

Aliasgharzad N, Rastin SN, Towfighi H and Alizadeh A, 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. Mycorrhiza, 11, 119-122. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1546-4

Amanifar S and Toghranegar Z, 2020. The efficiency of arbuscular mycorrhiza for improving tolerance of *Valeriana officinalis* L. and enhancing valerenic acid accumulation under salinity stress. Industrial Crops and Products, 147: 112234. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112234

Angooti A, Hajilou J, Hajali E and Fathi H, 2019. Effect of different levels of salinity on growth indices, mineral absorption, antioxidant enzymes activity and some physiological traits of roots and leaf in GN15 hybrid rootstocks. Iranian Journal of Horticaltural Sciences, 50(2): 483-500. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.254151.1420

Arnon DI, 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant physiology, 24(1): 1. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Ashraf M and Harris PJ, 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. Photosynthetica, 51: 163-190. https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6

Bates LS, Waldren RA and Teare I, 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Bencherif K, Dalpé Y and Lounès Hadj-Sahraoui A, 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate soil salinity stress in arid and semiarid areas. Microorganisms in Saline Environments: Strategies and Functions, 375-400. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18975-4_16

Blilou I, Ocampo JA and García-Garrido JM, 2000. Induction of Ltp (lipid transfer protein) and Pal (phenylalanine ammonia-lyase) gene expression in rice roots colonized by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. Journal of Experimental Botany, 51(353): 1969-1977. https://doi.org/10.1093/jexbot/51.353.1969

Blois MS, 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature, 181(4617):1199-200. https://doi.org/10.1038/1811199a0

Bonanomi A, Oetiker JH, Guggenheim R, Boller T, Wiemken A and Vögeli-Lange R, 2001. Arbuscular mycorrhiza in mini-mycorrhizotrons: first contact of *Medicago truncatula* roots with *Glomus intraradices* induces chalcone synthase .New Phytologist, 150(3): 573-582. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00135.x

Bowler C, Montagu MV and Inze D, 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. Annual Review of Plant Biology, 43(1): 83-116. https://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.000503

Cantrell IC and Linderman RG, 2001. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. Plant Soil 233, 269–281. https://doi.org/10.1023/A:1010564013601

Chang W, Sui X, Fan XX, Jia TT and Song FQ, 2018. Arbuscular mycorrhizal symbiosis modulates antioxidant response and ion distribution in salt-stressed *Elaeagnus angustifolia* seedlings. Frontiers in Microbiology, 9: 652. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00652

Chapman HD and Pratt PF, 1962. Methods of analysis for soils, plants and waters. Soil Science, 93(1): 68.

Chinnusamy V, Jagendorf A and Zhu JK, 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop Science, 45(2): 437-448. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0437

Evelin H, Giri B and Kapoor R, 2012. Contribution of *Glomus intraradices* inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed *Trigonella foenum-graecum*. Mycorrhiza, 22: 203-217. https://doi.org/10.1007/s00572-011-0392-0

Garg N and Baher N, 2013. Role of arbuscular mycorrhizal symbiosis in proline biosynthesis and metabolism of *Cicer arietinum* L.(chickpea) genotypes under salt stress. Journal of Plant Growth Regulation, 32: 767-778. https://doi.org/10.1007/s00344-013-9346-4

Giri B, Kapoor R and Mukerji K, 2003. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. Biology and Fertility of Soils, 38: 170-175. https://doi.org/10.1007/s00374-003-0636-z

Goicoechea N, Sánchez-Diaz M, Sáez and Irañeta J, 2004. The Association of Barley with AM fungi can result

in similar yield and grain quality as a long term application of P or PK fertilizers by enhancing root phosphatase activity and sugars in leaves at tillering. Biological Agriculture & Horticulture, 22(1): 69-80. https://doi.org/10.1080/01448765.2004.9754989

Grattan S and Grieve C, 1998. Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae, 78(1-4): 127-157. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00192-7

Hajiboland R, 2013. Role of arbuscular mycorrhiza in amelioration of salinity. Salt Stress in Plants: Signalling, Omics and Adaptations, 301-354. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6108-1_13

Hajiboland R, Aliasgharzadeh N, Laiegh SF and Poschenrieder C, 2010. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Plant and Soil, 331: 313-327. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0255-z

Hashem A, Alqarawi AA, Radhakrishnan R, Al-Arjani ABF, Aldehaish HA, Egamberdieva D and Abd-Allah EF, 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumis sativus* L. Saudi Journal of Biological Sciences, 25(6): 1102-1114. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.009

Hatami E, Shokouhian AA, Ghanbari AR and Naseri LA, 2018. Alleviating salt stress in almond rootstocks using of humic acid. Scientia Horticulturae, 237: 296-302. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.034

Hause B and Fester T, 2005. Molecular and cell biology of arbuscular mycorrhizal symbiosis. Planta, 221: 184-196. https://doi.org/10.1007/s00425-004-1436-x

He Z, He C, Zhang Z, Zou Z and Wang H, 2007. Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 59(2): 128-133. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.04.023

Heath RL and Packer L, 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125(1): 189-198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Hoagland DR and Arnon DI, 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California Agricultural Experiment Station, 347 (2nd edit).

Juniper S and Abbott L, 2006. Soil salinity delays germination and limits growth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. Mycorrhiza, 16: 371-379. https://doi.org/10.1007/s00572-006-0046-9

Ladizinsky G, 1999. On the origin of almond. Genetic Resources and Crop Evolution, 46: 143-147. https://doi.org/10.1023/A:1008690409554

Lichtenthaler HK, 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology, Elsevier, 148: 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Marizadeh A, Bolandnazar S, Hajilou J and Lotfollahy A, 2021. The Effect of commercial rootstocks and inoculation with two species of mycorrhizal fungi on some element uptake and qualitative traits of greenhouse cucumber. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31(1): 145-161. (In Persian). https://doi.org/10.22034/saps.2021.12793

Marschner H, Kirkby E and Cakmak I, 1996. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. Journal of Experimental Botany, 47: 1255-1263. https://doi.org/10.1093/jxb/47.special_issue.1255

Massai R, Remorini D and Tattini M, 2004. Gas exchange, water relations and osmotic adjustment in two scion/rootstock combinations of *Prunus* under various salinity concentrations. Plant and Soil, 259: 153-162. https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000020954.71828.13

McGonigle TP, Miller MH, Evans D, Fairchild G and Swan JA, 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist, 115(3): 495-501. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x

Miransari M, 2010. Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stress. Plant Biology, 12(4): 563-569. https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00308.x

Miransari M, 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi and uptake of nutrients. Springer, 253-270. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39317-4_13

Momenpour A, Imani A, Bakhshi D and Rezaie H, 2015. Effect of Salinity stress on concentrations of nutrition elements in almond (*Prunus dulcis*) 'Shokofeh', 'Sahand' cultivars and '13-40' genotype budded on GF677 rootstock. Journal of Horticultural Science, 29(2): 255-268. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.33416

Munns R and Tester M, 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59: 651-681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Murkute AA, Sharma S, Singh S and Patel V, 2009. Response of mycorrhizal citrus rootstock plantlets to salt stress. Indian Journal of Horticulture, 66(4): 456-460.

Navarro JM, Pérez-Tornero O and Morte A, 2014. Alleviation of salt stress in citrus seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi depends on the rootstock salt tolerance. Journal of Plant Physiology, 171(1): 76-85. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.06.006

Netto AT, Campostrini E, de Oliveira JG and Bressan-Smith RE, 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and S PAD-502 readings in coffee leaves. Scientia Horticulturae, 104(2): 199-209. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.013

Ottman Y and Byrne DH, 1988. Screening rootstocks of *Prunus* for relative salt tolerance. HortScience, 23(2): 375-378. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.23.2.375

Phillips J and Hayman D, 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society, 55(1): 158-IN118. https://doi.org/10.1016/s0007-1536(70)80110-3

Porcel R, Aroca R, Azcon R, Ruiz-Lozano JM, 2016. Regulation of cation transporter genes by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in rice plants subjected to salinity suggests improved salt tolerance due to reduced Na^+ root-to-shoot distribution. Mycorrhiza. 26, 673–684. https://doi.org/10.1007/s00572-016-0704-5

Ruiz-Lozano JM and Azcón R, 2000. Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal *Glomus* sp. from saline soils and *Glomus deserticola* under salinity. Mycorrhiza, 10: 137-143. https://doi.org/10.1007/s005720000075

Ruiz-Lozano JM, Porcel R, Azcón C and Aroca R, 2012. Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. Journal of Experimental Botany, 63(11): 4033-4044. https://doi.org/10.1093/jxb/ers126

Shahvali R, Shiran B, Ravash R, Fallahi H and Deri BB, 2020. Effect of symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi on salt stress tolerance in GF677 (peach× almond) rootstock. Scientia Horticulturae, 272: 109535. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109535

Sharma A, Shahzad B, Rehman A, Bhardwaj R, Landi M and Zheng B, 2019. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. Molecules 24(13): 2452. https://doi.org/10.3390/molecules24132452

Stepien P and Klobus G, 2005. Antioxidant defense in the leaves of C3 and C4 plants under salinity stress. Physiologia Plantarum, 125(1): 31-40. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00534.x

Tyagi J, Varma A and Pudake RN, 2017. Evaluation of comparative effects of arbuscular mycorrhiza (*Rhizophagus intraradices*) and endophyte (*Piriformospora indica*) association with finger millet (*Eleusine coracana*) under drought stress. European Journal of Soil Biology, 81: 1-10. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.05.007

Velikova V, Yordanov I and Edreva A, 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. Plant Science, 151(1): 59-66. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1

Wu QS, Zou YN, Liu W, Ye X, Zai H and Zhao L, 2010. Alleviation of salt stress in citrus seedlings inoculated with mycorrhiza: changes in leaf antioxidant defense systems. Plant, Soil and Environment, 56(10): 470-475. https://doi.org/10.17221/54/2010-PSE

Yaghoubian Y, Goltapeh EM, Pirdashti H, Esfandiari E, Feiziasl V, Dolatabadi HK, Varma A and Hassim MH, 2014. Effect of *Glomus mosseae* and *Piriformospora indica* on growth and antioxidant defense responses of wheat plants under drought stress. Agricultural Research, 3: 239-245. https://doi.org/10.1007/s40003-014-0114-x

Zai XM, Fan JJ, Hao ZP, Liu XM and Zhang WX, 2021. Effect of co-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing fungi on nutrient uptake and photosynthesis of beach palm under salt stress environment. Scientific Reports, 11(1): 5761. https://doi.org/10.1038/s41598-021-84284-9

Zrig A, Mohamed HB, Tounekti T, Khemira H, Serrano M, Valero D and Vadel A, 2016. Effect of rootstock on salinity tolerance of sweet almond (cv. Mazzetto). South African Journal of Botany, 102: 50-59. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.09.001

دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 327-349

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

Impact of Foliar Spraying Zinc, Salicylic Acid and the use of Amino Acids on the Growth and Establishment of Milk Thistle (*Silybum marianum*) Seeds under Varied irrigation Conditions

Shiva Afsharnia[1], Mahdi Ghiyasi[2*], Esmail Rezaei-Chiyaneh[2], Amir Rahimi[2]

Received: 27 February 2024	Accepted: 13 June 2024

1-PhD. Student, Agrotechnology (Crop Ecology), Dep. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Urmia, Iran.
2-Assoc. Prof., of Agriculture, (Seed Science and Technology) Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Urmia, Iran.
*Corresponding Author Email: m.ghiasi@urmia.ac.ir

Abstract

Objective: This study aimed to investigate the impact of foliar application of various compounds on the growth and seed yield of Milk Thistle (*Silybum marianum*) across different irrigation conditions.

Materials and Methods: The study comprised two parts, field and laboratory, conducted during the agricultural year of 2017-2018. The field research was conducted at a research farm in Naqdeh City, West Azarbaijan province. At the same time, the laboratory work was completed at the agricultural laboratory of the Faculty of Agriculture, Urmia University. The field experiment was executed in a split-plot design using a completely randomized block design with three replications. The primary factor of interest was irrigation, with three treatment levels: full irrigation, pre-flowering supplemental irrigation, and no irrigation, implemented in the main plots. The secondary factor under investigation involved foliar treatments with four levels: salicylic acid (1 mM), zinc (1 part per thousand per hectare), amino acid (2 parts per thousand per hectare), and a control (sprayed with water).

Results: In general, the results from the field section indicated that full irrigation had a significant impact on key traits: plant height (158 cm), number of mature capitula (9.06), and total number of capitula (12.55). Likewise, the highest index for supplemental irrigation (20.92) was observed. Full irrigation and foliar application of salicylic acid also resulted in the highest relative leaf water content (82.32). Conversely, drought stress led to an increase in the number of stomata. Salicylic acid foliar spraying achieved the highest weight of a thousand grains (26.34 g).
The results from the laboratory germination section demonstrated that the treatment without irrigation, acting as the control, yielded the highest structural indices for plant length (7.2335) and root length (24.16). The longest stem length (75.7 cm) was observed in the amino acid foliar spray treatment. Furthermore, the treatment without irrigation and foliar zinc spraying resulted in the highest levels of catalase (18.56) and superoxide dismutase (20.06) enzymes.

Conclusion: The results showed that foliar application, irrigation, and their interactions increased the studied traits compared to the control.

Keywords: Additional Watering, Desiccated Plants, Essential Amino Acids, Salicin Derivative, Seeds, *Silybum marianum*, Zinc Mineral

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2024 Mahdi Ghiyasi Email: m.ghiasi@urmia.ac.ir
https://doi.org/10.22034/SAPS.2024.60197.3166

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۳۴۹-۳۲۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

ارزیابی تاثیر محلول‌پاشی روی ، سالیسیلیک اسید و کاربرد اسیدآمینه برعملکرد و بنیه بذر ماریتیغال در رژیم‌های مختلف آبیاری

شیوا افشارنیا[۱]، مهدی قیاسی[۲*]، اسماعیل رضایی چیانه[۲]، امیر رحیمی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۴

۱- دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی (اکولوژی گیاهان زراعی)، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲-دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
مسول مکاتبه: Email: m.ghiasi@urmia.ac.ir

چکیده

اهداف: پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف بر عملکرد و بنیه بذر ماریتیغال در رژیم‌های مختلف آبیاری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش در دو بخش مزرعه‌ای و آزمایشگاهی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ایی تحقیقاتی واقع در استان آذربایجان غربی شهرستان نقده و آزمایشگاه تحقیقاتی در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام گرفت. آزمایش مزرعه‌ای به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار انجام گرفت. عامل اول مورد مطالعه آبیاری با سه سطح (آبیاری کامل یا آبیاری پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبت از ظرفیت زراعی خاک، آبیاری تکمیلی قبل از گلدهی و بدون آبیاری) بود که در کرت‌های اصلی اعمال شدند. عامل دوم مورد مطالعه تیمارهای محلول‌پاشی با چهار سطح (سالیسیلیک اسید(۱ میلی مولار)، روی(۱ دو در هزار)، اسید آمینه(۲ در هزار بر حسب هکتار) و شاهد(محلول‌پاشی با آب)) لحاظ شدند.

یافته‌ها: به طور کلی، نتایج به‌دست آمده از بخش مزرعه‌ای نشان داد که آبیاری کامل بیشترین تأثیر را در صفات؛ ارتفاع بوته (۱۵۸سانتی‌متر)، تعداد کاپیتول رسیده (۹/۰۶) و تعداد کل کاپیتول (۱۲/۵۵) داشت، همچنین بیشترین شاخص برداشت از آبیاری تکمیلی(۲۰/۹۲) به‌دست آمد، بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ (۸۲/۳۲) نیز از آبیاری کامل و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به‌دست آمد، از طرفی تنش خشکی سبب افزایش تعداد روزنه گردید، و بیشترین مقدار وزن هزار دانه(۲۶/۳۴گرم)، ازمحلول‌پاشی سالیسیلیک اسید حاصل شد. نتایج بخش آزمایشگاه جوانه‌زنی در بذرهای تولیدی نشان داد که بیشترین شاخص بنیه طولی گیاهچه و طول ریشه‌چه به ترتیب ۲۳۳۵/۷، ۱۶/۲۴ از تیمار بدون آبیاری شاهد به‌دست آمد. بیشترین طول ساقه‌چه(۷/۷۵) از تیمار محلول‌پاشی اسیدآمینه و همچنین در تیمار بدون آبیاری و محلول‌پاشی روی، بیشترین آنزیم کاتالاز(۱۸/۵۶)، سوپر اکسید دیسموتاز(۲۰/۰۶) حاصل شد.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که محلول‌پاشی و آبیاری و اثرات متقابل این عوامل افزایش صفات مورد مطالعه نسبت به شاهد را در پی داشت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، اسید آمینه، بذر، خشکی، ، روی، سالیسیلیک اسید، ماریتیغال

مقدمه

ماریتیغال گیاهی دارویی با نام علمی (*Silybum marianum* (L.) Gaertn) از خانواده کاسنی Asteraceae است که با نام انگلیسی Milk thistle fruit و خار مریم شناخته می‌شود (رادی و همکاران ۲۰۱۸). بسته به نوع اکوتیپ و یا شرایط آب و هوایی یک گیاه یکساله و دو ساله می‌باشد. این گیاه در در کشورهای اروپایی و آسیایی رشد می‌کند. در ایران این گیاه در استان‌های شمال‌غربی، جنوب پراکندگی دارد(آرامپاتزیس وهمکاران ۲۰۱۹). ماریتیغال دارای ترکیبات بیوشیمیایی ضروری از جمله مخلوط‌های ایزومری فلاونولینگان‌ها که شامل تاکسوفیلین، سیلی‌کریستین، سیلی‌دیانین، سیسیلین و ایزوسیلین و غیره است که مجموعاً به عنوان سیلی-مارین شناخته می‌شوند؛ عصاره بذر این گیاه دارای ۱ تا ۴ درصد سیلی‌مارین است. بیش از ۲۰۰۰ سال است که از دانه‌های این گیاه برای درمان هپاتیت، سیروز، زردی و محافظت کبد در برابر مسمومیت با مواد شیمیایی محیطی و سموم طبیعی از جمله گزش مار و حشرات، مسمومیت قارچی و الکل استفاده می‌شود (علی و همکاران ۲۰۱۹ دمارکو وهمکاران ۲۰۲۰). بر اساس مطالعات صورت گرفته از طریق مکانیسم‌هایی مثل تحریک پلی‌مراز، خنثی کردن تنش‌های اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد و بالا بردن گلوتاتیون سلولی منجر به ترمیم و محافظت از بافت کبد می‌گردد. علاوه بر این تحقیقات جدید نشان داده است که از ترکیبات عصاره این گیاه می‌توان در تولید داروهایی برای درمان بیماری چربی خون، اختلالات کلیوی، تنظیم کننده‌های سیستم ایمنی و غدد درون ریز استفاده کرد (فلاح حسینی و همکاران ۲۰۰۴).

محلول‌پاشی ریز مغذی‌ها یکی از کارآمدترین راه‌های تامین عناصر غذایی برای گیاهان است، که می تواند کمبودهای غذایی را به شیوه‌ای سریع اصلاح کند، محلول‌پاشی روی و منگنز در شرایط تنش خشکی به طور قابل توجهی باعث افزایش کیفیت عملکرد گلرنگ و بنیه بذرهای برداشت شده گردید و همچنین در کیفیت اسیدهای چرب و روغن موثر بود(قیاسی و همکاران ۲۰۲۳). تحویل عناصر غذایی با محلول‌پاشی معمولا شامل ۱) استفاده از یک محلول آبی درسطح گیاه به شکل قطرات، ۲) حفظ آنها درسطح برگ، ۳) جذب ماده غذایی درسلول‌های زنده گیاهی است، ۴) انتقال ماده مغذی به مناطقی که گیاه بتواند ازآن در فرآیندهای رشد خود استفاده کند. کارایی محلول‌پاشی تا حد زیادی به مکانیسم‌های جذب مولکول‌های محلول‌پاشی بستگی دارد زیرا آنها تحت تاثیر عوامل محیطی زیادی قرار دارند. این روش کودهی این امکان را فراهم می‌کند که در هر مرحله از رشد، تمام مواد مغذی لازم برای گیاهان فراهم شود یک راه عالی برای برای حمایت ازسیستم ریشه گیاهان در دوره‌های رشد شدید است(جانوسزکییویز وهمکاران ۲۰۲۳).

در این میان عنصر روی (Zn) به عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر کم مصرف جایگاه ویژه‌ای در رشد گیاهان دارد. نقش این عنصر علاوه بر دفاع در برابر بیماری‌های گیاهی، در طول مرحله¬ی زایشی گیاه و پر شدن دانه ضروری است از (چوآدهاری و همکاران ۲۰۱۹). محققان متعددی نقش روی را در حمایت از تحمل خشکی گیاهان از طریق مکانیسم‌های مختلف گزارش کرده‌اند. روی با بهبود روابط آبی گیاه، ثبات غشای سلولی، تجمع اسمولیت‌ها، تنظیم روزنه‌ای و جذب آب تاثیرات تنش خشکی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این سنتز مواد تنظیم کننده رشدی مثل اکسین‌ها، انواع جیبرلین و ملاتونین را در گیاهان و بذرهای در حال جوانه زنی افزایش می‌دهد. هم‌چنین وجود مقادیر کافی روی در گیاه فعالیت‌های آکواپورین‌ها و سیستم آنتی‌اکسیدانی را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد. که به نوبه خود از قابلیت فتوسنتزی ناشی از کاهش قابل توجه تنش خشکی حمایت می‌کند (یومییرحسن و همکاران ۲۰۲۰).

اسیدهای آمینه (Aa) مولکول‌های آلی هستند که حاوی نیتروژن، کربن، هیدروژن و اکسیژن هستند، و یک زنجیره جانبی آلی در ساختار خود دارند، مشخصه‌ای که اسیدهای آمینه مختلف را متمایز می‌کند. اسیدهای آمینه اصلی سنتز شده توسط گیاهان گلوتامات، گلوتامین

و آسپارتات هستند، و ممکن است از این اسیدهای آمینه دیگر تشکیل شوند. گلوتامات اولین اسید آمینه است که در آن نیتروژن جذب شده توسط گیاهان ترکیب می‌شود و از آن، طیف وسیعی از اسیدهای آمینه را می‌توان از طریق فعالیت آمینوترانسفرازها به دست آورد. اسیدهای آمینه می‌توانند نقش‌های مختلفی در گیاهان ایفا کنند؛ مثلا به عنوان عوامل کاهش دهنده استرس، منبع نیتروژن و پیش سازه‌ی هورمون عمل کنند، در خاک آن‌ها به شکل‌های مختلف یافت می‌شوند اما، نیمه عمر آنها کوتاه است و جذب آن‌ها توسط گیاهان فقط به دلیل وجود انتقال دهنده‌ها در ریشه امکان پذیر است (تیزیرا و همکاران ۲۰۱۷)، همچنین از دیگر عملکردهای اسیدهای آمینه در گیاه مثل سنتز پروتئین، مقاومت در برابر استرس، اثر فتوسنتز، عمل بر روی روزنه، اثر کلاته کننده، فعال‌کننده‌های فیتوهورمون‌ها، گرده افشانی با تشکیل میوه و تعادل فلور خاک عمل می‌کند (هقاب وهمکاران ۲۰۲۰).

عبدال آل (۲۰۱۸) درتحقیقات خود گزارش داده‌اند که محلول‌پاشی اسید آمینه بر روی صفات رویشی ریحان (ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه‌ها، تعداد برگ و وزن تر و خشک کل گیاه)، اجزای عملکرد بذر (تعداد گل آذین و دانه در بوته، تعداد میوه در گل آذین و دانه) و اجزای عملکرد بیوشیمیایی (قندهای محلول کل، پروتئین، اسیدهای آمینه محلول، فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها، و نیز ترکیب شیمیایی اسانس) را افزایش داد. از طرفی کاربرد ترکیبات حاوی اسیدهای آمینه در شرایط تنش می‌تواند نقش مؤثری در افزایش تحمل گیاهان به شرایط نامساعد و افزایش عملکرد گیاهان عمل نموده و با کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی گامی در جهت نیل به اهداف کشاورزی ارگانیک باشد (کاظم‌پورو همکاران ۲۰۲۳).

اسید سالیسیلیک (Sa) یک فیتوهورمون محسوب می‌گردد که نقش مهمی در سیگنال‌دهی برای دفاع در برابر تاثیرات منفی عوامل بیماری‌زا، انگلی و آسیب‌زای مکانیکی داشته و از دیرباز برای تنظیم دفاع گیاهی در برابر عوامل مذکور، با استفاده از مکانیسم‌های محرک دفاعی شناخته شده و به عنوان مقاومت اکتسابی سیستمیک معروف گردیده است (الازم وهمکاران ۲۰۱۹ مارکوس وهمکاران ۲۰۲۰). این هورمون ماده‌ی حل شونده اصلی، درگیر در جذب آب اسمزی سلول است و در حفظ فشار سلول و تنظیم سلول‌های محافظ روزنه نقش دارد. تأثیر اصلی اسید سالیسیلیک، افزایش تبادل CO_2 داخلی در طول فتوسنتز نیز است، همچنین ثابت شده که اسید سالیسیلیک حساسیت گیاه را به کمبود آب کاهش داده و نقش کلیدی در برابر تنش‌های غیرزنده ایفا می‌کند؛ گیاهانی که به لحاظ ژنتیکی غلظت کافی اسید سالیسیلیک را در درون خود تولید می‌کنند دارای سیستم آب‌رسانی بهتری نسبت به گیاهانی که با کمبود اسید سالیسیلیک مواجه هستند، دارند (حافظ وهمکاران ۲۰۱۹ سونگ و همکاران ۲۰۲۰). انتقال یون‌ها و طول برگ‌های سبز را با کاهش تجمع اسید آبسیزیک، کاهش تعرق و کاهش تنفس در برگ‌ها را فعال می‌کند، تاثیر بالای این فیتوهورمون در بهبود فرآیند بخیه و به حداقل آسیب رساندن به غشاها و اسیدهای نوکلئیک، اثر بخشی بالای را جوانه‌زنی و رشد گیاه دارد همچنین تحریک جوانه‌زنی، تشکیل ریشه، تنفس سلولی و کارایی آنزیم را تحریک می‌کند (درظفر و همکاران ۲۰۲۳). اهمیت سالیسیلیک اسید در دفاع گیاه در برابر محرک‌های زنده و غیر زنده به خوبی مشخص شده است (لفوره و همکاران ۲۰۲۰)، لذا هدف از اجرای پژوهش حاضر، ارزیابی اثرمحلول-پاشی سولفات روی، فیتوهورمون اسید سالیسیلیک و اسید آمینه روی گیاه مادری ماریتیغال رشد کرده بر صفات مورفولوژیکی و عملکردی(ارتفاع بوته، تعداد کل کاپیتول، تعداد کاپیتول رسیده در بوته، وزن هزاردانه و شاخص برداشت)، صفات بیوشیمیایی (محتوای نسبی آب برگ و تعداد روزنه) و شاخص‌های جوانه‌زنی بذر(شاخص بنیه طولی گیاه‌چه، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، آنزیم کاتالاز و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز) در شرایط رژیم‌های مختلف آبی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه و آنزیم‌های آنتی‌اکسدانت بذر ماریتیغال بذور توده‌های بومی شرق اروپا مورد استفاده در داروسازی در کشور آلمان و برخی صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی تحت

رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی، آزمایشی در دو بخش مزرعه‌ای و آزمایشگاهی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ایی تحقیقاتی واقع در استان آذربایجان غربی شهرستان نقده و آزمایشگاه تحقیقاتی در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام گرفت. آزمایش مزرعه‌ای به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار انجام گرفت. عامل اول مورد مطالعه تیمارهای آبیاری در سه سطح (بدون آبیاری، آبیاری تکمیلی(قبل از گلدهی) و آبیاری کامل(برحسب شرایط اقلیمی منطقه)) به عنوان کرت اصلی و عامل دوم مورد مطالعه تیمارهای محلول‌پاشی در چهار سطح (سالیسیلیک اسید (۱ میلی مولار)، روی (۱ دو در هزار برحسب هکتار)، اسید آمینه (۲ در هزار بر حسب هکتار) و شاهد(محلول‌پاشی با آب)) در نظر گرفته شدند. مشخصات خاک محل آزمایش در جدول (۱) و میانگین شرایط آب و هوایی دوره رشد در جدول (۲) نشان داده شده است.

برای انجام آزمایش، پس از انتخاب زمین مناسب جهت مبارزه با علف‌های هرز و آماده کردن زمین، همچنین کوددهی بر اساس نتایج آزمون خاک کود سوپر فسفات تریپل (تماماً قبل از کاشت ۱۰۰ کیلو گرم سولفات پتاسیم در یک هکتار) به خاک اضافه و توسط رتیواتور با خاک مخلوط و شخم در پاییز انجام گرفت. عملیات کاشت، در تاریخ ۲۰ اسفند ۱۳۹۷، به صورت جوی و پشته هر واحد آزمایشی به ابعاد ۲ متر عرض در ۳ متر طول در آن ۵ ردیف و فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتیمتر و فاصله روی ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر تهیه و در مجموع ۳۶ کرت جهت کشت آماده شد. در اجرای طرح فاصله بین تیمارهای اصلی ۴ متر و فاصله بین تیمارهای فرعی ۲ متر جهت جلوگیری از نفوذ آب بین سطوح مختلف آبیاری در نظر گرفته شد بذور در عمق ۲-۱ سانتی‌متر خاک قرارگرفت برای اطمینان از حصول تراکم مورد نظر، در موقع کاشت در هر کپه ۳ عدد بذر قرار گرفت که در مرحله ۷ تا ۱ برگی تنک شدند. کلیه مراقبت‌های زراعی در مورد تمامی تیمارها به صورت یکنواخت انجام گردید. مهمترین عملیات داشت شامل کنترل با علف‌های هرز بود، که بصورت وجین دستی انجام گرفت. آبیاری مطابق با سطوح تیمار معرفی شده انجام گرفت؛ به طوری‌که برای هر کرت با نصب کنتور حجمی آبیاری انجام گرفت. در انجام آبیاری هیچ گونه آبی از کرت‌ها خارج نشد و همه‌ی آب به کار رفته در همان کرت مورد استفاده قرار گرفت. برای محلول‌پاشی، ابتدا صبح روز محلول‌پاشی، مزرعه آبیاری گردید و سپس در عصر و تقریبا غروب آفتاب محلول‌پاشی انجام شد، با این کار رطوبت نسبی هوا افزایش یافته و محلول روی پیکر رویشی فرصت کافی برای جذب شدن داشت. در تیمار شاهد محلول‌پاشی با آب مقطر صورت گرفت. اعمال تیمارهای محلول‌پاشی در مراحل فنولوژیکی بعد از مرحله رزت (۶ تا ۸ برگی) گیاه و قبل از گلدهی با استفاده از سمپاش پشتی انجام گرفت. در پایان فصل رشد، تعداد ۱۰ بوته از بخش میانی هر کرت انتخاب و متغیرهای ارتفاع بوته، تعداد کاپیتول در بوته، تعداد دانه در کاپیتول و وزن هزار دانه اندازه‌گیری گردید. زمان انجام برای اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی از نمونه‌های برگی که ۲۲روز پس از قطع آبیاری از زمان ساقه‌روی جدا شده بودند استفاده گردید.

عملیات آزمایشگاهی: برای ارزیابی جهت انجام آزمایش ابتدا پتری دیش‌ها تمیز شده و به مدت دو ساعت در دمای۱۱۰درجه سانتیگراد در دستگاه آون استریل شدند. پس ازشروع آزمایش، بذرها در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه خیسانیده و سپس با آب مقطر شستشو شدند، کف هر پتری به تعداد دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک قرار داده شد در هر پتری ۲۵ بذر قرار گرفت. و برای جوانه‌زنی به ژرمیناتور با دمای ۲±۲۵درجه سلسیوس (رطوبت نسبی ۴۲ درصد و تاریک) منتقل شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده هر روز پس از شروع آزمایش انجام شد. در روز دهم بعد از انجام آزمایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه‌گیری و ثبت شدند. همچنین برای اندازه گیری وزن خشک ریشه-چه و ساقه‌چه ، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در آون قرار گرفت و توزین شدند در این آزمایش مبنای شمارش بذور جوانه‌زده خروج زایدهای به طول تقریبی۲میلیمتر از آنها بود (ماگور ۱۹۶۲).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق Sampling depth	Ec dS/m	PH	O.C (%)	O.M (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک Soil texture	فسفر P Mg/kg	پتاسیمK Mg/kg	CACO3 (%)
۳۰-۰	۲/۲۵	۸/۰۲	۱/۶۲	۲/۷۹	۳۶	۴۰	۲۴	لومی-رسی	۱۸	۹۸/۳۳	۸/۰

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی مربوط به ماه‌های انجام آزمایش در سال زراعی۱۳۹۷-۹۸

ماه میلادی	ماه شمسی	تعداد روز	درجه‌حرارت حداقل (سانتی‌گراد)	درجه‌حرارت حداکثر (سانتی‌گراد)	مجموع بارش ماهانه(mm)	رطوبت نسبی
March	اسفند	۳۰	-۷/۲	۱۸	۶۷/۵	۶۴
April	فروردین	۳۱	-۱/۶	۲۲/۸	۱۶۶/۷	۶۶
May	اردیبهشت	۳۱	-۰/۵	۲۹/۸	۳۰/۲	۵۹
June	خرداد	۳۱	۸/۵	۳۴/۲	۲/۷	۴۹
July	تیر	۳۱	۱۰/۳	۳۸/۷	۰/۱	۴۵
August	مرداد	۳۱	۱۱/۲	۳۹/۴	۰/۲	۴۶

در این تحقیق جهت بررسی تأثیر تیمارهای آبی و محلول‌پاشی ذکر شده بر رشد و نمو گیاه ماریتیغال متغیرهایی نظیر ارتفاع بوته، تعداد کاپیتول کل و کاپیتول رسیده در هر بوته، وزن هزاردانه بر روی پنج بوته که بطور تصادفی انتخاب شدند، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. همچنین شاخص برداشت در مساحتی معادل شش متر مربع تعیین گردید.

انـدازه‌گیـری محتـوای نسـبی آب بـرگ: برای محتوای آب نسبی برگ‌ها تعداد ۱۰ بوته از هر کرت جمع‌آوری و بلافاصله در کیسه پلاستیکی قرار گرفت و در داخل یخ قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس وزن تر برگ‌ها وزن شد و برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای ۴ سانتی گراد قرار گرفت و پس از وزن اشباع برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت درآونی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و دوباره وزن شدند (ریتچیه وهمکاران ۱۹۹۰).

$$RWC(\%) = (F_W - D_W)/(T_W - D_W) \times 100$$

F_W: *وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری*، D_W: *وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون*، T_W: وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر

تراکم روزنه: برای اندازه‌گیری تراکم روزنه برگ از گیاه جدا شده و در محفظه حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از برق ناخن یک لایه از اپیدرم رویی و یک لایه از اپیدرم زیرین جدا شده و روی لام ثابت شد سپس با میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۴۰۰ استفاده شد (وانگ و کلارک، ۱۹۹۳).

شاخص برداشت: با در دست داشتن عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی شاخص برداشت دانه از طریق فرمول زیر برحسب درصد محاسبه گردید:

$$\text{شاخص برداشت دانه}(\%) = \frac{\text{عملکرد دانه(گرم در متر مربع)}}{\text{عملکرد بیولوژیکی(گرم در متر مربع)}} \times 100$$

اندازه گیری از عصاره آنزیمی بذر: الف- ۰/۱ گرم نمونه بذری هر تیمار وزن شد و با ۱/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج شامل فسفات پتاسیم ۲/۷۲ گرم با ۷/۸= pH، ۰/۰۲۹ گرم EDTA و پلی وینیل پیرولیدون ۵/۶۴ گرم که درون یک ارلن حاوی ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شدند بر روی یخ درون یک هاون چینی همگن گردید. سپس عصاره‌های حاصل از هر تیمار به درون میکروتیوپ‌های ۱/۵ میلی‌لیتری انتقال داده شدند و همگن‌های حاصل در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانترفیوژ شدند. از فاز میانی برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز استفاده گردید. **ب**- تهیه مخلوط واکنش: مقدار ۳/۴ گرم KH_2PO_4 و همچنین ۴/۴۵ گرم $Na_2HPO_4.2H_2O$ به طور جداگونه در آب مقطر حل شده و حجم هر کدام به ۵۰۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس مخلوطی از دو ترکیب فوق به نسبت ۱ به ۱/۵ تهیه گردید. **ج**- تهیه آب اکسیژنه ۳۰ میلی‌مولار: ۰/۳۴ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد با بافر فسفات به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز: جیانوپولیتیس و ریس (۱۹۷۷) اندازه‌گیری آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، با استفاده از بافر استخراج فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷/۸ و بافر پایه فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=۶/۸ انجام گرفت. همچنین از محلول‌های زیر جهت اندازه‌گیری مقادیر آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در نمونه‌های بذری استفاده شد. نیتروبلوتترازولیوم[1] ۵۰ میکرومولار: برای تهیه این محلول ۴ میلی‌گرم نیتروبلوتترازولیوم در ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر حل گردید. متونین[2] ۱۳ میلی‌مولار: برای تهیه این محلول ۱/۹۴ گرم متونین در ۱۰۰ سی سی آب مقطر حل گردید. ریبوفلاوین[3] ۱/۳ میکرومولار: برای تهیه این محلول ۰/۴۸ میلی‌گرم ریبوفلاوین در ۱۰۰ سی سی آب مقطر حل گردید. EDTA[4] ۷۵ میلی مولار: برای تهیه این محلول ۲/۷۹ گرم EDTA در ۱۰۰۰ سی سی آب مقطر حل گردید.

استخراج آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز:

برای استخراج آنزیم، پنج گرم گیاهچه با ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۸) در هاون چینی درون ظرف یخ کوبیده و هموژنیزه گردید. پس از آن محلول هموژن از دو لایه پارچه تنظیف عبور داده شد و عصاره حاصل پس از انتقال به میکروتیوب، به مدت ۲۰ دقیقه و با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از سانتریفیوژ، فاز بالایی شناور برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم استفاده شد. تعیین فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز به روش جیانوپلیتیس و ریز (۱۹۷۷) انجام گردید. اساس اندازه‌گیری این آنزیم مهار واکنش رادیکال سوپراکسید با نیتروبلوتترازولیوم و ممانعت از تشکیل سوپراکسید- نیتروبلوتترازولیوم توسط این آنزیم است.

استخراج و اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز: برای استخراج آنزیم از روش ابی (۱۹۸۴) استفاده شد. در این روش، به ۳ میلی‌لیتر مخلوط واکنش حاوی ۲/۸ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷، ۱۰۰میکرولیتر عصاره آنزیمی و ۱۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ترکیب و برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود. با اضافه کردن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش فعالیت آنزیمی شروع شده و فعالیت آنزیم‌ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر و بر حسب میلی مول بر دقیقه بر گرم قرائت شد.

شاخص بنیه گیاهچه (SVI[5])

$$SVI = \frac{(RL + SL)}{N}$$

RL و SLبه ترتیب طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه و N تعداد کل بذر جوانه‌زده می باشد (فاضلی کاخکلی و همکاران ۲۰۱۵).

[1] Nitro blue tetrazolium
[2] Methionine
[3] Riboflavin
[4] Ethylenediaminetetraacetic acid
[5] Seedling Vigor Index

به منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم افزارهای SAS 9.4 استفاده شد همچنین مقایسات میانگین نیز بر اساس روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با نرم افزار مذکور انجام و نمودارهای آن در برنامه Excel ترسیم خواهند شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه داده‌ها جدول (۳) نشان داد که آبیاری تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته دارد. با این حال داده‌های این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی و اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی تاثیر معنی‌داری بر روی این صفت نداشتند. بر اساس نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها مشخص شد که تیمار آبیاری کامل با ارتفاع بوته ۱۵۸ سانتی‌متر بیشترین تاثیر مثبت بر این صفت داشت. درتیمارهای آبیاری تکمیلی و دیم مقدار بدست آمده از این صفت به ترتیب ۸۹ سانتی‌متر و ۸۱ سانتی‌متر بود که با یکدیگر ازنظر آماری اختلاف معنی-دار داشتند (شکل۱). تغییرات مورفولوژیکی گیاهان دارویی در مواجهه با تنش خشکی موضوع مطالعات متعدد محققان مختلف از سراسر جهان بوده است؛ طوری که در همه این یافته‌ها کاهش ارتفاع بوته در نتیجه تنش خشکی گزارش شده است. برخی محققان کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش کمبود رطوبت را به کاهش تورم نسبی و از دست دادن آب پروتوپالسم و در نهایت، کاهش تقسیم و توسعهٔ سلول نسبت دادند (بابایی وافکاری ۱۴۰۲). جمشیدی و همکاران(۲۰۲۰) در گیاه دارویی چیا و رجب نسب آقامحلی و کاراپتیان (۲۰۱۳) در ریحان و رضائی چیانه و همکاران(۲۰۱۸) در طی مطالعه‌ای که روی باقلا گزارش دادند که ارتفاع بوته تحت تنش خشکی تغییر می‌یابد.

تعداد کل کاپیتول، کاپیتول‌های رسیده در بوته

داده‌های این آزمایش نشان داد از میان عامل-های مورد بررسی تنها آبیاری بر تعداد کاپیتول رسیده و تعداد کل کاپیتول تاثیر معنی‌داری داشت. علاوه بر این اثر متقابل این دو عامل بر صفات مذکور معنی‌دار نبود (جدول۳). در میان سطوح آبیاری مورد مطالعه، آبیاری کامل منجر به افزایش معنی‌دار تعداد کل کاپیتول در بوته شد (شکل۲). با این حال تاثیر رژیم‌های آبیاری تکمیلی و زراعت دیم بر این صفت ازنظر آماری مشابه بود. تعداد کاپیتول کل در بوته در این تیمارها به ترتیب ۱۱/۲۹ و ۱۱/۳۳ بود (شکل۲)، نتایج تجزیه آماری داده‌ها حکایت از تاثیر معنی‌دار فاکتور آبیاری برتعداد کاپیتول در بوته داشت با این حال محلول‌پاشی و اثرات متقابل محلول-پاشی و آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول۳). بیشترین تعداد کاپیتول رسیده مربوط به تیمار آبیاری کامل ۹/۰۶ بود. تیمار بدون آبیاری نیز دارای کمترین تعداد کاپیتول رسیده ۶/۰۸ بود (شکل۳). پناهیان کیوی(۲۰۱۹) در گشنیز و سالارپورغربا و فرحبخش (۲۰۱۶) در رازیانه گزارش کردند که تنش خشکی موجب افت تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، عملکرد بیولوژیکی و دانه گردید.

تعداد روزنه

نتایج تجزیه داده‌ها نشان داد که تاثیر آبیاری و محلول‌پاشی و اثر متقابل این فاکتورها بر تعداد روزنه روپوست بالا تاثیر معنی‌دار بود (جدول۳). بیشترین تعداد روزنه روپوست بالا مشاهده شده با مقدار۱۷۳/۱۱عدد در هر میلی‌متر مربع در تیمار بدون آبیاری و شاهد ثبت شد. همچنین کمترین تعداد مربوط به این صفت با مقدار ۸۹ روزنه عدد در هر میلی متر مربع از تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی روی حاصل شد (شکل۶). بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق آبیاری و محلول‌پاشی و اثر آنها بر تعداد روزنه پایین برگ ماریتیغال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول۳). بیشترین تعداد روزنه روپوست پایین ۲۰۰/۳۳ عدد در میلی‌متر مربع از تیمار بدون آبیاری و شاهد به دست آمد. کمترین تعداد هم ۱۵۰عدد در یک میلی‌متر مربع از تیمار آبیاری کامل و محلوپاشی روی به دست آمد (شکل۷). تنش خشکی بر تراکم روزنه‌ها در هر دو سطح برگ‌ها تأثیر می‌گذارد به همین دلیل با افزایش تنش خشکی به علت کمبود آب، سلول‌ها رشد کمتری خواهند داشت و روزنه‌ها در کنار هم و در نزدیکی یکدیگر در

پنجره دید میکروسکوپ مشاهده می‌شوند، در صورتی که در تیمار آبیاری کامل به علت فراهم بودن آب کافی سلول‌ها به راحتی رشد کرده و اندازه آنها افزایش می‌یابد و باعث رانده شدن روزنه‌ها به اطراف می‌شود و تعداد روزنه‌های مشاهده شده در پنجره دید میکروسکوپ کاهش می‌یابد. البته در تعداد کل روزنه‌های سطح برگ تغییری بوجود نمی‌آید و این تغییرات تنها در واحد سطح مورد مطالعه تغییر می‌کند در واقع، عرض روزنه در دوره‌های مختلف تنش خشکی کاهش می‌یابد (قمری‌زارع و همکاران۲۰۰۵شکاری وهمکاران ۲۰۱۵).

وزن هزاردانه

نتایج تغییرات وزن هزار دانه تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده در جدول ۳ نمایش داده شده است. وزن هزار دانه از نظر آماری تحت تاثیر تیمار محلول-پاشی درسطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. با این حال تیمارهای آبیاری و اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی در این صفت معنی‌دار نبود. بیشترین وزن هزاردانه ۲۶/۳۴ گرم ازمحلول‌پاشی سالیسیلیک اسید مشاهده گردید. همچنین بین محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و روی مورد استفاده در این پژوهش اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶). دلیل کاهش وزن هزار دانه با افزایش شدت تنش کم‌آبی این است که با کاهش میزان آبیاری، پیری زود رس برگ‌ها رخ داده، تولید مواد فتوسنتزی کاهش یافته و در نتیجه مقدار موادپرورده که در اختیار هریک از دانه‌ها قرار می‌گیرد کمتر شده و به‌دنبال آن دانه‌های تشکیل شده کوچک‌تر و لاغرتر می‌گردند؛ همچنین کاهش آب آبیاری می‌تواند از طریق کاهش طول دوره پر شدن دانه موجب کاهش وزن هزار دانه شود (پشنگ و همکاران۲۰۲۳). محلول‌پاشی روی، بر، آهن در سیاهدانه (شعبان‌زاده و گلوی۲۰۱۱) و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در رازیانه (محتشمی و همکاران۲۰۱۵) باعث افزایش وزن هزاردانه شد.

شاخص برداشت

داده‌های جدول شماره ۳ حاکی از تاثیر معنی‌دار رژیم‌های مختلف آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت ماریتیغال بود؛ بر خلاف این اثر محلول‌پاشی و اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی در رابطه با این صفت غیرمعنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین برای اثر رژیم‌های مختلف آبیاری در شکل (۷) ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد بیشترین شاخص برداشت در تیمار آبیاری تکمیلی ۲۰/۹۲ مشاهده شد. با این حال تیمار آبیاری تکمیلی با تیمار بدون آبیاری در این صفت از نظر آماری مشابه بود. کمترین شاخص برداشت نیز از تیمار آبیاری کامل ۱۰/۰۷ بدست آمد. شاخص برداشت تحت تأثیر دو عامل عملکرد بیولوژیک و دانه است (لاله وهمکاران۲۰۱۷) معماری و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کرده‌اند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک و به دنبال آن باعث کاهش شاخص برداشت در باقلا گردید.

محتوای نسبی آب برگ

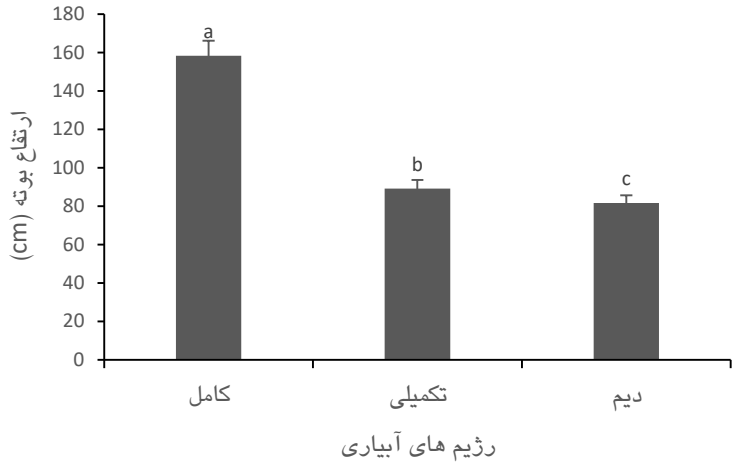
محتوای نسبی آب تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی به ترتیب در سطح پنج و یک درصد قرار گرفت با این حال این صفت تحت اثرات متقابل محلول‌پاشی و آبیاری قرار نگرفت (جدول ۳). بر اساس نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها مشخص شد که در میان سطوح آبیاری مورد مطالعه، آبیاری کامل منجر به افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ در ماریتیغال و دارای بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ ۸۲/۳۲ گردید. و کمترین محتوای نسبی آب برگ ۶۷/۳۷ ازتیمار بدون آبیاری حاصل شد. با بررسی مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی در این صفت مشخص گردید که با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید محتوای نسبی آب برگ ماریتیغال افزایش یافت. با این حال تاثیر تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با محلول‌پاشی اسید آمینه مشابه بود و اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل۸). در تحقیقی که روی گیاه چای ترش(میرشکاری و همکاران۲۰۱۷) انجام گردید، نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، موجب افزایش محتوای

رطوبت نسبی برگ، در شرایط تنش خشکی گردید. در پژوهشی که روی ماریتیغال انجام گرفت، محتوای نسبی آب برگ با افزایش تنش خشکی به شدت تحت تأثیر قرار گرفت به طوری که تنش خشکی باعث کاهش ۲۶/۲۴ درصدی در مقایسه با شاهد شد. از طرفی تلقیح با سه گونه قارچ مایکوریزا باعث افزایش محتوی نسبی آب در این گیاه نسبت به تیمار بدون قارچ گردید (مزارعی و همکاران۲۰۱۷).

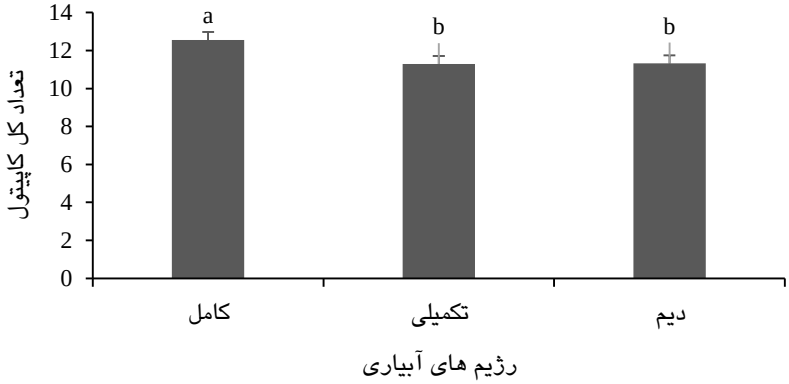
جدول ۳- جدول تجزیه واریانس برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکردی مارتیغال

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع بوته	تعداد کاپیتول رسیده	تعدادروزنه‌بالا	تعدادروزنه پایین	تعداد کل کاپیتول	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	محتوای‌آب نسبی
بلوک	۲	۳۵/۲۸^{ns}	۱/۰۷۹**	۴۰۶/۶^{ns}	۵۴۸/۶^{ns}	۰/۸۰۱^{ns}	۰/۱۶۹^{ns}	۳/۰۵^{ns}	۱۳/۰۳^{ns}
آبیاری	۲	۲۱۴/۱**	۳۰/۸۷**	۸۵۴۴/۷**	۱۰۶۰۹/۶**	۶/۲۱**	۲/۵۷۴^{ns}	۴۴۹/۹**	۶۷۴/۰۵**
خطای a	۴	۳۷/۴۱	۰/۰۴۶	۲۰۰/۵	۱۱۲/۲	۰/۳۳۹	۱/۶۷۸	۳/۸۱	۱۱/۵۶
محلول‌پاشی	۳	۴۷/۷۲^{ns}	۰/۲۹۹^{ns}	۷۷۲/۱**	۱۲۳۸/۲**	۰/۵۲۵^{ns}	۳/۳۷۷**	۲/۹۶^{ns}	۳۹/۷*
آبیاری × محلولپاشی	۶	۲۲/۳۸^{ns}	۰/۰۷۹^{ns}	۳۶۱/۵*	۴۴۲/۱**	۰/۰۶۷^{ns}	۰/۲۳۸^{ns}	۱/۱۹۶^{ns}	۳/۷۸^{ns}
خطای b	۱۸	۴۸/۰۲	۰/۶۴	۱۲۱/۲	۸۹/۱۳	۰/۸۴۶	۰/۵۹۸	۴/۷۹	۱۲/۳۶
ضریب تغییرات (٪)		۶/۳۲	۱۱/۰۶	۹/۲۳	۵/۹۳	۷/۸۴	۳/۰۲	۱۲/۷۶	۴/۷۲

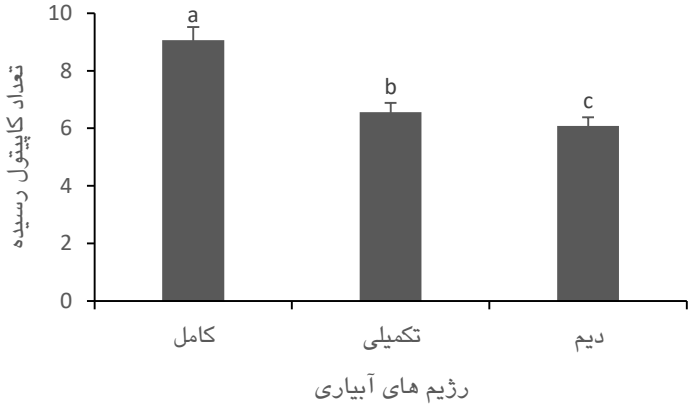
ns, * و** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار ومعنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱درصد می‌باشد.



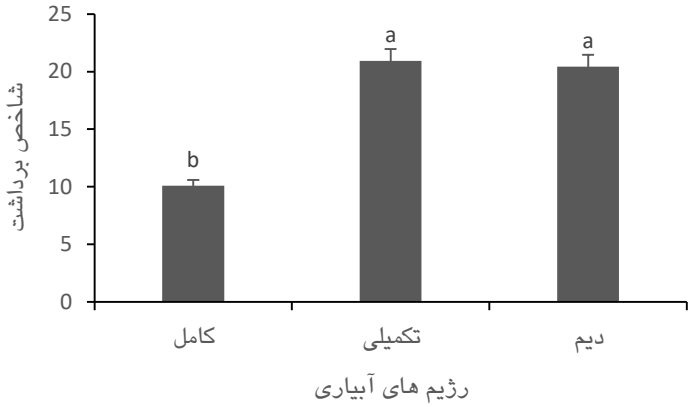
شکل۱- مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری



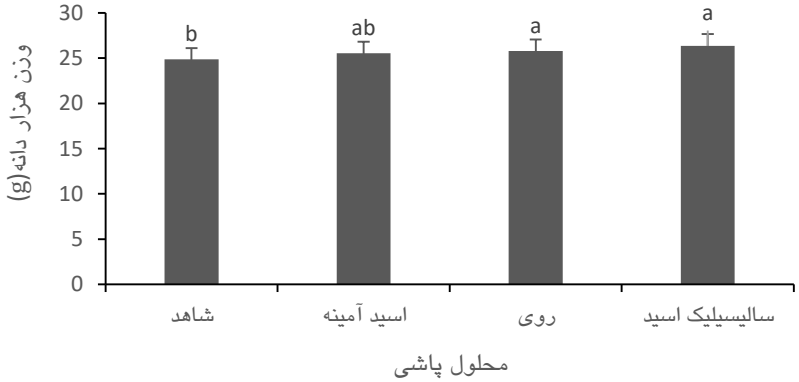
شکل۲-مقایسه میانگین‌های تعداد کل کاپیتول در بوته ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری



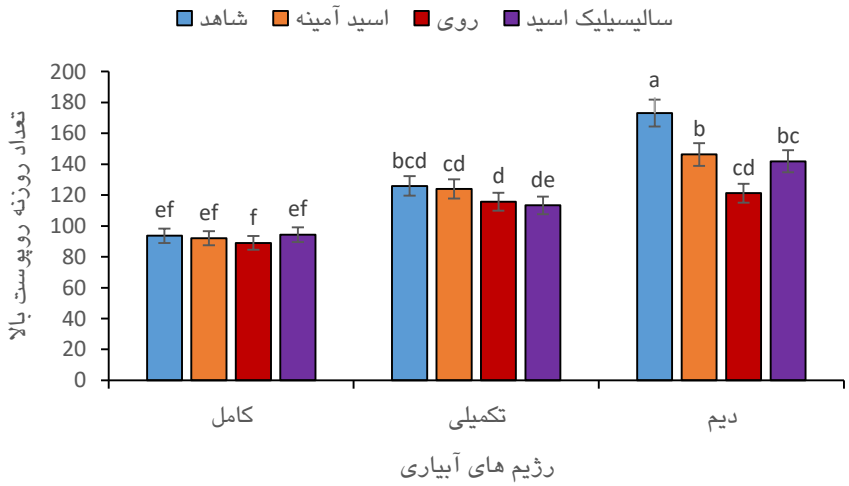
شکل۳-مقایسه میانگین‌های تعداد کاپیتول رسیده در بوته ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری



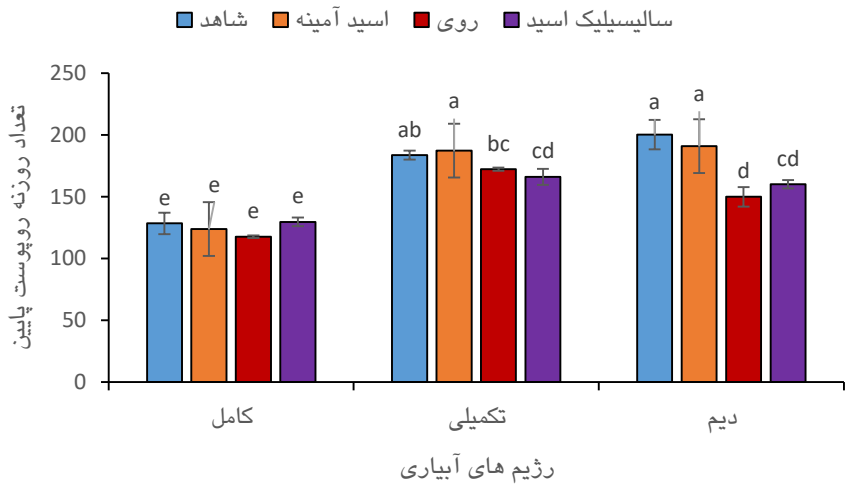
شکل۴-مقایسه میانگین‌های شاخص برداشت دانه ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری



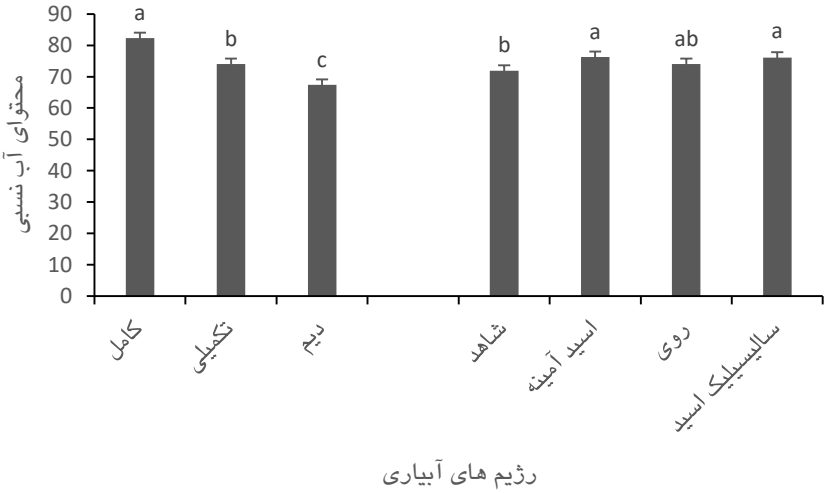
شکل۵-مقایسه میانگین‌های وزن هزار دانه ماریتیغال تحت تأثیر محلول‌پاشی



شکل۶- مقایسه میانگین‌های تعداد روزنه روپوست بالای ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی



شکل۷- مقایسه میانگین‌های تعداد روزنه روپوست پایین ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی



شکل۸-مقایسه میانگین‌های محتوای نسبی آب برگ ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی

شاخص بنیه طولی گیاهچه SVI

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر متقابل فاکتور آبیاری و محلول‌پاشی بر شاخص بنیه طولی گیاهچه بذر گیاه ماریتیغال در جدول شماره ۴ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تغییرات بنیه طولی گیاهچه تحت اثر متقابل محلول‌پاشی و رژیم‌های مختلف آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین طول بنیه ۲۳۳۵/۷ مربوط به تیمار بدون آبیاری شاهد و کمترین ۵۸۱۸/۲ مربوط به تیمار آبیاری تکمیلی و شاهد بدست آمد (شکل۹). با افزایش شدت تنش خشکی و تنش شوری در تاج خروس شاخص بنیه گیاهچه کاسته شد (احمدوند و همکاران۲۰۱۸). احمدوند و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که در شرایط تنش کم‌آبی، میزان انتقال مواد فتوسنتزی به بذر کاهش می‌یابد، در نتیجه از بنیه بذر درکاسته می‌شود. تنش خشکی در گیاه ازمک و قدومه، باعث کاهش شاخص بنیه گیاهچه گردید.

طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه(Root &Shoot length)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی روی طول ریشه‌چه معنی‌دار بود $P\leq0.01$ (جدول۴). بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل فاکتور آبیاری و محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین طول ریشه‌چه ۱۶/۲۴سانتی‌متر متعلق به

تیمار شاهد بدون آبیاری بود، همچنین کمترین طول ریشه‌چه ۱۲/۷سانتی‌متر از تیمار شاهد آبیاری تکمیلی بدست آمد (شکل۱۰).

داده‌های این آزمایش نشان داد که اثرات متقابل تیمارهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی بر روی طول ساقه‌چه معنی‌دار بود $P\leq0.01$ (جدول۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل داده‌ها نشان داد که بیشترین طول ساقه‌چه مربوط به تیمار آبیاری تکمیلی با محلول‌پاشی اسیدآمینه به معادل ۷/۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد. همچنین تیمار آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی اسیدآمینه با تیمار آبیاری کامل شاهد ۷/۶۷ سانتی‌متر اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. کمترین طول ساقه‌چه به تیمار آبیاری کامل روی برابر با ۵/۸۳ سانتی‌متر تعلق داشت. با توجه به نتایج، تنش خشکی تاثیری بر طول ساقه‌چه نداشته بود (شکل۱۱). نتایج تحقیق روی ماریتیغال، نشان داد که با افزایش تنش خشکی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بذور جوانه‌زده کاهش یافته زیرا در تنش خشکی کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین همراه می‌باشد (یزدانی بیوکی و همکاران۲۰۱۰). در مطالعه روی مرزه مشاهده شد که با افزایش تنش، طول ریشه‌چه و در کل طول گیاهچه کاهش یافت (شمسایی و همکاران۲۰۱۷). تحقیقات فرحدوست و جعفری(۲۰۲۰)، نشان می‌دهد که در بذور ۴ گونه اسپرس بومی ایران، طول ریشه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه، نسبت به طول ساقه‌چه و دیگر صفات مورد مطالعه از حساسیت کمتری نسبت به تنش کم‌آبی برخوردار بود دلیل این امر احتمالا به دلیل اختصاص بیشتر اندوخته بذر به ریشه‌چه باشد. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار صفات مورد مطالعه در بذور گردید. شرفی زاده (۲۰۱۷) گزارش کرد که با افزایش تنش خشکی اثر منفی بر شاخص‌های جوانه زنی بذرهای جو داشته است.

آنزیم کاتالاز (CAT[1])

نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که آنزیم کاتالاز تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری، محلول‌پاشی و اثر متقابل این عوامل قرار گرفت و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول۴). بر اساس نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین آنزیم کاتالاز ۱۸/۵۶ میلی‌گرم بر پروتئین مربوط به تیمار بدون آبیاری و محلول‌پاشی روی بود. با این حال بین تیمارهای بدون آبیاری و محلول‌پاشی روی با تیمار بدون آبیاری و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید اختلاف آماری وجود نداشت، کمترین مقدار آنزیم ۱۱/۲۳ میلی‌گرم بر پروتئین نیز از تیمار آبیاری کامل شاهد حاصل شد (شکل۱۲). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نقش مهمی در کنترل پراکسیداسیون هیدروژن دارند. آنزیم کاتالاز با حذف بخش عمده‌ای از H_2O_2 سلول تغییراتی را در سطح غلظت پراکسید هیدروژن ایجاد می‌کند. موفقیت در جوانه‌زنی به مکانیسم آنتی‌اکسیدانت گیاهی که به هنگام جوانه‌زنی در گیاه فعال است بستگی زیادی دارد. (رشیدی و همکاران۲۰۱۹). حیدری و همکاران (۲۰۱۸) در نتایج بررسی خود روی لوبیا بیان کرده، فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در مطالعه‌ای که روی بذر جو انجام گرفت، مشاهده شد که تحت شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت (طباطبایی۲۰۱۴).

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD[2])

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها، آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری و محلول پاشی و اثر متقابل این فاکتورها قرار گرفت (جدول۴). بر اساس نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها مشخص شد که تیمار بدون آبیاری با محلول‌پاشی روی بیشترین ۲۰/۰۶ میلی‌گرم بر پروتئین مقدار آنزیم نسبت به تیمارهای دیگررا داشت. همچنین از تیمار آبیاری کامل شاهد کمترین ۱۱/۹۳ میلی‌گرم بر پروتئین آنزیم مشاهده شد (شکل۱۳). این آنزیم به طور بالقوه پتانسیلی دارد که با بسیاری از ترکیبات ROS(گونه‌های فعال اکسیژن) سلولی واکنش داده و سبب

[1] Catalase

[2] Superoxide dismutase

خسارت به غشاء و سایر ماکرو ملوکول‌های ضروری از قبیل رنگدان‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می‌شود بنابرین میزان آن باید در سلول کنترل شود. گیاهان با دارا بودن سیستم ضد اکسنده که شامل ترکیبات آنزیمی (سوپراکسید دیسموتاز،کاتالاز، پراکسیداز،گلوتاتیون پراکسیداز، اسکوربیت پراکسیدازو گلوتاتیون ردوکتاز) و غیر آنزیمی (اسید آسکوربیک، گلوتاتیون، کارتنوئیدها وتوکوفرول) است معمولاً سطوح ROS را در سلول در حد متعادل نگه می‌دارد (ساعدموچشی و همکاران ۱۴۰۲). افکاری (۲۰۲۰) با مطالعه بر روی بذر آفتابگردان بیان کرد که با افزایش تنش خشکی درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت افزایش یافت. در مطالعه دیگری که روی لوبیا انجام گرفت مشخص شد که فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز تحت شرایط خشکی به طور معنی‌داری در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب افزایش پیدا کرد (محمدی و همکاران ۲۰۲۰).

نتایج بخش جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش دررابطه با جوانه‌زنی و رشد گیاهچه محصول برداشت شده در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج تاثیر عامل آبیاری بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتازدرسطح احتمال ۰/۰۱ درصد معنی‌داربود، همچنین عامل محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم-های مذکور و طول ساقه‌چه تاثیری معنی‌دار داشت (جدول۴) علاوه بر این اثر متقابل این عامل برفعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه گیاهچه معنی‌دار بود (جدول۴).

شاخص بنیه طولی گیاهچه: یکی از شاخص-های تعیین کننده کیفیت بذر، شاخص بنیه طولی بذر می-باشد که با درصد جوانه‌زنی نهایی و طول گیاهچه روی کیفیت بذرتاثیر دارد. شاخص بنیه طولی گیاهچه در آبیاری کامل تحت اثرات متقابل محلول‌پاشی وآبیاری قرار گرفت و موجب افزایش معنی‌دار این صفت گردید. بیشترین شاخص بنیه طولی گیاهچه از محلول‌پاشی اسید آمینه با مقدار ۲۲۳۶/۲ بدست آمد و محلول‌پاشی روی نیزدارای کمترین شاخص بنیه طولی با مقدار ۲۲۶۷/۵ حاصل شد. در این تیمار مقدار شاخص بنیه طولی گیاهچه از شاهد و سالیسیلیک اسید به ترتیب ۲۱۴۵ و ۲۰۸۰/۲ بود. در آبیاری تکمیلی بیشترین و کمترین شاخص بنیه طولی گیاهچه به ترتیب از محلول‌پاشی اسیدآمینه و شاهد با مقادیر ۱/۲۳۱۷، ۲/۱۸۲۸ بدست آمد (شکل۹). در شرایط دیم نیز شاهد با مقدار ۲۳۳۵/۷ بیشترین تاثیر را نسبت به محلول‌پاشی‌های اسیدآمینه، سالیسیلیک اسید و روی به ترتیب ۲۰۴۲/۷، ۹۶۲۰/۵ و ۲۰۵۸/۸ بر شاخص بنیه طولی گیاهچه داشت (شکل۹).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه: در شرایط آبیاری کامل اثرات محلول‌پاشی موجب افزایش معنی‌دار طول ریشه‌چه در بذور تولید گیاه ماریتیغال گردید. از نظر طول ریشه‌چه بیشترین میزان از محلول‌پاشی اسیدآمینه با مقدار ۱۵/۸۷ سانتی‌متر و کمترین از محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با مقدار ۱۳/۳۵ سانتی‌متر تاثیر را در این صفت داشتند. تیمارهای شاهد و روی نیز به ترتیب ۱۴/۲ سانتی‌متر، ۱۴/۹سانتی‌متر طول ریشه‌چه مقداربود. در شرایط آبیاری تکمیلی شاهد کمترین ۱۲/۷سانتی‌متر طول ریشه‌چه را نسبت به محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها واختلاف آماری با یکدیگر داشتند. مقدار طول ریشه‌چه در تیمارهای محلول‌پاشی روی ۱۴/۳۵سانتی‌متر، سالیسیلیک اسید ۱۴/۷۳ سانتی‌متر بود. محلول‌پاشی اسیدآمینه نیز بیشترین ۱۵/۷۹سانتی‌متر تاثیر را در طول ریشه‌چه داشت (شکل۱۰). در شرایط دیمی تنش خشکی بیشترین تاثیر را بر این صف داشت و طول ریشه‌چه در تیمار شاهد دارای بیشترین ۱۶/۲۴ سانتی‌متر تاثیر بود، ومحلول‌پاشی اسیدآمینه دارای کمترین ۱۳/۲۵سانتی‌متر طول ریشه‌چه در این صفت بود ، طول ریشه‌چه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و سالیسیلیک اسید نیز به ترتیب ۱۴/۱۷ سانتی‌متر و ۱۴/۳۶ سانتی‌متر مقدار بود (شکل۱۰). یکی از دلایل افزایش طول ریشه‌چه در شرایط تنش جذب بیشتر آب جهت جوانه‌زنی است که این امر خود باعث افزایش فعالیت‌های متابولیکی در داخل بذر جهت جوانه‌زنی می‌شود. از عوامل دیگر نوسانات طول

ریشه‌چه می‌توان به تفاوت در تجمع ماده خشک در بافت-های ذخیره‌ای ریشه‌چه ارقام مقاوم در شرایط تنش اشاره کرد. آزمایشات مختلف نشان دهنده افزایش طول ریشه‌چه در تنش‌های ملایم است و همچنین اولین تغییرات جهت مقابله با تنش خشکی افزایش رشد ریشه-چه به منظور جذب حداکثر رطوبت گزارش شده است (کافی وهمکاران ۲۰۰۵).

طول ساقه‌چه در شرایط آبیاری کامل در محلول-پاشی با عنصر ریز مغذی روی دارای کمترین ۵/۸۳ سانتی‌متر مقدار بود. بیشترین طول ساقه‌چه نیز از تیمار شاهد با مقدار ۷/۶۷ سانتی‌متر بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای محلول‌پاشی اسیدآمینه ۷/۱۳ سانتی‌متر و سالیسیلیک اسید ۷/۱۷سانتی‌متر نداشت. در شرایط آبیاری تکمیلی نیز محلول‌پاشی اسیدآمینه با مقدار ۷/۷۸ سانتی‌متر بیشترین طول ساقه‌چه را داشت. همچنین کمترین طول ساقه‌چه نیز از تیمار شاهد با مقدار ۶/۵۳ سانتی‌متر بدست آمد. طول ساقه‌چه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و سالیسیلیک به ترتیب ۷/۰۵ سانتی-متر و ۷/۲۸ سانتی‌متر مقدار بود. در شرایط دیمی نیز تیمارهای مورد مطالعه با یکدیگر اختلاف آماری در این صفت نداشتند و طول ساقه‌چه در این تیمارها، شاهد، اسیدآمینه، روی و سالیسیلیک اسید به ترتیب ۷/۲۳ سانتی‌متر، ۷/۱۷ سانتی‌متر، ۶/۹۸ سانتی‌متر و ۷/۱۲ سانتی‌متر مقدار حاصل شد (شکل۱۱). کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در سطوح پایین تنش خشکی با کاهش انتقال مواد غذایی و در سطوح بالا با عدم انتقال مواد مورد نیاز برای رشد مرتبط است. علاوه بر آن کمبود آب قابل دسترس برای بذر موجب کاهش ترشح هورمون‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه کاهش رشد طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود. تغییرات فشار آماس در سلول‌های ساقه‌چه و ریشه‌چه در توقف رشد طولی آنها نقش بسزایی دارد، به طوریکه با کمبود آب پیوندهای موجود در دیواره سلول‌های ساقه‌چه و ریشه‌چه سخت-تر شده و در نتیجه توسعه‌پذیری، رشد طولی و تجمع ماده خشک ریشه‌چه محدود می‌شود (احمدپور وهمکاران ۲۰۱۹). در یولاف وحشی مشاهده شد که کاهش بیشتر طول و وزن خشک ساقهچه نسبت به ریشهچه حاکی از حساسیت بیشتر آن به کاهش پتانسیل آب بود. گیاهچههای حاصل از بذوری که در پتانسیل آبی بیشتر جوانه زدند، وزن خشک کمتری داشتند. نتایج آزمایش نشان داد که وجود تنش خشکی در زمان تشکیل بذر سبب تغییر معنیدار جوانهزنی بذر در شرایط تنش خشکی میگردد (نظامی و همکاران ۲۰۱۷).

کاتالاز: در شرایط آبیاری کامل اعمال تیمارهای محلول‌پاشی منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز در بذر تولیدی ماریتیغال گردید. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز با مقدار۱۴/۶ میلی‌گرم بر پروتئین در این شرایط از محلول‌پاشی با عنصر ریزمغذی روی بدست آمد. میزان فعالیت این آنزیم در تیمارهای محلول‌پاشی با اسیدآمینه و سالیسیلیک اسید به ترتیب ۱۳/۴۳ میلی‌گرم بر پروتئین و ۱۳/۵ میلی‌گرم بر پروتئین مقدار بود. در شرایط آبیاری تکمیلی نیز اعمال تیمارهای محلول‌پاشی منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز گردید. روند پاسخ به محلول‌پاشی در این سطح از آبیاری مشابه آبیاری کامل بود. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز با مقدار ۱۵/۸۳ میلی‌گرم بر پروتئین از محلول‌پاشی روی حاصل شد (شکل۱۲). در شرایط دیم نیز محلول‌پاشی به طور معنی‌داری بر افزایش فعالیت آنزیم مذکور تاثیرداشت. در این شرایط فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمارهای شاهد، محلول‌پاشی با اسیدآمینه، روی و سالیسیلیک اسید به ترتیب ۱۱/۹۳ میلی‌گرم بر پروتئین، ۱۶/۰۳ میلی‌گرم بر پروتئین، ۱۸/۵۶ میلی‌گرم بر پروتئین و ۱۹/۳۳ میلی‌گرم بر پروتئین مقدار بود (شکل۱۲). در این سطح از تیمارهای آبیاری روی و سالیسیلیک بیشترین تاثیر معنی‌دار برفعالیت این آنزیم را داشتند و در عین حال اختلاف معنی‌دار آماری با یکدیگر نشان ندادند (شکل۱۲).

سوپراکسید دیسموتاز

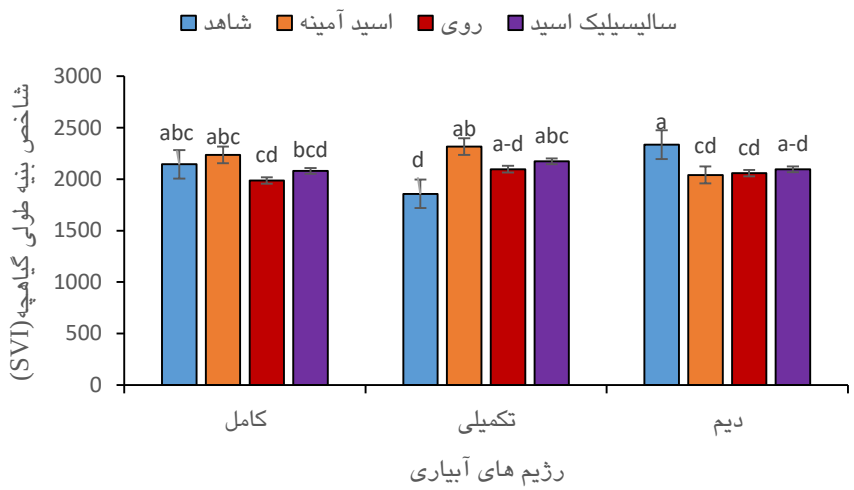
بر اساس یافته های حاصل از آزمایش، میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در آبیاری کامل با اعمال تیمار محلول‌پاشی سبب افزایش در بذور تولیدی گردید. محلول‌پاشی با عنصر روی دارای بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با مقدار۱۴/۴۶ میلی-گرم بر پروتئین بود. فعالیت این آنزیم در تیماری‌های

محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و اسید آمینه به ترتیب ۱۳/۴۶ میلی‌گرم بر پروتئین، ۱۳/۳۴ میلی‌گرم بر پروتئین حاصل شد. در آبیاری تکمیلی نیز محلول‌پاشی عنصر روی بیشترین تاثیر را بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به همراه داشت و به ترتیب ۱۵/۸۳ میلی‌گرم بر پروتئین مقدار بدست آمد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید ۱۴/۷۳ میلی‌گرم بر پروتئین و اسید آمینه ۱۴/۲۶ میلی‌گرم بر پروتئین روند پاسخ مشابهی مثل آبیاری کامل داشتند. در شرایط دیم نیز محلول‌پاشی به طور معنی‌داری بر افزایش این آنزیم تاثیرگذار بود. در این شرایط فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمارهای سالیسیلیک اسید روی اسید آمینه و شاهد به ترتیب ۱۷/۱۳ میلی‌گرم بر پروتئین، ۲۰/۰۶ میلی‌گرم بر پروتئین، ۱۵/۴۰ میلی‌گرم بر پروتئین، ۱۲/۸۰ میلی‌گرم بر پروتئین مقدار بود (شکل۱۳). در این سطح از تیمارهای آبیاری بیشترین تاثیر بر فعالیت آنزیم مربوط به محلول‌پاشی روی و سالیسیلیک اسید بود واختلاف آماری با یکدیگر داشتند. این گونه به‌نظر می‌رسد که افزایش سطح فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در تیمار تنش آب و تحت تأثیر اسید سالیسیلیک به دلیل نقش دفاعی و حفاظتی این آنزیم در برابر اکسیدانت‌های سلولی باشد. به علاوه این افزایش سطح فعالیت مانع از پراکسید شدن چربی‌های غشا سلولی تحت شرایط خشکی میگردد. القای فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به گیاهان توانایی چیره شدن به تنش‌های اکسیداتیو را می‌دهد و سایر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت به طور ثانوی در فرودست این آنزیم فعال می‌شوند (افکاری ۲۰۲۰).

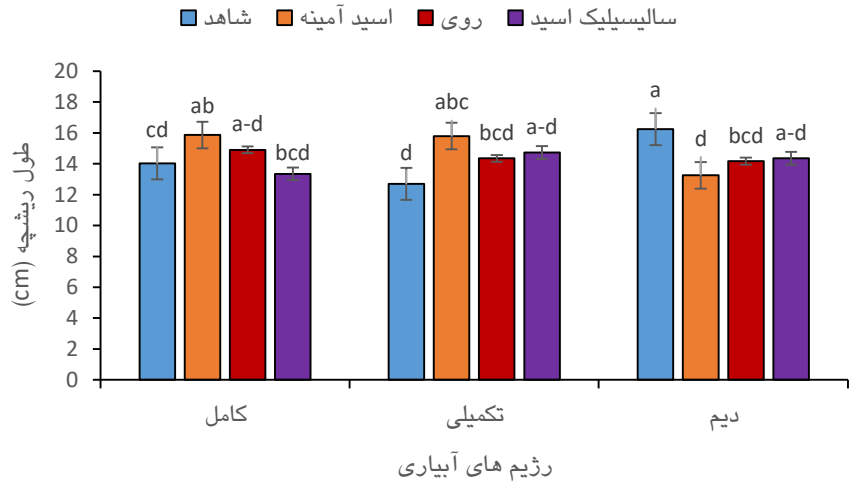
جدول ۴- جدول تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی، بنیه گیاهچه و فعالیت برخی از آنزیم‌های مارتیغال

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		CVG	FGP	MGT	SVI	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	کاتالاز	سوپر اکسید دیسموتاز
بلوک	۲	۰/۰۰۱ ^{ns}	۲/۵۴^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}	۱۳۴۴۴/۷^{ns}	۰/۱۰۷^{ns}	۰/۱۰۳^{ns}	۰/۰۶۴^{ns}	۴/۵۶**
آبیاری	۲	۰/۰۰۲^{ns}	۴/۵۲^{ns}	۰/۱۳۳^{ns}	۱۵۱۷/۴^{ns}	۰/۲۱۹^{ns}	۰/۱۵۳^{ns}	۳۱/۲۴**	۲۲/۸۶**
محلول‌پاشی	۳	۰/۰۰۰۷^{ns}	۹/۴۹^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۳۴۰۵۲/۵^{ns}	۰/۴۷۲^{ns}	*۰/۹۰۹	۳۹/۱۵**	۳۰/۸۴**
آبیاری × محلولپاشی	۶	۰/۰۰۰۷^{ns}	۱۶/۰۷^{ns}	۰/۰۵۳^{ns}	۸۲۹۲۵/۱*	۴/۲۴۹*	۰/۸۸۱*	۳/۵۱۲**	۳/۵۶**
خطا	۲۱	۰/۰۰۰۷	۱۵/۳۸	۰/۰۴۲	۲۲۱۱۲/۱	۱/۱۵۹	۰/۲۳۹	۰/۲۷۳	۰/۱۴۶
ضریب تغییرات (٪)		۶/۷۲	۴/۰۳	۱۴/۴۴	۷/۰۱	۷/۳۵	۶/۹۱	۳/۵۹	۲/۶۱

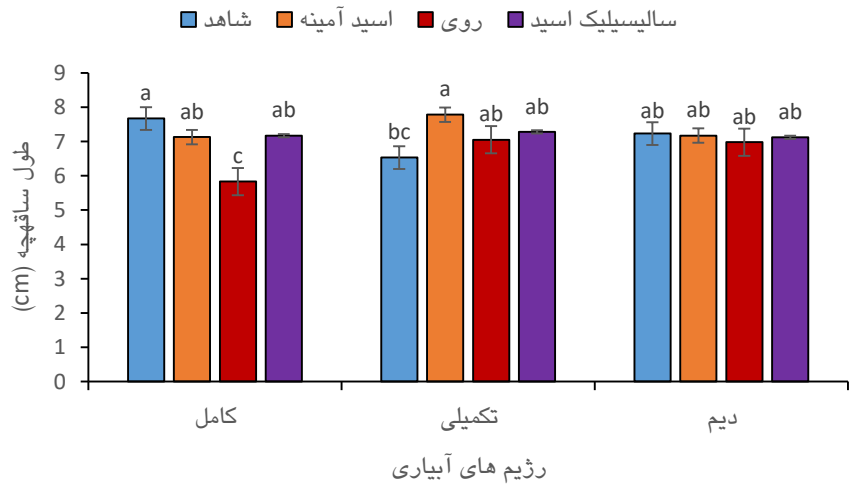
^{ns}، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند.



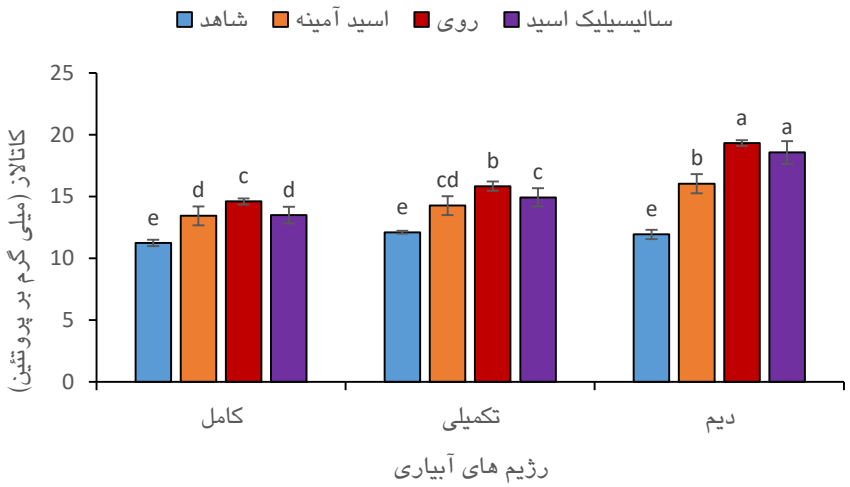
شکل۹-مقایسه میانگین‌های شاخص بنیه طولی گیاهچه (SVI) بذر ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی



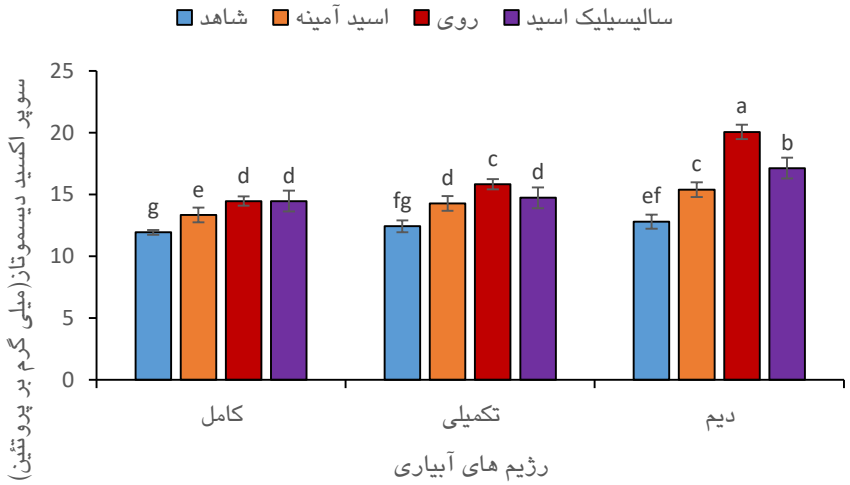
شکل۱۰-مقایسه میانگین‌های طول ریشه‌چه بذر ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی



شکل۱۱- مقایسه میانگین‌های طول ساقه‌چه بذر ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی



شکل۱۲-مقایسه میانگین‌های آنزیم کاتالاز بذر ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی



شکل۱۳-مقایسه میانگین‌های آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز بذر ماریتیغال تحت تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی

سپاسگزاری

بدین وسیله نگارندگان وظیفه خود می‌دانند مراتب سپاس و قدردانی خود را از مساعدت‌های صمیمانه و خالصانه یکایک همکاران ارجمند در اجرای این طرح در بخش‌های مختلف مزرعه‌ای و آزمایشگاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اعلام دارند.

منابع مورد استفاده

Aebi H.1984. [13] Catalase in vitro. Methods in enzymology, 105, pp.121-126. DOI: 10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Afkari A. 2020. Effect of acid salicylic on germination indices, kernel vigor and activity of some antioxidant enzymes of sunflower (*Helianthus annuus L.*) cultivar Armavireski under drought stress. Iranian journal of seed science and research, 7(1): 79-91. (In Persian). DOI: 10.22124/jms.2020.4342

Ahmadpour R, Rostami M and Hosseinzadeh S R. 2019. Influence of compost tea on seedling growth and germination indices of bean (*Phaseolus vulgaris L.*) in order to moderated negative effects caused by

drought stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32(3): pp.511-523. (In Persian) DOR: 20.1001.1.23832592.1398.32.3.3.0

Ahmadvand G, Dehghan Banadaki M, Alimoradi J, Goudarzi S and Ardalani S. 2018. Reaction of Germination and Seedling Growth of Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus*) to Salinity and Drought Stress. Iranian Journal of Seed Research, 4(2): 23-35. (In Persian). DOI: 10.29252/yujs.4.2.23

Ahmadvand G, Dehghan, M, Goudarzi S and Fallahi A. 2016. Germination and seedling growth of hory cress (*Cardaria draba* L.) and madwort (*Alyssum hirsutum* L.) weeds to salinity and drought stress. Seed Ecophysiology Journal, 1(2): pp.153-164. (In Persian). DOI: 10.22077/sej.2016.427

Alazem M, Kim K H and Lin N S. 2019. Effects of abscisic acid and salicylic acid on gene expression in the antiviral RNA silencing pathway in Arabidopsis. International Journal of Molecular Sciences, 20(10): 25-38. DOI: 10.3390/ijms20102538

Ali B S, ElSayed, A I Doheem M A, Eita A M A, and Omar A A. 2020. Effect of Milk Thistle (*Silybum marianum (L.*) Gaertn) Seed Extract on Bacterial Activities and Growth of Human Liver Cancer Cells. Journal of Biotechnology Research, 6(5): pp.27-33. DOI: 10.32861/jbr.65.27.33

Arampatzis D A, Karkanis A C, and Tsiropoulos N G. 2019. Silymarin content and antioxidant activity of seeds of wild Silybum marianum populations growing in Greece. Annals of Applied Biology, 174(1): 61-73 . DOI: 10.1111/aab.12470

Babaei S and Afkari A. 2023. Effect of superabsorbent polymer application on some agrophysiological traits and yield of chickpea (*Cicer arietinum L.*) plant under water deficit stress in horand region. Bi-Quarterly Journal of Plant Production, 13(1): pp 31-44. (In Persian). DOI: 10.2./jpps.2023.705324

Choudhary R C, Kumaraswamy R, Kumari S, Sharma S, Pal A, Raliya R, Biswas P, Saharan V and Saharan, V. 2019. Zinc encapsulated chitosan nanoparticle to promote maize crop yield. International Journal of Biological Macromolecules, 127: 126-135. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.274

Dar Zafar M, Khan F A, Aziz M A, Malik M A, Masood A and Wani F R. 2023. Physiological modulation of plants by salicylic acid under drought stress-A review. SKUAST Journal of Research, 25(1): pp.1-12. DOI: 10.5958/2349-297X.2023.00001.6

De Marco A, Luongo G, Di Marino C, De Tommaso G, Di Fabio G and Zarrelli A. 2020. Silymarin from *Silybum marianum* by Naviglios extractor: a new and very efficient approach. Natural product research, pp.1-7. DOI: 10.1080/14786419.2019.1687474

Ebdal-Aal A. 2018. Effect of foliar spray with lithovit and amino acids on growth, bioconstituents, anatomical and yield features of soybean plant. Annals of Agricultural Science, Moshtohor, 56(4th ICBAA). pp.187-202.DOI: 10.21608/assjm.2018.65137

Fallah Huseini H, Hemati A and Alavian S. 2004. A review of herbal medicine: Silybum marianum. Journal of Medicinal Plants, 3 (11) :14-24. (In Persian). DOR: 20.1001.1.2717204.2004.3.11.2.2

Farahdost R and Jafari A A. 2020. Effect of Drought Stress on Seed Germination Characteristics in the Populations of Four Native Species of *Onobrychis sp*. In Iran. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 27(2): pp.309-318. (In Persian) DOI:10.22092/ijrfpbgr.2019.114792.1268

Fazeli Kazemi S F, Nezami A, Parsa M and Kafi A. 2015. Evaluation of components of germination and seedling growth of sesame ecotypes (*Sesamum indicum L.*) under salt stress conditions. Environmental stresses in crop sciences, 7(2):217-232. (In Persian). DOR: 10.22077/escs.2015.180

Ghamari Zare A, Ghasemzadeh Daghigh A and Jafari A. 2005. The Effect of irrigation on Quantitative and qualitative yield in ten genotypes of Festuca arundinacea in summer cut. Genetic research and improvement of pasture and forest plants of Iran, 12(4):345-363. (In Persian). DOI: 10.22092/ijrfpbgr.2005.115396

Ghiyasi M, Rezaee Danesh Y, Amirnia R, Najafi S, Mulet J M and Porcel R. 2023. Foliar Applications of ZnO and Its Nanoparticles Increase Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Growth and Yield under Water Stress. Agronomy, 13(1): p.192. DOI: 10.3390/agronomy13010192

Giannopolitis C N and Ries SK. 1977. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. Plant pHysiology, 59(2): pp.309-314. DOI: 10.1104/pp.59.2.309

Hafez E, Omara A E D and Ahmed A. 2019. The Coupling Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Salicylic Acid on Physiological Modifications, Yield Traits, and Productivity of Wheat under Water Deficient Conditions. Agronomy, 9(9): 524. DOI: 10.3390/agronomy9090524

Hegab R H, Fawy H A and Habib A A. 2020. Evaluates effect of amino acids, humic acid and antioxidants as foliar application on the biochemical content and productivity of wheat under North Sinai soils conditions. American Journal of Agriculture and Forestry, 8: pp.167-174. DOI: 10.11648/j.ajaf.20200804.19

Heidari M, Taleei A and Abbasi A. 2018. Study of the effects of drought stress on seed germination factors and activity of antioxidant enzymes in Bean genotypes (*Phaseolus vulgaris L.*). Sciences of agricultural plants of Iran, 49(1): 11-27. (In Persian). DOI: 10.22059/ijfcs.2017.209308.654148

Jamshidi A, Ahmadi A, Karimi M and Motesharezadeh B. 2020. Evaluation of some growth and physiological responses of Chia (*Salvia hispanica L.*) to various moisture regimes. Sciences of agricultural plants of Iran, 50(4): 99-110. (In Persian). DOI: 10.22059/ijfcs.2018.260605.654491

Januszkiewicz R, Kulczycki G and Samoraj M. 2023. Foliar Fertilization of Crop Plants in Polish Agriculture. Agriculture, 13(9): p.1715. DOI: 10.3390/agriculture13091715

Kafi M, Nezami A H M AD, Hoseyni H and Masoumi A, 2005. Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris Medik.*) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research, 3(1): pp.69-80. (In Persian). DOI: 10.22067/gsc.v3i1.1293

Kazempour A, Sharghi Y, Modarres Sanavi S A M and Zahedi H. 2023. Effect of amino acid foliar application on morphophysiological characteristics and thyme essential oil under different irrigation regimes. Journal of Plant Process and Function, 12(53): pp.71-90. (In Persian). DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.5.3

Laleh S, Jami Al-Ahmadi M and Parsa S. 2017. Effect of Different Levels of Organic and Chemical Fertilizers on Yield, Harvest Index and Extract Percentage of Hemp (*Cannabis sativa L.*). Agricultural research in Iran, 15(4):823-837. (In Persian). DOI: 10.22067/gsc.v15i4.54427

Lefevere H, Bauters L and Gheysen G. 2020. Salicylic acid biosynthesis in plants. Frontiers in plant science, 11: p.338. DOI: 10.3389/fpls.2020.00338

Maguire, J.D., 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop science. No 2, pp: 176-177. DOI: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Marques T L, Moraes L M B and Rocha F R. 2020. Systematic evaluation of sample preparation for fractionation of phytohormone salicylic acid in fresh leaves. Talanta, 208, 120352. DOI: 10.1016/j.talanta.2019.120352

Mazaraei A, Sirousmehr A R and Babaei Z. 2017. Effect of mycorrhizal fungi on some morphological & physiological charactristics of Milk thistle (*Silybum marianum L.*) Gaertn under drought stress. ranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 33(4):620-635. (In Persian). DOI: 10.22092/ijmapr.2017.107860.1877

Memari M, Dadshi M, Sheikh F and Faghani E. 2020. Seed Yield Response of Faba Bean (Vicia faba L.) Genotypes to Drought Stress. Seed and plant journal, 36(2): pp 241-254. (In Persian). DOI: 10.22092/sppi.2020.123208

Mirshekari M, Einali A and Valizadeh J. 2017. Physiological and biochemical responses of Hibiscus sabdariffa to drought stress in the presence of salicylic acid. Iranian Journal of Plant Biology, 9(32):21-38. (In Persian). DOI: 10.22108/ijpb.2017.100883.1002

Mohammadi M, Pouryousef M, Tavakoli A and Mohseni Fard E. 2020. Study the effect of Epibrassinolide application on the activity of some antioxidant enzymes, nitrate reductase, and photosynthetic pigments of common bean under drought stress. Iranian Journal of Pulses Research, 11(2):76-94. (In Persian). DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.76131

Mohtashami F, Pouryousef M, Andalibi B and Shekari F. 2015. Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on yield and essence of fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*) under drought stress condition. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 31(5):841-852. (In Persian). DOI: 10.22092/ijmapr.2015.103620

Nezami A, Khazaie H R, Barjasteh A R and Zand E. 2017. Effect of drought stress and maternal growth conditions on germination and seedling growth of wild oat (*Avena ludoviciana*). Seed Science and Technology, 6(1). DOI: (In Persian). DOI: 10.22034/ijsst.2017.113942

Panahyan Kivi M. 2019. Effects of zinc sulfate foliar spray on yield, yield components and essential oil of coriander (*Coriandrum sativum L.*) under drought stress. Research of medicinal and aromatic plants of Iran, 35(2): 309-322. (In Persian). DOI: 10.22092/ijmapr.2019.122718.2362

Pashang D, Weisany W and Ghajar F G K. 2023. Effect of foliar application of auxin on morphophysiological and biochemical traits of safflower cultivars (spring and autumn) under drought stress. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences,16(1): pp20-33. (In Persian). DOI: 10.22077/escs.2021.4271.2001

Rady M, Saker M and Matter M. 2018. In vitro culture, transformation and genetic fidelity of Milk Thistle. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 16(2): 563-572 . DOI: 10.1016/j.jgeb.2018.02.007

Rajab Nasab Aghamahali M and Karaptian Zh. 2013. The effect of water stress in the flowering stage on plant height and seed protein (*Carthamus tinctorius L.*) different numbers of Gelrang. Plant environmental physiology, 8(31): 37-46. (In Persian). DOI: 10.22077/escs.2020.2526.1665

Rashidi S, Abbasdokht H, Gholami A and Afshari R T. 2019. Effect of hormone priming and deterioration of seed germination characteristics and antioxidant enzymes activity in corn cultivars seed (*Zea mays L.*). Iranian Journal of Seed Science and Research, 6(2). (In Persian). DOI: 10.22124/jms.2019.3602

Rezaei- chiyaneh E, Rahimi A, Sheykh F and Mohayeji M. 2018. Responses of some agronomical characteristics of faba bean (*Vicia Faba L.*) to biofertilizers under water deficit stress. Journal of crop production, 10(4):107-120. (In Persian). DOI: 10.22069/ejcp.2018.12238.1943

Ritchie S W, Nguyen H T and Holaday A S. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop science, 30(1): pp.105-111.DOI:10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x

Saed-Moucheshi A and Safari H, 2023. Investigation of regulatory elements related to superoxide dismutase enzyme genes in wheat. Journal Cereal Biotechnology and Biochemistry, (1): pp 65-77. DOI: 10.22126/cbb.2023.8692.1034

Salarpour F and Farahbakhsh H. 2016. Effects of salicylic acid on some physiological traits, yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare Mill L.*) under drought stress. Research of medicinal and aromatic plants of Iran, 32(2):216-230. (In Persian). DOI: 10.22092/ijmapr.2016.106557

Shabanzade Sh and Gholvi M. 2011. The effect of foliar application of micronutrient elements and irrigation frequency on agricultural characteristics and yield of black seed. Environmental stresses in crops sciences. 4(1):1-9. (In Persian). DOI: 10.22077/escs.2011.94

Shamsaie M, Sodaei zadeh H and Tajamolian M. 2017. Evaluation of the effects of drought stress of mother plants on some seed germination indices of Satureja hortensis. Desert management, 4(8):27-35. (In Persian). DOI: 10.22034/jdmal.2017.24659

Sharafizadeh M. 2017. Effect of salicylic acid and drought stress on germination and activity of antioxidant enzymes of barely. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 6(2): pp.161-169. (In Persian). DOI: 10.22034/ijsst.2018.116567

Shekari F, Soltaniband V, Javanmard A and Abbasi A. 2016. The impact of drought stress at different stages of development on water relations, stomatal density and quality changes of rapeseed (*Brassica napus L.*). Iran Agricultural Research, 34(2): pp.81-90. (In Persian). DOI: 10.22099/iar.2016.3452

Song X, Guo H, Liu Y, Wan F, Zhang J and Chang X. 2020. Effects of salicylic acid and sucrose on pigment content in Pistacia chinensis leaves. Scientia Horticulturae, 259, 108783. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108783

Tabatabayi A. 2014. The effect of pretreatment of barley seeds with salicylic acid on seedling growth, proline content and antioxidant enzyme activity under drought stress conditions. Journal of Crops Improvement, 16(2):475-486. (In Persian). DOI: 10.22059/jci.2014.53056

Teixeira W F, Fagan E B, Soares L H, Umburanas R C, Reichardt K and Neto D D. 2017. Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. Frontiers in plant science, 8: p.327. DOI: 10.3389/fpls.2017.00327

Umair Hassan M, Aamer M, Umer Chattha M, Haiying T, Shahzad B, Barbanti L, Nawaz M, Rasheed A, Afzal A, Liu Y and Guoqin H. 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. Agriculture,10(9): pp.396. DOI: 10.3390/agriculture10090396

Wang H and Clarke J M. 1993. Genotypic, intraplant, and environmental variation in stomatal frequency and size in wheat. Canadian Journal of Plant Science, 73(3): pp.671-678. DOI: 10.4141/cjps93-08

Yazdani Biyoki R, Rezvani Moghadam P, Khazayi H R, Ghorbani R and Astarayi A R. 2010. The effects of salinity and drought stress on the germination characteristics of Maritigal seeds (*Silybum marianum L.*). Iranian journal of field crops research, 8(1):12-19. (In Persian). DOI: 10.22067/gsc.v8i1.7385

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, Tabriz, Iran

Managing Director:
Safar Nasrollahzadeh, Prof., Dept .of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Editor-in-chief
Adel Dabbagh Mohammadi Nasab, Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Coordinating Manager:
Ali Bandehagh Prof., Plant Breeding and Biotechnology Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Editorial Board:

Mohammad Reza Shakiba	Dept. of Plant Eco-Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Yaegoob Raee	Prof., Dept of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Saeid Zehtab-Salmasi	Center for Sustainable Agricultural Studies, School of Plant and Environmental Sciences, University of New Mexico, USA
Raouf Seyed sharifi	Prof., Dept. of Agronomy and plant breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran.
Bahman Pasban Eslam	Assoc. Prof., Horticulture and Crops Research Dept, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Tabriz, Iran.
Sahebali Bolandnazar	Prof., Dept. of Horticulture Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Rouhollah Amini	Prof, Dept. of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Reza Amirnia	Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Uremia, Uremia, Iran
Aydin Hamidi	Assoc. Prof., of Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI)-Karaj, Karaj, Iran.
Ali Reza Sirousmehr	Assoc. Prof., Dept. of Agronomy,Faculty of Agriculture,University of Zabol, Zabol, Iran.
Khalil Kariman	University of Western Australia
Mohammad Radwan Mahmoud	Faculty member, Al-Muthana University of Baghdad, Baghdad, Iraq

Office: Faculty of Agriculture, University of Tabriz, 5166614766 Tabriz, Iran

Tel: 0098 41-33392037, Fax: 0098 41-33356002

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

Journal Officer
Roghaye Saadatpour

دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 34, Issue 3, 2024, Pages 1-349

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

CONTENTS

Evaluation of Growth Indices, Yield Performance and Advantages in Intercropping of wheat, Soybean and Corn 1
Javad Hamzei, Mojtaba Zarei

Response of Grain Yield of Barley and Faba Bean to Humic Acid Application in Different Planting Patterns of Intercropping 19
Hamdollah Eskandari, Kamyar Kazemi

Evaluation of Quantity and Quality of Camelina (*Camelina sativa* L.) Oil with Integrative Application of Bio and Chemical Fertilizers in different Irrigation Intervals 35
Mustafa Rashidi, Abdollah Javanmard, Fariborz Shekari, Mostafa Amani Machiani

The Effect of Nutrition Management and Planting Pattern on the Quantitative and Qualitative Characteristics of Two Varieties of Virginia Tobacco (*Nicotiana Tabacum* L.) 55
Masoomeh Rahmatzadeh, Hemmatollah Pirdashti, Mohammad Ali Esmaeili, Rahmat Abbasi, Yaser Yagoubian

Assessment of some Integrated Weed Management Methods in Dryland chickpea in Eslamabad-Gharb, Kermanshah 69
Hazhir Yousefi, Jafar Asghari, Elmira Mohammadvand

The Effect of Transplanting, Planting Arrangement and Plant Density on forage corn Yield and Yield Components in Delayed Cultivation Conditions 85
Mehdi Mottaghi

The Effect of Chemical and non-chemical Weed Control on the Growth Characterist ics and Yield of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) 99
Jalil Shafagh-Kolvanagh[1] Mohsen Sabzi-Nojadeh, Hedayat Derakhshani, Mina Amani

The effect of Biofertilizer Application and Cultivars on Yield and Growth Characteristics of Barley in Tabriz Plain 121
Hassan Monirifar, Arezoo Mirmozaffari Roudsari, Habibolah Ghazvivi, Ali Reza Tavasolee

Effect of Non-chemical Methods in Integration with Trifluralin on Weeds and Yield of Basil (*Ocimum bacilicum* L.) 137
Nasrin Ahmadian, Rouhollah Amini, Adel Dabbagh Mohammadi Nassab

Interaction of Smoke Water, Arbuscular Mycorrhizal Fungus and *Rhizobium* Bacterium on Yield and Yield Components of Chickpea 153
Saba Tavazoee, Saeid Jalali-Honarmand, Ali Rasaei

Morphophysiological Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to Salicylic Acid Priming and Chelate Nanofertilizer Application in Dryland Conditions 165
Leila Abbasi, Ali Khorgami, Masoud Rafiee

Analyzing Grain Yield Stability of Bread Wheat Recombinant Inbred Lines 181
Mohsen Sabzi-Nojadeh, Saeid Aharizad, Mina Amani

Efficiency of Phytoprotectants and Phosphorus Solubilizing Bacteria in Modulating of Water Deficit Effects on Wheat 193
Ali Namvar, Hashem Hadi, Raouf Seyedsharifi

Stability Analysis of Barley Genotypes in Cold Regions 217
Habibollah Ghazvini, Ali Akbar Asadi, Soleiman Mohammadi, Seied Alireza Razavi, Marefat Ghasemi Kalkhoran

Genetic Assessment of Pheno-Physiological and Yield Traits of Maize under Optimal Irrigation and Water Deficiency Conditions……..
Mozhgan Shirinpour, Saeid Aharizad, Ehsan Atazadeh, Ashkboos Amini, Ali Asghari, Ahmad Bybordi, Hassan Monirifar **235**

Corm Production and Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) under Different Drainage Depths and Distances in Sari Plain Conditions ……
Faezeh Zaefarian, Abbas Jalali, Hamed Kaveh, Fatemh Delavarnia **251**

The Effect of Nanosilicon Foliar Application on Morphological, Yield and Tolerance of Drought Stress in Quinoa Plant (*Chenopodium quinoa* L.) ……
Vahid Mohasseli, Hojat Dialamy, Mahmood Izadi **263**

Improvement of Physiological Indices of Growth and Root Yield of sugar beet through Seed Hydropriming and Foliar Application of humic acid under Delayed Planting Conditions ……
Ali Sarkhosh, Mohammad Ali Aboutalebian, Hamed Mansouri **275**

Effect of Urea and some Organic Fertilizers on Growth and Field Performance of faba bean (*Vicia faba* L.) …….
Safar Nasrollahzadeh, Jalil Shafagh Kolvanagh, Parviz Shah Mohammadzadeh, Roghiyeh Farzi-Aminabad **295**

The effect of Symbiosis with mycorrhizal fungi on the Physiological Properties and Nutrient Uptake of 'Supernova' almonds grafted on GN15 rootstocks under Salt Stress Conditions ……..
Shabnam Mostafavi, Jafar Hajilou, Sahebali Bolandnazar **309**

Impact of Foliar Spraying Zinc, Salicylic Acid and the use of Amino Acids on the Growth and Establishment of Milk Thistle (*Silybum marianum*) Seeds under Varied irrigation Conditions….
Shiva Afsharnia, Mahdi Ghiyasi, Esmail Rezaei-Chiyaneh, Amir Rahimi **327**