

- ۲۳۵ بررسی تأثیر عناصر کم مصرف روی و آهن بر ویژگی‌های عملکردی کتجد و تداخل علف‌های هرز در شرایط اقلیمی سومار  
سعده گوهری، علی حاتمی، احسان اله زیدعلی
- ۲۵۵ اثر جهت ردیف کاشت، تراکم گیاهی و فاصله بین ردیف بر رشد و عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴  
بهاره طهماسبی، سید وحید اسلامی، مجید جامی الاحمدی، سهراب محمودی
- ۲۷۵ بهبود تولید زیست توده و جذب عناصر در آویشن باغی توسط مدیریت تغذیه تلفیقی  
زهرا توحیدی نژاد، غلامرضا خواجهی نژاد، عنایت الله توحیدی نژاد، جلال قنبری
- ۲۹۵ تأثیر بیوجار و ژئولیت بر برخی ویژگیهای مورفوفیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در پاسخ به  
تنش خشکی  
سمیه منصوری، محمود رمودی، زینب محکم، محمدرضا اصغری پور، اسماعیل سیدآبادی
- ۳۱۵ اثر پوترسین و اسپرمیدین بر صفات کمی، کیفی و غلظت عناصر معدنی برگ چغندر قند در سطوح مختلف  
آبیاری (مطالعه موردی: تربت حیدریه)  
مهدی عباس زاده، رضا صدرابادی حقیقی، علی باقرزاده چهارجویی، امیر سالاری، سید مصطفی حسینی مزینانی
- ۳۳۷ تجزیه برهمکنش ژنوتیپ - محیط در ژنوتیپ‌های نخود با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر مدل AMcMI و BLUP  
پیام پزشکیپور، داود فلاحی، رحمت الله کریمزاده، امیر میرزایی، محمد برزعلی
- ۳۶۳ ارزیابی برخی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و کارایی مصرف آب در چهار رقم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)  
امیر هوشنگ جلالی، احمد موسی پور گرجی
- ۳۷۵ ارزیابی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر رشد گیاه گندم (*Triticum aestivum*) تحت تأثیر محلول  
پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش شوری و آبی  
حمید رضا تاجداری، علی سلیمانی، نصرت اله منتجبی، محمد رضا نادری درباغشاهی، حمیدرضا جوانمرد
- ۳۹۷ اثرات روش کشت، کم آبیاری، مالچ و کود نیتروژن بر جمعیت علف هرز و ناخالصی‌های ریشه  
چغندر قند  
کریم رحمانی، معصومه دلبری، پیمان افراسیاب، فریبرز عباسی، ولی الله یوسف آبادی
- ۴۱۱ اثر محلول پاشی متانول بر برخی واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه لوبیا تحت تنش خشکی  
حسن نوریانی

۴۲۷

تأثیر پرایمینگ بذر و علف‌کش ایماز تاپیر بر مدیریت علف‌های هرز نخود (*Cicer arietinum* L.)

عبدالرضا احمدی، نوراله زیدی طولابی، امیدعلی اکبرپور، مزگان بیرانوندی

۴۴۳

تأثیر کودهای آلی و تلفیق آن‌ها بر عملکرد برگ به لیمو و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در پاسخ به روش‌های آبیاری

مرضیه حبیبی، عیسی خمیری، مهدی دهمرده، سید احمد قنبری

# نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

جلد هفتم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴

این نشریه که با همکاری انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران و انجمن علمی دانش کشاورزی گرمسیری ایران منتشر می‌گردد بر اساس آیین نامه نشریات علمی مصوب ۹۸/۰۲/۰۹ در ارزیابی سال ۱۴۰۳ موفق به کسب رتبه الف شده است و در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) نیز نمایه می‌شود.

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه زابل

سردبیر: دکتر محمد رضا اصغری پور، استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل

مدیر مسئول: دکتر اسماعیل سیدآبادی، دانشیار گروه زراعت، دانشگاه زابل

## هیأت تحریریه:

دکتر سیدجلال طباطبائی، استاد گروه باغبانی، دانشگاه شاهد

دکتر ناصر مجنون حسینی، استاد گروه زراعت، دانشگاه تهران

دکتر محمدرضا شکیبا، استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشگاه تبریز

دکتر سیدمحسن موسوی نیک، استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل

دکتر محمد صدقی، استاد گروه زراعت، دانشگاه اردبیل

دکتر خسرو عزیزی، استاد گروه زراعت، دانشگاه لرستان

دکتر عبدالعلی غفاری، دانشیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور

دکتر محمد رضا اصغری پور، استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل

دکتر بهنام کامکار، استاد گروه زراعت، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر رضا صدرآبادی حقیقی، استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

دکتر محمود رمرودی، استاد گروه زراعت دانشگاه زابل

دکتر مهدی دهمرده، دانشیار گروه زراعت دانشگاه زابل

## هیأت مشاوران بین المللی:

دکتر آریا دولت آبادیان، دانشگاه وسترن استرالیا، استرالیا

دکتر هاوارد چارلزلی، دانشگاه کالج هادلو، انگلستان

دکتر آمیت کساروانی، دانشگاه پانتناگار، هندوستان

دکتر شهزاد مقصود احمد بصرا، دانشگاه کشاورزی فیصل آباد، پاکستان

دکتر مراد تورج تورک، دانشگاه وان یوزونجی ییل، ترکیه

ویراستاران: دکتر اسماعیل سیدآبادی، دکتر عباس نصیری ده سرخی

صفحه آرا: فاطمه فتحی

نشانی: سیستان و بلوچستان، زابل، جاده بنجار، دانشگاه زابل، دانشکده کشاورزی، دفتر نشریات، کد پستی ۹۸۶۱۳۳۵۸۵۶

تلفن: ۳۱۲۳۲۱۰۲ (۰۵۴)، فاکس: ۳۱۲۳۲۱۰۰ (۰۵۴)

## راهنمای تهیه مقاله برای نشریه "تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک"

نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک از کلیه نویسندگان گرامی درخواست می‌نماید تا هنگام نگارش مقاله خود، کلیه موارد و نکات ذیل را مد نظر قرار دهند و رعایت نمایند. با توجه به اینکه نشریه در فرآیند نمایه‌سازی در پایگاه‌های معتبر بین‌المللی قرار دارد، در صورت عدم نکات و شرایط مندرج در زیر، مقاله شما پیش از ارسال به داوری رد خواهد شد و تا زمانی - که همه موارد زیر رعایت نشده باشند به درخواست شما ترتیب اثر داده نخواهد شد.

### چه مقالاتی را می‌توان ارسال نمود؟

**مقالات پژوهشی:** آن دسته از مقالاتی که شامل نتایج نوین از یک کار پژوهشی باشد را مقالات پژوهشی می‌خوانند. در این گونه از مقالات، نویسندگان باید پس از گردآوری داده‌های اصیل با روش‌های دقیق و معتبر پژوهشی و علمی به تحلیل یافته‌های خود بپردازند و نتایج یافته‌ها و مشاهدات علمی خود را ارائه نمایند.

**مقالات مروری:** آن دسته از مقالاتی که با دیدگاه مرور تخصصی ادبیات انتشار یافته علمی و پژوهشی روز دنیا در زمینه‌های مرتبط با موضوع نشریه باشند و توسط افراد متخصص و صاحب‌نظر در آن زمینه نگارش یافته باشند جزو مقالات مروری طبقه‌بندی می‌شوند و قابل ارسال برای داوری هستند.

### دستورالعمل و راهنمای تهیه مقاله

نگارش مقاله باید با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Word 2007 یا نسخه‌های بالاتر صورت بگیرد. تنظیمات صفحات مقاله باید در حالت صفحه A4 با ۲/۵ سانتی‌متر (یک اینچ) حاشیه به صورت تک‌ستونه باشد و متن مقاله با فاصله ۱/۱۵ بین خطوط نگارش شود.

کلیه متون مقاله باید با استفاده از فونت (B Nazanin) درج شوند. عنوان مقاله باید با سایز ۱۴ ضخیم و متن مقاله با سایز ۱۳ و ضخامت عادی درج شوند. عناوین اصلی مقاله مانند چکیده، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث و غیره با قلم ضخیم سایز ۱۳ درج شوند. عناوین جداول و اشکال با سایز ۹ پررنگ به صورت وسط چین و اطلاعات جداول با سایز ۹ ضخامت نرمال درج می‌گردند (در خصوص عنوان جداول و شکل‌ها، همچنین اطلاعات داخل آنها، سایز ۸ برای کلمات انگلیسی استفاده شود). نام‌های غیرفارسی در متن با فونت Times New Roman سایز ۱۱ درج می‌شوند.

### مشخصات مقاله و نویسندگان

عنوان مقاله، نام و نام‌خانوادگی نویسندگان، سمت نگارندگان مقاله به همراه مرتبه علمی آنان، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نویسنده در آن اشتغال دارد به همراه آدرس ایمیل، نشانی پستی و تلفن نویسنده مسئول باید به دقت بر روی صفحه‌ای جداگانه به فارسی و انگلیسی درج گردند و به همراه برگه تعهدنامه امضاء شده اسکن و ارسال شود.

### مقاله به طور کلی باید شامل بخش‌های زیر باشد:

**عنوان:** باید کوتاه و شفاف باشد و موضوع مقاله را به خوبی مشخص سازد. حداکثر طول عنوان ۲۰ واژه است.

**چکیده:** باید به‌طور گویا و شفاف خلاصه‌ای از مقاله را به خواننده ارائه نماید و طول آن از ۲۵۰ واژه بیشتر نشود. بهتر است در جمله اول چکیده، ضرورت و اهداف انجام پژوهش درج گردد. در جمله دوم، مکان و زمان انجام پژوهش نوشته شود.

**واژه‌های کلیدی:** باید بین ۴ تا ۶ واژه که در دسته‌بندی موضوع مقاله کمک می‌نماید باشد. واژگان گزیده شده نباید در عنوان مقاله وجود داشته باشند و باید بر اساس حروف الفبا مرتب گردند.

**مقدمه:** بایستی علاوه بر تعریف موضوع مقاله و بیان کلیات پژوهش حاوی اطلاعات مربوط به اهمیت موضوع، پیشینه پژوهشی، فرضیه‌ها و هدف از اجرای تحقیق باشد. نام‌های علمی در متن مقاله و همچنین در بخش فهرست منابع، به صورت ایتالیک نوشته شوند. اصول سجاوندی یا نقطه‌گذاری و همچنین صفحه‌آرایی رعایت شود. قسمت‌های مختلف مقاله، پاراگراف-بندی شوند، به‌طور مثال در قسمت مقدمه به جای اینکه مطالب در یک پاراگراف طولانی آورده شوند بهتر است پاراگراف‌بندی موضوعی صورت گیرد.

در پاراگراف آخر بخش مقدمه، می‌بایست جنبه‌های نوآوری، ضرورت و اهداف انجام پژوهش به‌طور کامل شرح داده شود.

**مواد و روش‌ها:** بایستی به مشخصات منطقه آزمایش و کلیه مواد، روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در آزمایش به‌طور شفاف اشاره شود. در صورتی که یک روش از منبعی گرفته شده باشد، فقط به ذکر منبع اکتفا شود. نام دستگاه‌های مورد استفاده کاملاً ذکر شود. همچنین محل تهیه بذر، تاریخ کاشت و برداشت نیز نوشته شوند. فرمول‌ها و روابط می‌بایست شماره‌گذاری شوند و شماره آنها در متن ذکر گردد. از به کار بردن اصطلاح‌هایی مانند "فرمول زیر" یا "رابطه زیر" خودداری شود.

**نتایج و بحث:** نتایج و بحث به صورت توأم نوشته شود. نتایج آزمایش می‌تواند بصورت جدول، شکل، عکس و غیره نشان داده شود ولی در هر حال بایستی از ارائه نتایج به‌صورت تکراری در دو شکل مجزا (برای مثال هم به‌صورت شکل و هم جدول) خودداری گردد. هر جدول از شماره، عنوان، سرستون و متن تشکیل می‌شود. عنوان جداول باید مختصر و گویا بوده، به‌نحوی-که نیازی به مراجعه به متن مقاله نباشد. عنوان جداول و اشکال به فارسی و انگلیسی تایپ شود. عنوان شکل در زیر آن درج گردد و عنوان جدول در بالای آن نوشته شود. هر جدول با یک خط افقی از شماره و عنوان متمایز می‌شود. همچنین سرستون با یک خط افقی از متن جدول جدا شده و در زیر متن جدول نیز یک خط افقی ترسیم می‌شود. جداول و اشکال مقاله باید به صورت دو زبانه تهیه شوند. یعنی باید عنوان جدول‌ها، عناوین ستون‌ها و ردیف‌ها در جداول، توضیح عکس‌ها، تصاویر و نمودارها به‌صورت فارسی و انگلیسی و اعداد جداول و اشکال به زبان انگلیسی آورده شوند. برای نوشتن معادل انگلیسی کلمات داخل جدول، نیازی به ایجاد ردیف جداگانه در جدول نمی‌باشد بلکه معادل انگلیسی باید زیر فارسی نوشته شود. سطر اول جدول که عناوین ستون‌ها را شامل می‌شود به‌صورت پررنگ (Bold) باشد.

واحدهای داخل جداول و شکل‌ها فقط باید به انگلیسی نوشته شوند و نیازی به نوشتن واحدها به فارسی نمی‌باشد. همچنین زیرنویس جداول و شکل‌ها نیز باید به صورت دوزبانه (فارسی و انگلیسی) تهیه شود. جداول باید از چپ به راست، تنظیم شوند. کادر اطراف شکل‌ها، حذف شوند.

جداول و اشکال می‌بایست در جای مناسب در داخل متن اصلی مقاله قرار داده شوند و به‌طور مناسب و هماهنگ شماره‌گذاری گردند. لازم است نویسندگان گرامی از ارسال جداول و نمودارها به صورت عکس خودداری نمایند. همچنین، کلیه تصاویر و مدارک آزمایشگاهی باید از کیفیت و وضوح قابل قبول برخوردار بوده و با رزولوشن ۳۰۰ پیکسل ذخیره شده و ارسال گردند. **نتیجه‌گیری کلی:** این بخش به‌صورت مستقل از نتایج و بحث، در پاراگرافی جداگانه ذکر شود.

**سپاس‌گزاری:** در این بخش باید از همکاری‌های علمی، پژوهشی، مالی اشخاص حقیقی و حقوقی که در به انجام رسیدن پژوهش به شما کمک نموده‌اند سپاس‌گزاری نمایید.

**تعارض منافع:** در صورتی که بخشی از پژوهش شما به دیگر فعالیت‌های حرفه‌ای و اقتصادی یا مسئولیت‌های شما مرتبط می‌باشد باید این موارد را در این بخش اظهار نمایید. برای مثال چنانچه شما در شرکتی فعال هستید که محصولی را در زمینه زراعت یا کشاورزی تولید می‌نماید یا اگر اختراعی دارد که مرتبط با موضوع پژوهش شما می‌باشد باید در این بخش مسائل از

این دست را اظهار نمایید. در غیر این صورت، می‌توانید از عبارت "نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد." استفاده کنید.

**منابع:** ارجاع به منبع در متن مقاله پس از ذکر یک مطلب غیر بدیهی که نیازمند استناد برای ارزیابی درستی آن است صورت می‌گیرد. منبع مورد نظر که برای بررسی درستی آن مطلب به آن ارجاع داده می‌شود، در پایان جمله و در داخل پرانتز با ذکر اسم نویسنده و سال آورده می‌شود (در صورتی که منبع فارسی است باید معادل انگلیسی نام نویسنده و سال میلادی ذکر گردد). از آوردن اسم نویسنده منبع در اول جمله خودداری نمایید.

نویسندگان محترم توجه داشته باشند در متن، "پرانتزهایی" که برای منابع به کار برده می‌شوند به "فارسی" باشند. در خصوص منابع فارسی، توجه داشته باشید اسامی نویسندگان، عنوان مقاله و نام مجله به درستی به انگلیسی برگردانده شود. برای این منظور می‌توانید به سایت مجله مورد نظر رفته و در بخش انگلیسی سایت مجله، مشخصات مقاله مورد نظر خود را پیدا کنید. فهرست منابع به صورت انگلیسی و بر اساس حروف الفبا به شرح نمونه‌های زیر تنظیم شود. لازم است تمام منابع فارسی مورد استفاده نیز به زبان انگلیسی نوشته شده و در پایان به شکل استاندارد (یعنی کامل، یکدست و در کروشه) از عبارت [In Persian] استفاده شود. در ضمن در انتهای هر منبع آدرس doi و یا dor نیز ارائه گردد.

Arshadi, M., 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. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(2), pp.241-254. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/csrr.2021.268645.1080>

Mahlooji, M. and Nasiri Dehsorkhi, A., 2021. Agrophysiological of barley genotypes responses to zinc fertilization and water saline irrigation. *Agriculture, Environment & Society*, 1(1), pp.19-25. <https://doi.org/10.22034/aes.2021.144192>

Safaripour, M., 2022. Environmental impact assessment of corn, wheat and sunflower production using life cycle assessment methodology in Kermanshah province. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol [In Persian].

Ferrari, E.D., Ferreira, V.A., Grassi, E.M., Picca, A.M.T. and Paccapelo, H.A., 2018. Genetic parameters estimation in quantitative traits of a cross of triticale (*X Triticosecale* W.). *Open Agriculture*, 3(1), pp.25-31. <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0003>

**چکیده انگلیسی:** در پایان مقاله و پس از اتمام بخش منابع در صفحه‌ای جداگانه عنوان و چکیده انگلیسی آورده شود. چکیده انگلیسی مقاله باید به صورت مبسوط (حداقل ۶۰۰ کلمه) و دارای تمام بخش‌های زیر به شکل تفکیک شده باشد.

1. Introduction
2. Materials and Methods
3. Results and Discussion
4. Conclusion
5. Keywords

واژه‌های کلیدی بر اساس حروف الفبا مرتب شوند و حرف اول کلمات به صورت حرف بزرگ باشد. تاریخ‌های به کار برده شده در چکیده انگلیسی، باید به میلادی درج گردند.

#### تعهدنامه

نویسندگان گرامی جهت چاپ مقالات خود در نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک بایست فرم تعهدنامه را تکمیل و پس از اخذ رضایت و امضای نویسندگان مقاله فایل اسکن شده آن را به دفتر نشریه ارسال نمایند. در صورتی که تعداد

نویسندگان مقاله بیش از تعداد جداول در نظر گرفته بود، نویسندگان می‌توانند از صفحات مورد نیاز بیش از یک کپی تهیه نمایند و اطلاعات خود را به طور کامل و با دقت پر نمایند.

### نکات مهم دیگر

- ✓ مسئولیت محتوای منتشر شده در یک مقاله تنها با نویسندگان آن مقاله می‌باشد.
- ✓ تمامی نگارندگان باید به منظور تایید اصالت محتوای مقاله و همچنین تعیین نویسنده مسئول برگ مشخصات مقاله را امضا نمایند.
- ✓ دانشجویان بایستی تایید استاد یا استادان راهنمای خود را ارسال نمایند. (در صورت عدم ارسال تعهدنامه، مقاله مورد بررسی قرار نمی‌گیرد).
- ✓ نویسنده مسئول باید حتماً ایمیل آکادمیک خود را درج نماید.
- ✓ هیات تحریریه از پذیرش مقالاتی که قبلاً در سایر نشریات چاپ شده و یا برای بررسی ارسال گردیده، معذور است.
- ✓ مقالاتی که بخشی از آن در کنگره‌ها، سمینارهای داخلی یا خارجی و سمپوزیوم‌ها آرایه و چاپ شده‌اند با ذکر این مطلب و در صورت عدم وجود موانع حقوق مؤلف (کپی رایت) از این قاعده مستثنی هستند.
- ✓ هیات تحریریه در رد، پذیرش یا ویرایش مقالات و همچنین تصمیم نهایی برای چاپ مقاله اختیار تام دارد.
- ✓ تمام مقالات باید با رعایت اخلاق در تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی و با توجه به بیانیه‌های مشخص در اخلاق پژوهش انجام شده باشد.
- ✓ به نویسندگان توصیه می‌شود تا پس از دریافت نظرات داوران، تغییرات و اصلاحات انجام شده را در نسخه اصلاحی با هایلایت کردن مطالب ویرایش شده مشخص نمایند. همچنین در برگه‌ای جداگانه ابهامات طرح شده توسط داوران را پاسخ دهند.
- ✓ حداقل نیمی از منابع ارجاع داده شده در مقاله مربوط به پژوهش‌های منتشر شده در ۱۰ سال اخیر باشند.
- ✓ تعداد مراجع ذکر شده در مقاله باید متناسب با نوع مقاله باشد. به طور متعارف مقالات پژوهشی بین ۱۰ تا ۳۰ ارجاع و مقالات مروری حداقل ۵۰ ارجاع دارند.



# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://crops.cscience.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 235-253

### Impact assessment of zinc and iron micronutrients on sesame yield traits and weed interference under somar climatic conditions

Saadollah Gohari <sup>a</sup>, Ali Hatami <sup>b</sup>, Ehsan Zeidali <sup>\*b</sup>

<sup>a</sup> MSc Graduate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

<sup>b</sup> Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

\*Corresponding Author: [e.zeidali@ilam.ac.ir](mailto:e.zeidali@ilam.ac.ir)

Received: 11 January 2025

Accepted: 4 May 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.498849.1467

#### How to cite this article:

Gohari, S., Hatami, A., and Zeidali, E., 2025. Impact assessment of zinc and iron micronutrients on sesame yield traits and weed interference under Somar climatic conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 235-253.

<https://doi.org/10.22034/csrar.2025.498849.1467>

#### Abstract

**Introduction:** Sesame (*Sesamum indicum* L.), an ancient drought-tolerant oilseed crop, thrives in arid regions where other crops fail, offering one of the highest oil contents among oilseeds. In Iran's calcareous soils of arid/semi-arid zones, widespread zinc (Zn) and iron (Fe) deficiencies limit crop productivity. Micronutrients critically influence plant growth, yield, and human nutrition, with foliar application emerging as a key strategy for biofortification. Weed competition further exacerbates yield losses, particularly during sesame's slow establishment phase, where weed-crop leaf area ratios at canopy closure significantly impact productivity. Despite the agro-economic potential of sesame in the understudied tropical Somar region (southwest Kermanshah province), no prior research exists on integrated weed and nutrient management for this crop. This study addresses this gap by evaluating Zn and Fe sulfate's foliar effects on sesame yield and oil quality under weed competition, aiming to optimize sustainable practices for this high-value crop. Sesame's resilience to drought and high oil content (45–55%) make it a vital crop for marginal arid lands. However, calcareous soils in Iran's arid zones, including Somar, exhibit severe Zn and Fe deficiencies, limiting sesame's productivity. Micronutrients like Zn and Fe are essential cofactors in enzymatic processes, chlorophyll synthesis, and stress tolerance, directly influencing yield and seed quality. Foliar supplementation bypasses soil nutrient fixation, enhancing uptake efficiency. Concurrently, weed interference during sesame's early growth stages reduces light and resource capture, with weed leaf area dominance at canopy closure being a critical yield-limiting factor. Seed purity standards (99.99%) for edible oil further necessitate rigorous weed management. The Somar region, with its tropical climate and untapped agricultural potential, lacks evidence-based strategies for sesame cultivation. This study bridges this gap by investigating synergistic weed control and micronutrient applications to boost yield and oil quality,



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

supporting socioeconomic development in resource-rich but underutilized regions.

**Materials and Methods:** A split-factorial experiment was conducted in 2023 in Somar, employing a randomized complete block design with three replications. The main factor comprised weed management: *control* (mechanical/chemical) and *no control*. Sub-factors included Fe sulfate (0, 150, 300 ppm) and Zn sulfate (0, 300, 500 ppm) applied as foliar sprays at 6- and 15-leaf stages. Soil analysis confirmed baseline Zn ( $0.8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) and Fe ( $4.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) deficiencies. Weed biomass, seed yield, oil content, and nutrient uptake were measured. Data were analyzed using ANOVA, and means compared via LSD ( $p \leq 0.05$ ).

**Results and Discussion:** Weed competition reduced sesame yield by 29% compared to the controlled treatment. The highest seed yield ( $1068.8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) occurred under weed-free conditions with 300 ppm Fe and 300 ppm Zn, highlighting micronutrients' role in mitigating abiotic stress. Fe and Zn sulfate significantly increased oil content: 500 ppm Zn yielded 51.9% oil, while 300 ppm Fe achieved 52.2%, surpassing lower doses ( $p < 0.01$ ). Weed interference reduced oil quality by 12–15%, likely due to resource diversion and reduced photosynthetic efficiency. The synergistic Fe-Zn application enhanced nutrient partitioning to seeds, improving both yield and oil synthesis. These results align with studies linking micronutrients to ROS scavenging and lipid biosynthesis in oilseeds.

**Conclusion:** Integrated weed management and foliar Zn/Fe supplementation significantly enhance sesame productivity and oil quality in calcareous soils. The optimal combination—300 ppm Fe + 300 ppm Zn under weed-free conditions—increased yield by 29% and oil content by 18–20%, demonstrating the socioeconomic viability of sesame in Somar. This strategy addresses soil constraints and weed pressure, offering a model for semi-arid regions. Future research should explore genotype-specific responses and long-term soil health impacts.

**Keywords:** Crop management, Growth, Nutrient, Yield

## بررسی تأثیر عناصر کم مصرف روی و آهن بر ویژگی‌های عملکردی کنجد و تداخل علف‌های هرز در شرایط اقلیمی سومار

سعدالله گوهری<sup>۱</sup>، علی حاتمی<sup>۲</sup>، احسان اله زیدعلی<sup>۳\*</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

\* مسئول مکاتبه: e.zeidali@ilam.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.498849.1467

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲

### چکیده

علف‌های هرز یکی از محدودیت‌های اصلی کاهش عملکرد کنجد محسوب می‌شوند، در حالی که استفاده از ریزمغذی‌هایی چون آهن و روی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک این محصول ایفا کند. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر سطوح مختلف سولفات آهن و سولفات روی بر ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک کنجد تحت شرایط مختلف مدیریت علف‌های هرز انجام شد. آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲ در منطقه دشت سومار شهرستان قصرشیرین به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای اصلی شامل دو سطح مدیریت علف‌هرز (کنترل مکانیکی و شیمیایی در مقابل عدم کنترل) و تیمارهای فرعی شامل سطوح مختلف سولفات آهن (۰، ۱۵۰، ۳۰۰ پی‌پی‌ام) و سولفات روی (۳۰۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام) بود که در مراحل ۶ و ۱۵ برگی کنجد به صورت محلول‌پاشی اعمال شدند. یافته‌ها نشان داد که بالاترین عملکرد دانه (۱۰۶۸/۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ترکیبی کنترل علف‌هرز با کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی حاصل شد که ۲۹ درصد افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت. همچنین، بیشترین درصد روغن دانه در تیمارهای ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی (۵۱/۹ درصد) و ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن (۵۲/۲ درصد) مشاهده شد. به طور کلی، عدم کنترل علف‌های هرز موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و کیفیت روغن کنجد گردید. نتایج این پژوهش اهمیت مدیریت تلفیقی علف‌های هرز و تأمین بهینه ریزمغذی‌ها را در افزایش بهره‌وری و کیفیت کنجد در مناطق نیمه‌خشک تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تغذیه کودی، رشد، مدیریت زراعی، محصول

### مقدمه

اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از جنبه‌های اساسی در بهبود عملکرد این محصول، تأمین بهینه عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، به‌ویژه عناصر کم‌مصرف نظیر روی و آهن است که نقش بسزایی در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول ایفا می‌کنند (Malakouti and Tehrani, 2020). تغذیه مناسب گیاه علاوه بر افزایش عملکرد، موجب بهبود کیفیت مواد غذایی و سلامت جامعه می‌شود (Kihara et al., 2020).

وسعت قابل توجهی از خاک‌های ایران، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل ماهیت آهکی خود با کمبود عناصر ریزمغذی، به‌ویژه روی و آهن مواجه هستند (Dashab and Omidi, 2019). بر اساس مطالعات، بیش از ۶۰ درصد خاک‌های زراعی ایران دچار کمبود روی بوده که منجر به کاهش عملکرد تا ۵۰ درصد می‌شود (Pallavi and Sudha, 2017). کمبود روی، با ایجاد عدم توازن عناصر غذایی، راندمان

کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است که به خانواده *Pedaliaceae* تعلق دارد. این خانواده عمدتاً شامل گیاهان علفی و به ندرت درختچه‌ای است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری پراکنده هستند (Bedigian, 2011). کنجد به دلیل دارا بودن درصد بالایی از روغن باکیفیت، از جمله مهم‌ترین دانه‌های روغنی محسوب می‌شود و در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک عملکرد مطلوبی دارد (Arabi et al., 2022). دانه کنجد به دلیل دارا بودن سه آنتی‌اکسیدان اصلی، شامل سزامین، سزامولین و سزامول، از پایداری بالایی در برابر اکسیداسیون برخوردار است (Wan et al., 2023).

با توجه به وابستگی کشور به واردات روغن‌های خوراکی، توسعه کشت دانه‌های روغنی نظیر کنجد و بهبود عملکرد آن،

شناخت فرآیند رقابت علف‌های هرز با گیاه زراعی و تعیین حساس‌ترین زمان رقابت، در بهبود مدیریت آن‌ها نقش کلیدی دارد. مطالعات نشان داده‌اند که رابطه بین تراکم علف‌های هرز و کاهش عملکرد محصول به‌صورت سیگموئیدی است، به این معنا که در تراکم‌های پایین، تأثیر منفی بر عملکرد محصول کمتر است، اما با افزایش تراکم علف‌های هرز، میزان کاهش عملکرد افزایش می‌یابد. با این حال، در تراکم‌های بسیار بالا، کاهش عملکرد ثابت مانده یا حتی افزایش اندکی مشاهده می‌شود (Dorpour Sorkhsarai *et al.*, 2021; Khosravi *et al.*, 2021).

در منطقه دشت سومار، واقع در شهرستان مرزی قصر شیرین با اقلیم گرمسیری، تاکنون پژوهش‌های محدودی در زمینه کشت کنجد انجام شده است. با توجه به اینکه این گیاه در این منطقه توسط کشاورزان کشت می‌شود، بررسی اثرات عناصر کم‌مصرف مانند روی و آهن بر عملکرد کنجد و تأثیر رقابت علف‌های هرز در این شرایط، ضرورت دارد.

## مواد و روش‌ها

### محل اجرای آزمایش

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر ریزمغذی‌های آهن و روی بر ویژگی‌های زراعی کنجد تحت شرایط حضور و عدم علف‌های هرز در فصل زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در اراضی مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان قصرشیرین در دشت سومار، غرب استان کرمانشاه؛ با مختصات جغرافیایی ۳۹ درجه و ۵۲ دقیقه و ۳۳ ثانیه شمالی و ۳۰ درجه و ۳۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه شرقی، ارتفاع ۳۴۵ متر از سطح دریا و میانگین بارش سالانه، ۲۹۰ میلی‌متر به انجام رسید.

### طرح آماری

آزمایش به‌صورت کرت های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل مبارزه با علف‌های هرز در ۲ سطح کنترل و عدم کنترل و عامل فرعی شامل کود سولفات آهن در ۳ سطح ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ ppm و سولفات روی در ۳ سطح ۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ ppm بصورت محلول‌پاشی در دو مرحله ۶ و ۱۵ برگی گیاه کنجد بود.

مصرف آب را کاهش داده و نهایتاً کیفیت و کمیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Candan *et al.*, 2018). علاوه بر این، تأمین کافی روی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی می‌تواند موجب افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی شود (Jeshni *et al.*, 2017). در شرایط کاهش رطوبت خاک، تحرک عنصر روی در محلول خاک محدود شده و به دلیل کاهش رشد ریشه، جذب آن توسط گیاه کاهش می‌یابد (Cakmak and Kutman, 2018).

کمبود ریزمغذی‌ها در انسان نیز تأثیر بسزایی بر سلامت عمومی دارد و معمولاً ناشی از دریافت ناکافی آن‌ها در رژیم غذایی است. از سوی دیگر، کمبود این عناصر در خاک موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Kihara *et al.*, 2020). مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهند که تأمین عناصر ریزمغذی نظیر آهن و روی می‌تواند موجب بهبود تثبیت نیتروژن و افزایش عملکرد دانه در گیاهان شود (Wani *et al.*, 2022). در شرایط کمبود آهن، میزان کلروفیل برگ کاهش‌یافته و سیستم‌های فتوسنتزی گیاه دچار اختلال می‌شوند که این امر مستقیماً بر کاهش عملکرد تأثیر می‌گذارد (Visconti *et al.*, 2020). مصرف آهن به‌ویژه در شرایط تنش، به تعادل تغذیه‌ای گیاه و در نهایت افزایش تولید و کیفیت محصول کمک می‌کند (Wani *et al.*, 2022). در خاک‌های فقیر از آهن، استفاده از محلول‌پاشی برگی به‌عنوان یک راهکار مؤثر در افزایش عملکرد دانه توصیه شده است (Visconti *et al.*, 2020).

از دیگر عوامل تأثیرگذار بر عملکرد کنجد، رقابت با علف‌های هرز است که موجب کاهش چشمگیر عملکرد این گیاه می‌شود. مرحله بسته شدن کانوپی گیاه زراعی از حساس‌ترین مراحل در رقابت با علف‌های هرز محسوب می‌شود. همچنین، به دلیل مصرف خوراکی دانه کنجد، خلوص بذر آن باید بالا باشد، در حالی که حضور بذر علف‌های هرز در محصول مشکلاتی در این زمینه ایجاد می‌کند. مدیریت علف‌های هرز به‌ویژه در مراحل اولیه رشد کنجد، به دلیل رشد آهسته این گیاه، از اهمیت بالایی برخوردار است. برای کنترل مؤثر علف‌های هرز، استفاده از روش‌های زراعی، مکانیکی و مدیریت تلفیقی پیشنهاد شده است (Zaafarian and Rezvani, 2008).

## عملیات زراعی

دادن از الک ۲ میلیمتری)، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). کاشت کنگد (رقم هلیل) در تاریخ ۱۵ تیرماه ۱۴۰۲ به صورت دستی و آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای (نشستی) هر هفت روز یکبار انجام و اولین آبیاری بی‌درنگ پس از کاشت بذور، صورت گرفت. در این بررسی کوددهی بر اساس نتایج آزمون خاک صورت پذیرفت. همچنین کنترل علف‌های هرز در دو مرحله (مرحله اول چهار تا پنج برگگی کنگد و مرحله دوم ابتدای پرشدن کپسول‌ها) به صورت وجین دستی انجام شد.

زمین محل آزمایش در ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۲ شخم زده و بستر کاشت آماده گردید. ابعاد هر کرت فرعی ۲/۵×۵ مترمربع، شامل ۵ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله دو بوته ۵ سانتی‌متر و تراکم کاشت ۴۰ بوته در متر مربع بود. فاصله بین کرت‌های فرعی یک ردیف و برای کرت‌های اصلی دو ردیف نکاشت در نظر گرفته شد. پیش از کشت، از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک محل اجرای آزمایش نمونه‌گیری مرکب انجام گرفته و پس از آماده سازی (کوبیدن، هوا خشک کردن و عبور

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (توسط آزمایشگاه گلرنگ ایلام)

Table 1- Physical and chemical properties of test soil ( by Golrang Laboratory- Ilam)

بافت خاک Soil texture	اسیدیته خاک pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds/m)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	فسفر Phosphorus (ppm)
لومی Loamy	7.0	0.9	0.85	0.045	144	8

$100 \times$  (وزن خشک عملکرد بیولوژیک / وزن خشک

عملکرد دانه) = شاخص برداشت (HI)

درصد روغن دانه به کمک سوکسله و با استفاده از حلال هگزان انجام شد. درصد نیتروژن دانه با روش کجلدال به دست آمد که با ضریب ۶/۲۵ به درصد پروتئین تبدیل شد. نوع گونه علف‌های هرز مشاهده شده در مزرعه کنگد نیز به عنوان بخش مهمی از نتایج این بررسی، ثبت گردید.

## تجزیه و تحلیل داده‌ها

پردازش و طبقه‌بندی اطلاعات استخراج شده با استفاده از نرم‌افزار Excel و تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام و مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد محاسبه گردید.

## نتایج و بحث

### تعداد کپسول در بوته

نتایج آزمایشات نشان داد که اکثر تیمارها، از جمله برهمکنش بین تداخل علف‌های هرز، کاربرد سولفات آهن و سولفات روی، تأثیر معناداری بر تعداد کپسول در بوته کنگد داشتند (جدول ۲). به طوری که بیشترین تعداد کپسول در بوته،

## ویژگی‌های مورد ارزیابی

برداشت کنگد در تاریخ ۵ آبانماه ۱۴۰۲ جهت ارزیابی صفات به انجام رسید. مطالعه بر روی یک متر مربع شامل ۴۰ بوته، انجام گرفت.

تعداد کپسول در بوته: از قسمت میانی هر کرت، ۵ بوته به صورت تصادفی انتخاب شد (با رعایت اثرات حاشیه‌ای) و تعداد کپسول در بوته شمارش شد. تعداد دانه در کپسول: از قسمت میانی هر کرت، ۵ بوته به صورت تصادفی انتخاب شد و تعداد دانه در کپسول شمارش شد. وزن هزار دانه: پس از جدا کردن دانه از غلاف، تعداد هزار دانه از هر کرت با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن شد. جهت تعیین عملکرد بیولوژیک (کل ماده خشک اندام‌های بالای سطح خاک) در مرحله رسیدگی دانه از هر کرت دو مترمربع کف بر گردید و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه در آن تهویه دار با درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. پس از خشک شدن وزن آنها محاسبه شد. عملکرد دانه، در انتهای فصل رشد، سطحی معادل ۲ مترمربع از نیمه میانی کرت برداشت شده و پس از خشک شدن دانه‌ها، میزان عملکرد دانه هر کرت محاسبه شد. شاخص برداشت که جهت محاسبه آن از رابطه زیر استفاده شد.

درصد بالاتر از کمترین مقدار مشاهده شده در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز و عدم مصرف ریزمغذی‌ها محسوب می‌شود (شکل ۱).

در تیماری که ترکیب کنترل علف‌های هرز، استفاده از ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی به کار گرفته شده بود، به مقدار ۷۰/۰ عدد به دست آمد؛ این مقدار ۲۶

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر صفات عملکرد و اجزاء عملکرد کنجد

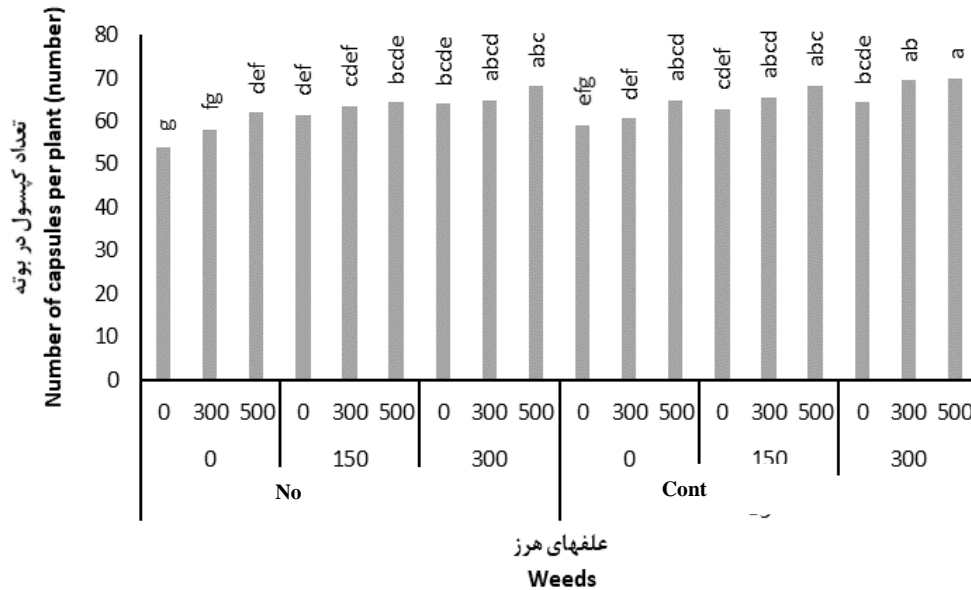
منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی (df)	کیپسول در بوته Capsules on the plant	دانه در کیپسول Seeds in capsules	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت HI
تکرار Replication	2	371.2ns	98.4 <sup>ns</sup>	3.23*	189378.1**	290626.5**	176.0 <sup>ns</sup>
علف‌های هرز Weeds	1	4761.1*	280.2 <sup>ns</sup>	5.80**	2795.0**	7305657**	945.8 <sup>ns</sup>
اشتباه آزمایشی Error	2	408.5	126.4	0.02	7645.2	1709.7	221.0
سولفات آهن Iron sulfate		5542.2**	112.4**	0.71**	136305.7**	690820.9**	456.9*
علف‌های هرز × سولفات آهن Weeds x iron sulfate	2	814.4 <sup>ns</sup>	47.8 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	341295.8**	18859.7 <sup>ns</sup>	502.2*
سولفات روی Zinc sulfate		4024.8**	98.6**	0.58**	159404.4**	101238.3**	457.0*
علف‌های هرز × سولفات روی Weeds x zinc sulfate	2	327.0 <sup>ns</sup>	18.5 <sup>ns</sup>	0.28**	99484.3**	11511.8*	154.2 <sup>ns</sup>
سولفات آهن × سولفات روی Iron sulfate x zinc sulfate	4	941.4**	59.5 <sup>ns</sup>	0.28**	123878.8**	39896.4**	574.0*
علف‌های هرز × سولفات آهن × سولفات روی Weeds x iron sulfate x zinc sulfate	4	2514.5**	44.6 <sup>ns</sup>	0.22**	257515.3**	11424.3*	746.0**
خطای کل Total Error	32	266.2	38.7	0.06	81352.5	3318.0	136.5
ضریب تغییرات CV%	-	9.7	9.7	10.1	11.7	16.2	16.0

\*\*\* و \* و ns: به ترتیب بیانگر اختلاف آماری معنی دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم اختلاف معنی دار

\*\*\*, \* and ns: respectively, indicating a statistically significant difference at the level of 1%, 5% and no significant difference

افزایش طول دوره رقابت با علف‌های هرز، ناشی از کاهش قدرت رقابت کنجد برای جذب نور و مواد غذایی و تخصیص ناکافی مواد پرورده به اندام‌های زایشی است. افزایش تداخل با علف‌های هرز منجر به کاهش تولید مواد فتوسنتزی و انتقال ناکافی آن‌ها به کیپسول و دانه‌ها می‌شود که در نهایت باعث ریزش برخی گل‌ها و کاهش تعداد شاخه‌های فرعی نیز می‌گردد (Leach et al. Mardan and Kazempour, 2018; 1999). این نتایج نشان‌دهنده اهمیت مدیریت هم‌زمان علف‌های هرز و استفاده به موقع از ریزمغذی‌ها در افزایش کیفیت عملکرد زایشی کنجد است.

از دیدگاه فیزیولوژیکی، تولید هورمون اکسین که ناشی از حضور آهن در ساختار کلروفیل می‌باشد، موجب افزایش رشد رویشی، شاخه‌بندی، فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسید کربن می‌شود؛ این فرآیندها بهبود عملکرد زایشی از جمله افزایش تعداد کیپسول در بوته کنجد را به دنبال دارند (Ziaei et al., 2016). همچنین، مشاهده شد که عناصر ریزمغذی مانند آهن، بر روی موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و درصد روغن نسبت به تیمار شاهد می‌شوند (Khosravi et al., 2021). به علاوه، کاهش تعداد کیپسول در بوته در صورت



شکل ۱- برهمکنش سه گانه‌ی تداخل علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر تعداد کپسول در بوته

Figure 1- The triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on the number of capsules per plant  
میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

منجر به اختلال در فرایند لقاح شده و تولید دانه را کاهش دهد. در مقابل، فراهمی عنصر روی باعث افزایش میزان تلقیح گل‌ها و هدایت بیشتر تولیدات فتوسنتزی به سمت کپسول‌ها می‌شود، که این امر در نهایت به پر شدن تعداد بیشتری از دانه‌های تلقیح‌شده می‌انجامد (Ahmadi et al., 2012). از سوی دیگر، آهن نیز از عناصر ضروری برای رشد گیاه محسوب می‌شود و نقش مهمی در سنتز کلروفیل و فرایندهای متابولیکی مرتبط با رشد و تولید دانه ایفا می‌کند.

بنابراین، تغذیه مناسب گیاه با روی و آهن موجب افزایش ذخیره کربوهیدرات‌ها در دانه کرده، افزایش طول عمر گرده و در نتیجه بهبود فرایند گرده‌افشانی می‌شود. این امر منجر به افزایش تعداد دانه‌ها، بهبود وزن دانه و در نهایت افزایش عملکرد کلی دانه در گیاه کنگد خواهد شد. این نتایج بر اهمیت مدیریت صحیح تغذیه گیاه و کاربرد بهینه ریزمغذی‌ها در جهت بهبود عملکرد زراعی تأکید دارد.

### وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که اکثر تیمارها از جمله اثر سه‌گانه علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر وزن هزار دانه

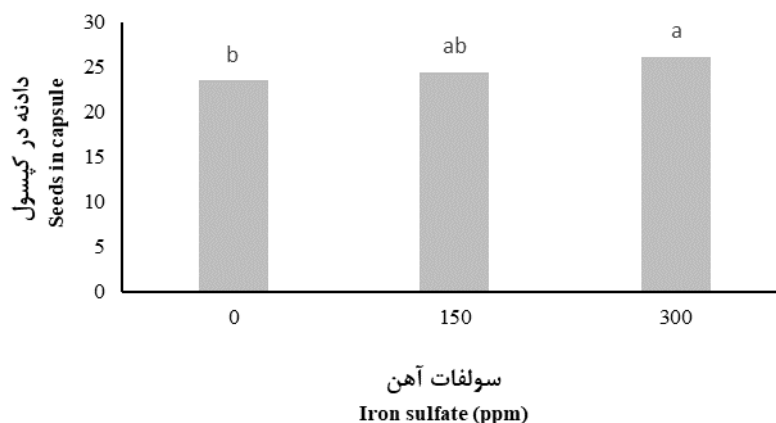
### تعداد دانه در کپسول

نتایج پژوهش نشان داد که اثر اصلی سولفات روی و سولفات آهن بر تعداد دانه در کپسول کنگد معنی‌دار بود، در حالی که سایر تیمارها تأثیر معنی‌داری بر میزان روغن دانه کنگد نداشتند (جدول ۲). در تیمار ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن، تعداد دانه در کپسول کنگد به مقدار ۲۶/۷ عدد رسید که این میزان اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح سولفات آهن نشان داد (شکل ۲). همچنین، در کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی، تعداد دانه در کپسول کنگد برابر با ۲۶/۲ عدد بود که این مقدار نیز به طور معنی‌داری نسبت به سایر سطوح سولفات روی افزایش نشان داد (شکل ۳). این نتایج نشان‌دهنده نقش حیاتی این عناصر در بهبود فرایند دانه‌بندی و افزایش کیفیت تولید در گیاه کنگد است.

برای تولید دانه، وجود شرایط مناسب از جمله تأمین آب و عناصر غذایی کافی ضروری است. در صورت عدم تأمین این شرایط، یا دانه تشکیل نمی‌شود یا ممکن است دانه تشکیل شود اما به‌طور کامل پر نشود (Weiss, 2000). از جمله عناصر حیاتی در این فرایند، روی است که نقش کلیدی در تلقیح گل‌ها و تشکیل دانه ایفا می‌کند. کمبود این عنصر می‌تواند

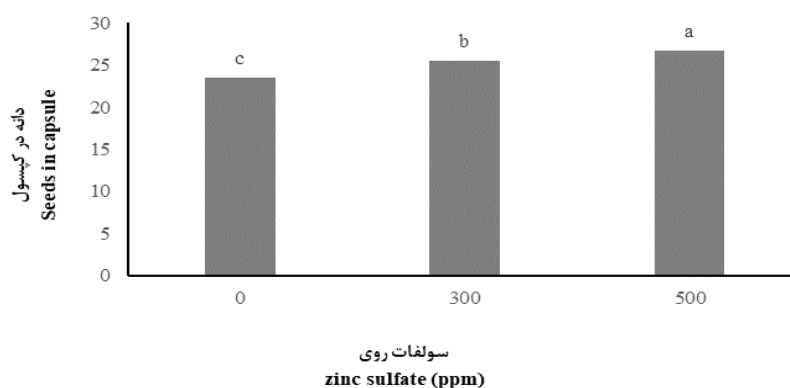
درصد بیشتر از کمترین مقدار در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز و عدم مصرف ریزمغذی‌ها بود (شکل ۴). این افزایش نشان‌دهنده اهمیت نقش کنترل علف‌های هرز و تأمین ریزمغذی‌ها در بهبود کیفیت دانه و افزایش عملکرد گیاه است.

به‌طور معنی‌داری تأثیرگذار بود (جدول ۲). نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار کنترل علف‌های هرز، مصرف ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی به مقدار ۳/۳۱ گرم حاصل شد که ۲۲



شکل ۲- اثر سولفات آهن بر تعداد دانه در کپسول کنجد

**Figure 2- The effect of iron sulfate on the number of seeds in sesame capsules**  
میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.  
Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

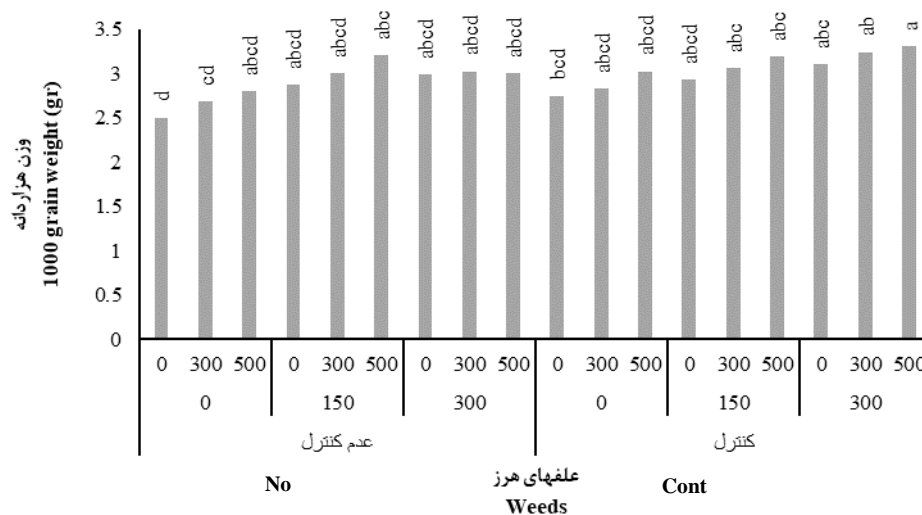


شکل ۳- اثر سولفات روی بر تعداد دانه در کپسول کنجد

**Figure 3- The effect of zinc sulfate on the number of seeds in sesame capsules**  
میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.  
Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

حضور آهن در واحد سطح برگ باعث افزایش تولید نشاسته و قند در برگ‌ها شده و ذخیره‌سازی آن در دانه، موجبات افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه را فراهم می‌کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تأمین ریزمغذی‌های کلیدی همچون آهن و روی نه تنها بر افزایش وزن دانه، بلکه بر بهبود عملکرد کلی گیاه تأثیرگذار است.

کم بودن وزن هزار دانه در صورت عدم تأمین ریزمغذی‌های آهن و روی به دلیل رقابت دانه‌ها در به دست آوردن مواد غذایی و کاهش کربوهیدرات ذخیره‌ای گیاه می‌باشد که منجر به کاهش تعداد سلول‌های مولد و در نتیجه کاهش وزن دانه می‌شود. علاوه بر این، تأمین آهن و روی تأثیر مستقیمی بر افزایش تعداد رنگدانه‌های فتوسنتزکننده، مقدار کلروفیل برگ‌ها، میزان فتوسنتز و سرعت تثبیت دی‌اکسیدکربن دارد.



شکل ۴- برهمکنش سه گانه‌ی علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر وزن هزار دانه کنگد

**Figure 4- Triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on the 1000 grain weight of sesame.** میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

از این رو، در وزن هزار دانه این تیمارها تغییر معنی‌داری در مقایسه با سایر تیمارها به وجود نیاید. در واقع، تحت شرایطی که رقابت در مدت‌زمان طولانی بر گیاه اعمال می‌شود، کاهش تعداد دانه در هر واحد سطح می‌تواند منجر به افزایش وزن نسبی هر دانه شود.

سایر مطالعات نتایج متفاوت و گاه متناقضی را در این زمینه گزارش کرده‌اند. به‌عنوان مثال، تغییرات در تراکم کاشت تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه ندارد، این مسئله به نقش بذرها به‌عنوان مخازن فیزیولوژیکی قوی نسبت داده شده است که تحت تأثیر تیمارهایی مانند تراکم بوته قرار نمی‌گیرند (Johnson et al., 2015).

در مقابل، در پژوهشی دیگر مشخص شد که افزایش تراکم بوته سبب افزایش وزن هزار دانه می‌شود. این یافته ممکن است به کاهش تعداد دانه‌ها و در نتیجه تخصیص کارآمدتر مواد فتوسنتزی به هر دانه در تراکم‌های بالاتر مرتبط باشد (Lee and Park, 2017).

این نتایج نشان می‌دهد که عوامل مختلفی همچون شرایط محیطی، میزان رقابت درون‌گونه‌ای، و ویژگی‌های ژنتیکی گیاه می‌توانند تأثیر متفاوتی بر وزن هزار دانه داشته باشند. درک این متغیرها و نحوه تعامل آن‌ها می‌تواند به بهینه‌سازی

با توجه به اینکه وزن هزار دانه به میزان هیدرات کربن ذخیره‌شده در شروع پر شدن دانه و ژنوتیپ گیاه بستگی دارد، کمبود عناصر غذایی موجود در خاک در زمان پر شدن دانه‌ها سبب کاهش وزن آن‌ها می‌شود. دلیل کاهش وزن هزار دانه را می‌توان به تشکیل دانه‌های کوچک‌تر در اثر کاهش دسترسی گیاه به عوامل محیطی، به‌ویژه نور، در اثر رقابت شدید بین بوته‌ها نسبت داد. این رقابت موجب کاهش تولیدات فتوسنتزی شده و در نتیجه، انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها کاهش می‌یابد که این امر تأثیر مستقیمی بر وزن دانه‌ها به‌ویژه در مرحله پر شدن آن‌ها دارد (Borrás and Gambín, 2010). علاوه بر این، کاهش تعداد خورجین در بوته و کاهش تعداد دانه در هر خورجین نیز می‌تواند از دیگر عوامل کاهش وزن هزار دانه در شرایط عدم تأمین مناسب ریزمغذی‌ها باشد.

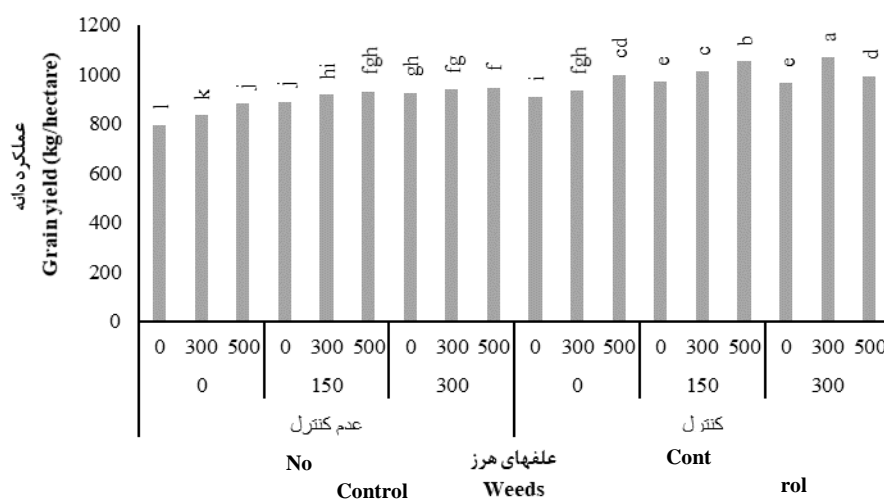
دلیل عدم اختلاف معنی‌دار وزن هزار دانه در تیمارهای حذف و رقابت علف هرز را شاید بتوان این‌گونه بیان کرد که گیاهانی که برای مدت طولانی در رقابت با علف هرز قرار داشتند، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین آن‌ها در اثر تراکم بالای موجود (گیاه زراعی + علف هرز) در دوره طولانی رشد کاهش یافته است. این امر سبب شد که سهم دانه‌ها از مواد فتوسنتزی گیاه بیشتر شده و

### عملکرد دانه

نتایج این تحقیق نشان داد که برهمکنش علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر عملکرد دانه به طور معنی‌داری تأثیرگذار بوده است (جدول ۲). بررسی داده‌های به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که بیشترین عملکرد دانه در شرایط کنترل علف‌های هرز و مصرف هم‌زمان ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی حاصل شد که مقدار آن ۱۰۶۸/۸ کیلوگرم در هکتار بود. این میزان ۲۹ درصد بیشتر از کمترین مقدار عملکرد دانه در تیماری بود که در آن علف‌های هرز کنترل نشده و هیچ‌گونه ریزمغذی مصرف نشده بود (شکل ۵). این نتایج تأکیدی بر اهمیت مدیریت تلفیقی علف‌های هرز و تغذیه مناسب گیاه از طریق کودهای ریزمغذی دارد.

استراتژی‌های کاشت و بهبود عملکرد زراعی منجر شود. افزون بر این، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که اثرات تراکم کاشت ممکن است در ترکیب با دیگر عوامل زراعی مانند تغذیه گیاهی و میزان دسترسی به آب تغییر کند (Smith *et al.*, 2020) که این موضوع نیازمند بررسی‌های بیشتر در شرایط اقلیمی و مدیریتی گوناگون است.

در نهایت، نتایج این تحقیق تأیید می‌کند که مدیریت صحیح تغذیه‌ای و کنترل رقابت علف‌های هرز دو عامل کلیدی در بهبود وزن هزار دانه و افزایش عملکرد محصول هستند. استفاده از ریزمغذی‌های مناسب به‌ویژه آهن و روی، در کنار استراتژی‌های مناسب مدیریت علف‌های هرز، می‌تواند تأثیر قابل توجهی در افزایش کارایی گیاه و بهبود کیفیت دانه داشته باشد.



شکل ۵- برهمکنش سه‌گانه‌ی علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر عملکرد دانه

Figure 5- Triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on grain yield

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

کاربرد کود روی علاوه بر تأثیر مستقیم بر رشد گیاه، موجب افزایش وزن خشک اندام‌های گیاهی نیز شد که احتمالاً ناشی از مکانیسم‌های مختلفی نظیر افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش غلظت کلروفیل، ارتقای فعالیت آنزیم‌های کلیدی مانند فسفواینول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و در نهایت افزایش جذب و کارایی نیتروژن و فسفر در گیاه

مطالعات پیشین نیز اثرات مثبت مصرف ریزمغذی‌ها بر عملکرد دانه را نشان داده‌اند. به عنوان مثال، برخی پژوهشگران گزارش کردند که مصرف سولفات روی می‌تواند ارتفاع گیاه کنجد، طول خوشه، میزان پر شدن خوشه، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه را بهبود بخشد (Mahmoud Soltani *et al.*, 2017). این افزایش عملکرد عمدتاً به دلیل تحریک فرایند فتوسنتز و بهبود رشد و توسعه بخش‌های مختلف گیاه است.

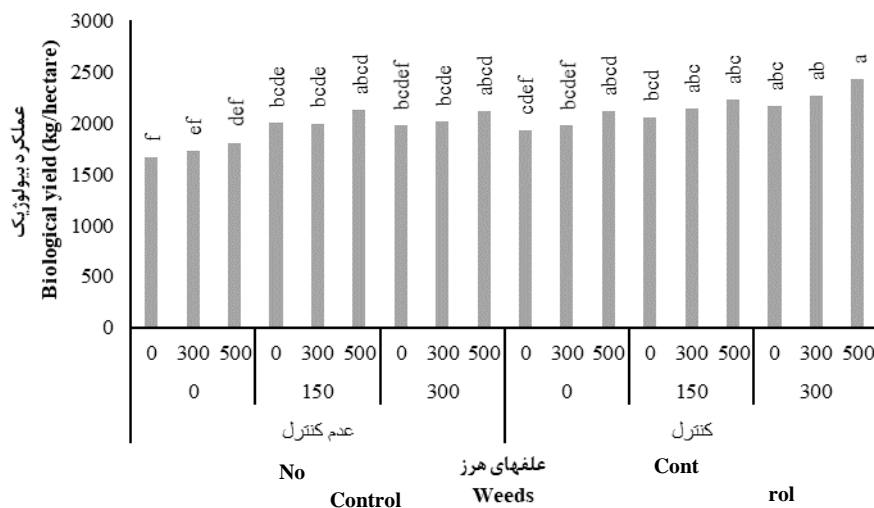
### عملکرد بیولوژیک

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی به‌عنوان مهم‌ترین تیمار بر عملکرد بیولوژیک به‌طور معناداری تأثیرگذار بود (جدول ۲). بر اساس یافته‌ها، بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار کنترل علف‌های هرز، مصرف ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی، به میزان ۲۴۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که ۲۹ درصد بیشتر از کمترین مقدار در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز و عدم مصرف ریزمغذی‌ها بود (شکل ۶). روی، به‌عنوان یک عنصر ضروری در ساختمان برخی از آنزیم‌ها، در فعالیت‌های آنزیمی گوناگون مشارکت دارد و در خاک‌های با واکنش اسیدی، قابلیت جذب بالاتری پیدا می‌کند. به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی سولفات آهن از همان مراحل ابتدایی رشد، باعث افزایش رشد اندام‌های رویشی و در نتیجه افزایش رشد اندام‌های زایشی شده است. این امر در نهایت موجب بهبود عملکرد بیولوژیک گیاه، که حاصل مجموع وزن اندام‌های آن است، گردیده است. احتمالاً کود آهن از طریق اثرگذاری بر اجزای عملکرد، منجر به افزایش ماده خشک گیاه شده است.

است. این نتایج هم‌راستا با یافته‌های محققین دیگر نیز بود که نشان دادند کاربرد مناسب ریزمغذی‌ها منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود (Eftekhari *et al.*, 2005).

علاوه بر این، برخی پژوهشگران نیز نشان دادند که مصرف کودهای ریزمغذی حاوی آهن تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت کنگد داشته و توانسته است این شاخص‌ها را به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد. این یافته‌ها اهمیت تأمین عناصر ریزمغذی به خصوص آهن و روی را در بهبود عملکرد گیاه کنگد نشان می‌دهد (Khosravi *et al.*, 2021).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش عملکرد دانه علاوه بر تغذیه مناسب، تحت تأثیر کاهش رقابت با علف‌های هرز نیز بوده است. در واقع، حذف علف‌های هرز موجب کاهش رقابت بر سر منابعی مانند نور، آب و عناصر غذایی شده و در نتیجه گیاه کنگد قادر به استفاده بهینه از این منابع برای رشد و توسعه بهتر شده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت صحیح علف‌های هرز همراه با تغذیه متعادل و تأمین بهینه ریزمغذی‌ها، راهکاری مؤثر برای افزایش عملکرد دانه در سیستم‌های زراعی است.



شکل ۶- برهمکنش سه‌گانه علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر عملکرد بیولوژیک

Figure 6- Triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on biological yield

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

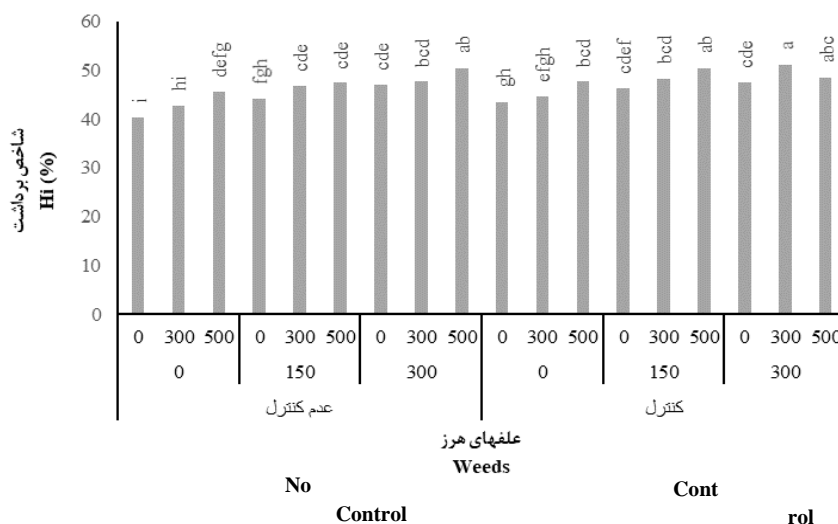
تأثیر چشمگیری در بهبود عملکرد بیولوژیک داشته باشد. لذا، استفاده از کودهای حاوی آهن و روی، همراه با کنترل مؤثر علف‌های هرز، به‌عنوان یک راهکار مناسب برای افزایش بهره‌وری گیاهان زراعی توصیه می‌شود.

### شاخص برداشت

نتایج نشان داد که برهمکنش علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی به عنوان مهم‌ترین تیمار بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت در تیمار کنترل علف‌های هرز، کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی به مقدار ۵۱/۱ درصد به‌دست آمد که ۲۰ درصد بیشتر از کمترین مقدار در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز و عدم مصرف ریزمغذی‌ها بود (شکل ۷). به نظر می‌رسد که مصرف سولفات آهن موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های زایشی گیاه شده است، و در نتیجه، شاخص برداشت در این تیمارها نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی بیشتر بوده است. این نتایج با یافته‌های دیگر پژوهشگران نیز همخوانی دارد که نشان دادند مصرف ریزمغذی‌ها مانند آهن می‌تواند به طور معناداری عملکرد دانه و شاخص برداشت در گیاهان روغنی را افزایش دهد (Kahrudi et al., 2023).

آهن با ایجاد رشد رویشی مناسب از طریق افزایش تعداد و سطح برگ، مشارکت در فتوسنتز، افزایش تولید ماده خشک و بهبود اجزای عملکرد، نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه دارد. همچنین، این عنصر در ساختمان کلروفیل نقش اساسی ایفا می‌کند و کمبود آن منجر به کاهش میزان کلروفیل شده و در نتیجه برگ‌ها به رنگ زرد متمایل می‌شوند، که این پدیده تحت عنوان کلروز شناخته می‌شود. کاهش میزان کلروفیل باعث افت رشد گیاه و کاهش تولید ماده خشک می‌شود. در این راستا، مطالعات جدیدتر نیز به نقش کلیدی آهن در بهبود عملکرد بیولوژیک از طریق اثرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی آن اشاره دارند (Zhou et al., 2023).

کاهش عملکرد بیولوژیک در اثر افزایش دوره رقابت با علف‌های هرز را می‌توان به افزایش رقابت آن‌ها با گیاه زراعی در جذب عناصر غذایی، نور و رطوبت نسبت داد. این رقابت سبب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی و خورجین در بوته شده و در نهایت به افت عملکرد بیولوژیک منجر می‌شود. مطالعات جدیدتر نیز تأیید کرده‌اند که تداخل علف‌های هرز می‌تواند به کاهش عملکرد بیولوژیک از طریق کاهش توان فتوسنتزی و تغییر در الگوی تخصیص منابع منجر شود (Wang et al., 2022). این یافته‌ها نشان می‌دهند که مدیریت علف‌های هرز همراه با تأمین ریزمغذی‌های ضروری نظیر آهن و روی، می‌تواند



شکل ۷- برهمکنش سه گانه‌ی علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر شاخص برداشت

Figure 7- Triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on H index

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

این نتایج با مشاهدات دیگر محققین نیز همخوانی دارد که نشان دادند تأخیر در حذف علف‌های هرز می‌تواند منجر به کاهش کارایی تولید محصول و کاهش شاخص برداشت شود (Hodasefat *et al.*, 2021). در این مطالعه، نتایج نشان‌دهنده تأثیر منفی رقابت طولانی‌مدت با علف‌های هرز بر عملکرد اقتصادی گیاهان است که این امر منجر به کاهش معنی‌دار شاخص برداشت می‌شود. این مشاهدات نیز با تحقیقات پیشین همخوانی دارد که در آن تأثیر رقابت علف‌های هرز بر عملکرد و بهره‌وری گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است (Zimdahl, 2018).

### روغن دانه

نتایج نشان داد که اثر اصلی سولفات روی و سولفات آهن بر روغن دانه کنگد معنی‌دار بود ولی سایر تیمارها تأثیر معنی‌داری بر روغن دانه کنگد نداشتند (جدول ۳).

به‌نظر می‌رسد با مصرف آهن، گیاه مواد فتوسنتزی را بیشتر به سمت اندام‌های زایشی انتقال داده است، از این رو شاخص برداشت در این تیمارها بیشتر از تیمار عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی بود. برخی محققین بیان کردند که مصرف کوه‌های ریز مغذی حاوی آهن توانسته است عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت کنگد را به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دهد (Khosravi *et al.*, 2021). وجود روند نزولی در شاخص برداشت به دلیل افزایش طول دوره رقابت با علف‌های هرز نشان‌دهنده این است که با تأخیر در حذف علف‌های هرز، به دلیل سایه‌اندازی آنها بر روی گیاهان و افزایش ارتفاع بوته و در نتیجه رشد رویشی بیشتر، مواد فتوسنتزی بیشتر به رشد رویشی اختصاص یافته و مقدار کمتری به اندام‌های زایشی ارسال می‌شود. این امر باعث می‌شود که عملکرد بیولوژیک نسبت به عملکرد اقتصادی افزایش بیشتری یافته و در نهایت، شاخص برداشت کاهش یابد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر صفات کیفی کنگد

Table 3- Variance analysis of the effect of experimental treatments on qualitative traits of sesame

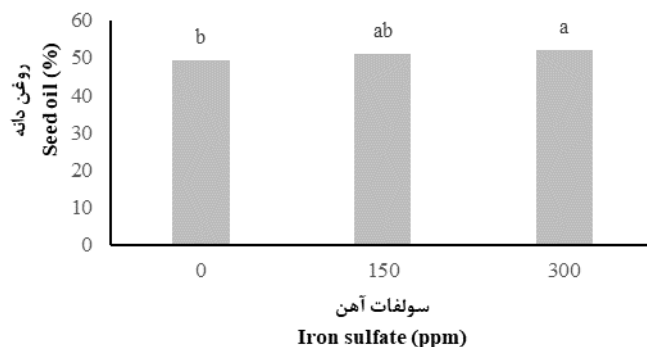
منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی (df)	روغن دانه Oil seed	محتوای پروتئین دانه Grain protein
تکرار Replication	2	121.9 <sup>ns</sup>	5.4 <sup>ns</sup>
علف‌های هرز Weeds	1	1169.7 <sup>**</sup>	126.9 <sup>**</sup>
اشتباه آزمایشی Error	2	5.4	0.5
سولفات آهن Iron sulfate	2	349.5 <sup>**</sup>	36.3 <sup>**</sup>
علف‌های هرز × سولفات آهن Weeds x iron sulfate	2	64.5 <sup>ns</sup>	2.8 <sup>**</sup>
سولفات روی Zinc sulfate	2	325.3 <sup>**</sup>	4.2 <sup>**</sup>
علف‌های هرز × سولفات روی Weeds x zinc sulfate	2	13.6 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>
سولفات آهن × سولفات روی Iron sulfate x zinc sulfate	4	4.4 <sup>ns</sup>	3.6 <sup>**</sup>
علف‌های هرز × سولفات آهن × سولفات روی Weeds x iron sulfate x zinc sulfate	4	38.3 <sup>ns</sup>	1.0 <sup>**</sup>
خطای کل Total Error	32	128.9	0.1
ضریب تغییرات CV%	-	13.7	5.1

\*\*، \* و ns: به ترتیب بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

\*\*، \* and ns: respectively, indicating a statistically significant difference at the level of 1%, 5% and no significant difference

سولفات روی روغن دانه‌ی کنجد به مقدار ۵۲/۲ درصد حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح سولفات روی داشت (شکل ۹).

در کاربرد ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن روغن دانه‌ی کنجد به ۵۱/۹ درصد حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح سولفات آهن داشت (شکل ۸). در تیمار کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام

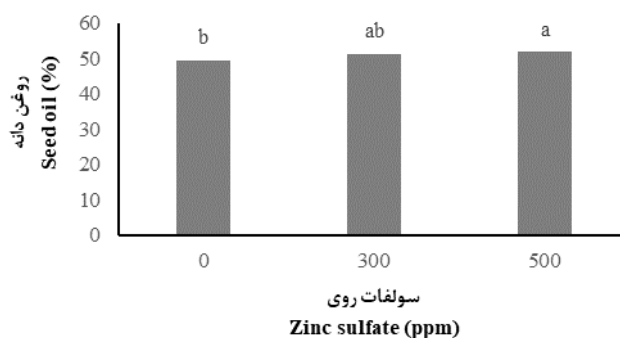


شکل ۸- اثر سولفات آهن بر درصد روغن کنجد

Figure 8- The effect of iron sulfate on the percentage of sesame oil

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.



شکل ۹- اثر سولفات روی بر درصد روغن کنجد

Figure 9- The effect of zinc sulfate on the percentage of sesame oil

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

نتیجه باعث افزایش درصد روغن در بذرها شود. از سوی دیگر، یکی از عوامل مؤثر بر کاهش عملکرد روغن، افزایش مدت‌زمان رقابت گیاه زراعی با علف‌های هرز است. در شرایطی که گیاه زراعی با علف‌های هرز رقابت می‌کند، به دلیل کاهش اجزای عملکردی مانند تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه، عملکرد کلی دانه کاهش می‌یابد. با این حال، درصد روغن در دانه‌ها تغییر قابل‌توجهی نشان نداد. از آنجا که عملکرد روغن تابعی از دو متغیر درصد روغن و عملکرد دانه است، کاهش عملکرد دانه مستقیماً باعث کاهش عملکرد روغن می‌شود. بنابراین، رقابت علف‌های هرز، از طریق کاهش توان تولیدی گیاه و کاهش عملکرد دانه، اثر منفی

عنصر روی نیز به‌عنوان یک ریزمغذی مهم، قادر است متابولیسم چربی‌ها را افزایش دهد و از این طریق بر درصد روغن تأثیر بگذارد. از سوی دیگر، آهن به دلیل نقش فعال خود در ترکیب آنزیم‌های فتوسنتزی و تنفسی، همچنین در متابولیسم گیاهی، اهمیت ویژه‌ای دارد (Ziaei et al., 2016). بنابراین، با توجه به نقش کلیدی ریزمغذی‌ها در واکنش‌های فیزیولوژیکی و فرآیندهای بیوشیمیایی گیاهان، تأمین کافی این عناصر می‌تواند تأثیر به‌سزایی در افزایش کمی و کیفی محصولات گیاهی داشته باشد (Khosravi et al., 2021). در تحقیق حاضر، مشاهده شد که تأمین به‌موقع عناصر ریزمغذی روی و آهن توانست نیازهای تغذیه‌ای گیاه را برطرف کرده و در

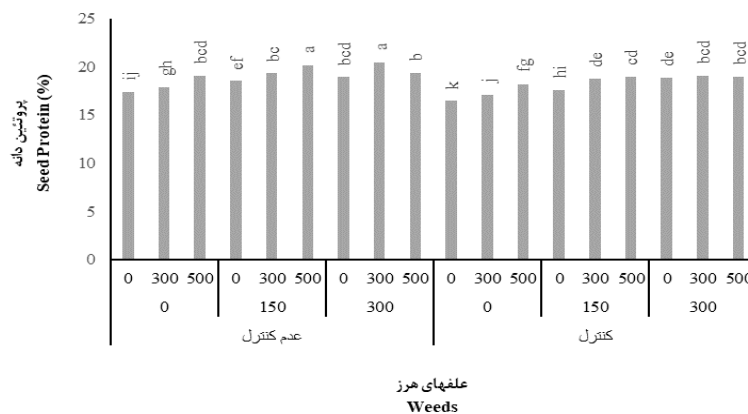
به تولید پایدار در سیستم‌های کشاورزی باشد.

### پروتئین دانه

نتایج نشان داد که اثر سه گانه تداخل علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی به عنوان مهمترین تیمار بر پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که بیشترین پروتئین دانه در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز، مصرف ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۲۰ پی‌پی‌ام سولفات روی به مقدار ۲۰/۴ درصد حاصل شد که ۲۰ درصد بیشتر از کمترین مقدار در تیمار کنترل علف‌های هرز و عدم مصرف ریزمغذی‌ها بود. همواره مصرف ۳۰۰ پی‌پی‌ام آهن و مصرف ۳۰۰ یا ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی موجب افزایش پروتئین دانه گردید (شکل ۱۰).

بر تولید روغن نهایی دارد. تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که درصد روغن از صفات ژنتیکی گیاه است که به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد و می‌تواند در ارقام مختلف متفاوت باشد (Baud and Lepiniec, 2010). این یافته‌ها با بررسی‌های محققین جدیدتر همخوانی دارد که در آن تأثیر تنش‌های محیطی بر صفات کیفی و کمی روغن در گیاهان روغنی بررسی شده است. در این تحقیق نیز تأثیر رقابت علف‌های هرز بر درصد روغن به طور معنی‌داری مشاهده نشد (Kazemi et al., 2024).

در مجموع، یافته‌های این پژوهش بر اهمیت تأمین ریزمغذی‌های ضروری و مدیریت بهینه علف‌های هرز در راستای بهبود کیفیت و کمیت محصولات زراعی تأکید دارند. این موضوع می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش بهره‌وری و دستیابی



شکل ۱۰- برهمکنش سه گانه‌ی تداخل علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر پروتئین دانه کنگد

Figure 10- Triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on seed protein of sesame  
میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

ریزمغذی‌هایی مانند روی و آهن موجب بهبود کارایی فتوسنتزی گیاهان و افزایش تحمل آنها نسبت به تنش‌های محیطی می‌شود (Hafeez et al., 2013). با توجه به این یافته‌ها، به نظر می‌رسد که تأمین مناسب این عناصر می‌تواند در بهبود کیفیت و کمیت محصول کنگد نقش مهمی داشته باشد.

### گونه‌های علف‌های هرز

در این بررسی، ۸ گونه علف هرز شناسایی شد که از بین آنها اویارسلام، سوروف، خرفه، خارشتر و پیچک صحرايي

کاربرد روی، منیزیم و پتاسیم به طور معنی‌داری پارامترهای رشد، عملکرد و اجزای آن را در گیاه ماش افزایش داد. همچنین، مشخص شده که روی در سنتز پروتئین مؤثر است و کمبود آن منجر به افزایش غلظت اسیدهای آمینه و آمیدها و کاهش میزان پروتئین می‌شود (Thalooth et al., 2006). نقش روی در گیاه عمدتاً به دلیل تأثیر آن بر تشکیل دانه و افزایش وزن دانه از طریق فرآیند رشد زایشی، کمک به ماده‌سازی و تولید کربوهیدرات و پروتئین دانه است. علاوه بر این، مطالعات دیگری نیز نشان داده‌اند که استفاده از

می‌گیرد. بنابراین، کنترل علف‌های هرز در مراحل اولیه رشد گیاه زراعی ضروری است، زیرا در غیر این صورت، صدمات جبران‌ناپذیری به محصول وارد شده و حتی تولید محصول ممکن است غیراقتصادی شود. علاوه بر این، بررسی‌های انجام‌شده در سایر مناطق نیز نشان داده‌اند که مدیریت مناسب علف‌های هرز از طریق روش‌های تلفیقی نظیر کاربرد علف‌کش‌ها و تناوب زراعی می‌تواند به‌طور قابل توجهی عملکرد محصول را افزایش دهد (Jabran *et al.*, 2015).

بیشترین فراوانی را در مزرعه داشتند (جدول ۴). این مسئله می‌تواند در مدیریت علف‌های هرز رایج در منطقه مورد توجه قرار گیرد. علف‌های هرز یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید در گیاهان زراعی محسوب می‌شوند و خسارت آنها عمدتاً از طریق رقابت بر سر منابعی مانند آب، مواد مغذی، نور، فضا و دگرآسیبی است که در نتیجه باعث کاهش عملکرد و افزایش هزینه‌های تولید می‌شود. مراحل اولیه رشد گیاه کنجد به دلیل رشد کند آن، به شدت تحت تأثیر رقابت علف‌های هرز قرار

جدول ۴- علف‌های هرز غالب مشاهده شده در مزرعه آزمایشی

Table 4- Dominant weeds observed in the experimental field

چرخه زندگی	مسیر فتوسنتزی	خانواده	نام علمی
Life Cycle	Photosynthetic Pathway	Family	Scientific Name
چندساله <i>Perennial</i>	C4	Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i>
یکساله تا چندساله <i>Annual to perennial</i>	C4	Poaceae	<i>Echinochloa crus-galli</i>
یکساله آبدار <i>Fresh annual</i>	C4	Portulacaceae	<i>Portula oleracea</i>
چندساله <i>Perennial</i>	C3	Fabaceae	<i>Alhagi maurorum</i>
چندساله <i>Perennial</i>	C3	Convulvulaceae	<i>Convolvulus arvensis</i>
یکساله <i>Annual</i>	C4	Amaranthaceae	<i>Amaranthus retroflexus</i>
یکساله <i>Annual</i>	C3	Solanaceae	<i>Solanum nigrum</i>
یکساله <i>Annual</i>	C4	Poaceae	<i>Setaria viridis</i>

نتایج این پژوهش نشان داد که علف‌های هرز اویارسلام، سوروف، خرفه، خارشتر و پیچک صحرایی بیشترین فراوانی را نسبت به سایر علف‌های هرز در مزرعه داشتند. این یافته می‌تواند به‌عنوان اطلاعات کلیدی در مدیریت علف‌های هرز منطقه مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع، این پژوهش نشان داد که کاربرد مناسب ریزمغذی‌ها همراه با مدیریت علف‌های هرز، می‌تواند راهکاری مؤثر در بهبود عملکرد و کیفیت محصول کنجد باشد. بررسی‌های بیشتر در زمینه تعاملات بین عناصر غذایی و کنترل علف‌های هرز می‌تواند اطلاعات جامع‌تری برای بهینه‌سازی مدیریت زراعی ارائه دهد.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار کنترل علف‌های هرز، کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی حاصل شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار عدم کنترل علف‌های هرز و عدم کاربرد ریزمغذی‌ها بود. همچنین مشخص شد که اثر اصلی سولفات روی و سولفات آهن بر میزان روغن دانه کنجد معنی‌دار است. در تیمار مصرف ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی، روغن دانه کنجد به میزان ۵۱/۹ درصد حاصل شد. در حالی که با کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن، مقدار روغن دانه به ۵۲/۲ درصد رسید که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح سولفات آهن داشت. علاوه بر این،

## References

- Ahmadi, M., Mondani, F., Khorramivafa, M., Mohammadi, G.H. and Shirkhani, A., 2018. Effect of different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components of some new maize cultivars (*Zea mays* L.) in Kermanshah. *Plant Ecophysiology*, 10, pp.212-222. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.20085958.1397.10.33.19.6>
- Arabi, M., Parsa, S., Jami Al-Ahmadi, M. and Mahmoudi, S., 2022. Effect of superabsorbent polymer and potassium sulfate on growth, yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) under low irrigation conditions. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 15(1), pp.149-160. [In Persian]. <https://doi.org/2020.3685.1894>
- Borrás, L. and Gambín, B.L., 2010. Trait dissection of maize kernel weight: Towards integrating hierarchical scales using a plant growth approach. *Field Crops Research*, 118(1), pp.1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.04.002>
- Baud, S. and Lepiniec, L., 2010. Physiological and developmental regulation of seed oil production. *Progress in Lipid Research*, 49(3), pp.235-249. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2010.01.001>
- Bedigian, D., 2011. *Sesame: The genus Sesamum*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13601>
- Candan, N., Cakmak, I. and Ozturk, L., 2018. Zinc-biofortified seeds improved seedling growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(3), pp.388-395. <https://doi.org/10.1002/jpln.201800014>
- Cakmak, I. and Kutman, U.B., 2018. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science*, 69, pp.172-180. <https://doi.org/10.1111/ejss.12437>
- Dashab, S. and Omidi, H., 2019. Investigating the effect of drought stress and seed pretreatment on the physiological and biochemical characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Scientific Journal of Crop Physiology*, 12(48), pp.5-23. [In Persian].
- Dorpour Sorkhsarai, A., Jami Al-Ahmadi, M., Sayari Zahan, M. and Babaei Zarch, M.J., 2021. Effect of different moisture levels and iron sulfate on the growth and content of some elements in wheat (*Triticum aestivum* L. Roshan variety). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 14(1), pp.119-130. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.1578>
- Eftekhari, A., Shriani Rad, A.H., Rezai, A.M., Salehian, H. and Ardakani, M.R., 2005. Determination of critical period of weed control in soybean (*Glycine max* L.) in Sari. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 7(4), pp.347-364. <https://doi.org/20.1001.1.15625540.1384.7.4.6.4>
- Hafeez, B., Khanif, Y.M. and Saleem, M., 2013. Role of zinc in plant nutrition- A review. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(2), pp.374-391. <https://doi.org/10.9734/ajea/2013/2746>
- Hodasefat, O., Mohammadvand, E. and Asghari, J., 2021. Efficacy evaluation of some weed control programs in Kimia and landrace of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Iranian Journal of Weed Science*, 17 (2), pp.123-135. [In Persian]. <https://doi.org/10.1234/ijws.2021.123456>

- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V. and Chauhan, B.S., 2015. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72, pp.57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>
- Jeshni, M.G., Mousavinik, M., Khammari, I. and Rahimi, M., 2017. The changes of yield and essential oil components of German Chamomile (*Matricaria recutita* L.) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), pp.60-65. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.02.003>
- Johnson, T.P., Smith, D.K. and Wang, X.L., 2015. Effects of planting density on seed size and yield components in cereals. *Field Crops Research*, 185, pp.42-49.
- Kahrudi, M., Akbarzadeh, A. and Saeidi, S., 2023. Effect of micronutrient application on yield and harvest index in oilseed plants. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(3), pp.123-135. <https://doi.org/10.1234/jast.2023.13255>
- Kazemi, A., Rezazadeh, M. and Koochaki, A., 2024. Impact of environmental stress on oil content in oilseed crops. *Environmental and Agronomy Research*, 22(1), pp.45-58.
- Khosravi, M., Tavasoli, A., Piri, A. and Babaian, M., 2021. The effect of weed management on the yield and nutrients of sesame (*Sesamum indicum* L.) and red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in mixed cultivation. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 31(4), pp.1-16. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43874.2602>
- Kihara, J., Bolo, P., Kinyua, M., Rurinda, J. and Piikki, K., 2020. Micronutrient deficiencies in African soils and the human nutritional nexus: opportunities with staple crops. *Environmental Geochemistry and Health*, 42, pp.3015–3033. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00499-w>
- Leach, J.E., Stevenson, H.J., Rainbow, A.J. and Mullen, L.A., 1999. Effects of high plant populations on the growth and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus*). *The Journal of Agricultural Science*, 132, pp.173-180. <https://doi.org/10.1017/s0021859698006091>
- Lee, S.H. and Park, S.J., 2017. The effect of plant density on seed weight and yield performance of soybean under different environmental conditions. *Journal of Agronomy*, 109(2), pp.142-150.
- Mahmoud Soltani, S., Mohamed, M.H., Abdul, W.S. and Sharifah, K., 2017. Lime and Zn interactions effects on yield, yield component, and quality of rice in Zn deficit tropical paddy soil. *Azarian Journal of Agriculture*, 4(5), pp.185-192.
- Malakouti, M.J. and Tehrani, M.M., 2020. The role of micronutrients in yield and quality improvement of agricultural products. *Journal of Plant Nutrition*, 43(2), pp.213-230.
- Mardan, R. and Kazemi, Sh., 2018. Reaction of morphological characteristics and biological performance of barley cultivars to low consumption elements (iron, zinc and copper). The First National Conference on New Topics in Agriculture, Saveh University, 15–16 May, Saveh, Iran. [In Persian].
- Pallavi, V. and Sudha, T., 2017. Effect of soil and foliar application of zinc and iron on productivity and quality of wheat. *Journal of Farm Science*, 30, pp.49–51.

- Smith, R.J., Brown, P.M. and Green, A.L., 2020. The influence of crop management practices on seed weight and yield in different climate zones. *Agricultural Systems*, 178, pp.102704.
- Thalooth, M., Tawfik, M. and Magda, M.H., 2006. A comparative study on the effect of Zinc, Potassium and Magnesium and Magnesium on growth, yield and some chemical constituents of Mungbean plants growth under Water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2, pp.37-46.
- Visconti, D., Fiorentino, N., Cozzolino, E., Woo, S.L., Fagnano, M. and Roupael, Y., 2020. Can Trichoderma-based biostimulants optimize N Use efficiency and stimulate growth of leafy vegetables in greenhouse intensive cropping systems? *Agronomy*, 10(1), pp.121. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010121>
- Wan, Y., Zhou, Q., Zhao, M. and Hou, T., 2023. Byproducts of sesame oil extraction: composition, function, and comprehensive utilization. *Foods*. 12(12), pp.2383. <https://doi.org/10.3390/foods12122383>
- Wang, X., Li, Y. and Zhang, Q., 2022. Impact of weed competition on crop yield and strategies for management: A review. *Agricultural Sciences*, 13(2), pp.45-59.
- Wani, S.H., Khan, H., Riaz, A., Joshi, D.C., Hussain, W. and Rana, M., 2022. Genetic diversity for developing climate-resilient wheats to achieve food security goals. *Advances in Agronomy*, 49, pp.255–303. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.006>
- Weiss, E.A. 2000. Oilseed Crops. 2nd Edition. Blackwell Science LTD, Osney Mead, Oxford, OX2 0EL, U.K.
- Zaafarian, F. and Rezvani, M., 2008. Management strategies in controlling sesame weeds. First National Conference on Medicinal Plants, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, February 8-9, Sari, Iran. [In Persian].
- Zhou, X., Zhang, Y., Ji, X., Li, J., Li, G. and Chen, L., 2023. Research progress on iron absorption, transport, and molecular regulation in plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1190768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1190768>
- Ziaei, S.S., Khazaei, H. and Nezami, A., 2016. Investigating the effect of different levels of irrigation on morphophysiological and biochemical traits in five genotypes of mung bean (*Vigna radiate* L). *Scientific Journal of Crop Physiology*, 9(34), pp.5-21. [In Persian].
- Zimdahl, R.L., 2018. Fundamentals of Weed Science (5th ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/c2016-0-04074-2>



# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 255-274

### Effect of row orientation, crop density, and row distance on growth and yield of corn (*Zea mays* L.) single cross 704 cultivar

Bahare Tahmasbi <sup>a</sup>, Seyed Vahid Eslami <sup>\*b</sup>, Majid Jami Al-Alahmadi <sup>b</sup>, Sohrab Mahmoodi <sup>b</sup>

<sup>a</sup> PhD Candidate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

<sup>b</sup> Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

\*Corresponding Author: [sveslami@birjand.ac.ir](mailto:sveslami@birjand.ac.ir)

Received: 18 November 2024 Accepted: 3 February 2025 DOI:10.22034/CSRAR.2025.489583.1451

#### How to cite this article:

Tahmasbi, B., Eslami, S. V., Jami Al-Alahmadi, M., and Mahmoodi, S. 2025. Effect of row orientation, crop density and row distance on growth and yield of corn (*Zea mays* L.) single cross 704 cultivar. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 255–274.

<https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.489583.1451>

#### Abstract

**Introduction:** Corn (*Zea mays* L.) is one of the oldest agricultural plants, which has a special place among agricultural products due to its favorable characteristics, such as high adaptation to climatic conditions, high production of dry matter, and high water use efficiency. The high production potential of corn and its importance in feeding livestock and poultry, as well as the variety of products obtained from corn, have caused this plant to attract the attention of many countries in the world. Management practices can affect the growth and yield of maize. One practice used to increase yield has been to adjust the proper planting orientation and spacing between maize rows. Proper distribution and orientation of the corn plant during planting allows the canopy to absorb more light and thus increases vegetative growth and grain yield.

**Materials and Methods:** To investigate the effect of row orientation, crop density, and row distance on corn (*Zea mays* L.) growth and yield, a study was conducted at the experimental field of Birjand University during 2021. Treatments included row orientation (north-south and east-west), corn density (7.5, 10, and 12.5 plants per square meter), and row distance (35 and 70 cm). In order to evaluate the effect of row orientation, this effect was considered as the effect of location in two adjacent fields, and the two factors of density and row distance in each field were done as a factorial layout based on a randomized complete block design in three replications. Sampling of plants was done in 5 stages of 21 days after emergence. In each of these stages, 3 plants were randomly harvested from one-third of each plot, observing the margin effect, and characteristics such as leaf surface index and dry weight of aerial organs were measured. To measure the morphological traits, including plant height, 5 plants from each plot were randomly selected and marked after the plants were fully established, and their stem length was measured every 21 days using a ruler in centimeters. It was taken; Then their average was calculated in each plot. To determine the percentage of light interception (LI%), the amount of photosynthetically active radiation (PAR) was measured using a radiometer between 11 a.m. and 1 p.m. In each case, 10 measurements were taken from below the canopy and in different directions (to calculate the light transmitted through the canopy), and two measurements were taken from above the



canopy (to measure the total radiation reaching the canopy surface). After physiological processing, biomass and grain yield were measured.

**Results and Discussion:** The results showed that north-south planting orientation significantly increased plant height and leaf area index. The increase in leaf area index in this row direction led to an increase in the light interception (LI%). The row spacing of 35 cm led to an increase in leaf area index, biological yield, and grain yield; in fact, this increase in yield was the result of greater LI% in this row spacing. The effect of density was also significant on plant height, fresh forage yield, ear length, number of grain rows, number of grains per row, total grain number, and 1000 grain weight, and at the highest level it led to a decrease in all traits except height and fresh forage yield.

**Conclusion:** The north-south planting row direction in the Birjand region led to the superiority of plant height, LI%, and leaf area index compared to the east-west planting row direction. Narrow row spacing increased leaf area index, biological yield, grain yield, and LI% compared to conventional row spacing. Low density significantly increased yield components, including ear length, number of grain rows, number of grains per row, total grain number, and 1,000-grain weight. With increasing plant density, LI% also increased; this is due to the increase in the number of leaves and leaf area per unit area, which allows plants to utilize more light radiation. Overall, according to the results of this study, better light conditions in the north-south planting direction led to better growth of corn plants and increased biomass and grain yield; also, the planting system in 35 cm row spacing can be recommended to farmers as an agricultural solution to increase corn yield.

**Keywords:** Growth parameters, Leaf area index, Light interception (%), Plant arrangement, Plant height

# اثر جهت ردیف کاشت، تراکم گیاهی و فاصله بین ردیف بر رشد و عملکرد ذرت (*Zea mays L.*)

## رقم سینگل کراس ۷۰۴

بهاره طهماسبی<sup>۱</sup>، سید وحید اسلامی<sup>۲\*</sup>، مجید جامی‌الاحمدی<sup>۲</sup>، سهراب محمودی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

\* مسئول مکاتبه: [sveslami@birjand.ac.ir](mailto:sveslami@birjand.ac.ir)

DOI:10.22034/CSRAR.2025.489583.1451

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸

### چکیده

جهت‌گیری مناسب و تنظیم فواصل ردیف‌های کاشت به‌عنوان روشی مدیریتی در افزایش عملکرد ذرت مطرح می‌باشد. این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال زراعی ۱۴۰۰ انجام شد. تیمارها شامل جهت کاشت (شمالی، جنوبی و شرقی-غربی)، تراکم ذرت (۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ بوته در متر مربع) و فاصله بین ردیف (۳۵ و ۷۰ سانتی‌متر) بود. به‌منظور ارزیابی اثر جهت ردیف کاشت، این اثر به صورت اثر مکان در دو مزرعه جداگانه در نظر گرفته و دو عامل تراکم و فاصله بین ردیف به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار ترکیب شدند. نتایج نشان داد جهت کاشت شمالی-جنوبی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ گردید؛ افزایش شاخص سطح برگ در این جهت کاشت منجر به افزایش درصد جذب تشعشع گردید. فاصله بین ردیف ۳۵ سانتی‌متر منجر به افزایش شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیک و عملکرد عمکرد عمده شد که این افزایش عملکرد عمدتاً در نتیجه جذب تشعشع بیشتر در این فاصله ردیف بود. تأثیر تراکم نیز بر ارتفاع گیاه، عملکرد علوفه تر، طول بلال، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف، تعداد کل دانه و وزن هزار دانه معنی‌دار بود و در بالاترین میزان منجر به کاهش تمامی صفات به‌جز ارتفاع و عملکرد علوفه تر گردید. در مجموع، ایجاد شرایط بهتر جذب تشعشع در جهت کاشت شمالی-جنوبی منجر به رشد بهتر بوته‌های ذرت و افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک شد؛ هم‌چنین سیستم کاشت در فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر می‌تواند به‌عنوان یک راهکار زراعی در افزایش عملکرد ذرت به کشاورزان توصیه شود.

**واژه‌های کلیدی:** آرایش کاشت، ارتفاع بوته، پارامترهای رشد، درصد جذب تشعشع، شاخص سطح برگ

### مقدمه

ذرت (*Zea mays L.*) از جمله قدیمی‌ترین گیاهان زراعی بوده که به‌دلیل داشتن خصوصیات مطلوب همانند قدرت سازگاری بالا به شرایط اقلیمی، تولید بالای ماده خشک و نیز کارایی بالای مصرف آب جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات کشاورزی دارد. پتانسیل تولید بالای ذرت و اهمیت آن در تغذیه دام و طیور و همچنین تنوع فرآورده‌های حاصل از ذرت، باعث گردیده این گیاه مورد توجه بسیاری از کشورهای جهان قرار گیرد (Shakarami and Rafiee, 2009).

روش‌های صحیح مدیریت زراعی در استفاده حداکثر از ظرفیت محیط برای تولید گیاهان امری بسیار مهم بوده و تعیین مناسب‌ترین شرایط رشد می‌تواند در راستای افزایش عملکرد و به حداکثر رساندن بهره‌وری از محیط مورد نظر باشد. جهت ردیف کاشت و پیکربندی مناسب گیاه می‌تواند ساختار کانوپی خوبی برای تولید محصول ایجاد کند و عملکرد بیش‌تری بدست

آورد (Li et al., 2018). برخی از مطالعات گزارش کردند که عملکرد گیاهانی نظیر ذرت، سورگوم، پیاز و همچنین باغات انگور در ردیف شمالی-جنوبی بیشتر از جهت ردیف شرقی-غربی است، اما مطالعات دیگر گزارش کردند که عملکرد در جهت ردیف شرق به غرب بیشتر از جهت ردیف جنوب به شمال است. مطالعات دیگر گزارش کردند که جهت ردیف کاشت اثر قابل توجهی بر بازده ندارد (Liu et al., 2020; Luqman et al., 2020). این نتایج متفاوت ممکن است ناشی از تفاوت عرض‌های جغرافیایی در مکان‌های مورد مطالعه باشد (Widdicombe and Thelen, 2002).

جهت‌گیری ردیف‌های کاشت می‌تواند از طریق افزایش جذب و نفوذ تابش خورشید به کانوپی گیاهان بر کارایی فتوسنتز تأثیر بگذارد. توزیع و جهت‌گیری مناسب گیاه ذرت در طول کاشت به کانوپی اجازه می‌دهد نور بیش‌تری را جذب کرده و از این رو رشد رویشی و عملکرد دانه را افزایش می‌دهد.

(عملکرد زیست‌توده) افزایش می‌یابد (Widdicombe and Thelen, 2002). در آزمایش‌های دیگری، کاهش فاصله ردیف‌های کاشت ذرت نسبت به فاصله کاشت رایج (۷۵ سانتی‌متر) موجب افزایش عملکرد آن شد (Fathi, 2006). این الگوی کاشت باعث تسریع سرعت رشد رویشی گیاهان زراعی در اول فصل زراعی گردید و باعث بهبود قدرت رقابتی گیاه زراعی برای جذب نور شد.

تراکم کاشت علاوه بر عملکرد، بر روی کیفیت و ارزش غذایی دانه تأثیرگذار است. با کاهش میزان نور مقدار پروتئین و روغن در ذرت تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا می‌نماید. بنابراین آرایش کاشت باید به نحوی باشد که بتواند حداکثر استفاده را از تابش آفتاب نماید، زیرا کارایی جذب انرژی تابشی که بر روی سطح یک مزرعه می‌تابد به سطح برگ کافی بستگی دارد که به طور یکنواخت توزیع شده و سطح مزرعه را کاملاً پوشانده باشد. این هدف با تراکم مناسب بوته در سطح مزرعه میسر است (Biaziegr and Glover, 1980).

با توجه به کشت گسترده ذرت در منطقه، هدف از اجرای این پژوهش بررسی اثر جهت کاشت، فاصله بین ردیف و تراکم بر رشد و عملکرد ذرت در منطقه بیرجند بود.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثر جهت ردیف کاشت، فاصله ردیف و تراکم بوته بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ (جزو ارقام دیررس، سال معرفی ۱۳۵۹، طول دوره رشد ۱۳۵-۱۲۵ روز (Dehghanpour, 2014)) در سال ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا به اجرا در آمد. براساس تقسیم‌بندی اقلیمی، بیرجند جزء مناطق خشک محسوب می‌شود و دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های خشک و گرم است. میزان بارش در این شهر با توجه به آب و هوای آن، کم بوده و بیش‌ترین میزان آن، از آذر تا اردیبهشت رخ می‌دهد که در فصل زمستان اغلب به صورت بارش برف است. تفاوت نسبتاً زیاد درجه حرارت روز و شب و همچنین اختلاف دمای زمستان و تابستان در این شهرستان به علت نزدیکی آن به مناطق کویری است. بیرجند، به‌طور میانگین

مطالعات متعددی گزارش داده‌اند که عملکرد و کیفیت محصول در جهت ردیف شمالی جنوبی نسبت به جهت ردیف شرقی غربی بهتر است (Luqman et al., 2020; Souza et al., 2019; Hunter et al., 2017; Giacosa et al., 2015; Gutiérrez-Gamboa et al., 2021). طی تحقیقی اثرات ۳ جهت کاشت شمالی جنوبی، شرقی غربی و جنوب غربی ۲۰ درجه و همچنین ۲ فاصله ردیف کاشت سنتی (۶۵+۶۵) و جدید (۴۰+۱۶۰) روی پیری برگ ذرت بررسی شد، نتایج نشان داد میزان فتوسنتز برگ‌های پرچم در جهت کاشت جنوب غربی ۲۰ درجه با فاصله ردیف کاشت (۴۰+۱۶۰) از بقیه مدل‌ها به‌طور قابل توجهی بیشتر بود، این مدل کاشت سایه افقی گیاهان در ردیف‌های کاشت را کوتاه کرد و در نتیجه گیاه توانست روشنایی طولانی مدتی را دریافت کند (Tian et al., 2019).

تنظیم آرایش کاشت در ذرت با تغییر در تراکم گیاهی و فاصله بین ردیف‌ها (Galvao et al., 2014) و همچنین توزیع مکانی و زمانی گیاهان در ردیف (Novak and Ransom et al., 2018) ایجاد می‌شود. از آنجایی که این تکنیک امکان تخصیص حداکثر تعداد گیاهان در هر منطقه را فراهم می‌کند، باعث افزایش جذب تشعشعات فعال فتوسنتزی می‌شود که یکی از عوامل تعیین‌کننده عملکرد دانه است (Lu et al., 2011). شیوه‌های کشاورزی، مانند جهت ردیف کاشت و فاصله ردیف، برای تولید ذرت مفید هستند (Balkcom et al., 2011).

فاصله ردیف‌های معقول می‌تواند تهویه و شرایط عبور نور را در مزرعه بهبود بخشد و باعث افزایش رشد و نمو شود. ردیف‌های باریک می‌تواند موجب جذب نور بیشتری در کانوپی شود و نیز رشد و بسته شدن کانوپی افزایش می‌یابد (Piao et al., 2011; Balkcom et al., 2022). هنگامی که گیاهان ردیفی مانند سورگوم با تراکم‌های معین در فاصله ردیف‌های باریک‌تر کشت می‌شوند، به‌علت توزیع یکنواخت بوته‌ها در سطح مزرعه، امکان دریافت تابش خورشیدی بیشتر و رقابت بیشتر با علف‌های هرز فراهم می‌شود. همچنین، اگر تابش کافی به بوته‌ها برسد، ممکن است دو یا چند جوانه جانبی هم‌زمان تحریک شده و تولید بلال کنند (Chin Choy and Kanemasu, 1974). گزارش شده است که در هیبریدهای دو منظوره، با کاهش عرض ردیف از ۷۶ به ۳۶ سانتی‌متر، وزن خشک تولیدی

ارزیابی اثر جهت کاشت، این اثر را به صورت اثر مکان (اثر ثابت) در دو مزرعه جداگانه در نظر گرفته و دو عامل تراکم و فاصله بین ردیف به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار ترکیب شدند. برای آماده‌سازی زمین پس از شخم، کلوخه‌ها توسط دیسک نرم شده و در نهایت زمین با لولر تسطیح گردید. کوددهی بر اساس نیاز کودی پس از تسطیح زمین صورت گرفت و روش آبیاری به صورت جوی و پشته انجام شد. هر کرت شامل ۶ پشته با فاصله ۷۰ سانتی‌متری بود. در فاصله بین ردیف ۳۵ سانتی‌متر، گیاهان ذرت در دو طرف پشته‌های ۷۰ سانتی‌متری کشت شدند در حالی که در فاصله بین ردیف ۷۰ سانتی‌متر، گیاهان در یک سمت پشته کشت شدند. دو ردیف کناری و نیم متر از بالا و پایین هر کرت به عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد. طول هر کرت ۶ متر بود. عملیات کاشت در تاریخ ۸ تیر ماه انجام گرفت. برای مقابله با علف‌های هرز در طول فصل رشد عملیات وجین به صورت دستی انجام شد.

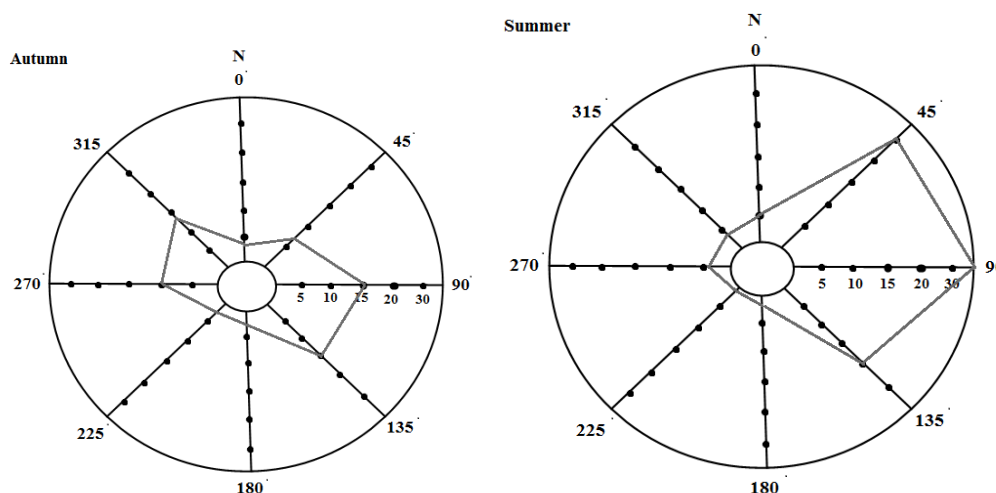
در ۷۲ روز از سال دارای دمای زیر صفر درجه و در ۱۴۲ روز از سال دارای دمای بالای ۳۰ درجه سانتیگراد است. با توجه به جدول خصوصیات باد در منطقه اجرای تحقیق و نمودار گلباد مشاهده می‌شود در فصل تابستان، باد غالب، شرقی (بیش از ۳۰ درصد) و باد نایب غالب شمال شرقی (۳۰ درصد) می‌باشد. از سایر بادهای، باد جنوب شرقی می‌باشد که ۲۰ درصد از کل بادهای از این سمت می‌وزند. همچنین نمودار گلباد فصل پاییز نشان می‌دهد باد غالب در این فصل شرقی (۱۵ درصد) و نیز جنوب شرقی (۱۵ درصد) می‌باشد (شکل ۱ و جدول ۱).

فاکتورهای آزمایش شامل جهت کاشت (شمالی جنوبی و شرقی غربی)، تراکم گیاهی ذرت (۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ بوته در متر مربع) و فاصله بین ردیف (۳۵ و ۷۰ سانتی‌متر) بود. ساختار آزمایش به صورت تجزیه مرکب در مکان بود و آزمایش به صورت فاکتوریل در دو مکان (مزرعه) مجاور هم (به جهت اطمینان از یکنواختی شرایط ادا فیک و محیطی) اجرا گردید. به منظور

جدول ۱- خصوصیات باد در منطقه اجرای تحقیق در طی ماه‌های رشد ذرت

Table 1- Wind characteristics in the area of research implementation over maize growth months

ماه	جهت باد غالب	سرعت باد غالب	فراوانی باد غالب
Month (2020)	Prevailing wind direction (degree)	Prevailing wind speed (m s <sup>-1</sup> )	Prevailing wind frequency (%)
تیر	90	3.91	34
July			
مرداد	90	3.64	31
August			
شهریور	90	3.48	40
September			
مهر	90	2.88	28
October			



شکل ۱- الگوی گلباد در طی تابستان و پاییز در منطقه اجرای تحقیق

Figure 1- Windrose pattern over summer and autumn in the area of research implementation

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{t}{T_{50}}\right)^b} \quad (2)$$

در این مدل  $y$  تغییرات شاخص رشدی مورد نظر در زمان  $t$ ،  $a$  حداکثر مقدار شاخص رشدی،  $T_{50}$  زمان (بر حسب روز) تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر مقدار شاخص رشدی،  $b$  ضریب کنترل کننده شکل و شیب منحنی و  $t$  زمان بر حسب روز است. برای تعیین درصد جذب تشعشع<sup>۱</sup> (LI%)، مقدار تابش فعال فتوسنتزی<sup>۲</sup> (PAR)، با استفاده از دستگاه تشعشع سنج (مدل LP-80) در فاصله بین ساعت ۱۲ تا ۱۴ ظهر اندازه‌گیری شد. در هر مورد ۱۰ اندازه‌گیری از زیر کانوپی و در جهات مختلف (جهت محاسبه نور عبور یافته از کانوپی)، و دو اندازه‌گیری از بالای کانوپی (جهت اندازه‌گیری کل تشعشع رسیده به سطح کانوپی) انجام شد. برای اندازه‌گیری مقدار تشعشع رسیده به پایین کانوپی در ۵ نقطه از هر کرت، دستگاه به شکلی در زیر کانوپی به موازات سطح زمین، قرار گرفت که حسگرها بین دو ردیف مجاور تقسیم شوند و سایه‌اندازی کانوپی گیاه در طرفین ردیف کاشت به دقت اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری‌های بالای کانوپی نیز یک بار قبل و یک بار بعد از اندازه‌گیری‌های زیر کانوپی انجام شده و میانگین‌ها محاسبه شدند. برای تعیین درصد جذب تشعشع (LI%)، از رابطه (۳) استفاده شد (Maddonni and Otegui, 1996).

$$\times 100LI\% = \left[1 - \left(\frac{I}{I_0}\right)\right] \quad (3)$$

در این رابطه  $I$  و  $I_0$  به ترتیب میزان تشعشع در زیر و بالای کانوپی هستند.

برای تعیین عملکرد علوفه تر ذرت، برداشت علوفه سبز در مرحله شیری دانه از یک متر مربع با رعایت اثر حاشیه انجام و علوفه برداشت شده توزین گردید. پس از رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین عملکرد بیولوژیک، گیاهان نصف کرت با رعایت اثر حاشیه برداشت و توزین شدند و عملکرد بیولوژیک و دانه آن‌ها در متر مربع تعیین گردید. برای محاسبه طول بلال، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد کل دانه در بلال، ۵ بلال به صورت

نمونه‌برداری از گیاهان در ۵ مرحله از ۲۱ روز پس از سبز شدن انجام شد. در هر یک از این مراحل ۳ بوته از یک سوم هر کرت به صورت تصادفی با رعایت اثر حاشیه برداشت و خصوصیات نظیر شاخص سطح برگ و وزن خشک اندام‌های هوایی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع گیاه ۵ بوته از هر کرت به طور تصادفی پس از استقرار کامل بوته‌ها انتخاب و علامت‌گذاری شده و طول ساقه آن‌ها هر ۲۱ روز با استفاده از خطکش بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد؛ سپس میانگین آن‌ها در هر کرت منظور گردید. بر این اساس، اندازه‌گیری شماره ۱ در مرحله ۶-۸ برگی ذرت، اندازه‌گیری شماره ۲ در مرحله ۱۲ برگی تا ظهور آخرین برگ، اندازه‌گیری شماره ۳ در مرحله کاکل‌دهی، اندازه‌گیری شماره ۴ در مرحله شیری شدن دانه و اندازه‌گیری شماره ۵ در مرحله دندانه‌ای شدن دانه انجام شد.

برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سطح برگ سنج (مدل Li-Cor, Li-1300، کشور ایالات متحده) استفاده شد و پس از اندازه‌گیری با توجه به تراکم بوته به شاخص سطح برگ تبدیل شد. برای خشک کردن نمونه‌ها از آون (۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد) و به منظور توزین نمونه‌های خشک شده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. جهت برآورد شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، معادله ۴ پارامتره گوسین اصلاح شده (معادله ۱) به داده‌های شاخص سطح برگ برازش گردیده (Hosseini et al., 2011) و ضرایب معادلات در تیمارهای مختلف محاسبه و مقایسه گردید.

$$x(t) = a \cdot \exp \left[ -0.5 \cdot \text{abs} \left( \frac{(x - x_0)^c}{h} \right) \right] \quad (1)$$

در معادله بالا  $t$  زمان بر حسب روز،  $x(t)$  شاخص سطح برگ برآورد شده،  $a$  حداکثر مقدار شاخص سطح برگ،  $b$  شیب خط در نقطه  $x_0$ ،  $c$  یک ضریب ثابت و  $x_0$  زمانی است که گیاه حداکثر شاخص سطح برگ را دارد.

برای توصیف تغییرات ارتفاع بوته و وزن خشک از یک مدل لجستیک سه پارامتری (فرمول ۲) استفاده شد (Lawson et al., 2006).

<sup>۲</sup>Photosynthetic Active Radiation

<sup>۱</sup>Light Interception

حفظ رطوبت بیش‌تر شود. علاوه بر موارد مذکور، جهت باد غالب شرقی غربی در منطقه در طول فصل رشد گیاه زراعی نیز می‌تواند در این ارتباط تاثیرگذار باشد و زش باد می‌تواند دسترسی به نور، رطوبت و عناصر غذایی را تحت تاثیر قرار دهد. به عنوان مثال خم شدن گیاهان در نتیجه باد می‌تواند منجر به کاهش دریافت تشعشع و نتیجتاً کاهش رشد گیاه شود. البته سرعت باد در زمان تحقیق حاضر در حدود ۱۳ کیلومتر بر ساعت بود که در حد نسیم بوده و حداقل از بابت ایجاد اثرات منفی بر رشد گیاه، نمی‌تواند قابل توجه باشد (جدول ۱) (Damavandi and Haghshenas, 2024).

ارتفاع بوته در فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر همواره بیش‌تر از فاصله ردیف ۷۰ سانتی‌متر بود (شکل ۲). به‌طوری‌که حداکثر ارتفاع بوته برآورد شده توسط مدل لجستیک سه پارامتری در فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر، ۱۹۰/۰۲ سانتی‌متر بود که ۴/۷ درصد بیش‌تر از فاصله ردیف ۷۰ سانتی‌متر بود (جدول ۲). طی تحقیقی گزارش شد گیاهانی که در فواصل نزدیک‌تر کشت شدند، دارای ویژگی‌های رشد بهتری بودند؛ فواصل کمتر می‌تواند به افزایش ارتفاع بوته و جذب بیشتر تابش منجر شود (Hosseinzadeh et al., 2008).

افزایش تراکم باعث افزایش ارتفاع بوته گردید (شکل ۲). بر اساس نتایج برآورد شده توسط مدل لجستیک سه پارامتری بیش‌ترین ارتفاع بوته (۱۸۹ سانتی‌متر) از تراکم ۱۲/۵ بوته در مترمربع بدست آمد که ۳/۸ درصد بیش‌تر از تراکم ۷/۵ و ۱۰ بوته در مترمربع بود (جدول ۲). نتایج تحقیق حاضر نشان داد افزایش تراکم باعث افزایش درصد جذب تشعشع شد (شکل ۶). البته با افزایش تراکم، گیاهان به هم نزدیک‌تر می‌شوند و سایه بیشتری ایجاد می‌کنند. این سایه‌اندازی باعث کاهش نوری می‌شود که به کف کانوپی می‌رسد، زیرا برگ‌های بالایی نور را جذب کرده و مانع رسیدن آن به برگ‌های پایینی می‌شوند. در نتیجه رقابت بین اندام‌های گیاه برای جذب بیشتر تشعشع زیاد می‌شود و از طرف دیگر تخریب نوری اکسین صورت نمی‌گیرد که مجموعه این عوامل می‌تواند باعث افزایش طول میانگره‌ها، کاهش قطر ساقه و افزایش ارتفاع بوته گردد. طی گزارشی با افزایش تراکم بوته ارتفاع بوته افزایش پیدا کرد و بیش‌ترین ارتفاع بوته ذرت را ۲۰۸ سانتی‌متر از تراکم ۱۲۰ هزار بوته در هکتار بدست آمد (Gozubeni, 2010).

تصادفی از هر کرت برداشت و صفات مورد بررسی از طریق میانگین‌گیری آن‌ها محاسبه گردید. وزن هزار دانه نیز از طریق شمارش با دستگاه بذرشمار و توزین با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ تعیین گردید. شاخص برداشت ذرت از نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک بدست آمد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم افزارهای SAS (نسخه ۹/۴) و SigmaPlot (نسخه ۱۱) استفاده شد. همچنین، مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده (PLSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### صفات مورفوفیزیولوژیکی

#### ارتفاع بوته

بر اساس نتایج، شیب روند ارتفاع بوته تیمارهای مورد بررسی در همه نمونه‌برداری‌ها افزایشی بود و در همه تیمارها، شروع افزایش ارتفاع بوته از اندازه‌گیری شماره ۱ در مرحله ۶-۸ برگی ذرت بدست آمد. مقدار این شاخص، در اندازه‌گیری شماره ۳ مصادف با مرحله کاکل‌دهی به اوج خود رسید و سپس در همه تیمارها تا برداشت نهایی دارای رشد سیگموئیدی بود.

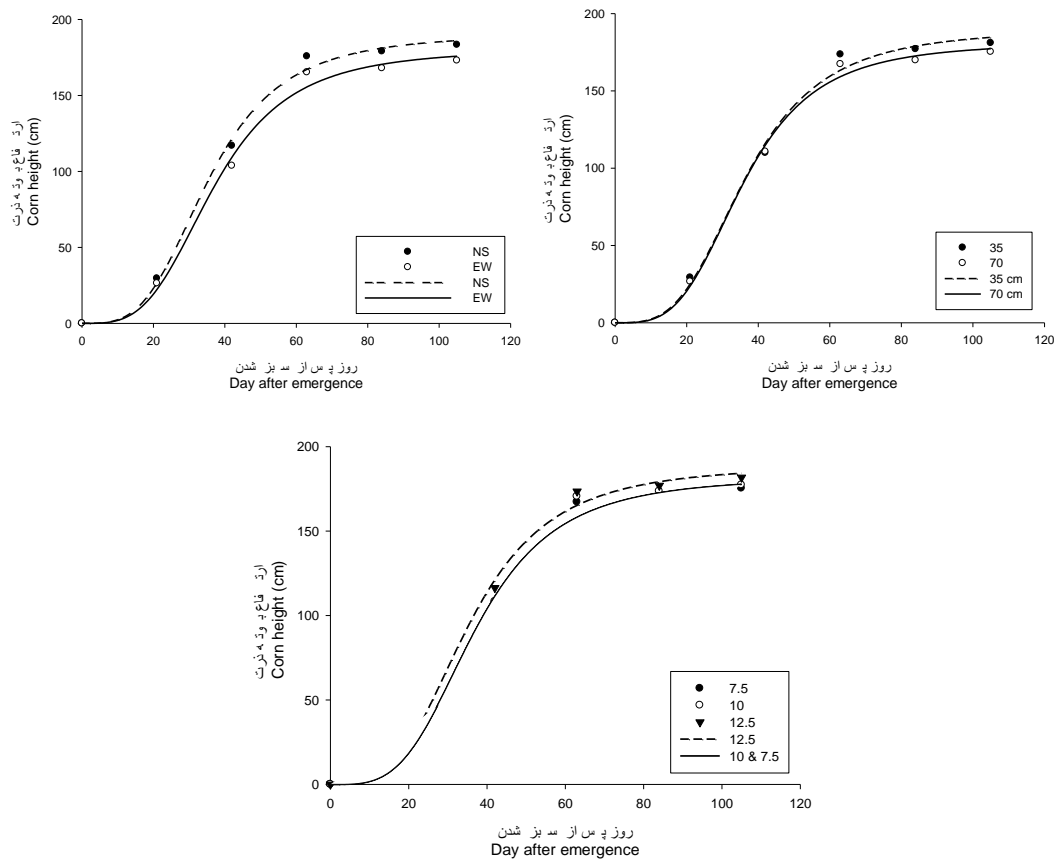
در شکل (۲) روند تغییرات ارتفاع بوته ذرت در مقابل روز پس از سبز شدن در دو جهت کاشت شمالی جنوبی و شرقی غربی، فواصل ردیف کم و رایج، و سه تراکم ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ بوته در متر مربع ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود حداکثر ارتفاع بوته همواره در جهت کاشت شمالی جنوبی به‌طور معنی‌داری بیشتر از جهت شرقی غربی بود. به‌طوری‌که حداکثر ارتفاع بوته برآورد شده توسط مدل لجستیک سه پارامتری در جهت شمالی جنوبی ۱۹۰/۵۹ سانتی‌متر بود که ۵ درصد بیش‌تر از جهت شرقی غربی بود (جدول ۲).

به نظر می‌رسد جهت شمالی جنوبی موجب نفوذ بهتر نور به قاعده گیاه و در نتیجه افزایش تمایز سلولی در خلال دوره رشد رویشی نسبت به ردیف‌های شرقی غربی می‌گردد (Duncan and Schapaugh, 1993). هم‌چنین احتمال می‌رود با توجه به اینکه در جهت کاشت شمالی جنوبی امکان سایه‌اندازی پشته‌ها در صبح و بعد از ظهر بر کف جوی نسبت به جهت شرقی غربی (که هم مسیر حرکت خورشید در آسمان است) بیش‌تر است،

جدول ۲- ضرایب مدل لجستیک برازش داده شده به داده‌های ارتفاع بوته و ماده خشک در مترمربع در مقابل زمان (روز پس از سبز شدن) در دو جهت کاشت (شمالی جنوبی و شرقی غربی)، دو فاصله بین ردیف (۳۵ و ۷۰ سانتی متر) و سه تراکم (۱۰، ۷/۵ و ۱۲/۵ بوته در متر مربع)

Table 2- The coefficients of the logistic model fitted to the data of plant height and dry matter in square meters versus time (days after emergence) in two planting row directions (north-south and east-west), two row distances (35 and 70 cm) and three densities (7.5, 10 and 12.5 plants per square meter)

صفات مورد مطالعه Study traits	عوامل Factors	سطوح Levels	پارامترها Parameters			ضریب تبیین R <sup>2</sup>
			a±SE	T50±SE	b±SE	
ارتفاع گیاه Plant height (cm)	جهت کاشت	NS	190.59 ± 6.42	35.61 ± 1.60	-3.44 ± 0.44	0.99
	Row direction	EW	180.70 ± 7.85	37.09 ± 2.01	-3.44 ± 0.55	0.99
	فاصله بین ردیف	35	190.02 ± 8.43	36.73 ± 2.06	-3.36 ± 0.54	0.99
	Row distance	70	181.34 ± 5.95	35.92 ± 1.55	-3.51 ± 0.44	0.99
	تراکم گیاهی	7.5	182.09 ± 7.07	36.95 ± 1.80	-3.53 ± 0.53	0.99
	Plant density	10	182.09 ± 7.07	36.95 ± 1.80	-3.53 ± 0.53	0.99
		12.5	189 ± 6.32	35.38 ± 1.58	-3.36 ± 0.41	0.99
ماده خشک اندام- های هوایی Dry matter of shoot (gr m <sup>2</sup> )	جهت کاشت	NS	1673 ± 515	58.62 ± 11.96	-3.63 ± 0.91	0.99
	Row direction	EW	1433 ± 229	52.62 ± 6.03	-4.24 ± 0.86	0.99
	فاصله بین ردیف	35	1588 ± 380	55.09 ± 9.27	-3.85 ± 0.94	0.99
	Row distance	70	1517 ± 315	55.68 ± 7.87	-3.97 ± 0.84	0.99
	تراکم گیاهی	7.5	1335 ± 274	56.93 ± 7.69	-3.99 ± 0.79	0.99
	Plant density	10	1530 ± 657	60.22 ± 16.91	-3.49 ± 1.10	0.98
		12.5	1686 ± 200	50.06 ± 4.50	-4.32 ± 0.74	0.99



شکل ۲- تغییرات ارتفاع بوته ذرت در طی دوره رشد در دو جهت کاشت (شمالی جنوبی و شرقی غربی)، دو فاصله بین ردیف (۳۵ و ۷۰ سانتی متر) و سه تراکم (۱۰، ۷/۵ و ۱۲/۵ بوته در متر مربع)

Figure 2- Changes in corn plant height during the growing season in two planting row directions (north-south and east-west), two row distance (35 and 70 cm) and three densities (7.5, 10 and 12.5 plants per square meter)

### شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ، زاویه برگ، جهت گیری برگ و ضریب خاموشی نور پارامترهای اصلی هستند که ساختار کانوبی گیاه را مشخص می کنند. این پارامترها تحت تأثیر عواملی مانند رقم، فاصله بین ردیف و تراکم گیاه قرار می گیرند ( *Andrade et al., 2002; Elmore et al., 2005*). به طور کلی میزان شاخص سطح برگ در مراحل اولیه رشد گیاه به دلیل تعداد کم و کوچک بودن برگ ها و کامل نبودن پوشش گیاهی کم است ولی به تدریج با رشد و افزایش برگ های گیاه، شاخص سطح برگ افزایش یافته تا به حداکثر خود می رسد. پس از آنکه شاخص سطح برگ به حداکثر میزان خود (مصادف با مرحله کاکل دهی) رسید، به دلیل سایه اندازی برگ ها روی همدیگر، پیری برگ ها و ریزش آن ها (به ویژه برگ های پایینی) به علت نفوذ نور کم به داخل کانوبی و کاهش مواد غذایی تسریع یافت (شکل ۳).

بر اساس ضرایب مربوط به برازش مدل گوسین حداکثر شاخص سطح برگ همواره در جهت کاشت شمالی جنوبی به طور معنی داری بیشتر از جهت شرقی غربی بود. به طوری که حداکثر شاخص سطح برگ در جهت شمالی جنوبی ۱۵ درصد بیش تر از جهت شرقی غربی بود (شکل ۳، جدول ۳). طی پژوهشی روی درخت بادام گزارش شد جهت شرقی غربی اثر منفی روی شاخص سطح برگ، رشد کانوبی، عملکرد و کیفیت میوه گذاشت و جهت کاشت شمالی جنوبی توزیع نور بهتری در کانوبی نسبت به جهت کاشت شرقی غربی داشت ( *Maldera et al., 2023*). اثر جهت ردیف کاشت بر جذب نور روزانه، بیشتر در عرض جغرافیایی ۲۵ درجه صورت می گیرد. در خط استوا در بیشتر ایام سال جهت شمالی جنوبی بیش ترین جذب نور را دارد. اثر جهت کاشت روی شاخص سطح برگ با افزایش عرض جغرافیایی کاهش می یابد. به طور مثال در عرض جغرافیایی ۵۵ درجه بالاترین شاخص سطح برگ در طول ماه های تابستان در جهت کاشت شمالی جنوبی، و در بقیه نقاط سال در جهت شرقی غربی به دست می آید ( *De Herralde et al., 2003*).

طی این پژوهش تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد نشان داد که شاخص سطح برگ در فاصله ردیف ۳۵ سانتی متر همواره بیش تر از فاصله ردیف ۷۰ سانتی متر بود. به طوری که بر اساس ضرایب مربوط به برازش مدل گوسین

حداکثر شاخص سطح برگ در فاصله ردیف ۳۵ سانتی متر ۳/۹۹ بود که ۱۹ درصد بیش تر از فاصله ردیف ۷۰ سانتی متر بود (شکل ۳، جدول ۳). زمان مورد نیاز برای به حداکثر رسیدن شاخص سطح برگ ذرت (X0) در فاصله ردیف ۷۰ سانتی متر ۷۹ روز و در فاصله ردیف ۳۵ سانتی متر ۷۲ روز بود؛ که بیان گر این است که فاصله ردیف ۷۰ سانتی متر دوره رشد طولانی تری داشته است. در واقع مدت زمان توسعه شاخص سطح برگ در فاصله ردیف ۷۰ سانتی متر نسبت به فاصله ردیف ۳۵ سانتی متر ۷ روز بیشتر بوده است. بر اساس نتایج فاصله ردیف ۳۵ سانتی متر دارای درصد جذب تشعشع بیش تری بود (شکل ۶)؛ فاصله بین ردیف کمتر موجب زودتر بسته شدن کانوبی می گردد. در نتیجه دریافت تشعشع توسط گیاه و سرعت رشد رویشی در اول فصل بیشتر می گردد که منجر به بهبود قدرت رقابتی گیاه می شود ( *Piao et al., 2022*). طی گزارشی ردیف های کاشت باریک موجب افزایش جذب تشعشع، شاخص سطح برگ، محتوای کلروفیل و سرعت فتوسنتز گردید ( *Ge et al., 2022*).

بر اساس ضرایب مربوط به برازش مدل گوسین، حداکثر شاخص سطح برگ در تراکم های ۰/۷، ۱۰ و ۱۲/۵ بوته در متر مربع به ترتیب ۳/۰۱، ۳/۶۲ و ۴/۴۱ بود (شکل ۳، جدول ۳). تراکم کاشت به طور معنی داری روی سطح برگ تأثیر گذاشت و با افزایش تراکم مقدار سطح برگ تک بوته ها کاهش یافت. در واقع با افزایش تراکم، رقابت بین بوته ای زیاد شده و در نتیجه سطح برگ و وزن خشک تک بوته کاهش می یابد. ولی به علت افزایش تعداد بوته در واحد سطح، با توسعه سطح برگ میزان جذب نور و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر شده و به تبع آن شاخص سطح برگ و وزن خشک گیاه در واحد سطح افزایش می یابد.

### ماده خشک اندام های هوایی

تجمع ماده خشک در واقع سرعت تولید گیاه را در طول دوره رشد نشان می دهد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار ماده خشک در واحد سطح در جهت کاشت شمالی جنوبی همواره در طول فصل رشد بیشتر از جهت کاشت شرقی غربی بود. حداکثر مقدار ماده خشک در واحد سطح در جهت شمالی جنوبی برآورد شده توسط مدل لجستیک سه پارامتری ۱۶۷۳

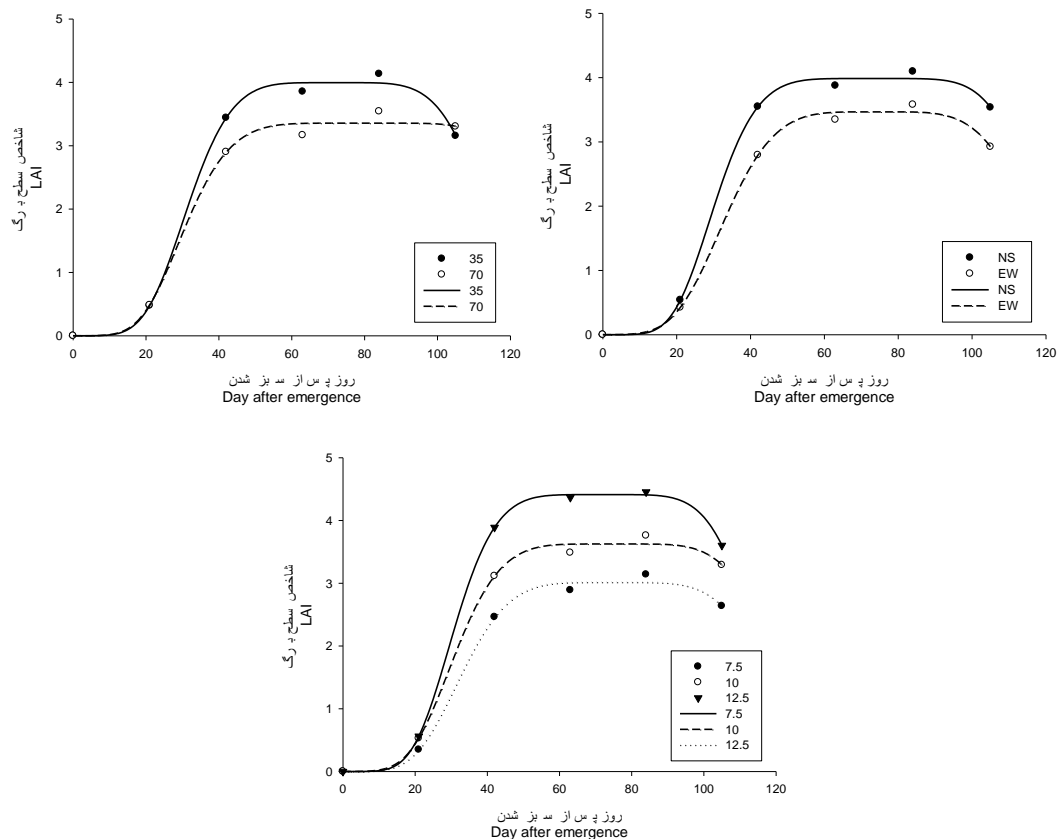
شاخص سطح برگ بیش تر و هم چنین جذب بیشتر نور خورشید و فتوسنتز بالاتر می باشد.

گرم در متر مربع بود در حالی که این پارامتر در جهت شرقی غربی ۱۴۳۳ گرم در متر مربع بود (شکل ۴، جدول ۲). دلیل عملکرد بالای ماده خشک در جهت کاشت شمالی جنوبی،

جدول ۳- ضرایب مربوط به برازش مدل چهار پارامتری گوسین اصلاح شده جهت برآورد شاخص سطح برگ در مقابل زمان (روز پس از سبز شدن) در دو جهت کاشت (شمالی جنوبی و شرقی غربی)، دو فاصله بین ردیف (۷۰ و ۳۵ سانتی متر) و سه تراکم (۱۰، ۷/۵ و ۱۲/۵ بوته در متر مربع)

Table 3- Coefficients related to the fitting of modified Gossin's four-parameter model to estimate the leaf area index against time (day after emergence) in two planting row directions (north-south and east-west), two row distances (35 and 70 cm) and three densities (7.5, 10 and 12.5 plants per square meter)

صفات مورد مطالعه Study traits	عوامل Factors	سطوح Levels	پارامترها Parameters				ضریب تبیین R <sup>2</sup>
			a±SE	b±SE	c±SE	x <sub>0</sub> ±SE	
شاخص سطح برگ	جهت کاشت Row direction	NS	3.98 ± 0.07	40.83 ± 1.08	5.54 ± 0.56	73.43 ± 1.05	0.99
		EW	3.46 ± 0.08	38.87 ± 1.20	4.53 ± 0.45	74.35 ± 1.06	0.99
LAI	فاصله بین ردیف Row distance	35	3.99 ± 0.10	38.25 ± 1.06	5.01 ± 0.58	72.08 ± 0.97	0.99
		70	3.35 ± 0.13	46.43 ± 10.81	5.79 ± 1.79	79.63 ± 10.04	0.99
LAI	تراکم گیاهی Plant density	7.5	3.01 ± 0.08	39.66 ± 1.64	4.76 ± 0.59	74.90 ± 1.45	0.99
		10	3.62 ± 0.09	41.44 ± 1.77	5.13 ± 0.65	74.89 ± 1.62	0.99
		12.5	4.41 ± 0.03	39.05 ± 0.32	5.27 ± 0.19	72.07 ± 0.31	0.99

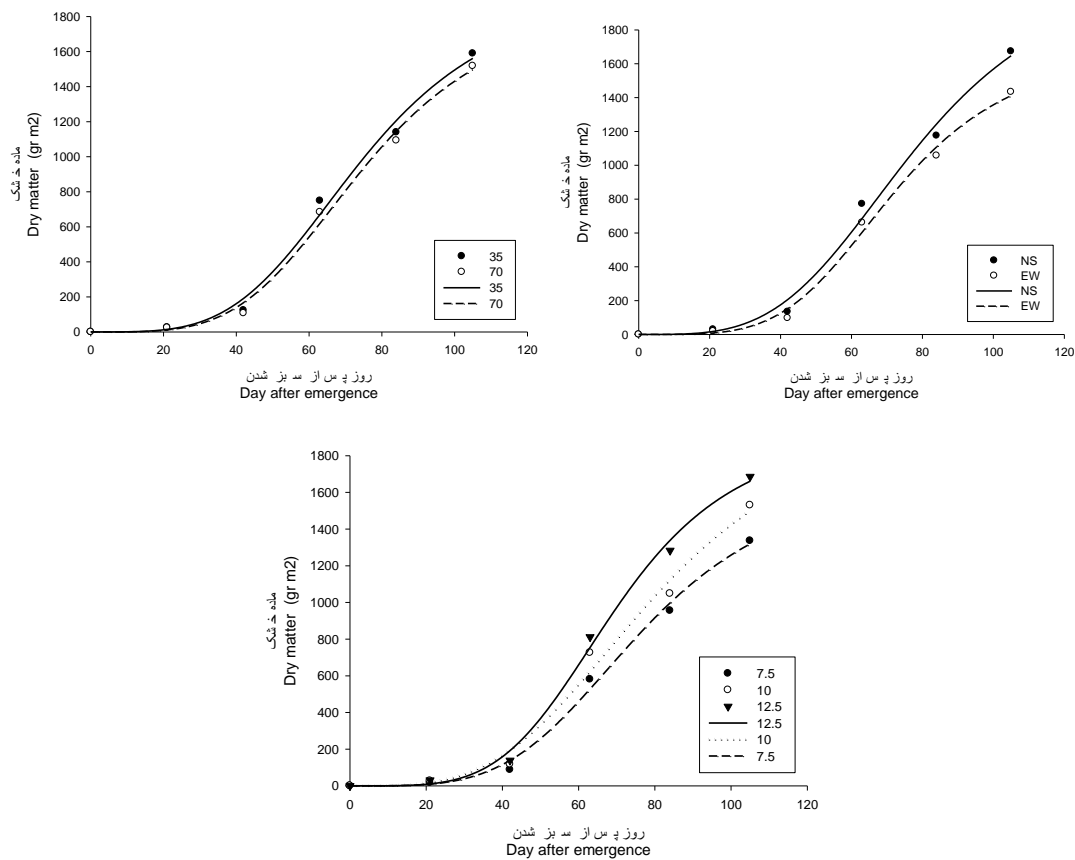


شکل ۳- تغییرات شاخص سطح برگ ذرت در طی دوره رشد در دو جهت کاشت (شمالی جنوبی و شرقی غربی)، دو فاصله بین ردیف (۷۰ و ۳۵ سانتی متر) و سه تراکم (۱۰، ۷/۵ و ۱۲/۵ بوته در متر مربع)

Figure 3- Changes in corn Leaf area index during the growing season in two planting row directions (north-south and east-west), two row distance (35 and 70 cm) and three densities (7.5, 10 and 12.5 plants per square meter)

پارامتری به ترتیب ۱۳۳۵، ۱۵۳۰ و ۱۶۸۶ گرم در متر مربع بود (جدول ۲). در تراکم‌های بیشتر، سایه‌اندازی بیشتر و تولید مواد فتوسنتزی کمتر سبب کاهش وزن خشک تک بوته‌ها می‌شود. گرچه با کاهش تراکم بوته با اختصاص فضای بیشتر به تک بوته‌ها رشد آنها بهبود یافت ولیکن در تراکم‌های بالاتر تعداد بوته بیشتر در واحد سطح توانست کاهش وزن تک بوته‌ها را جبران کند (Bazrafshan et al., 2005).

بر اساس برآورد مدل لجستیک سه پارامتری، با کاهش فاصله بین ردیف‌های کاشت میزان تولید ماده خشک تغییر چندانی نداشت (جدول ۲). تراکم تنها در مراحل انتهایی فصل رشد به‌طور معنی‌داری تأثیرگذار بود و با افزایش تراکم به وزن خشک در واحد سطح افزوده شد (شکل ۴). به‌طوری‌که حداکثر مقدار ماده خشک در واحد سطح در تراکم‌های ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ بوته در متر مربع برآورد شده توسط مدل لجستیک سه



شکل ۴- تغییرات ماده خشک اندام هوایی ذرت (در مترمربع) در طی دوره رشد در دو جهت کاشت (شمالی جنوبی و شرقی غربی)، دو فاصله بین ردیف (۳۵ و ۷۰ سانتی متر) و سه تراکم (۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ بوته در متر مربع)

Figure 4- Changes in corn dry matter during the growing season in two planting row directions (north-south and east-west), two row distance (35 and 70 cm) and three densities (7.5, 10 and 12.5 plants per square meter)

عملکرد بیولوژیک بیش‌تری نسبت به جهت شرقی غربی بود که دلیل آن تولید سطح برگ بیشتر و ساقه قطورتر و هم‌چنین جذب بیشتر نور خورشید و فتوسنتز بالاتر می‌باشد (Duncan and Schapaugh, 1993).

فاصله بین ردیف به‌طور معنی‌داری روی عملکرد بیولوژیک تأثیر گذاشت و با کاهش فاصله بین ردیف‌ها، عملکرد بیولوژیک ۲۰ درصد افزایش یافت. عملکرد بیولوژیک در فاصله بین ردیف

## اجزای عملکرد و عملکرد

### عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک نشان‌دهنده کارایی یک جامعه گیاهی زراعی از نظر استفاده از تشعشع نور خورشید در طول فصل رویشی است. اگرچه اثر جهت کاشت بر روی عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود (جدول ۴) ولی جهت کاشت شمالی جنوبی دارای

۳۵ سانتی متر ۱۶/۴۶ تن در هکتار بدست آمد در حالی که فاصله بین ردیف ۷۰ سانتی متر ۱۳/۶۲ تن در هکتار بود (جدول ۴). با کاهش فاصله ردیف، عملکرد بیولوژیک افزایش می یابد و این امر به دلیل افزایش رقابت برای نور و منابع دیگر است (Foroghi *et al.*, 2013). با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تراکم بر روی عملکرد بیولوژیک معنی دار نبود (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثرات جهت کاشت، فاصله ردیف و تراکم بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد علوفه تر و شاخص برداشت ذرت  
Table 4- Analysis of variance of the effects of planting row direction, row distance and crop density on biomass, grain yield, forage yield and harvest index of corn

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	عملکرد علوفه تر
S.O.V	df	Biomass	Grain yield	Harvest index	Forage yield
جهت کاشت	1	17622504.3 <sup>ns</sup>	18062500 <sup>ns</sup>	126.10 <sup>ns</sup>	59649877.7 <sup>ns</sup>
Row direction (a)					
خطا (جهت کاشت)	4	28114040.8	19586805.55	197.65	16107069.4
Error (Row direction)					
فاصله بین ردیف	1	72782226.6 <sup>**</sup>	32585069.44 <sup>**</sup>	12.15 <sup>ns</sup>	2330711.1 <sup>ns</sup>
Row distance (b)					
تراکم بوته	2	12569770.0 <sup>ns</sup>	7880642.36 <sup>ns</sup>	30.99 <sup>ns</sup>	176978352.8 <sup>**</sup>
Crop density (c)					
فاصله بین ردیف × تراکم	2	1656575.5 <sup>ns</sup>	2482204.86 <sup>ns</sup>	117.80 <sup>ns</sup>	26059586.1 <sup>ns</sup>
c × b					
جهت کاشت × فاصله بین ردیف	1	8567816.8 <sup>ns</sup>	390625.78 <sup>ns</sup>	81.57 <sup>ns</sup>	17556100 <sup>ns</sup>
b × a					
جهت کاشت × تراکم	2	821723.1 <sup>ns</sup>	1485677.08 <sup>ns</sup>	11.46 <sup>ns</sup>	8142886.1 <sup>ns</sup>
c × a					
جهت کاشت × تراکم × فاصله بین ردیف	2	8630316.8 <sup>ns</sup>	321614.58 <sup>ns</sup>	112.22 <sup>ns</sup>	1493880.3 <sup>ns</sup>
c × b × a					
خطا	20	6095941.8	2564930.6	41.96	9690349.4
Error					
ضریب تغییرات	-	16.41	18.87	11.68	8.58
CV%					

\*\* و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۱ و غیر معنی دار

\*\* and ns: Significant at 1% probability levels respectively and not significant

جدول ۵- مقایسه میانگین های اثرات جهت کاشت، فاصله ردیف و تراکم بر صفات مورد بررسی ذرت

تیمارها	سطوح عامل های آزمایشی	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	عملکرد علوفه تر
Treatments	Levels of experiment factor	Biomass (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Grain yield (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Forage yield (Kg.ha <sup>-1</sup> )
جهت کاشت	NS	15740 <sup>a</sup>	9194 <sup>a</sup>	38035 <sup>a</sup>
Row direction	EW	14340 <sup>a</sup>	7777 <sup>a</sup>	35461 <sup>a</sup>
	LSD (0.05)	4907.2	4095.9	3714.3
فاصله ردیف	35 cm	16462 <sup>a</sup>	9437 <sup>a</sup>	37002 <sup>a</sup>
Row distance	70 cm	13618 <sup>b</sup>	7534 <sup>b</sup>	36493 <sup>a</sup>
	LSD (0.05)	1716.7	1113.6	2164.5
تراکم	7.5	13859 <sup>a</sup>	7604 <sup>b</sup>	32608 <sup>c</sup>
Density	10	15677 <sup>a</sup>	9198 <sup>a</sup>	37443 <sup>b</sup>
	12.5	15583 <sup>a</sup>	8656 <sup>ab</sup>	40193 <sup>a</sup>
	LSD (0.05)	2102.6	1363.9	2650.9

میانگین های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪، آزمون PLSD دارای تفاوت معنی داری نیستند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level 5% base on PLSD test.

## عملکرد دانه

اثر عامل جهت کاشت و تراکم بر روی صفت عملکرد دانه معنی‌دار نبود ولی فاصله بین ردیف کم به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد دانه گردید (جدول ۴). بر طبق نتایج به دست آمده از این آزمایش عملکرد دانه در فاصله بین ردیف ۳۵ سانتی‌متر ۹/۴۴ تن در هکتار بدست آمد که ۱۵ درصد بیش‌تر از فاصله بین ردیف ۷۰ سانتی‌متر بود (جدول ۵). بسیاری از مطالعات، به‌ویژه آن‌هایی که در مورد تأثیر فاصله بوته هستند، گزارش دادند که فاصله مناسب بوته می‌تواند عملکرد را افزایش دهد (Piao *et al.*, 2016). در مقایسه الگوهای کاشت یک ردیفه و دو ردیفه در ذرت محققین به این نتیجه رسیدند که عملکرد دانه در الگوی کاشت دو ردیفه بیش‌تر از یک ردیفه بوده است، که این نتیجه با یافته‌های پژوهش حاضر در یک راستا است (El-Hendawy *et al.*, 2008; Azadgoleh and Kazemi, 2007).

## شاخص برداشت

شاخص برداشت نشان‌دهنده چگونگی تسهیم مواد پرورده بین اندام‌های رویشی گیاه و دانه می‌باشد. در این آزمایش با افزایش تراکم بوته، با توجه به اینکه عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه به نسبت یکسانی افزایش یافت، در نهایت شاخص برداشت تغییر محسوسی نداشت. همچنین اثر جهت کاشت، فاصله بین ردیف و نیز اثرات متقابل معنی‌دار نگردید (جدول ۴). طی تحقیقی گزارش شد فاصله ردیف اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشت (Shapiro and Wortmann., 2006).

## عملکرد علوفه تر

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش تراکم از ۷/۵ به ۱۲/۵ بوته در مترمربع، میانگین عملکرد علوفه تر به‌طور معنی‌داری از ۳۲/۶ به ۴۰/۲ افزایش یافت (جدول ۵). اثر جهت کاشت و فاصله بین ردیف بر عملکرد علوفه تر معنی‌دار نگردید (جدول ۴). در تراکم‌های پایین‌تر، گیاهان ممکن است نور بیشتری دریافت کنند و رشد بهتری داشته باشند، اما ممکن است عملکرد کلی کاهش یابد زیرا تعداد بوته‌ها کمتر است. محققین نشان دادند عملکرد علوفه تر ذرت معمولاً در تراکم‌های بالا بیشتر از سطوح پایین تراکم بود (Turget *et al.*, 2005; Larson and Hanway, 1977).

## طول بلال

طول بلال از نظر آماری به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم قرار گرفت (جدول ۶). بلندترین طول بلال از تراکم ۷/۵ بوته در متر مربع (۱۴/۳۶ سانتی‌متر) بدست آمد که ۷ درصد بیش‌تر از طول بلال در تراکم ۱۲/۵ بوته در متر مربع بود (جدول ۷). هم‌چنین مقایسه میانگین اثرات متقابل فاکتورهای مورد بررسی نشان داد که اثر متقابل سه گانه جهت کاشت، تراکم و فاصله بین ردیف در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶)؛ با توجه به نتایج بیش‌ترین طول بلال از فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر، تراکم ۱۰ بوته در متر مربع و در جهت کاشت شمالی جنوبی و کم‌ترین میزان آن از فاصله ردیف ۷۰ سانتی‌متر، تراکم ۱۲/۵ بوته در متر مربع و در جهت کاشت شرقی غربی به‌دست آمد (شکل ۵). با افزایش تراکم طول بلال کاهش یافت که دلیل آن را می‌توان به رقابت بیشتر بین گیاهان برای عوامل محیطی نظیر نور، رطوبت و مواد غذایی و کاهش دریافت نور جهت فتوسنتز مطلوب و عقیمی دانه‌ها به ویژه در نوک انتهای بلال در تراکم بالا نسبت داد. طی تحقیقی با افزایش تراکم ذرت از ۷ به ۱۰ بوته در متر مربع، طول بلال ۱۰ درصد کاهش یافت (Barkhi *et al.*, 2009).

## تعداد ردیف دانه در بلال

به‌طور کلی، تعداد ردیف دانه در بلال از جمله اجزای مهم عملکرد دانه در ذرت است که بسیار تحت تأثیر رقابت بین بوته‌ها قرار می‌گیرد (Gozubenli, 2010). تجزیه آماری داده‌های پژوهش نشان داد که تعداد ردیف دانه در بلال به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم قرار گرفت (جدول ۶) و بیش‌ترین تعداد ردیف دانه در بلال از تراکم ۷/۵ بوته در متر مربع با مقدار ۱۳/۹۰ به‌دست آمد که ۳/۷ درصد بیش‌تر از تراکم ۱۲/۵ بوته در متر مربع بود (جدول ۷). سایر پژوهش‌گران نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (Naik *et al.*, 2022). هم‌چنین مقایسه میانگین اثرات متقابل فاکتورهای مورد بررسی نشان داد که اثر متقابل دو گانه جهت کاشت و تراکم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶، شکل ۵)؛ بیش‌ترین تعداد ردیف دانه در بلال از تراکم ۱۰ بوته در متر مربع و در جهت کاشت شمالی جنوبی و کم‌ترین میزان آن از تراکم ۱۲/۵ بوته در متر مربع و در جهت کاشت شرقی غربی بدست آمد.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثرات جهت کاشت، فاصله ردیف و تراکم بر اجزای عملکرد ذرت

Table 6- Analysis of variance of the effects of planting row direction, row distance and crop density on yield components of corn

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		طول بلال Ear length	تعداد ردیف دانه Kernel rows	تعداد دانه در ردیف Kernels per row	تعداد کل دانه Total number of Kernels	وزن هزار دانه 1000- kernel weight
جهت کاشت Row direction (a)	1	0.75 <sup>ns</sup>	0.53 <sup>ns</sup>	9 <sup>ns</sup>	2844.44 <sup>ns</sup>	1823.29 <sup>ns</sup>
خطا (جهت کاشت) Error (Row direction)	4	1.93	0.37	4.13	959.59	604.11
فاصله بین ردیف Row distance (b)	1	0.11 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	2246.76 <sup>ns</sup>	66.15 <sup>ns</sup>
تراکم بوته Crop density (c)	2	3.66 <sup>*</sup>	0.77 <sup>**</sup>	49.87 <sup>**</sup>	9097.61 <sup>*</sup>	3051.13 <sup>**</sup>
فاصله بین ردیف×تراکم c×b	2	0.27 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	3.29 <sup>ns</sup>	707.77 <sup>ns</sup>	115.44 <sup>ns</sup>
جهت کاشت×فاصله بین ردیف b×a	1	0.69 <sup>ns</sup>	0.36 <sup>*</sup>	9.40 <sup>ns</sup>	961 <sup>ns</sup>	331.24 <sup>ns</sup>
جهت کاشت×تراکم c×a	2	0.81 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>*</sup>	3.64 <sup>ns</sup>	1718.67 <sup>ns</sup>	36.40 <sup>ns</sup>
جهت کاشت×تراکم×فاصله بین ردیف c×b×a	2	5.06 <sup>*</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	4.72 <sup>ns</sup>	914.01 <sup>ns</sup>	123.27 <sup>ns</sup>
خطا Error	20	0.93	0.06	8.73	2270.84	424.76
ضریب تغییرات CV%	-	6.91	1.83	11.64	13.91	7.81

\*, \*\* و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی داری

\*, \*\* and ns: Significant at 5 and 1% probability levels respectively and not significant

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های اثرات جهت کاشت، فاصله ردیف و تراکم بر صفات مورد بررسی ذرت

Table 7-Mean comparison of the effects of planting direction, row distance and density on the studied traits of corn

تیمارها Treatments	سطوح عامل‌ها یا آزمایشی Levels of experiment factor	طول بلال Ear length (cm)	تعداد ردیف دانه Kernel rows	تعداد دانه در ردیف Kernels per row	تعداد کل دانه Total number of Kernels	وزن هزار دانه 1000- kernel weight (gr)
جهت کاشت Row direction	NS	14.12 <sup>a</sup>	13.80 <sup>a</sup>	24.88 <sup>a</sup>	333.64 <sup>a</sup>	270.97 <sup>a</sup>
	EW	13.83 <sup>a</sup>	13.55 <sup>a</sup>	25.88 <sup>a</sup>	351.42 <sup>a</sup>	256.73 <sup>a</sup>
	LSD (0.05)	1.28	0.56	1.88	28.66	22.74
فاصله ردیف Row distance	35 cm	14.03 <sup>a</sup>	13.66 <sup>a</sup>	25.38 <sup>a</sup>	350.43 <sup>a</sup>	265.21 <sup>a</sup>
	70 cm	13.92 <sup>a</sup>	13.68 <sup>a</sup>	25.38 <sup>a</sup>	334.63 <sup>a</sup>	262.49 <sup>a</sup>
	LSD (0.05)	0.67	0.17	2.05	33.13	14.33
تراکم Density	7.5	14.36 <sup>a</sup>	13.90 <sup>a</sup>	27.10 <sup>a</sup>	364.67 <sup>a</sup>	279.26 <sup>a</sup>
	10	14.23 <sup>a</sup>	13.73 <sup>a</sup>	25.93 <sup>a</sup>	351.23 <sup>ab</sup>	264.88 <sup>ab</sup>
	12.5	13.35 <sup>b</sup>	13.40 <sup>b</sup>	23.13 <sup>b</sup>	311.70 <sup>b</sup>	247.42 <sup>b</sup>
	LSD (0.05)	0.82	0.21	2.51	40.58	17.55

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪، آزمون PLSD دارای تفاوت معنی داری نیستند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level%5 base on PLSD test.

تعداد ردیف دانه در بلال از فاصله ردیف ۷۰ سانتی‌متر و در جهت کاشت شمالی جنوبی و کم‌ترین میزان آن از فاصله ردیف

اثر متقابل جهت کاشت و فاصله بین ردیف نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۶، شکل ۵)؛ بیش‌ترین

متر مربع، ۱۷ درصد بیش تر از تراکم ۱۲/۵ بوته در متر مربع بود. طی تحقیقی بیش ترین تعداد دانه در ردیف بلال در تراکم ۵ بوته در متر مربع و کم ترین آن در تراکم ۸ بوته در متر مربع به دست آمد (Salehi, 2005).

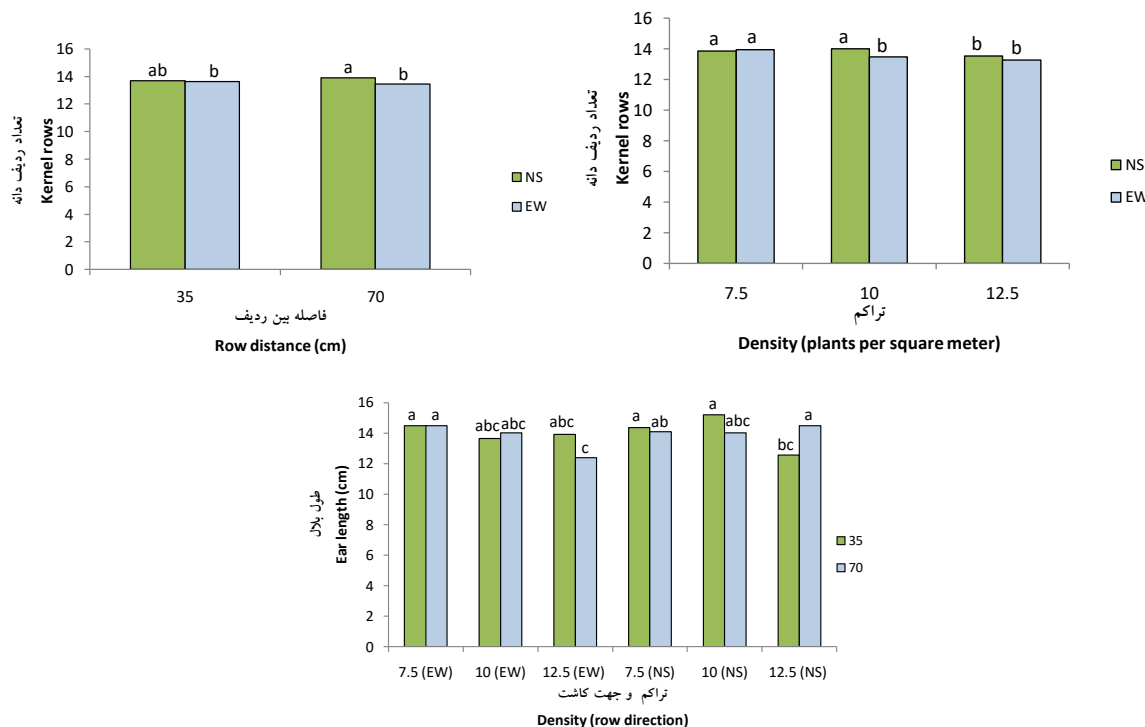
### تعداد کل دانه در بلال

تعداد دلته در بلال یکی از اجزای مهم عملکرد دلته در ذرت است که بسیار تحت تأثیر تراکم بوته قرار می گیرد. بیش ترین تعداد دانه در بلال مربوط به تراکم ۷/۵ بوته در متر مربع بود (جدول ۷). با افزایش تراکم بوته از ۷/۵ به ۱۲/۵ بوته در هکتار، تعداد دانه در بلال به طور معنی داری از ۳۶۴/۶۷ به ۳۱۱/۷۰ دانه در بلال کاهش یافت (۱۷ درصد) (جدول ۷). کاهش تعداد دانه در بلال می تواند به دلیل کاهش دریافت نور جهت فتوسنتز مطلوب و عقیمی دانه ها به ویژه در نوک انتهایی بلال در تراکم های بالا باشد. تعداد دانه در بلال تحت تأثیر جهت کاشت و فاصله بین ردیف قرار نگرفت (جدول ۶).

۷۰ سانتی متر و در جهت کاشت شرقی غربی بدست آمد. شرایط نوری بهتر در جهت کاشت شمالی جنوبی می تواند منجر به رشد قوی تر بلال شود. افزایش دسترسی به نور معمولاً از فعالیت فتوسنتزی بیشتر پشتیبانی می کند که برای توسعه دانه ها و آرایش آن ها بر روی بلال بسیار مهم است (Hydar, 2018).

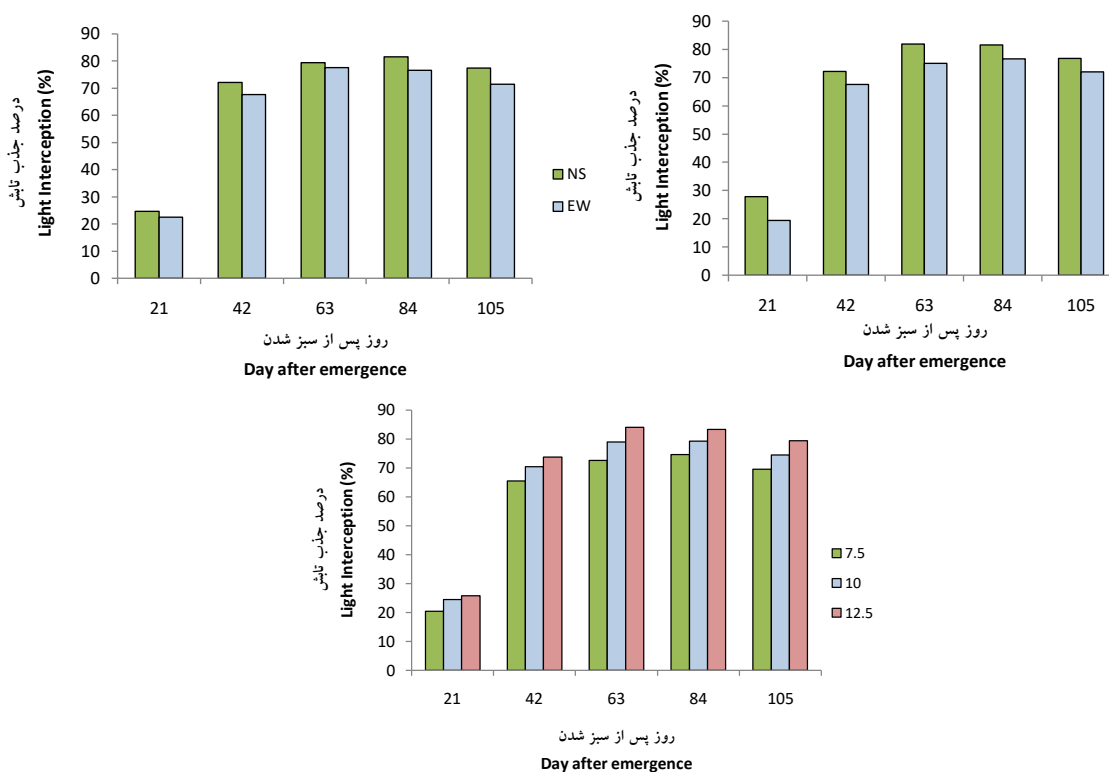
### تعداد دانه در ردیف بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تراکم به طور معنی داری بر تعداد دانه در ردیف تأثیر داشت (جدول ۶) و بیش ترین مقدار تعداد دانه در ردیف بلال (۲۷/۱۰) در تراکم ۷/۵ بوته در متر مربع به دست آمد (جدول ۷). تأثیر جهت کاشت و فاصله بین ردیف و نیز اثرات متقابل بر این شاخص معنی دار نگردید. در مرحله ای که تعداد دانه در ردیف بلال تعیین می شود رقابت بین مقاصد فیزیولوژیک برای مواد پرورده شدید می باشد، در نتیجه با کاهش فاصله بین بوته ها این رقابت شدیدتر شده و تعداد کمتری از گلچه های هر بلال بارور شده و تعداد دانه کمتری ایجاد می شود. تعداد دانه در ردیف بلال در تراکم ۷/۵ بوته در



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل جهت کاشت و تراکم، اثر متقابل جهت کاشت و فاصله بین ردیف و اثرات متقابل جهت کاشت، تراکم و فاصله بین ردیف بر صفات مورد اندازه گیری ذرت

Figure 5- Mean comparison of the interaction effect of planting row direction and density, the interaction effect of planting row direction, density and row distance on the measured traits of corn



شکل ۶- درصد جذب تشعشع برای دو جهت کاشت (شمالی جنوبی و شرقی غربی)، دو فاصله بین ردیف (۳۵ و ۷۰ سانتی متر) و سه تراکم (۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ بوته در متر مربع)

Figure 6- Light interception (%) for two planting row directions (north-south and east-west), two row distance (35 and 70 cm) and three densities (7.5, 10 and 12.5 plants per square meter)

(جدول ۶). بیشترین مقدار این شاخص از تراکم ۷/۵ بوته در مترمربع (۲۷۹/۲۶ گرم) بدست آمد که ۱۲ درصد بیش تر از تراکم ۱۲/۵ بوته در مترمربع بود (جدول ۷). طی تحقیقی با افزایش تراکم از ۶ به ۸ بوته در متر مربع، به ازاء هر یک بوته در متر مربع ذرت، وزن هزار دانه ذرت ۰/۶۵ گرم کاهش یافت (Cloninger et al., 1975).

### درصد جذب تشعشع

بررسی مقدار درصد جذب تشعشع نشان داد جهت کاشت شمالی جنوبی در تمامی مراحل اندازه گیری از جذب تشعشع بیش تری برخوردار بود (شکل ۶). همچنین با کمتر شدن فاصله بین ردیف های کاشت درصد جذب تشعشع افزایش یافت به طوری که ۲۱ روز پس از سبز شدن درصد جذب تشعشع در فاصله ردیف ۳۵ سانتی متر، ۴۲ درصد بیشتر از فاصله ردیف ۷۰ سانتی متر بود (شکل ۶). با افزایش تراکم کاشت، درصد جذب تشعشع نیز افزایش یافت (شکل ۶). مطالعات نشان داده اند که جذب نور در ردیف های شمالی جنوبی نسبت به ردیف های

عملکرد تک بوته با افزایش تعداد بوته در واحد سطح کاهش می یابد. کاهش فضای تغذیه ای گیاه باعث می شود که حجم خاک کمتری در اختیار آن گیاه قرار گیرد و موجب کاهش میزان آب و مواد غذایی قابل دسترس برای گیاه می شود. همچنین با افزایش تراکم، تعداد دانه در ردیف و تعداد کل دانه در بلال به طور معنی داری کاهش یافت؛ به طور کلی، افزایش تراکم بوته در واحد سطح و افزایش سایه اندازی ناشی از آن، باعث کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش تعداد دانه در بلال می گردد (Eskandarnajad et al., 2013). در واقع با افزایش رقابت بین بوته ها به علت نزدیکی آن ها به یکدیگر، نور دریافتی به بوته ها کاهش یافته و از این طریق ظهور کاکل به تعویق می افتد. این مهم موجب کاهش زمان مناسب برای گرده افشانی شده و کاهش تعداد دانه ها و افزایش عقبی دانه ها را در پی دارد.

### وزن هزار دانه

تجزیه آماری داده های جمع آوری شده حاکی از آن است که وزن هزار دانه به طور معنی داری تحت تأثیر تراکم قرار گرفت

### نتیجه گیری کلی

به طور خلاصه، نتایج این پژوهش نشان داد که جهت کاشت شمالی جنوبی در منطقه بیرجند موجب برتری ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ و درصد جذب تشعشع نسبت به جهت کاشت شرقی غربی گردید. فاصله ردیف‌های کم نسبت به فاصله ردیف‌های معمول موجب افزایش شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و درصد جذب تشعشع گردید. تراکم کم موجب افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد از جمله طول بلال، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف، تعداد کل دانه و وزن هزار دانه شد. با افزایش تراکم بوته‌ها، میزان جذب نور نیز افزایش یافت؛ که این امر به دلیل افزایش تعداد برگ‌ها و سطح برگ در واحد سطح است که باعث می‌شود گیاهان بیشتر از تابش نور بهره‌برداری کنند. در مجموع با توجه به نتایج این تحقیق شرایط نوری بهتر در جهت کاشت شمالی جنوبی منجر به رشد بهتر بوته‌های ذرت شد.

شرقی‌غربی به میزان ۱۰ تا ۲۳ درصد بیشتر است، بسته به فصل و شرایط جوی این افزایش جذب نور می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر رشد و تولید گیاهان داشته باشد (Sarlikoti *et al.*, 2011). مطالعات نشان داده‌اند گیاهانی که در فاصله ردیف‌های نزدیک‌تر (مانند ۱۵ سانتی‌متر) کاشته شده‌اند، بسته شدن کانوپی آنها ۲ تا ۳ روز زودتر صورت گرفت و با افزایش درصد جذب تشعشع، عملکرد بهتری نسبت به گیاهانی که در فاصله‌های بیشتر (مانند ۳۰ سانتی‌متر) کاشته شده‌اند، داشتند (Johnson and Hanson, 2003).

مطالعات نشان داده‌اند که با افزایش تراکم بوته‌ها، میزان جذب نور نیز افزایش می‌یابد. این امر به دلیل افزایش تعداد برگ‌ها و سطح برگ در یک واحد سطح است که باعث می‌شود گیاهان بیشتر از تابش نور بهره‌برداری کنند؛ در واقع اعمال تراکم‌های کمتر موجب هدر روی بخشی از نور از فضای پوشش نیافته سطح زمین می‌شود (Majd nasiri and Ahmadi, 2005).

### References

- Andrade, F.H., Calvino, P., Cirilo, A. and Barbieri, P., 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*, 94(5), pp.975–980. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.9750>
- Azadgoleh, M.A.E. and Kazemi, Z., 2007. A study of the planting pattern and density effects on yield and physiological growth parameters in two corn cultivars (*Zea mays L.*). *Ecology Environment and Conservation*, 13(3), pp.467–472.
- Balkcom, K.S., Satterwhite, J.L., Arriaga, F.J., Price, A.J. and Van Santen, E., 2011. Conventional and glyphosate-resistant maize yields across plant densities in single- and twin-row configurations. *Field Crops Research*, 120(3), pp.330–337. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.013>
- Barkhi, A., Rashed-Mohassel, M.H., Nasiri-Mahallati, M., Hosseini, S.M. and Moazzen, Sh., 2009. Effect of planting pattern and plant density on growth, yield and yield components of maize (*Zea may L.*) in competition with redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(1), pp.67-81. [In Persian].
- Bazrafshan, F., Fathi, G., Siadat, S.A., Ayenehband, A. and Alami-Saeed, K., 2005. Effects of planting pattern and plant density on yield and yield components of sweet corn. *Iranian Journal of Crop Science*, 28(3), pp.117-126. [In Persian].
- Biaziegr, P.S. and Glover, D.V., 1980. Effect of Reducing Plant Population on Yield and Kernel Characteristics of Sugary-2 and Normal Maize. *Crop Science*, 20(4), pp.444–447. <https://doi.org/10.2135/cropsci1980.0011183x002000040005x>

- Chin Choy, E.W. and Kanemasu, E.T., 1974. Energy balance comparisons of wide and narrow row spacings in sorghum. *Agronomy Journal*, 66(1), pp.98–100. <https://doi.org/10.2134/agronj1974.00021962006600010027x>
- Cloninger, F.D., Horrocks, R.D. and Zuber, M.S., 1975. Effect of harvest date, plant density and hybrid on corn grain quality. *Agronomy Journal*, 67(5), pp.693–695. <https://doi.org/10.2134/agronj1975.00021962006700050028x>
- Damavandi, A. and Haghshenas, S., 2022. Windbreak construction methods around agricultural fields. Tehran: Agricultural Research Education and Extension Organization. [In Persian].
- De Herralde, F., Biel, C. and Savé, R., 2003. Leaf photosynthesis in eight almond tree cultivars. *Biologia Plantarum*, 46(4), pp.557–561. <https://doi.org/10.1023/a:1024867612478>
- Dehghanpour, Z., 2014. Instructions for planting, growing and harvesting corn. Karaj: Seed and Plant Improvement Institute. [In Persian].
- Duncan, S. and Schapaugh, W., 1993. Row orientation and planting pattern of relay intercropped soybean and wheat. *Journal of Production Agriculture*, 6(3), pp.360–364. <https://doi.org/10.2134/jpa1993.0360>
- El-Hendawy, S.E., Abd El-Lattief, E.A., Ahmed, M.S. and Schmidhalter, U., 2008. Irrigation rate and plant density effects on yield and water use efficiency of drip-irrigated corn. *Agricultural Water Management*, 95(7), pp.836–844. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.02.008>
- Elmore, R.W., Marx, D.B., Klein, R.G. and Abendroth, L.J., 2005. Wind effect on corn leaf azimuth. *Crop Science*, 45(6), pp.2598–2604. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0586>
- Eskandarnejad, S., Khavari, S., Bakhtiari, S. and Heidarian, A.R., 2013. Effect of row spacing and plant density on yield and yield components of Sweet corn (*Zea mays* L. Saccharata) varieties. *Advanced Crop Science*, 3(1), pp.81–88.
- Foroghi, A., Gherkhlo, J. and Ghaderifar, F., 2013. Row spacing and common cocklebur interference effect on grain yield and its components of two sesame cultivars in Gorgan. *Crop Production*, 6(2), pp.101–116. [In Persian].
- Ge, X., Chen, Y., Wang, Y., Wang, B., Chao, Q., Yu, Y., Gong, X., Hao, Y., Li, L., Jiang, Y. and Lv, G.Y., 2022. Photosynthetic mechanism of high yield under an improved wide–narrow row planting pattern in maize. *Photosynthetica*, 60(3), pp.465–475. <https://doi.org/10.32615/ps.2022.032>
- Giacosa, S., Marengo, F., Guidoni, S., Rolle, L. and Hunter, J.J., 2015. Anthocyanin yield and skin softening during maceration, as affected by vineyard row orientation and grape ripeness of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. *Food Chemistry*, 174, pp.8–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.155>
- Gozubenli, H., 2010. Influence of planting patterns and plant density on the performance of maize hybrids in the eastern Mediterranean conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(4), pp.556–560.
- Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W. and Martínez de Toda, F., 2021. Strategies in vineyard establishment to face global warming in viticulture: A mini review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(4), pp.1261–1269. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10813>

- Hosseini, P., Rahimian Mashhadi, H. and Alizadeh, H., 2011. Competition of Red Root Pigweed (*Amaranthus retroflexus*) with Two Soybean (*Glycine max*) Cultivars under Sole and Intercropping Systems - Light Absorption, Soybean Growth Indices. *Iranian Journal of Weed Science*, 7, pp.25–35. [In Persian].
- Hosseinzadeh, M.h., Esfahani, M., Rabiei, M. and Rabiei, B., 2008. Effect of row spacing on light interception, grain yield and growth indices of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars as second crop following rice. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 10(3), pp.281-302. [In Persian].
- Hunter, J.J., Volschenk, C.G. and Booyse, M., 2017. Vineyard row orientation and grape ripeness level effects on vegetative and reproductive growth characteristics of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz/101-14 Mgt. *European Journal of Agronomy*, 84, pp.47–57. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.12.004>
- Hydar, L., 2018. The effect of row direction on the productivity traits of some sweet corn genotypes (*Zea mays* L. *saccharata*. sturt). *Syrian Journal of Agricultural Research*, 6(3), pp.31-43. [In Arabic].
- Johnson, B.L. and Hanson, B.K., 2003. Row-spacing interactions on spring canola performance in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 95(3), pp.703-708. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.7030>
- Larson, W.E. and Hanway, J.J., 1977. Corn and Corn Improvement. Corn production. In: G. F. Sprague, ed. pp.625—669. American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI.
- Lawson, A.N., Van Acker, R.C. and Friesen, L.F., 2006. Emergence timing of volunteer canola in spring wheat fields in Manitoba. *Weed Science*, 54(5), pp.873–882. <https://doi.org/10.1614/ws-05-169.I.1>
- Li, J., Xie, R.Z., Wang, K.R., Hou, P., Ming, B., Zhang, G.Q., Liu, G.Z., Wu, M., Yang, Z.S. and Li, S.K., 2018. Response of canopy structure, light interception and grain yield to plant density in maize. *The Journal of Agricultural Science*, 156(6), pp.785–794. <https://doi.org/10.1017/s0021859618000692>
- Liu, S.Q., Wang, Y., Song, F.B., Qi, X.N., Li, X.N. and Zhu, X.C., 2017. Responses of leaf architecture traits and yield in maize to different row orientation and planting patterns in northeast China. *Romanian Agricultural Research*, 34, pp.1–12.
- Lu, Y., Zhang, X., Chen, S., Shao, L., Sun, H. and Niu, J., 2017. Increasing the planting uniformity improves the yield of summer maize. *Agronomy Journal*, 109(4), pp.1463–1475. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.12.0718>
- Luqman, L., Hussain, Z., Ilyas, M., Khan, I.A. and Bakht, T., 2020. Influence of sowing orientation and intercropping of chilies on onion yield and its associated weeds in Peshawar, Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*. 52(1), pp.95–100. [https://doi.org/10.30848/pjb2020-1\(6\)](https://doi.org/10.30848/pjb2020-1(6))
- Maddonni, G.A. and Otegui, M.E., 1996. Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crops Research*, 48(1), pp.81–87. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00035-4](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00035-4)
- Majd Nasiri, B. and Ahmadi, M.R., 2005. Effect of planting season and density on light distribution and interception in canopy in different safflower (*Carthamus tinctorious* L.) genotypes. *Iranian Journal of Agriculture Science*. 36(1), pp.63-73. [In Persian].

- Maldera, F., Carone, V., Castellarnau, I.I., Vivaldi, G.A. and Camposeo, S., 2023. Available PAR, growth and yield of a super high-density almond orchard are influenced by different row orientations. *Agronomy*, 13(3), pp.874. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030874>
- Naik, M.R., Hemalatha, S., Reddy, A.P.K., Madhuri, K.V.N., Umamahesh, V. and Rakesh, S., 2022. Efficient Need Based Nitrogen Management in *Rabi* Maize (*Zea mays* L.) using Leaf Colour Chart Under Varied Planting Density. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 13(6), pp.586-594. <https://doi.org/10.23910/1.2022.2881a>
- Novak, L. and Ransom, J., 2018. Factors impacting corn (*Zea mays* L.) establishment and the role of uniform establishment on yield. *Agricultural Sciences*, 9(10), pp.1317–1336. <https://doi.org/10.4236/as.2018.910092>
- Piao, L., Qi, H., Li, C.F., Zhao, M., 2016. Optimized tillage practices and row spacing to improve grain yield and matter transport efficiency in intensive spring maize. *Field Crops Research*, 198, pp.258–268. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.012>
- Piao, L., Zhang, S., Yan, J., Xiang, T., Chen, Y., Li, M. and Gu, W., 2022. Contribution of fertilizer, density and row spacing practices for maize yield and efficiency enhancement in northeast china. *Plants*, 11(21), pp.2985. <https://doi.org/10.3390/plants11212985>
- Sarlikioti, V., De Visser, P.H.B. and Marcelis, L.F.M., 2011. Exploring the spatial distribution of light interception and photosynthesis of canopies by means of a functional–structural plant model. *Annals of Botany*, 107(5), pp.875–883. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr006>
- Salehi, B., 2005. Effect of row spacing and plant density on grain yield and yield components in maize (cv. Sc 704) in Miyaneh. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 6(4), pp.383-394. [In Persian].
- Shakarami, G. and Rafiee, M., 2009. Response of corn (*Zea mays* L.) to planting pattern and density in Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 5(1), pp.69-73.
- Shapiro, C.A. and Wortmann, C.S., 2006. Corn response to nitrogen rate, row spacing, and plant density in eastern Nebraska. *Agronomy Journal*, 98(3), pp.529-535. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0137>
- Souza, C.R.D., Mota, R.V.D., Silva, C.P.C., Raimundo, R.H.P. and Peregrino, I., 2019. Row orientation effects on Syrah grape vine performance during winter growing season. *Revista Ceres*, 66(3), pp.184–190. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201966030004>
- Tian, C., Han, J., Li, J., Zhen, G., Liu, Y., Lu, Y., ... and Wang, Y., 2019. Effects of row direction and row spacing on maize leaf senescence. *Plos one*, 14(4), e0215330. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215330>
- Turget, I., Duncan, A., Bilgili, U. and Acikgoz, E., 2005. Alternative row spacing and plant density effects on forage and dry matter yield of corn hybrids. *Agronomy Journal*, 20, pp.146–151. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2004.00146.x>
- Widdicombe, W.D. and Thelen, K.D., 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern Corn Belt. *Agronomy Journal*, 94(5), pp.1020–1023. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1020>

## Improving biomass production and nutrient uptake in Thyme (*Thymus vulgaris* L.) by integrated nutrition management

Zahra Tohidi-nejad <sup>a</sup>, Gholamreza Khajoei-Nejad <sup>b</sup>, Enayatollah Tohidi-nejad <sup>\*b</sup>, Jalal Ghanbari <sup>b,c</sup>

<sup>a</sup> Ph.D Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

<sup>b</sup> Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

<sup>c</sup> Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

\*Corresponding Author: [e\\_tohidi@uk.ac.ir](mailto:e_tohidi@uk.ac.ir)

Received: 1 August 2024 Accepted: 11 September 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.476283.1436

### How to cite this article:

Tohidi-nejad, Z., Khajoei-Nejad, G., Tohidi-nejad, E., and Ghanbari, J. 2025. Improving biomass production and nutrient uptake in thyme (*Thymus vulgaris* L.) by integrated nutrition management. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 275–293. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2024.476283.1436>

### Abstract

**Introduction:** Thyme (*Thymus vulgaris* L.) plant is one of the most important medicinal plants with unique medicinal properties in Iran. In arid and semi-arid regions of the world, such as Iran, the level of soil organic matter is usually very low. Therefore, maintaining and improving soil fertility is essential to maintain soil health and agricultural sustainability. Plant nutrition is considered one of the practical ways to improve the production and quality of medicinal and aromatic plants, which has largely led to the improvement of production and quality in different plants. In order to support the production of agricultural products and achieve global food security and with the aim of reducing the negative effects on the environment, a lot of emphasis has been placed on the identification and exploitation of alternative nutrient sources, such as organic and biological fertilizers. Vermicompost is one of the most important organic fertilizers that increases the growth and production of various plants, including medicinal plants. Also, biochar is a carbon-rich solid material that affects nutrient availability, water storage, and cation exchange capacity. On the other hand, arbuscular mycorrhizal fungi play an important role in the growth and productivity of the host plant by improving the acquisition of nutrients and also affect the quality of plants.

**Materials and Methods:** Morphological traits (biomass production, plant height, root weight and volume), chlorophyll and carotenoid content and nitrogen and phosphorus uptake of thyme were investigated in an experiment during two growing seasons (2019-2020 and 2020-2021). In this field experiment, the effect of different nutritional treatments including control (without fertilizer), vermicompost (12 tons per hectare), chemical fertilizer (100 kg nitrogen and 120 kg phosphorus per hectare), combined treatment of 50% vermicompost and 50% Chemical fertilizer (6 tons per hectare of vermicompost + 50 kg of nitrogen and 60 kg of phosphorus per hectare), combined treatment of 50%



vermicompost and biochar (6 tons of vermicompost + 5 tons of biochar per hectare) and combined treatment of 50% of chemical fertilizer and biochar (50 kg of nitrogen and 60 kg of phosphorus + 5 tons of biochar per hectare) that were applied to planting bed during two years were investigated. In each fertilizer treatment, the planting bed was subjected to inoculation and non-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus (*Funneliformis mosseae*).

**Results and Discussion:** the integrated treatment of vermicompost and biochar increased biomass (57%), plant height (30%), root volume (58%), root dry weight (109%) and nitrogen uptake (65%) compared to control. The highest amount of phosphorus uptake was obtained from the integrated treatment of vermicompost and biochar in the second year of growth, which showed an increase of 113% compared to the control treatment of the same year. The integrated treatment of chemical fertilizer and biochar caused an increase of 92% in the content of chlorophyll a and 64% in the content of total chlorophyll (a + b), in both of them there was no significant difference with the treatment of chemical fertilizer. All fertilizer treatments increased carotenoid content (10-18%) compared to the control, but no significant difference was observed between fertilizer treatments. In general, the first year showed higher chlorophyll a, a+b and carotenoid content than the second year. Except for chlorophyll b and carotenoid, other studied traits were significantly affected by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi.

**Conclusion:** All investigated traits except chlorophyll b and carotenoid were significantly affected by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. In general, fertilizer treatments were effective on morphological characteristics, chlorophyll and carotenoid content, and nutrient uptake in thyme plants. Among the fertilizer treatments, the integrated treatment of vermicompost and biochar had the greatest effect on the studied traits.

**Keywords:** Biochar, Mycorrhiza, Photosynthetic pigments, Plant nutrition, Vermicompost

## بهبود تولید زیست توده و جذب عناصر در آویشن باغی توسط مدیریت تغذیه تلفیقی

زهرا توحیدی نژاد<sup>۱</sup>، غلامرضا خواجویی نژاد<sup>۲</sup>، عنایت الله توحیدی نژاد<sup>۳\*</sup>، جلال قنبری<sup>۳،۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

\* مسئول مکاتبه: e\_tohidi@uk.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.476283.1436

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱

### چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثرات کودهای آلی و شیمیایی و ترکیب آن‌ها همراه با تلقیح قارچ میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) بر رشد، تغذیه و تولید زیست توده آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) طی دو سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) انجام شد. در این ارزیابی مزرعه‌ای، تیمارهای تغذیه‌ای مختلف شامل شاهد (بدون کود)، ورمی کمپوست (۱۲ تن در هکتار)، کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی (۶ تن ورمی کمپوست + ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و بیوجار (۶ تن ورمی کمپوست + ۵ تن بیوجار در هکتار) و تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی و بیوجار (۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر + ۵ تن بیوجار در هکتار) در طی دوره آزمایش، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تلقیح با میکوریزا زیست توده، ارتفاع، وزن خشک و حجم ریشه، محتوای کلروفیل، جذب نیتروژن و جذب فسفر را نسبت به عدم تلقیح بهبود داد. از طرف دیگر، کاربرد تلفیقی ورمی کمپوست و بیوجار باعث افزایش زیست توده (۵۷ درصد)، ارتفاع گیاه (۳۰ درصد)، حجم ریشه (۵۸ درصد)، وزن خشک ریشه (۱۰۹ درصد)، جذب نیتروژن (۶۵ درصد) و جذب فسفر نسبت به شاهد شد. تیمار تلفیقی کود شیمیایی و بیوجار نیز باعث افزایش ۹۲ درصدی میزان کلروفیل a (۹۲ درصد) و کلروفیل a + b (۶۴ درصد) شد. براساس نتایج، تلقیح با میکوریزا و همچنین کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و ورمی کمپوست با بیوجار برای تولید آویشن قابل توصیه است.

**واژه‌های کلیدی:** بیوجار، تغذیه گیاه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، میکوریزا، ورمی کمپوست

### مقدمه

سل، سرفه‌های تحریک‌پذیر و سرفه‌های اسپاسمی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Prasanth Reddy et al., 2014). بنابراین برای پرورش دهندگان این گیاه، افزایش تولید زیست توده توأم با کیفیت قابل قبول از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مناطق خشک و نیمه خشک جهان مانند ایران، سطح ماده آلی خاک معمولاً بسیار کم است. بنابراین، حفظ و بهبود حاصلخیزی خاک برای حفظ سلامت خاک و پایداری کشاورزی از اهمیت اساسی برخوردار است (Afshar et al., 2014). آویشن گیاهی چندساله می‌باشد در نتیجه حفظ حاصلخیزی خاک به مدت طولانی برای دستیابی به تولید بالا و سودآوری در واحد سطح ضروری است. تغذیه گیاهی یکی از راه‌های کاربردی در جهت بهبود تولید و کیفیت گیاهان دارویی و معطر در نظر گرفته می‌شود که تا حد زیادی منجر به بهبود تولید و کیفیت در گیاهان مختلف شده است

آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) یک گیاه چند ساله علفی، معطر و دارویی از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است که به صورت تجاری در مقیاس وسیع در بسیاری از کشورها کشت می‌شود و ارزش اقتصادی بالایی از خود نشان داده است (Badi et al., 2004). مردم برای قرن‌ها از آویشن به عنوان یک طعم دهنده در آشپزی و یا به عنوان گیاه دارویی استفاده کرده‌اند (Stahl-Biskup and Sáez, 2002). امروزه اندام‌های هوایی آویشن به دلیل اثرات ضد التهابی، ضد اسپاسم، خلط‌آور و آنتی‌اکسیدانی آن برای مصارف دارویی مختلف مورد استفاده می‌باشد (Bigdeloo et al., 2017). گیاه آویشن باغی یکی از مهمترین و شناخته شده‌ترین گیاهان دارویی در ایران است که با خواص دارویی منحصر به فرد برای درمان انواع بیماری‌ها مانند آنفلوانزا، سرماخوردگی، سینوزیت، برونشیت حاد و مزمن،

استفاده‌ی آن به تنهایی پتانسیل کمی برای بهبود رشد و تغذیه گیاه دارد (Fischer and Glaser, 2012). در نتیجه در بیشتر مطالعات انجام شده کاربرد بیوچار در تلفیق با منابع عنصری آلی و معدنی توصیه شده است (Fischer and Glaser, 2012; Rivelli and Libutti, 2022). به طور کلی، می‌توان گفت استفاده از بیوچار در بهبود کارایی کودها نقش دارد (Agegnehu et al., 2016). به عنوان مثال در مطالعه‌ای که اثر بیوچار و کاربرد توأم آن با کود معدنی و آلی را بر ویژگی‌های خاک، رشد و محتوای مواد مغذی چغندر سوئیسی مورد ارزیابی قرار داد اظهار داشت استفاده مشترک از بیوچار و ورمی‌کمپوست گزینه بهتری برای افزایش عملکرد چغندر سوئیسی و در عین حال حفظ کیفیت غذایی و سلامتی محصول است (Rivelli and Libutti, 2022). همچنین کاربرد تلفیقی بیوچار با ۵۰ درصد مقدار کمپوست در تلفیق با مایکوریزا موجب بهبود خصوصیات مختلف خاک، تغذیه و تولید زیست‌توده زعفران شده است (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021).

طی سال‌های اخیر استفاده از کودهای شیمیایی به منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی، منجر به بحران آلودگی‌های زیست محیطی و به ویژه آلودگی منابع آب و خاک شده است، که این آلودگی‌ها به‌طور پیوسته به منابع غذایی مورد استفاده انسان‌ها راه یافته و سلامت جامعه بشری را مورد تهدید قرار داده است. امروزه کودهای زیستی به عنوان گزینه‌ای جایگزین برای کاهش کاربرد کودهای شیمیایی، افزایش کارایی کاربرد کودهای آلی و شیمیایی و افزایش حاصلخیزی خاک در تولید پایدار مطرح شده‌اند (Cavagnaro, 2015; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021). از این گذشته، کشاورزی مدرن به‌طور فزاینده‌ای به سیستم‌های بیولوژیکی تأمین عناصر غذایی وابسته است (Cavagnaro, 2015). در این راستا، قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار ارتباط همزیستی متقابل را با اکثر گونه‌های گیاهی نشان داده‌اند و نقش مهمی در رشد و بهره‌وری گیاه میزبان از طریق بهبود اکتساب مواد مغذی دارند (Cavagnaro, 2015) و بر بهبود کیفیت گیاهان نیز اثرگذار می‌باشد (Ghanbari et al., 2019b; Ghanbari et al., 2019a). نتایج تحقیقات بر تاثیر مطلوب کودهای زیستی روی گیاهان مختلف از جمله آویشن باغی دلالت دارند (Vital et

Ghanbari et al., 2019a; Ghanbari et al., 2019b; Shalaby and Razin, 1992). عملکرد آویشن به شدت تحت تأثیر کودهای آلی و شیمیایی (Pal et al., 2016) همچنین میکروارگانیزم‌های مفید (Yadegari et al., 2012) قرار می‌گیرد. موفقیت در امر افزایش تولید، عموماً مستلزم افزایش ورود عناصر غذایی به‌میزان مناسب بوده که به موازات آن، باعث افزایش خروجی محصول شود. از سوی دیگر تولیدات کشاورزی با چالش در رسیدن به تعادل مناسب بین رعایت مقررات زیست محیطی و سوددهی مواجه است (Godfray et al., 2010). بنابراین، برای حمایت از تولید محصولات کشاورزی و رسیدن به امنیت غذایی در سطح جهان و با هدف کم کردن اثرات سوء بر محیط زیست، تاکید زیادی روی شناسایی و بهره‌برداری از منابع مواد مغذی جایگزین، همچون کودهای آلی و زیستی شده است (Cavagnaro, 2015).

ورمی‌کمپوست یکی از مهم‌ترین کودهای آلی است که منبع غنی از عناصر ماکرو، میکرو، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و هورمون‌های محرک رشد گیاه است که سبب افزایش رشد و تولید گیاهان مختلف از جمله گیاهان دارویی می‌گردد (Prabha et al., 2007). ورمی‌کمپوست با تثبیت نیتروژن و حل کردن فسفر، دسترسی نیتروژن و فسفر را برای گیاه افزایش می‌دهد (Gholami et al., 2018). این کودهای آلی علاوه بر تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه، موجب حفظ سلامت خاک و محیط زیست نیز می‌شوند (Arancon et al., 2005). اما گونه‌ها و وارته‌های گیاهی خاص از نظر پارامترهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به روشی منحصر به فرد به ورمی‌کمپوست پاسخ می‌دهند (Makkar et al., 2023).

بیوچار، یک ماده جامد غنی از کربن (Praveen et al., 2022) می‌باشد که اخیراً توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Munir et al., 2020; Ali et al., 2017). این ماده بر دسترسی مواد مغذی، ذخیره آب و ظرفیت تبادل کاتیونی مؤثر می‌باشد (Warnock et al., 2007). همچنین ساختار خاص بیوچار زیستگاه مناسبی برای میکروارگانیزم‌های خاک فراهم می‌آورد (Fischer and Glaser, 2012). بیوچار علی‌الرغم داشتن خصوصیات مثبت به‌ویژه اثرات مثبت بر روی خصوصیات فیزیکی خاک، محتوای عنصری پائینی داشته و به همین دلیل

شیمیایی و ترکیب آن‌ها همراه با تلقیح قارچ‌های آربوسکولار-مایکوریزا بر برخی صفات آویشن انجام شد.

### مواد و روش‌ها

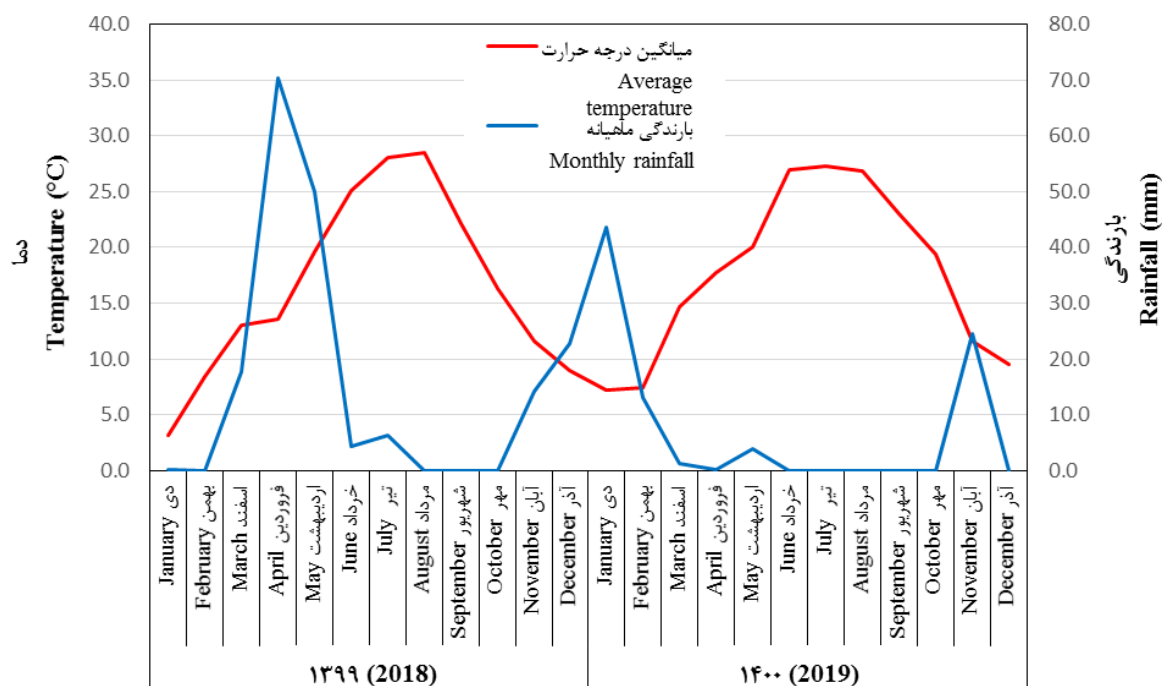
#### مشخصات محل انجام آزمایش و تیمارهای مورد

##### بررسی

گیاهان آویشن مورد تجزیه و تحلیل برای این مطالعه در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان (طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۰۷ دقیقه و ۱۵ ثانیه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۰ ثانیه شمالی و ارتفاع ۱۷۷۴ متر از سطح دریا) در دو سال متوالی (۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) کشت شدند. داده‌های هواشناسی (اطلاعات بارش و دمای هوا) منطقه اجرای آزمایش در طول دوره انجام آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. نمونه‌برداری از خاک مزرعه از ده نقطه‌ی زمین و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر با الگوی تصادفی (Estefan, 2013) انجام و پس از مخلوط شدن و آنالیز نتایج حاصله در جدول ۱ ارائه شد.

(*al., 2002*). باکتری‌های همزیست مایکوریزا زیست‌توده را افزایش می‌دهند و رشد گیاه را عمدتاً با افزایش جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو بهبود می‌بخشند (*Hodge et al., 2001*). همچنین، تلقیح مایکوریزا نشان داده است که می‌تواند به‌طور مؤثر وضعیت مواد مغذی، کارایی مصرف مواد مغذی (*Tavarini et al., 2018*) و برخی خواص خاک (*Celik et al., 2010*) را افزایش دهد. ورمی‌کمپوست، بیوجار و قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا و همچنین انواع مختلف اصلاح‌کننده‌های ارگانیک به‌طور گسترده برای تغذیه محصولات ارگانیک به‌منظور بهبود سلامت خاک، حاصلخیزی، عملکرد زراعی و افزایش بهره‌وری کشاورزی استفاده می‌شوند (*Cavagnaro, 2015; Fischer and Glaser, 2012; Zandvakili et al., 2017*). اگرچه تأثیر کودهای آلی و شیمیایی مختلف در افزایش عملکرد گیاه به‌خوبی مستند شده است (*Pandey and Patra, 2015*), اما اطلاعات کمی در مورد اثرات ترکیبی ارائه شده توسط استفاده همزمان از کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد گیاه و کیفیت آن در گیاهان دارویی وجود دارد.

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات کودهای آلی و



شکل ۱- اطلاعات اقلیمی (میانگین درجه حرارت ماهانه و بارندگی ماهانه) منطقه اجرای آزمایش بین سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰

Figure 1- Climatic information (Average monthly temperature and monthly rainfall) of the experiment implementation area between 2018 and 2019

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil where the experiment was carried out

Soil type	Bulk density (gr/cm <sup>3</sup> )	Cation exchange capacity (meq/100g)	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)	فسفر قابل جذب Available P (ppm)	نیتروژن N (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (mS/cm)	اسیدیته pH
لوم شنی Sandy-loam	1.55	8.19	241	2.60	0.075	0.28	3.2	7.88

در این مطالعه، ۶ تیمار کودی شامل (۱) شاهد (بدون کاربرد کود)، (۲) ورمی کمپوست (۱۲ تن در هکتار)، (۳) کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، (۴) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی (۶ تن در هکتار ورمی کمپوست + ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، (۵) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و بیوجار (۶ تن ورمی کمپوست + ۵ تن بیوجار در هکتار) و (۶) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی و بیوجار (۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر + ۵ تن بیوجار در هکتار) در یک قطعه زمین، در طول دو سال زراعی اعمال شد. تمام مقادیر کودهای آلی و مقادیر مورد نظر برای کود فسفر در ابتدای آزمایش به خاک اضافه گردید. برای کودهای نیتروژنه، نصف مقدار در سال اول (۱۳۹۹-۱۳۹۸) در دو قسط (۲۰ و ۳۰ کیلوگرم) و نصف آن در طول سال دوم

در این مطالعه، ۶ تیمار کودی شامل (۱) شاهد (بدون کاربرد کود)، (۲) ورمی کمپوست (۱۲ تن در هکتار)، (۳) کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، (۴) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی (۶ تن در هکتار ورمی کمپوست + ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، (۵) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد ورمی کمپوست و بیوجار (۶ تن ورمی کمپوست + ۵ تن بیوجار در هکتار) و (۶) تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی و بیوجار (۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم فسفر + ۵ تن بیوجار در هکتار) در طول دو سال زراعی اعمال شد. تمام مقادیر کودهای آلی و مقادیر مورد نظر برای کود فسفر در ابتدای آزمایش به خاک اضافه گردید. برای کودهای نیتروژنه، نصف مقدار در سال اول (۱۳۹۹-۱۳۹۸) در دو قسط (۲۰ و ۳۰ کیلوگرم) و نصف آن در طول سال دوم

جدول ۲- ویژگی‌های ورمی کمپوست و بیوجار مورد استفاده

Table 2- Characteristics of vermicompost and biochar used

Type of organic fertilizer	فسفر P (%)	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (mS/cm)	اسیدیته pH
ورمی کمپوست Vermicompost	1.00	0.85	14.93	-	1.6	9.35
بیوجار Biochar	0.05	0.3	19.1	32.9	0.001 (1:10)	8.75 (1:10)

طی فصل رشد، آبیاری و مبارزه با علف‌های هرز به‌طور یکنواخت برای تمام کرت‌ها انجام شد. در اواخر فصل رشد زمانی که گیاه حدوداً به ۵۰ درصد گلدهی رسید، نمونه‌برداری از کرت‌های مختلف صورت گرفته و جهت انجام آزمایشات بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند.

نمونه با احتیاط برداشت و خاک اطراف آن‌ها در آب کاملاً شسته شده و ریشه‌ها بدون آسیب دیدگی از منطقه یقه جدا شدند سپس جهت اندازه‌گیری وزن خشک و حجم ریشه به آزمایشگاه منتقل شدند.

#### عملکرد، ارتفاع، وزن خشک و حجم ریشه

ارتفاع با استفاده از خط‌کش (با دقت میلی‌متر) اندازه‌گیری

همچنین برای برداشت ریشه به صورت تصادفی از هر کرت

واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.1 (SAS, Cary, NC, USA) و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ( $P \leq 0.05$ , LSD) انجام شد.

## نتایج و بحث

### عملکرد و ارتفاع

زیست‌توده آویشن به طور معنی‌داری تحت تأثیر تلقیح با میکوریزا و تیمارهای کودی قرار گرفت اما اثر متقابل آن‌ها، اثر سال و اثر متقابل عوامل مورد بررسی در سال معنی‌دار نشد. همه تیمارهای کودی زیست‌توده‌ی گیاه آویشن را به نسبت تیمار شاهد افزایش دادند. بیشترین میزان زیست‌توده از تیمار مخلوط ورمی کمپوست و بیوچار به‌دست آمد (جدول ۳) که باعث افزایش ۵۷ درصدی زیست‌توده نسبت به شاهد شد. از طرف دیگر، تلقیح با میکوریزا، منجر به افزایش زیست‌توده (۱۲/۷۲ درصد) گیاه آویشن شد (جدول ۴).

در مطالعه‌ای که اثر بیوچار و کاربرد توأم آن با کود معدنی و آلی را بر روی گیاه چغندر سوئیسی<sup>۱</sup> مورد ارزیابی قرار دادند، گزارش شد استفاده مشترک از بیوچار و ورمی کمپوست گزینه بهتری برای افزایش عملکرد چغندر سوئیسی و در عین حال حفظ کیفیت غذایی و سلامتی محصول است (Rivelli and Libutti, 2022). همچنین در بررسی دیگری که تأثیر سطوح کودی شامل شاهد، ورمی کمپوست، بیوچار و ورمی کمپوست همراه با بیوچار بر عملکرد گیاهان گندم کشت شده در تیمارهای مختلف آب آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت، نویسندگان ادعا کردند هنگامی که ورمی کمپوست در ترکیب با بیوچار استفاده شد، افزایش بیشتری در رشد و عملکرد ثبت شد و بیوچار اثر مفید ورمی کمپوست بر عملکرد گیاه را برجسته کرد (Hafez et al., 2021).

در نتیجه این می‌تواند بیانگر اثر هم‌افزایی ورمی کمپوست و بیوچار باشد که با نتایج این مطالعه نیز مطابقت دارد. از طرفی اثر مثبت این تیمار می‌تواند به تأثیر آن بر خصوصیات مختلف خاک مرتبط باشد. در همین زمینه، گزارش شد که کاربرد

و اعداد به‌دست‌آمده بر حسب واحد سانتی‌متر گزارش شد. اندام‌های هوایی آویشن برداشت شده، در سایه و در دمای اتاق و ریشه‌های آویشن در آون با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (زیست‌توده‌ی اندام هوایی به عنوان زیست‌توده در نظر گرفته شد). برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد. حجم ریشه از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن ریشه در حجم مشخصی از آب به دست آمد (Böhm and Böhm 1979).

### محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

برای سنجش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید از روش لیچن تالر (Lichtenthaler, 1987) استفاده شد. ۰/۱ گرم از برگ‌های تازه‌ی گیاه در هاون چینی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ ساییده شد و پس از سانتریفیوژ کردن، جذب آن با دستگاه اسپکتروفوتومتر (Bio tek, Winooski, VT, USA) در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر در برابر شاهد (استون ۸۰٪) خوانده شد. غلظت رنگیزه‌های گیاهی با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۴ محاسبه گردید.

$$\text{Chl a} = (12.25 \times A_{663.2} - 2.79 \times A_{646.8}) \quad (1)$$

$$\text{Chl b} = (21.50 \times A_{646.8} - 5.10 \times A_{663.2}) \quad (2)$$

$$\text{Chl a+b} = (7.15 \times A_{663.2} + 18.71 \times A_{646.8}) \quad (3)$$

$$\text{Car} = [(1000 \times A_{470} - 1.82 \times \text{Chl a} - 85.02 \times \text{Chl b}) / 198] \quad (4)$$

### تعیین جذب نیتروژن و فسفر در گیاه آویشن باغی

برای به‌دست آوردن غلظت نیتروژن برگ از روش کج‌لدال (Bremner, 1960) استفاده شد و همچنین غلظت فسفر برگ بعد از هضم مواد گیاهی توسط اسید سولفوریک براساس روش رننگ سنجی وانادیم مولیبدات (Chapman and Pratt, 1962) تعیین شد. جذب عناصر (N<sub>p</sub>) از ضرب زیست‌توده (TB) (g m<sup>-2</sup>) اندام هوایی در غلظت عنصر (N<sub>c</sub>) (درصد) حاصل شد (رابطه ۵).

$$\text{NU}_p (\text{g m}^{-2}) = (\text{TB} \times \text{N}_c) / 100 \quad (5)$$

### تجزیه‌های آماری

داده‌های حاصل به صورت کرت‌های خرد شده در دو سال مورد ارزیابی توسط تجزیه مرکب تجزیه و آنالیز شدند. تجزیه

<sup>1</sup> Swiss chard

هم‌زیستی آویشن باغی با میکوریزا موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی و تعداد شاخه‌های این گیاه شد (Sasanelli et al., 2009). این موضوع نشان می‌دهد که مایکوریزا به جذب بیشتر آب، مواد غذایی، پتاسیم، فسفر، نیتروژن و مواد معدنی به گیاه کمک بیشتری کرده (Nautiyal et al., 2010) که در نتیجه استقرار و رشد گیاه و تولید زیست‌توده را نسبت به گیاهان شاهد در شرایط سخت محیطی افزایش می‌دهد (Caravaca et al., 2002).

تلفیقی بیوچار با ۵۰ درصد مقدار کمپوست در تولید گیاه زعفران، با بهبود قابل توجه خصوصیات مختلف خاک، موجب بهبود تولید زیست‌توده و تغذیه در این گیاه شده است (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021).

در بررسی‌های انجام شده مشخص شد که میکوریزا با فراهم کردن بیشتر میزان فسفر، منگنز و آهن در اندام هوایی گیاه دارویی آویشن باغی موجب افزایش تعداد شاخ و برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ و وزن خشک ساقه این گیاه شده است (Dolatabadi et al., 2012). در پژوهش دیگری

جدول ۳- اثرات تیمارهای کودی مختلف بر زیست‌توده، ارتفاع، حجم ریشه و وزن خشک ریشه

Table 3- Effects of different fertilizer treatments on Biomass, Plant height, Root volume and Root dry weight

تیمار کودی Fertilizer treatment	زیست توده Biomass (gr/m <sup>2</sup> )	ارتفاع Plant high (cm)	وزن خشک ریشه Root dry weight (gr)	حجم ریشه Root volume (cm <sup>3</sup> )
شاهد Control	d 16.18 108.34 ±	2.62 c 19.98 ±	d 0.46 2.48 ±	d 0.81 5.72 ±
ورمی کمپوست Vermicompost	20.54 cd 117.94 ±	bc 3.47 22.78 ±	bc 0.58 3.45 ±	c 0.9 6.36 ±
ورمی کمپوست + بیوچار biochar+Vermicompost	a 25.5 169.98 ±	a 4.39 28.72 ±	a 1.01 5.19 ±	a 9.05 ± 1.12
کود شیمیایی Chemical fertilizer	b 21.01 148.33 ±	ab 3.08 25.91 ±	b 0.74 3.84 ±	bc 1.03 7.29 ±
کود شیمیایی + بیوچار Biochar+Chemical fertilizer	c 17.41 131.15 ±	b 3.01 24.84 ±	bc 0.68 3.67 ±	b 0.90 7.68 ±
ورمی کمپوست + کود شیمیایی Chemical +Vermicompost fertilizer	c 18.47 126.17 ±	b 4.40 23.64 ±	c 0.62 3.16 ±	c 1.01 6.99 ±
p-value	<.0001	0.0019	<.0001	<.0001

برای هر صفت مورد بررسی، میانگین‌های (± خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت آماری معنی‌دار (۰/۰۵) می‌باشند. (LSD; P≤)

For each investigated trait, the averages (± standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum statistically significant difference test (LSD; P≤0.05).

جدول ۴- اثر قارچ مایکوریزا بر تولید زیست‌توده، ارتفاع، حجم ریشه و وزن خشک ریشه

Table 4- The effect of mycorrhizal fungi on biomass production, plant height, root volume and root dry weight

مایکوریزا Mycorrhiza	زیست توده Biomass (gr/m <sup>2</sup> )	ارتفاع Plant high (cm)	وزن خشک ریشه Root dry weight (gr)	حجم ریشه Root volume (cm <sup>3</sup> )
عدم تلقیح Non-inoculated	97 <sup>b</sup> 23.66 ± 125	20 <sup>b</sup> 4.30 ± 23	<sup>b</sup> 86.0 19 ± 3	12 <sup>b</sup> 1.64 ± 6
تلقیح Inoculated	<sup>a</sup> 10.30 65 ± 141	<sup>a</sup> 39.4 32 ± 25	<sup>a</sup> 09.1 07 ± 4	49 <sup>a</sup> 1.66 ± 7
p-value	0.0007	0.0111	<.0001	<.0001

برای هر صفت مورد بررسی در هر ستون، میانگین‌های (میانگین ± خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت آماری معنی‌دار (۰/۰۵) می‌باشند. (LSD; P≤)

For each investigated trait, the averages (± standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum statistically significant difference test (LSD; P≤0.05).

و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر وزن خشک و حجم ریشه اثر معنی‌داری داشتند اما اثر سال و اثر متقابل عوامل مورد بررسی بر این صفات، معنی‌دار نبود. بیشترین مقادیر وزن خشک و حجم ریشه از تیمار مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوچار و کمترین آن از تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۳). تلقیح با قارچ مایکوریزا نیز باعث افزایش وزن خشک (۲۸ درصد) و حجم ریشه (۱۵ درصد) نسبت به عدم تلقیح شد (جدول ۴).

ورمی‌کمپوست سلامت و ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند بافت و ساختار آن را بهبود می‌بخشد. خواص فیزیکی خاک تا حد زیادی بر نفوذ ریشه‌های گیاه، حجم ریشه و جذب مواد مغذی تأثیرگذار است. در مطالعه‌ای که برای بررسی اثر ورمی‌کمپوست بر رشد گیاه انجام شد دریافتند که کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش ۵۷ درصدی در زیست‌توده‌ی ریشه می‌گردد (Blouin et al., 2019)، در مطالعه‌ی ما ورمی‌کمپوست و مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوچار به ترتیب ۳۹ و ۱۰۹ درصد وزن خشک ریشه را افزایش دادند.

ریشه‌های گیاه در بسترهای حاوی بیوچار به خوبی رشد می‌کنند. با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی ریزوسفر، کاهش مقاومت خاک در برابر رشد ریشه مشاهده می‌شود (Altland and Locke, 2013). بیوچار همچنین می‌تواند نفوذپذیری آب خاک را بهبود بخشد و نفوذ ریشه را تسهیل کند و کلونیزاسیون ریشه در حجم بزرگتری از خاک را افزایش دهد (Atkinson et al., 2010). در بررسی که بر تأثیر سطوح کودی شامل شاهد، ورمی‌کمپوست، بیوچار و مخلوط ورمی‌کمپوست با بیوچار در تیمارهای مختلف آب آبیاری انجام شد، بیشترین میزان وزن خشک و تر ریشه‌ی گیاه بادمجان از تیمار مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوچار در شرایط آبیاری نرمال مشاهده گردید (Ebrahimi et al., 2021). افزایش وزن و حجم ریشه به‌وسیله تلقیح با مایکوریزا نیز توسط محققان متعددی گزارش شده است (Chandrasekaran, 2022; Shao et al., 2018).

### محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

نتایج نشان داد که محتوای کلروفیل a و a+b در آویشن به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی، تلقیح با مایکوریزا و سال رشد قرار گرفتند اما برای کلروفیل b هیچ

ارتفاع گیاه آویشن تحت تأثیر تلقیح با مایکوریزا و تیمارهای کودی قرار گرفت اما اثر معنی‌داری برای سایر عوامل و اثر متقابل آن‌ها مشاهده نشد. درحالی‌که تیمارهای کودی مختلف باعث افزایش ارتفاع گیاه آویشن نسبت به شاهد شدند، بیشترین میزان آن از تیمار مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوچار به‌دست آمد (۳۰ درصد افزایش نسبت به شاهد) که تفاوت معنی‌داری با تیمار کود شیمیایی نشان نداد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد گیاهان آویشن تلقیح شده با مایکوریزا از ارتفاع بیشتری نسبت به گیاهان رشد یافته در شرایط عدم تلقیح برخوردار بودند (جدول ۴).

بیوچار و ورمی‌کمپوست می‌توانند مکمل یکدیگر باشند زیرا ورمی‌کمپوست مواد مغذی را فراهم می‌کند و بیوچار ظرفیت تبادل کاتیونی و تثبیت کربن را در دراز مدت افزایش می‌دهد (Fischer and Glaser, 2012; Mukherjee and Lal, 2013). در یک مطالعه با بررسی اثر تغذیه تحت شرایط آبیاری مختلف بر گیاه بادمجان، بیشترین ارتفاع گیاهان را در کرت‌های تیمار شده با مخلوط ورمی‌کمپوست و بیوچار در شرایط نرمال آبی مشاهده کردند (Ebrahimi et al., 2021). طول ساقه احتمالاً به دلیل نقش بیوچار و ورمی‌کمپوست در افزایش مواد معدنی به‌خصوص افزایش قابلیت دسترسی فسفر افزایش یافته است که رشد ریشه و جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهد (Hussain et al., 2017; Ebrahimi et al., 2021).

اثر ترکیبی فراهمی زیستی مواد معدنی و هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و جیبرلین بر رشد ارتفاع گیاه موثر است (Souri and Sooraki, 2019). بیوچار با گروه‌های عاملی فعال، خواص شیمیایی خاک مانند ظرفیت تبادل کاتیونی را بهبود می‌بخشد و دسترسی گیاه به مواد مغذی و در نتیجه رشد بهتر گیاه را موجب می‌شود (Keabetswe et al., 2019).

در یک گزارش حداکثر ارتفاع بوته در گیاه لوبیای فرانسوی<sup>۱</sup> از گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*) مشاهده شد (Chauhan et al., 2012).

### وزن خشک و حجم ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کودهای مختلف

<sup>۱</sup> *Phaseolus vulgaris*

در مطالعه‌ای مشاهده گردید که کاربرد بیوجار به همراه کود آلی یا معدنی باعث افزایش محتوای کلروفیل در گیاه سویا شد و در نهایت توصیه کردند که کاربرد بیوجار می‌تواند مصرف کودهای آلی و معدنی را کاهش دهد، صفات زراعی سویا را بهبود بخشد و نقش مثبتی در بهبود وضعیت عناصر غذایی خاک و میکروارگانیزم‌های خاک ایفا کند (Liu et al., 2022). در مطالعه‌ای که تأثیر سطوح کودی شامل شاهد، ورمی کمپوست، بیوجار و ورمی کمپوست همراه با بیوجار در کنار تیمارهای مختلف آب آبیاری را مورد بررسی قرار می‌داد، اظهار داشتند که ورمی کمپوست در ترکیب با بیوجار باعث افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید به نسبت شاهد در گیاه گندم شد (Hafez et al., 2021) که با نتایج ما در این مطالعه مطابقت دارد. در تحقیقی که از سه منبع مختلف کود شامل کود شیمیایی (دی آمونیوم فسفات)، ورمی کمپوست و کود دامی و دو رقم پنبه استفاده شد اظهار داشتند که بالاترین محتوای کلروفیل از تیمار کود شیمیایی حاصل شد (Cevheri et al., 2022) که در مطالعه‌ی ما نیز بعد از تیمار مخلوط کود شیمیایی و بیوجار بالاترین مقدار کلروفیل از تیمار کود شیمیایی به دست آمد.

اختلاف معنی‌داری بین عوامل مورد بررسی مشاهده نشد. محتوای کلروفیل a و a+b در همه‌ی تیمارهای کودی نسبت به شاهد افزایش نشان داد و بیشترین محتوا از تیمار مخلوط کود شیمیایی و بیوجار به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کود شیمیایی نداشت (جدول ۵).

محتوای کاروتنوئید نیز تحت تأثیر تیمارهای کودی مختلف و سال قرار گرفت و سایر عوامل مورد بررسی و اثر متقابل آن‌ها غیرمعنی‌دار بود. همه‌ی تیمارهای کودی باعث افزایش محتوای کاروتنوئید (۱۰ تا ۱۸ درصد) نسبت به شاهد شدند اما بین تیمارهای کودی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش محتوای کلروفیل a و a+b در گیاه آویشن شد (جدول ۶). همچنین در سال اول محتوای کلروفیل a، a+b و کاروتنوئید بالاتری را نسبت به سال دوم نشان داد (جدول ۷).

در مطالعه‌ای که به بررسی تأثیر تیمارهای کمپوست، بیوجار، کود شیمیایی (NPK) و مخلوط هر یک از آن‌ها بر گیاه ذرت پرداخت، نتایج حاکی از آن است که بیشترین محتوای کلروفیل از تیمار مخلوط کمپوست، بیوجار و کود شیمیایی به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ترکیبی کود شیمیایی و بیوجار نداشت (Naeem et al., 2018).

جدول ۵- اثر تیمارهای کودی مختلف بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

Table 5- Effect of different fertilizer treatments on chlorophyll and carotenoid content

تیمار کودی Fertilizer treatment	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل a+b Chlorophyll a+b	کاروتنوئید Carotenoid
شاهد Control	<sup>c</sup> 47.066 ± 1	<sup>c</sup> 63.076 ± 2	<sup>b</sup> 0.1402 ± 1
ورمی کمپوست Vermicompost	<sup>b</sup> 71.041 ± 2	<sup>b</sup> 93.064 ± 3	<sup>ab</sup> 0.21112 ±
ورمی کمپوست + بیوجار biochar+Vermicompost	<sup>b</sup> 58.044 ± 2	<sup>b</sup> 79.066 ± 3	<sup>a</sup> 0.21117 ±
کود شیمیایی Chemical fertilizer	<sup>ab</sup> 76.079 ± 2	<sup>ab</sup> 02.106 ± 4	<sup>a</sup> 0.27118 ±
کود شیمیایی + بیوجار biochar+Chemical fertilizer	<sup>a</sup> 75.019 ± 3	<sup>a</sup> 05.153 ± 4	<sup>a</sup> 0.28120 ±
ورمی کمپوست + کود شیمیایی chemical fertilizer+Vermicompost	<sup>b</sup> 82.051 ± 2	<sup>b</sup> 05.169 ± 3	<sup>a</sup> 0.24113 ±
p-value	<.0001	0.0004	0.0339

برای هر صفت مورد بررسی، میانگین‌های (میانگین ± خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD;  $P \leq 0.05$ ) می‌باشند.

For each investigated trait, the averages (± standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum statistically significant difference test (LSD;  $P \leq 0.05$ ).

جدول ۶- اثر قارچ میکوریزا بر محتوای کلروفیل

Table 6- The effect of mycorrhizal fungi on chlorophyll content

مایکوریزا Mycorrhiza	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل a+b Chlorophyll a+b
عدم تلقیح Non-inoculated	0.74 b 2.36 ±	0.9 b 3.50 ±
تلقیح Inoculated	a 0.86 2.64 ±	a 1.13 3.94 ±
p-value	0.0240	0.0095

برای هر صفت مورد بررسی، میانگین‌های (میانگین ± خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار می‌باشند. (LSD;  $P \leq 0.05$ )

For each investigated trait, the averages ( $\pm$  standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum statistically significant difference test (LSD;  $P \leq 0.05$ ).

جدول ۷- اثر سال بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

Table 7- Effect of year on chlorophyll and carotenoid content

سال Year	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل a+b Chlorophyll a+b	کاروتنوئید Carotenoid
۱۳۹۸ - ۱۳۹۹	0.73 a 2.90 ±	0.95 a 4.24 ±	0.18 a 1.29 ±
2019-2020			
۱۳۹۹ - ۱۴۰۰	b 0.68 2.10 ±	b 0.86 3.21 ±	b 0.15 0.98 ±
2020-2021			
p-value	0.0090	0.0210	0.0010

برای هر صفت مورد بررسی، میانگین‌های (میانگین ± خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار می‌باشند. (LSD;  $P \leq 0.05$ )

For each investigated trait, the averages ( $\pm$  standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum statistically significant difference test (LSD;  $P \leq 0.05$ ).

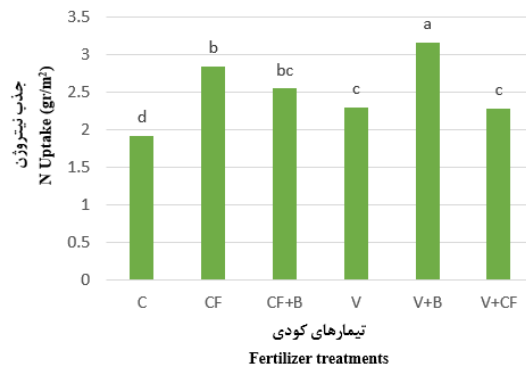
نیترژن را به نسبت تیمار شاهد افزایش داده و بیشترین میزان جذب نیترژن از تیمار مخلوط ورمی کمپوست و بیوجار حاصل شد که جذب نیترژن را به نسبت شاهد ۶۵ درصد افزایش داد (شکل ۲). تلقیح با مایکوریزا نیز باعث افزایش ۱۴ درصدی در میزان جذب نیترژن شد (شکل ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل تیمارهای کودی در سال و اثر متقابل تلقیح با مایکوریزا در سال برای جذب فسفر معنی‌دار شد. با توجه به شکل ۴ بیشترین میزان جذب فسفر از تیمار مخلوط ورمی کمپوست و بیوجار در سال دوم رشد حاصل شد که به نسبت تیمار شاهد همان سال، افزایش ۱۱۳ درصدی نشان داد. در سال دوم، همه تیمارهای کودی به جز اعمال ورمی کمپوست، میزان جذب فسفر را افزایش دادند درحالی‌که در سال اول به‌غیر از تیمار ورمی کمپوست، تیمار مخلوط کود شیمیایی و بیوجار نیز اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۳). تلقیح با مایکوریزا در هر دو سال باعث افزایش معنی‌دار در میزان جذب فسفر شد و بالاترین میزان آن از گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا در سال دوم حاصل شد (شکل ۵).

در تحقیقی که با هدف بررسی اثرات مختلف کوددهی (شاهد، ورمی کمپوست، کود شیمیایی و مخلوط کود شیمیایی و ورمی کمپوست) بر ترکیب کاروتنوئیدها و همچنین محتوای کلروفیل در گیاه علف مار<sup>۱</sup> انجام شد نشان داده شد که کاربرد ورمی کمپوست در مقایسه با کود شیمیایی تأثیر ناچیزی بر کلروفیل و کاروتنوئید دارد. با این حال، مخلوط ورمی کمپوست و کود شیمیایی نیز باعث افزایش کلروفیل و کاروتنوئید نسبت به شاهد شد گزارشات متعددی از افزایش کلروفیل و کاروتنوئید تحت تأثیر تلقیح با مایکوریزا نیز مشاهده شده است (Baslam et al., 2013; Ye et al., 2022; Zare-Maivan et al., 2017).

### جذب نیترژن و فسفر

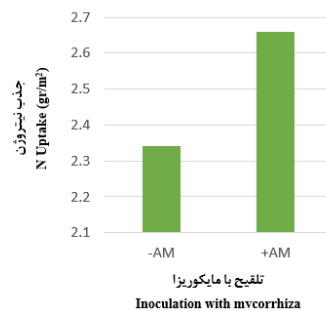
جذب نیترژن تحت تأثیر اثرات ساده تیمارهای کودی و مایکوریزا قرار گرفت و برای سایر عوامل مورد بررسی، اثر معنی‌داری مشاهده نشد. همه تیمارهای کودی میزان جذب

<sup>۱</sup> *Clinacanthus nutans* Lindau



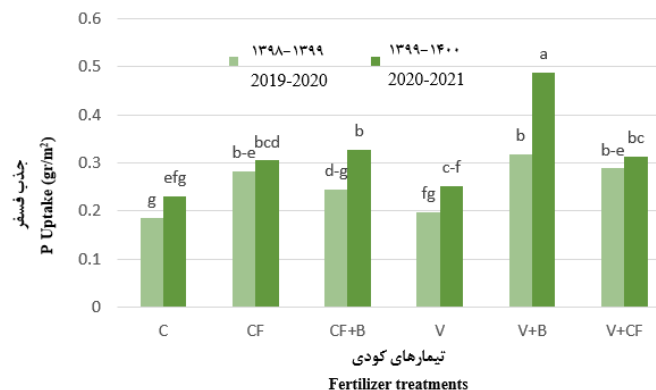
شکل ۲- اثر تیمارهای کودی بر جذب نیتروژن. میانگین‌های (میانگین  $\pm$  خطای استان دارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار ( $LSD; P \leq 0.05$ ) می‌باشند. C: شاهد؛ CF: کود شیمیایی؛ CF+B: مخلوط کود شیمیایی و بیوجار V: ورمی کومپوست؛ V+B: مخلوط ورمی کمپوست و بیوجار.

Figure 2- The effect of fertilizer treatments on nitrogen absorption. Means (mean  $\pm$  standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum significant difference test ( $LSD; P \leq 0.05$ ). C: Witness; CF: chemical fertilizer; CF+B: mixture of chemical fertilizer and biochar V: vermicompost; V+B: mixture of vermicompost and biochar



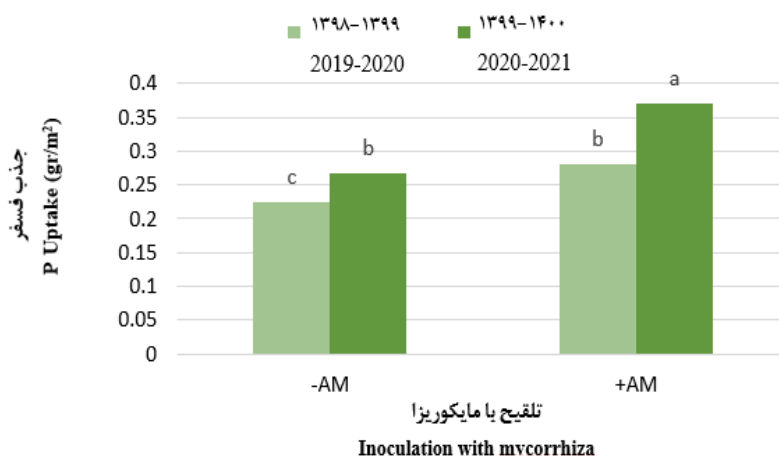
شکل ۳- اثر مایکورریزا بر جذب نیتروژن. میانگین‌های (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار ( $LSD; P \leq 0.05$ ) می‌باشند. C: شاهد؛ CF: کود شیمیایی؛ CF+B: مخلوط کود شیمیایی و بیوجار V: ورمی کمپوست؛ V+B: مخلوط ورمی کمپوست و بیوجار.

Figure 3- The effect of mycorrhiza on nitrogen absorption. Means (mean  $\pm$  standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum significant difference test ( $LSD; P \leq 0.05$ ). C: Witness; CF: chemical fertilizer; CF+B: mixture of chemical fertilizer and biochar V: vermicompost; V+B: mixture of vermicompost and biochar.



شکل ۴- اثر متقابل تیمارهای کودی و سال بر جذب فسفر. میانگین‌های (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار ( $LSD; P \leq 0.05$ ) می‌باشند. C: شاهد؛ CF: کود شیمیایی؛ CF+B: مخلوط کود شیمیایی و بیوجار V: ورمی کمپوست؛ V+B: مخلوط ورمی کمپوست و بیوجار؛ -AM: عدم تلقیح و +AM: تلقیح با قارچ مایکورریزا.

Figure 4- The interaction effect of fertilizer and year treatments on phosphorus absorption. Means (mean  $\pm$  standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum significant difference test ( $LSD; P \leq 0.05$ ). C: Witness; CF: chemical fertilizer; CF+B: mixture of chemical fertilizer and biochar V: vermicompost; V+B: mixture of vermicompost and biochar; -AM: no inoculation and +AM: inoculation with mycorrhizal fungi



شکل ۵- اثر متقابل مایکوریزا و سال بر جذب فسفر. میانگین‌های (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ( $LSD; P \leq 0.05$ ) می‌باشند. -AM: عدم تلقیح و +AM: تلقیح با قارچ مایکوریزا.

**Figure 5- Interaction effect of mycorrhiza and sal on phosphorus absorption. Means (mean  $\pm$  standard error) with common letters have no statistically significant difference based on the minimum significant difference test ( $LSD; P \leq 0.05$ ). -AM: no inoculation and +AM: inoculation with mycorrhizal fungi**

به میزان قابل توجهی افزایش دهند. آنها این کار را با افزایش حجم خاک کاوش شده توسط گیاه انجام می‌دهند (Yang *et al.*, 2023). همراهی مایکوریزا با ریشه گیاهان باعث افزایش جذب آب و بهبود جذب مواد مغذی خاک (عمدتاً فسفر) شده، که بر متابولیسم گیاه نیز تأثیر می‌گذارد (Urcoviche *et al.*, 2015).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از آزمایش مزرعه نشان داد، تمامی صفات مورد بررسی به‌غیر از کلروفیل b و کاروتنوئید، به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تلقیح با قارچ آربوسکولار میکوریزا قرار گرفت. تیمار مخلوط ورمی کمپوست و بیوجار در صفات زیست‌توده، ارتفاع، وزن و حجم ریشه، کاروتنوئید و جذب نیتروژن و فسفر بالاترین میزان را به خود اختصاص داد. تلفیق کودهای شیمیایی و بیوجار با اثر بر محتوای کلروفیل a+b و از سایر تیمارها متمایز شد.

تیمار شاهد (بدون کود) نیز اکثراً با کمترین میزان تولید از سایر تیمارها تمایز پیدا کرد. به‌طور کلی، تیمارهای کودی بر خصوصیات مورفولوژیکی، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید و جذب عناصر در گیاه آویشن اثرگذار بودند.

### سپاس‌گزاری

هزینه اجرای این طرح توسط پژوهشکده فناوری تولیدات

در مطالعه‌ای که برای ارزیابی اثر بیوجار، کمپوست، کود شیمیایی و ترکیب آن‌ها برای بهبود جذب مواد مغذی و بهره‌وری گیاه ذرت انجام شد، مشاهده شد که در حالی که همه‌ی تیمارها به‌جز تیمار بیوجار، غلظت عناصر غذایی را افزایش دادند بیشترین میزان غلظت عناصر غذایی (K و P، N) از تیمار مخلوط کمپوست، بیوجار و کودهای معدنی مشاهده شد (Naeem *et al.*, 2018). استفاده از بیوجار و ورمی کمپوست در شرایط آبیاری نرمال منجر به بالاترین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز در برگ گیاه بادمجان شد (Ebrahimi *et al.*, 2021).

بیوجار مورد استفاده در آزمایش ما غنی از کربن و مواد آلی بوده و در دمای بالا تولید شده است. نشان داده شده است که تولید بیوجار در چنین دماهای بالا منجر به تغییرات قابل توجهی در ترکیب بیوجار و افزایش سطح مخصوص آن می‌شود (Marra *et al.*, 2018). بیوجار به دلیل سطح مخصوص بالای خود به عنوان یک منبع غذایی و همچنین یک مبدل کاتیونی مناسب عمل می‌کند که منجر به در دسترس بودن مواد مغذی و جذب بیشتر آن‌ها توسط ریشه گیاه می‌شود (Ebrahimi *et al.*, 2021). ورمی کمپوست و کمپوست تأثیر قابل توجهی بر رشد گیاه و جذب مواد مغذی داشتند که با ترکیب با مایکوریزا این تأثیر افزایش یافت (Paymaneh *et al.*, 2023).

قارچ‌های میکوریزا می‌توانند جذب فسفر و عناصر کمیاب را

## تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

گیاهی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران (طرح شماره ۵۶/۰۱/۹) تامین شده است که بدین‌وسیله تقدیر و تشکر می‌شود.

## References

- Afshar, R.K., Chaichi, M.R., Assareh, M.H., Hashemi, M. and Liaghat, A., 2014. Interactive effect of deficit irrigation and soil organic amendments on seed yield and flavonolignan production of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.). *Industrial Crops and Products*, 58, pp.166–172. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.043>
- Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N. and Bird, M.I., 2016. Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543, pp.295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
- Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Ibrahim, M., Riaz, M., Arif, M.S., Hafeez, F., Al-Wabel, M.I. and Shahzad, A.N., 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, pp.12700–12712. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8904-x>
- Altland, J.E. and Locke, J.C., 2013. Effect of biochar type on macronutrient retention and release from soilless substrate. *HortScience*, 48(11), pp.1397–1402. <https://doi.org/10.21273/hortsci.48.11.1397>
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J. D. and Lucht, C., 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*, 49(4), pp.297–306. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.02.001>
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D. and Hipps, N.A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil*, 337, pp.1–18. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5>
- Badi, H.N., Yazdani, D., Ali, S.M. and Nazari, F., 2004. Effects of spacing and harvesting time on herbage yield and quality/quantity of oil in thyme, *Thymus vulgaris* L. *Industrial Crops and Products*, 19(3), pp.231–236. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.10.005>
- Baslam, M., Esteban, R., García-Plazaola, J.I. and Goicoechea, N., 2013. Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of major carotenoids, chlorophylls and tocopherol in green and red leaf lettuces. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97, pp.3119–3128. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4526-x>
- Bigdeloo, M., Hadian, J. and Nazeri, V., 2017. Composition of essential oil compounds from different populations of *Thymus caramanicus* Jalas. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 7, pp.95–98. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.06.005>

- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S. and Mathieu, J., 2019. Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, pp.1–15. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Böhm, W. and W. Böhm. 1979. Root parameters and their measurement. *Methods of Studying Root Systems*, pp.125–138. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-67282-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-67282-8_12)
- Bremner, J.M., 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *The Journal of Agricultural Science*, 55(1), pp.11–33. <https://doi.org/10.1017/s0021859600021572>
- Caravaca, F., Barea, J.M. and Roldán, A., 2002. Synergistic influence of an arbuscular mycorrhizal fungus and organic amendment on *Pistacia lentiscus* L. seedlings afforested in a degraded semiarid soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(8), pp.1139–1145. [https://doi.org/10.1016/s0038-0717\(02\)00047-0](https://doi.org/10.1016/s0038-0717(02)00047-0)
- Cavagnaro, T.R., 2015. Biologically regulated nutrient supply systems: compost and arbuscular mycorrhizas—a review. *Advances in Agronomy*, 129, pp.293–321. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.09.005>
- Celik, I., Gunal, H., Budak, M. and Akpinar, C., 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160(2), pp.236–243. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.028>
- Cevheri, C.İ., Sakin, E. and Ramazanoglu, E., 2022. Effects of different fertilizers on some soil enzymes activity and chlorophyll contents of two cotton (*G. hirsutum* L.) varieties grown in a saline and non-saline soil. *Journal of Plant Nutrition*, 45(1), pp.95–106. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1949467>
- Chandrasekaran, M., 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: a meta-analysis. *Journal of Fungi*, 8(7), pp.660. <https://doi.org/10.3390/jof8070660>
- Chapman, H.D. and Pratt, P.F., 1962. Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, 93(1), pp.68. <https://doi.org/10.1097/00010694-196201000-00015>
- Chauhan, H., Bagyaraj, D.J., Thilagar, G. and Ravi, J.E., 2012. Plant growth response of French bean to arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Soil Biology and Ecology*, 32(1–2), pp.50–56.
- Dolatabadi, H.K., Goltapeh, E.M., Moieni, A. and Varma, A., 2012. Evaluation of different densities of auxin and endophytic fungi (*Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera*) on *Mentha piperita* and *Thymus vulgaris* growth. *African Journal of Biotechnology*, 11(7), pp.1644–1650. <https://doi.org/10.5897/ajb10.1336>
- Ebrahimi, M., Souri, M.K., Mousavi, A. and Sahebani, N., 2021. Biochar and vermicompost improve growth and physiological traits of eggplant (*Solanum melongena* L.) under deficit irrigation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8, pp.1–14. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00216-9>
- Estefan, G., 2013. *Methods of soil, plant, and water analysis: a manual for the West Asia and North Africa region*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
- Fischer, D. and Glaser, B., 2012. Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration. *Management of Organic Waste*, 1, pp.167–198. <https://doi.org/10.5772/31200>

- Ghanbari, J. and Khajoei-Nejad, G., 2021. Integrated nutrient management to improve some soil characteristics and biomass production of saffron. *Industrial Crops and Products*, 166, pp.113447. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113447>
- Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., Erasmus, S.W. and van Ruth, S.M., 2019a. Identification and characterisation of volatile fingerprints of saffron stigmas and petals using PTR-TOF-MS: Influence of nutritional treatments and corm provenance. *Industrial Crops and Products*, 141, pp.111803. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111803>
- Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., Van Ruth, S.M. and Aghighi, S., 2019b. The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.) by different nutritional regimes. *Industrial Crops and Products*, 135, pp.301–310. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.064>
- Gholami, H., Saharkhiz, M.J., Fard, F.R., Ghani, A. and Nadaf, F., 2018. Humic acid and vermicompost increased bioactive components, antioxidant activity and herb yield of Chicory (*Cichorium intybus* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 14, pp.286–292. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.03.021>
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. and Toulmin, C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), pp.812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Hafez, E.M., Omara, A.E.D., Alhumaydhi, F.A. and El-Esawi, M.A., 2021. Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Physiologia Plantarum*, 172(2), pp.587–602. <https://doi.org/10.1111/ppl.13261>
- Hodge, A., Campbell, C.D. and Fitter, A.H., 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature*, 413(6853), pp.297–299. <https://doi.org/10.1038/35095041>
- Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A., Al-Sadi, A.M., Solaiman, Z.M., Alghamdi, S.S., Ammara, U., Ok, Y.S. and Siddique, K.H.M., 2017. Biochar for crop production: potential benefits and risks. *Journal of Soils and Sediments*, 17, pp.685–716. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1360-2>
- Keabetswe, L., Shao, G.C., Cui, J., Lu, J. and Stimela, T., 2019. A combination of biochar and regulated deficit irrigation improves tomato fruit quality: A comprehensive quality analysis. *Folia Horticulturae*, 31(1), pp.181–193. <https://doi.org/10.2478/fhort-2019-0013>
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp.350–382). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Liu, M., Linna, C., Ma, S., Ma, Q., Guo, J., Wang, F. and Wang, L., 2022. Effects of biochar with inorganic and organic fertilizers on agronomic traits and nutrient absorption of soybean and fertility and microbes in purple soil. *Frontiers in Plant Science*, 13, pp.871021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.871021>

- Makkar, C., Singh, J., Parkash, C., Singh, S., Vig, A. P. and Dhaliwal, S.S., 2023. Vermicompost acts as bio-modulator for plants under stress and non-stress conditions. *Environment, Development and Sustainability*, 25(3), pp.2006–2057. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02132-w>
- Marra, R., Vinale, F., Cesarano, G., Lombardi, N., d’Errico, G., Crasto, A., Mazzei, P., Piccolo, A., Incerti, G. and Woo, S.L., 2018. Biochars from olive mill waste have contrasting effects on plants, fungi and phytoparasitic nematodes. *PloS One*, 13(6), pp.e0198728. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198728>
- Mukherjee, A. and Lal, R., 2013. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, 3(2), pp.313–339. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020313>
- Munir, M.A.M., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Abbas, Q. and Ullah, H., 2020. Synergistic effects of biochar and processed fly ash on bioavailability, transformation and accumulation of heavy metals by maize (*Zea mays* L.) in coal-mining contaminated soil. *Chemosphere*, 240, pp.124845. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124845>
- Naeem, M.A., Khalid, M., Aon, M., Abbas, G., Amjad, M., Murtaza, B., Khan, W.-D. and Ahmad, N., 2018. Combined application of biochar with compost and fertilizer improves soil properties and grain yield of maize. *Journal of Plant Nutrition*, 41(1), pp.112–122. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381734>
- Nautiyal, C. S., Chauhan, P. S., DasGupta, S. M., Seem, K., Varma, A. and Staddon, W. J., 2010. Tripartite interactions among *Paenibacillus lentimorbus* NRRL B-30488, *Piriformospora indica* DSM 11827, and *Cicer arietinum* L. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26, pp.1393–1399. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0312-z>
- Pal, J., Adhikari, R.S. and Negi, J.S., 2016. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and green herb yield of *Thymus serpyllum*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5, pp.406–410. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.501.040>
- Pandey, V. and Patra, D.D., 2015. Crop productivity, aroma profile and antioxidant activity in *Pelargonium graveolens* L’Hér. under integrated supply of various organic and chemical fertilizers. *Industrial Crops and Products*, 67, pp.257–263. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.042>
- Paymaneh, Z., Sarcheshmehpour, M., Mohammadi, H. and Hesni, M.A., 2023. Vermicompost and/or compost and arbuscular mycorrhizal fungi are conducive to improving the growth of pistachio seedlings to drought stress. *Applied Soil Ecology*, 182, pp.104717. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104717>
- Prabha, M.L., Jayraaj, I.A., Jayaraj, R. and Rao, D.S., 2007. Effect of vermicompost and compost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. *Asian Journal of Microbiology Biotechnology and Environmental Sciences*, 9(2), pp.321.
- Prasanth Reddy, V., Ravi Vital, K., Varsha, P.V. and Satyam, S., 2014. Review on *Thymus vulgaris* traditional uses and pharmacological properties. *Medicinal and Aromatic Plants*, 3(164), pp.412–2167. <https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000167>
- Praveen, S., Jegan, J., Bhagavathi Pushpa, T., Gokulan, R. and Bulgariu, L., 2022. Biochar for removal of dyes in contaminated water: an overview. *Biochar*, 4(1), pp.10. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00131-8>

- Rivelli, A.R. and Libutti, A., 2022. Effect of biochar and inorganic or organic fertilizer co-application on soil properties, plant growth and nutrient content in Swiss chard. *Agronomy*, 12(9), pp.2089. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092089>
- Sasanelli, N., Anton, A., Takacs, T., D'Addabbo, T., Birò, I. and Malov, X., 2009. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on the nematicidal properties of leaf extracts of *Thymus vulgaris* L. *Helminthologia*, 46, pp.230–240. <https://doi.org/10.2478/s11687-009-0043-6>
- Shalaby, A.S. and Razin, A.M., 1992. Dense cultivation and fertilization for higher yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 168(4), pp.243–248. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.1992.tb01005.x>
- Shao, Y.-D., Zhang, D.-J., Hu, X.-C., Wu, Q.-S., Jiang, C.-J., Xia, T.-J., Gao, X.-B. and Kuča, K., 2018. Mycorrhiza-induced changes in root growth and nutrient absorption of tea plants. *Plant, Soil and Environment*, 64(6), pp.283–289. <https://doi.org/10.17221/126/2018-pse>
- Souri, M.K. and Sooraki, F.Y., 2019. Benefits of organic fertilizers spray on growth quality of chili pepper seedlings under cool temperature. *Journal of Plant Nutrition*, 42(6), pp.650–656. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1568461>
- Stahl-Biskup, E. and Sáez, F., 2002. *Thyme: the genus Thymus*. CrC press. <https://doi.org/10.1533/9780857095671.499>
- Tavarini, S., Passera, B., Martini, A., Avio, L., Sbrana, C., Giovannetti, M. and Angelini, L.G., 2018. Plant growth, steviol glycosides and nutrient uptake as affected by arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorous fertilization in *Stevia rebaudiana* Bert. *Industrial Crops and Products*, 111, pp.899–907. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.055>
- Urcoviche, R.C., Gazim, Z.C., Dragunski, D.C., Barcellos, F.G. and Alberton, O., 2015. Plant growth and essential oil content of *Mentha crispa* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under different levels of phosphorus. *Industrial Crops and Products*, 67, pp.103–107. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.016>
- Vital, W.M., Teixeira, N.T., Shigihara, R. and Dias, A.F.M., 2002. Organic manuring with pig biossolids with applications of foliar biofertilizers in the cultivation of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Ecossistema*, 27, pp.69–70.
- Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W. and Rillig, M.C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and Soil*, 300, pp.9–20. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9391-5>
- Yadegari, M., Farahani, G.H.N. and Mosadeghzad, Z., 2012. Biofertilizers effects on quantitative and qualitative yield of Thyme (*Thymus vulgaris*). *African Journal of Agricultural Research*, 7(34), pp.4716–4723.
- Yang, S., Imran, and Ortas, I., 2023. Impact of mycorrhiza on plant nutrition and food security. *Journal of Plant Nutrition*, 46(13), pp.3247–3272. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2192780>
- Ye, Q., Wang, H. and Li, H., 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, photosynthetic activity, and chlorophyll fluorescence of vitis vinifera l. cv. ecolly under drought stress. *Agronomy*, 12(7), pp.1563. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071563>

- Zandvakili, O.R., Ebrahimi, E., Hashemi, M., Barker, A.V. and Akbari, P., 2017. The potential of green manure mixtures to provide nutrients to a subsequent lettuce crop. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(19), pp.2246–2255. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1408819>
- Zare-Maivan, H., Khanpour-Ardestani, N. and Ghanati, F., 2017. Influence of mycorrhizal fungi on growth, chlorophyll content, and potassium and magnesium uptake in maize. *Journal of Plant Nutrition*, 40(14), pp.2026–2032. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1346119>



## Effect of biochar and zeolite on some morphophysiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in response to drought stress

Somayeh Mansoori <sup>a</sup>, Mahmoud Ramroudi <sup>\*b</sup>, Zeynab Mohkami <sup>c</sup>, Mohammad Reza Asgharipour <sup>b</sup>, Esmael Seyedabadi <sup>b</sup>

<sup>a</sup> M.Sc. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>b</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>c</sup> Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran

\*Corresponding Author: [ramroudi24@uoz.ac.ir](mailto:ramroudi24@uoz.ac.ir)

Received: 12 March 2025

Accepted: 5 July 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.512040.1476

### How to cite this article:

Mansoori, S., Ramroudi, M., Mohkami, Z., Asgharipour, M. R., and Seyedabadi, E. 2025. Effect of biochar and zeolite on some morphophysiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in response to drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 295-313. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.512040.1476>

### Abstract

**Introduction:** Drought stress arises from an imbalance between soil water evaporation and the availability of moisture, triggering a cascade of morpho-physiological and biochemical changes in plants that impair their growth, development, and productivity. Among the most detrimental impacts of drought is the diminished uptake of essential nutrients, which leads to deficiencies that exacerbate plant stress and reduce agricultural yields. As global populations continue to rise, ensuring food security under the pressures of climate change—including increasingly frequent and severe droughts—requires innovative, sustainable, and cost-effective agricultural practices. Modern strategies such as the application of soil amendments like zeolite and biochar have emerged as promising tools to mitigate drought-induced stress. These amendments enhance soil water retention, improve nutrient availability, and bolster plant resilience, offering a practical approach to sustaining crop productivity in water-scarce environments. By improving soil health, water-holding capacity, and nutrient uptake, these methods not only support plant growth under adverse conditions but also contribute to long-term agricultural sustainability, addressing the urgent need to adapt to climate variability. This study was designed and conducted to investigate the effects of biochar and zeolite organic fertilizers on the morphophysiological characteristics of safflower under drought stress conditions.

**Materials and Methods:** The study was conducted during the 2022–2023 growing season at the Agricultural Research Institute of Zabol’s research farm, as split-factorial design within a randomized complete block framework, replicated three times. The main factor consisted of three irrigation levels based on field capacity (FC): 100% (well-watered), 75% (moderate stress), and 50% (severe stress). Sub-factors included factorial combinations of zeolite and biochar, each applied at three levels: 0% (control), 2.5%, and 5% of the soil’s bulk weight. These treatments were designed to assess their influence on agrophysiological traits under varying water availability. Data collection encompassed a range of parameters, including plant height, leaf area, chlorophyll content, seed yield, and oil



percentage. Statistical analysis was performed using SAS software (version 9.1), with mean comparisons conducted at a 5% significance level using the Least Significant Difference (LSD) test.

**Results and Discussion:** The findings revealed that drought stress significantly reduced total leaf chlorophyll content. A triple interaction (drought stress  $\times$  biochar  $\times$  zeolite) significantly influenced multiple traits, including plant height, leaf area, number of secondary branches, inflorescences per branch, thousand-seed weight, relative leaf water content, carotenoid levels, seed yield, and oil percentage. Mean comparisons highlighted that the highest seed yield was achieved under moderate drought (75% FC) with a combination of 2.5% biochar and 5% zeolite, suggesting an optimal balance of water conservation and nutrient enhancement. Conversely, the maximum oil percentage was recorded under full irrigation (100% FC) with 5% biochar and 5% zeolite, reflecting the synergistic effect of these amendments in well-watered conditions. The highest carotenoid content was observed under 100% FC with 2.5% zeolite and biochar, indicating improved photosynthetic efficiency. These results underscore the capacity of biochar and zeolite to mitigate drought-induced declines in morphophysiological traits and yield components by enhancing soil moisture retention and nutrient availability.

**Conclusion:** This study demonstrates that reduced soil moisture adversely affects safflower's morphophysiological characteristics and seed yield. However, the application of biochar and zeolite effectively counteracts these negative effects, particularly under intensified drought conditions. By improving water retention, nutrient uptake, and plant resilience, these amendments offer a viable strategy for sustaining crop productivity in arid and semi-arid regions. The findings advocate for the integration of biochar and zeolite into agricultural practices as a sustainable solution to enhance food security and adapt to climate change challenges.

**Keywords:** Carotenoid, Deficit irrigation, Oil percentage, Phenol, Soil amendment

## تأثیر بیوپچار و زئولیت بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در پاسخ به تنش خشکی

سمیه منصوری<sup>۱</sup>، محمود رمودی\*<sup>۲</sup>، زینب محکمی<sup>۳</sup>، محمدرضا اصغری پور<sup>۲</sup>، اسماعیل سیدآبادی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران

\* مسئول مکاتبه: ramroudi24@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.512040.1476

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲

### چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی تأثیرات بیوپچار و زئولیت بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی، به صورت اسپلیت - فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی پژوهشگاه زابل انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان عامل اصلی و ترکیب سطوح مختلف زئولیت و بیوپچار (صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزن مخصوص ظاهری خاک) به عنوان عامل فرعی بودند. یافته‌ها حاکی از آن بود که محتوای کلروفیل کل برگ تحت تأثیر تنش خشکی و زئولیت معنی‌دار شد. در حالی که میزان فنل برگ به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل بیوپچار و زئولیت بود. علاوه بر این، اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی، بیوپچار و زئولیت بر ارتفاع بوته، سطح برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد گل‌آذین در شاخه‌های فرعی، وزن هزار دانه، محتوای نسبی آب برگ، کاروتنوئید، عملکرد دانه و درصد روغن معنی‌دار شد. بر اساس مقایسه میانگین‌ها، بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۷۵ درصد ظرفیت زراعی به همراه استفاده از ۲/۵ درصد بیوپچار و ۵ درصد زئولیت مشاهده شد. همچنین، بالاترین درصد روغن در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد همزمان ۵ درصد بیوپچار و زئولیت به دست آمد. در حالی که بیشترین مقدار کاروتنوئید در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با استفاده از ۲/۵ درصد بیوپچار و زئولیت ثبت شد و بالاترین فنل کل از تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی توام با ۵ درصد بیوپچار حاصل شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده ترکیبی از بیوپچار و زئولیت در شرایط تشدید تنش خشکی می‌تواند اثرات نامطلوب ناشی از کم‌آبی را تعدیل کرده و بهبود چشمگیری در ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گلرنگ ایجاد نماید.

**واژه‌های کلیدی:** اصلاح کننده خاک، درصد روغن، فنل، کاروتنوئید، کم‌آبیاری

### مقدمه

گلرنگ، به عنوان یک گیاه زراعی با پتانسیل بالا، به ویژه در مناطق گرم و خشک، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این گیاه به دلیل مقاومت بالا در برابر خشکی، شوری و قلیائیت خاک، گزینه مناسبی برای کشت در تناوب با سایر محصولات محسوب می‌شود (Khajehpour, 2006). گلرنگ با داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه و مقاومت به تنش‌های شوری و خشکی (Weiss, 2000)، آینده‌ای امیدوارکننده برای مناطق با محدودیت منابع آبی دارد.

تنش خشکی ناشی از عدم تعادل بین تبخیر از خاک و آب قابل دسترس است و باعث ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود که تأثیر منفی بر رشد و تولید آن‌ها دارد (Singh et al., 2016; Ashraf, 2022).

با افزایش جمعیت جهان و گسترش فعالیت‌های اقتصادی، رقابت برای دستیابی به منابع آب در حال تشدید است. تغییرات اقلیمی نیز از طریق کاهش بارش‌های منطقه‌ای و افزایش تبخیر ناشی از گرمایش جهانی، شرایط خشکی را وخیم‌تر می‌کند (Hussain et al., 2016). برای پاسخگویی به نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد و کاهش پیامدهای نامطلوب تغییرات اقلیمی مانند خشکسالی، توسعه راهکارهای اقتصادی و سازگار با محیط زیست ضروری است. این راهکارها باید بتوانند جذب مواد مغذی، سلامت خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت، رشد و عملکرد محصولات را بهبود بخشند و کشاورزی پایدار را تقویت کنند (Singh et al., 2022).

می‌بخشد (Zhang et al., 2020; Abhishek et al., 2022). مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از بیوپار می‌تواند به جای آبیاری ۱۰۰ درصد، با ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه، همان میزان عملکرد را تأمین کند و در مصرف آب صرفه‌جویی نماید (Abbaspour et al., 2017).

کاربرد زئولیت و بیوپار در گیاهان زراعی مختلف نتایج مثبتی داشته است. به‌عنوان مثال، استفاده از زئولیت باعث افزایش تعداد شاخه‌های فرعی، ارتفاع بوته و تولید ماده خشک در کلزا شده است (Motghi et al., 2020). همچنین، بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گلرنگ با کاربرد زئولیت گزارش شده است (Shahbaz et al., 2018). زئولیت با افزایش شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل و کارایی فتوسنتزی در آفتابگردان، فراهمی نیتروژن را بهبود می‌بخشد (Gholamhoseini et al., 2013). علاوه بر این، کاربرد زئولیت باعث افزایش عملکرد دانه و روغن در گلرنگ و کلزا شده است (Abasiyeh et al., 2013; Shahsavari, 2019). عملکرد و اجزای عملکرد در گیاهانی مانند گندم و سویا نیز با استفاده از زئولیت گزارش شده است (Mehrab et al., 2016; Nozari et al., 2013).

با توجه به اهمیت گلرنگ به‌عنوان یک گیاه دانه‌روغنی مقاوم به خشکی و شرایط سخت (Hall, 2016) و سازگاری آن با مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند سیستان و بلوچستان، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کودهای آلی بیوپار و زئولیت بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی طراحی و اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی زابل، واقع در منطقه چاه‌نیمه، انجام شد. این مزرعه در موقعیت جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی با ارتفاع ۴۸۹ متر از سطح دریا قرار دارد. منطقه مورد مطالعه دارای آب‌وهوای گرم و خشک است که میانگین بارش سالانه آن ۵۷ میلی‌متر و میزان تبخیر سالانه آن ۴۷۵۰ میلی‌متر می‌باشد. دمای هوا در این منطقه در فصول سرد و گرم به ترتیب از ۹٫۵- درجه سانتی‌گراد تا ۴۹ درجه سانتی‌گراد در نوسان است.

2010). خشکی منجر به بسته شدن روزنه‌ها، محدودیت تبادل گازی و کاهش فرآیند فتوسنتز می‌شود (Guo et al., 2014). تحقیقات نشان داده‌اند که تنش خشکی در مرحله گلدهی، گرده‌افشانی را کاهش می‌دهد و با کاهش تعداد دانه‌های تشکیل‌شده، عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Abedi et al., 2020; Baba-Arabi et al., 2010). همچنین، تنش خشکی در مراحل زایشی باعث تسریع پیری و کاهش دوره پر شدن دانه‌ها می‌شود (Fanaei and Narouirad, 2007; Kar et al., 2014). کاهش محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل در گلرنگ تحت تنش خشکی نیز گزارش شده است (Mohammadi et al., 2016). با افزایش شدت تنش خشکی، صفاتی مانند ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ کاهش می‌یابد (Mohtashami and Tadayon, 2020; Khoshnam and Mamnoie, 2021; Joshan et al., 2020). علاوه بر این، کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ‌ها در گلرنگ تحت تنش خشکی مشاهده شده است (Toupchi Khosrowshahi et al., 2020). از سوی دیگر، کاهش محتوای آب خاک باعث افزایش محتوای فنول‌های کل در گلرنگ می‌شود (Nazar et al., 2020).

یکی از پیامدهای منفی تنش خشکی، کاهش جذب عناصر غذایی توسط گیاهان است که منجر به کمبود مواد مغذی می‌شود. استفاده از روش‌های نوین مانند کاربرد زئولیت و بیوپار می‌تواند به کاهش اثرات تنش‌های محیطی کمک کند و تغذیه گیاه را بهبود بخشد (Mahesh et al., 2018; Murtaza et al., 2023). زئولیت به دلیل ساختار متخلخل خود، قادر است آب و عناصر غذایی را در خود نگه دارد و به تعادل آب و مواد مغذی در خاک کمک کند. این ماده با رهاسازی تدریجی عناصر غذایی، از آبشویی نیتروژن جلوگیری می‌کند و در شرایط کم‌آبی، رشد و عملکرد محصولات را بهبود می‌بخشد (Mondal et al., 2021).

بیوپار به‌عنوان یک ماده کربنی با ویژگی‌های منحصر به فرد مانند سطح ویژه بالا، ساختار متخلخل، ظرفیت تبادل کاتیونی بهتر و پایداری محیطی، گزینه مناسبی برای بهبود حاصلخیزی خاک و مدیریت زیست‌محیطی است. این ماده با افزایش آب در دسترس گیاهان، دفعات آبیاری را کاهش می‌دهد و رشد و عملکرد گیاهان را در شرایط نامساعد محیطی بهبود

فرح‌بخش شیراز تهیه شد و از نظر میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). زئولیت کلسیک نیز از شرکت صنایع معدنی کانی‌پور سمنان خریداری شد و ویژگی‌های آن در جدول ۳ ثبت شده است.

پیش از آغاز عملیات کاشت، نمونه‌هایی از خاک مزرعه جمع‌آوری شد و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه هیدرولوژی پژوهشگاه زابل ارسال گردید. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل خاک در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، بیوچار مورد استفاده در این پژوهش از شرکت

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physical and chemical properties of soil (0-30 cm)

بافت خاک	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	ماده آلی	pH	ظرفیت زراعی	هدایت الکتریکی
Soil texture	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	O.M (%)		F.C (%)	EC (dS.m <sup>-1</sup> )
رسی شنی Sandy clay	175	11.8	0.09	0.8	8.5	24	1.9

جدول ۲- میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در بیوچار

Table 2- Amount of nitrogen, phosphorus, and potassium in biochar

عناصر غذایی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	pH
Nutrition	K (g/kg)	P (g/kg)	N (g/kg)	
میزان	1.45	1.15	1.7	7.45

جدول ۳- درصد وزنی ترکیبات زئولیت کلسیک مورد استفاده در آزمایش

Table 3- Weight percentage of calcium zeolite compounds used in experiment

فسفر	منگنز	منیزیم	پتاسیم	کلسیم	آهن	آلومینیوم	سیلیس
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Mgo	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
0.013	0.025	0.65	3.7	3.1	1.5	8	71

وزنی تعیین گردید. هر دو هفته یک‌بار نمونه‌برداری از خاک انجام شد و بر اساس درصد وزنی رطوبت، زمان رسیدن به هر یک از سطوح آبیاری محاسبه شد. سپس، آب مورد نیاز به صورت کنترل‌شده از مرحله ۶-۷ برگی به کرت‌ها اعمال گردید. پس از کاشت، عملیات زراعی مانند کنترل علف‌های هرز به صورت یکسان در تمام کرت‌ها انجام شد.

در مرحله گلدهی، با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای، نمونه‌برداری از بوته‌های خطوط داخلی از سه بوته هر کرت انجام شد. ویژگی‌های مانند محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل برگ و فنل کل اندازه‌گیری شدند. میزان شاخص کلروفیل از برگ‌های جوان و کاملاً توسعه‌یافته با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502) ساخت شرکت - Minolta ژاپن اندازه‌گیری شد. محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید نیز با استفاده از روش (Arnon 1967) تعیین گردید. درصد روغن دانه با روش استخراج با حلال و دستگاه سوکسوله اندازه‌گیری شد (Joshi *et al.*, 1998).

این آزمایش به صورت اسپلینت - فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری پس از ۷۵، ۱۰۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان عامل اصلی و ترکیب سطوح مختلف کودهای زئولیت و بیوچار (صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزن مخصوص ظاهری خاک) به عنوان عامل فرعی بودند.

برای آماده‌سازی بستر کشت، زمین با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد و سپس دو بار دیسک عمود بر هم برای خرد کردن کلوخه‌ها انجام گرفت. هر کرت آزمایشی شامل ۶ ردیف کاشت به طول ۴ متر با فاصله بین ردیف‌های ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. کشت در اواسط آبان‌ماه انجام شد.

پیش از کشت، نمونه‌برداری از خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه انجام شد. نمونه‌ها برای تعیین منحنی رطوبتی خاک به آزمایشگاه هیدرولوژی پژوهشگاه زابل ارسال شدند و نقاط پتانسیلی خاک و میزان رطوبت موجود به صورت

داشته است (Taghizadeh Tabari *et al.*, 2020).

بر اساس نتایج تحقیقی، بیشترین طول ساقه گیاه پنیبر (*Malva sylvestris*) در شرایط آبیاری متداول و با کاربرد زئولیت به دست آمد (Ahmadi Azar *et al.*, 2015). همچنین، در شرایط تنش خشکی، کاربرد بیوچار در گندم باعث بهبود معنی دار رشد و ویژگی‌های مرتبط با عملکرد شد و بیشترین ارتفاع بوته با کاربرد ۳۸ گرم بر کیلوگرم بیوچار حاصل گردید (Olmo *et al.*, 2014). این یافته‌ها نشان می‌دهند که استفاده از زئولیت و بیوچار می‌تواند به کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر رشد گیاهان کمک کند.

### سطح برگ در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی دار برهمکنش سه‌عاملی تنش خشکی، بیوچار و زئولیت بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، بیشترین سطح برگ (۱۹۱۵/۶ سانتی‌متر مربع بر متر مربع) در تیماری مشاهده شد که آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شده و همراه با مصرف ۵ درصد بیوچار و ۲/۵ درصد زئولیت بود. در مقابل، کمترین مقدار سطح برگ (۵۶۳ سانتی‌متر مربع بر متر مربع) در تیمار آبیاری پس از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون استفاده از بیوچار و زئولیت ثبت شد (جدول ۵). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که استفاده از بیوچار در شرایط تنش خشکی می‌تواند باعث افزایش ارتفاع بوته و سطح برگ در گیاهانی نظیر بامیه (Batool *et al.*, 2015) و ذرت (Haider *et al.*, 2015) شود. علاوه بر این، تحقیقات دیگری نیز بهبود عملکرد و زیست‌توده گندم را در اثر کاربرد بیوچار تأیید کرده‌اند (Olmo *et al.*, 2014). این یافته‌ها حاکی از آن است که بیوچار می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرد.

### تعداد شاخه‌های فرعی در بوته

تعداد شاخه‌های فرعی نیز تحت تأثیر برهمکنش سه‌عاملی تنش خشکی، بیوچار و زئولیت در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت و تفاوت‌های معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد (جدول ۴). با افزایش شدت تنش خشکی (کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۵۰

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، ویژگی‌هایی شامل ارتفاع بوته، سطح برگ، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، تعداد گل در بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و برداشت شد. برداشت نهایی در دهه اول خردادماه انجام گرفت. به‌منظور محاسبه عملکرد دانه، بوته‌های وسط هر کرت (با حذف اثرات حاشیه‌ای) برداشت شدند و پس از خشک‌شدن در آون، عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹.۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

### نتایج و بحث

#### ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی × بیوچار × زئولیت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، کمترین ارتفاع بوته (۵۸/۱ سانتی‌متر) مربوط به تیمار آبیاری پس از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با عدم استفاده از بیوچار و زئولیت بود. در مقابل، بیشترین ارتفاع بوته در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد ۵ درصد زئولیت و بیوچار مشاهده شد (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از بیوچار و زئولیت تأثیر معنی‌داری در کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر ارتفاع بوته دارد.

با توجه به نتایج، می‌توان بیان کرد که اولین واکنش گیاه به تنش خشکی، کاهش رشد رویشی است که این یافته با نتایج سایر پژوهش‌ها هم‌خوانی دارد (Ahmad *et al.*, 2013; Batool *et al.*, 2015). تنش خشکی با ایجاد تغییرات در وضعیت آب سلولی گیاه، باعث کاهش رشد ساقه و ارتفاع بوته می‌شود (Ahmad *et al.*, 2013). مطالعات نشان داده‌اند که افزایش شدت تنش خشکی به‌طور قابل توجهی ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های گلرنگ را کاهش می‌دهد (Kaykhazhaleh *et al.*, 2022; Nabipour *et al.*, 2017). همچنین، تنش خشکی و کود بیوچار بر تعداد ساقه و ارتفاع ساقه گل گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) تأثیر معنی‌داری

مرحله گلدهی یکی از حساس‌ترین مراحل نمو گیاه به تنش خشکی محسوب می‌شود. تنش خشکی در این مرحله با کاهش دسترسی گیاه به آب، سبب کاهش تعداد گل‌آذین و افزایش ریزش گل‌ها می‌گردد. در نتیجه، تعداد گل‌آذین در شاخه به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های تحقیق دیگری هم‌سو می‌باشد (Jain et al., 2010).

### وزن هزار دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، برهمکنش سه‌عاملی تنش خشکی، بیوچار و زئولیت در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وزن هزار دانه در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک نسبت به تیمارهای آبیاری پس از ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد این اصلاح‌کننده‌ها افزایش یافت. بیشترین وزن هزار دانه در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد ۵ درصد بیوچار و ۲/۵ درصد زئولیت مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد کودی در شرایط تنش شدید خشکی، افزایش ۵۶/۸۲ درصدی را نشان داد (جدول ۵).

در شرایط تنش خشکی، منابع تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی برای دانه‌ها کاهش می‌یابد، که این امر ناشی از اختلال در انتقال مواد غذایی بوده و در نهایت سبب کاهش وزن دانه می‌شود. (Khavari et al., 2021). همچنین، تحقیقات نشان داده‌اند که تنش خشکی با کوتاه‌کردن دوره پر شدن دانه، وزن دانه را کاهش می‌دهد (Ahmadi and Bahrani, 2009). به‌طور کلی، کاهش رطوبت خاک باعث ایجاد تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود که در نهایت کاهش وزن دانه را به دنبال دارد (Rezvani Moghaddam et al., 2005).

بر اساس مقایسه میانگین‌ها، تغییرات وزن هزار دانه در اثر کاربرد بیوچار و زئولیت تحت شرایط تنش خشکی قابل توجه بود (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از این اصلاح‌کننده‌ها می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی را تعدیل کرده و از کاهش وزن هزار دانه جلوگیری کند. این یافته‌ها با نتایج تحقیق دیگری هم‌خوانی دارد و تأیید می‌کند که کاربرد زئولیت می‌تواند تأثیر مثبتی بر وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی داشته باشد (Abasiyeh et al., 2013).

درصد ظرفیت زراعی، تعداد شاخه‌های فرعی در تیمارهای کودی کاهش یافت. کمترین تعداد شاخه‌های فرعی در تیمار شاهد (بدون استفاده از بیوچار و زئولیت) و تحت شرایط آبیاری پس از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. در مقابل، بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی توام با کاربرد ۵ درصد بیوچار و زئولیت به‌دست آمد (جدول ۵).

افزایش مقدار بیوچار و زئولیت در شرایط تنش شدید خشکی (آبیاری پس از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) تأثیرات منفی تنش را به‌طور محسوسی کاهش داد. به‌ویژه، با افزایش میزان مصرف این کودها از صفر به ۵ درصد در شرایط تنش شدید، تعداد شاخه‌های فرعی بهبود قابل توجهی یافت (جدول ۵). این نتایج با یافته‌های تحقیقاتی که نشان می‌دهند اثرات مثبت کودها در شرایط تنش شدید خشکی بیشتر نمایان می‌شود، هم‌خوانی دارد (Kaykhashaleh et al., 2022).

تعداد شاخه‌های فرعی به عنوان شاخصی از رشد رویشی گیاه، تحت تأثیر تنش خشکی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Gomes-Sanchez et al., 2000; Sargazi et al., 2023). این کاهش رشد رویشی می‌تواند به عنوان مکانیسمی برای افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش تفسیر شود. مطالعات مختلف نیز کاهش تعداد شاخه‌های فرعی را در اثر تنش خشکی تأیید کرده‌اند (Jain et al., 2010; Rezvani Moghaddam et al., 2005). همچنین، تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از کودهای آلی مانند اسید هیومیک می‌تواند تعداد شاخه‌های فرعی را در گل‌رنگ بهبود بخشد (Sargazi et al., 2023).

### تعداد گل‌آذین در شاخه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش سه‌عاملی تنش خشکی، بیوچار و زئولیت در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر تعداد گل‌آذین در شاخه داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار آبیاری پس از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک (بیوچار و زئولیت) باعث کاهش تعداد گل‌آذین در شاخه نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد این اصلاح‌کننده‌ها شد (جدول ۵). این یافته‌ها بیانگر تأثیر مثبت بیوچار و زئولیت در افزایش تعداد گل‌آذین در گیاه گل‌رنگ است.

## عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش سه گانه تنش خشکی × بیوچار × زئولیت در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، بیشترین عملکرد دانه (۱۹۶۰ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار آبیاری پس از ۷۵ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد ۲/۵ درصد بیوچار و ۵ درصد زئولیت به دست آمد. در مقابل، کمترین عملکرد دانه (۵۶۰ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار آبیاری پس از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد بیوچار و زئولیت مشاهده شد (جدول ۶). گزارش‌ها نشان می‌دهند که با استفاده

از بیوچار می‌توان به جای آبیاری ۱۰۰ درصد، آبیاری پس از ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه را انجام داد و همان میزان عملکرد را با صرفه‌جویی در مصرف آب به دست آورد (Abbaspour *et al.*, 2017). همچنین، نتایج تحقیقات دیگر نشان داده است که کاربرد بیوچار باعث افزایش رشد، عملکرد و تولید میوه در گوجه‌فرنگی (Agbna *et al.*, 2017) و افزایش رشد کلزای زمستانه (Bamminger *et al.*, 2016) در شرایط خشکی شده است. علاوه بر این، استفاده از بیوچار در شرایط دیم باعث افزایش تولید بذر در آفتابگردان شده است (Paneque *et al.*, 2016).

جدول ۴- تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد گلرنگ در تنش خشکی و کود بیوچار و زئولیت

Table 4- Analysis of variance (ANOVA) of some morphophysiological traits and yield of safflower under drought stress, biochar, and zeolite treatments

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات										
		ارتفاع درجه گیاه آزاد Plant height	سطح برگ Leaf area	تعداد شاخه فرعی No. sub-branches	تعداد گل آذین در شاخه No. inflorescences per branch	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	کلروفیل برگ Chlorophyll total	کارتنوئید Carotenoid	محتوی آب نسبی Relative water content	فنل کل Total Phenole	درصد روغن Oil percentage
تکرار Replication	2	0.16*	119.008**	10.75**	0.11**	7.01 <sup>ns</sup>	51056**	2.23 <sup>ns</sup>	1095**	270.6**	17.09 <sup>ns</sup>	13.60 <sup>ns</sup>
تنش خشکی Drought stress (D)	2	1.27**	15.60**	159**	4.59**	33.75*	2514760**	53.016*	153**	250.85*	21.94**	402.35**
خطای اول Ea	4	0.07	56.42	5.8	0.82	7.37	137204	0.48	262	104.2	79.91	39311
بیوچار Biochar (B)	2	0.26**	14.808**	48.9**	15.59**	15.86**	1367353**	10.26*	135*	411.26**	44.91**	92149**
زئولیت Zeolite (Z)	2	0.094**	43.21**	111**	2.25**	3.52*	419916*	22.24*	396 <sup>ns</sup>	107.22**	8.1 <sup>ns</sup>	17748 <sup>ns</sup>
D×B	4	0.18**	7.88**	19.7**	2.96*	19.83**	299234*	2.35**	38**	120.72 <sup>ns</sup>	255**	25564 <sup>ns</sup>
D×Z	4	0.13*	5.33*	26.98*	1.46**	21.28**	441975*	2.17**	25.17**	374.83*	88.2 <sup>ns</sup>	2066 <sup>ns</sup>
B×Z	4	0.5**	15.89**	16.5**	1.5**	16.32**	441190*	1.33**	76.05**	105.67*	91.7 <sup>ns</sup>	2575 <sup>ns</sup>
D×B×Z	8	0.17**	126.51**	20.4*	1.94*	12.24**	481449**	0.48**	291.36*	359.4**	251 <sup>ns</sup>	35143**
خطای دوم Eb	48	1.91	0.22	7.8	0.85	7.27	91745	0.83	7.58	35.8	12.3	960
CV(%)	-	7.14	15.53	7.67	14.22	9.43	10.74	0.53	4.62	3.62	6.81	11.8

ns, \*, \*\*: به ترتیب بدون اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, \*, and \*\*: indicate no significant difference, significant difference at the 5% probability level, and significant difference at the 1% probability level, respectively

داده است که استفاده از زئولیت در شرایط آبیاری با آب فاضلاب، عملکرد دانه و شاخص سطح برگ در سورگوم را افزایش می‌دهد (GhassemiSahebi *et al.*, 2020).

کاربرد زئولیت در کشت کلزا تحت تنش خشکی باعث افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن شده است (Shahsavari, 2019). همچنین، نتایج تحقیقات نشان

(*al.*, 2020).

با توجه به نتایج این تحقیق و مطالعات پیشین، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد بیوچار و زئولیت در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌طور قابل توجهی عملکرد دلنه را بهبود بخشد. این کودها با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، بهبود جذب عناصر غذایی و کاهش اثرات منفی تنش خشکی، نقش مؤثری در افزایش عملکرد گیاهان زراعی ایفا می‌کنند.

گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد استفاده از بیوچار در شرایط کمبود آب می‌تواند باعث افزایش رشد، زیست‌توده، عملکرد گیاه، فتوسنتز، جذب عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های تبادلات گازی شود. بیوچار با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی و بیوشیمیایی خاک، اثرات منفی تنش خشکی را کاهش می‌دهد (Ali *et al.*, 2017). همچنین، افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی در چغندر قند با کاربرد بیوچار گزارش شده است (Durukan *et*

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ تحت تنش خشکی و کود بیوچار و زئولیت

Table 5- Means comparison of some qualitative traits of safflower under drought stress, biochar, and zeolite treatments

تنش خشکی Drought stress (%FC)	بیوچار (درصد حجمی) Biochar	زئولیت (درصد حجمی) Zeolite	ارتفاع بوته Plant height (cm)	سطح برگ Leaf area (cm <sup>2</sup> .cm <sup>2</sup> )	تعداد شاخه		وزن هزار دانه 1000-seed weight(g)	
					فرعی No. branch per plant	شاخه No inflorescence per branch		
100	0	0	67.1 <sup>g</sup>	1295 <sup>b</sup>	6.0 <sup>c</sup>	11.0 <sup>cd</sup>	37.95 <sup>b</sup>	
	0	2.5	79.0 <sup>f</sup>	1380 <sup>c</sup>	6.5 <sup>b</sup>	12.1 <sup>c</sup>	38.80 <sup>a</sup>	
	0	5	79.6 <sup>f</sup>	1400 <sup>c</sup>	6.5 <sup>b</sup>	12.0 <sup>c</sup>	40.42 <sup>a</sup>	
	2.5	0	78.1 <sup>f</sup>	1520 <sup>c</sup>	5.0 <sup>c</sup>	11.0 <sup>cd</sup>	37.23 <sup>b</sup>	
	2.5	2.5	88.0 <sup>d</sup>	1720 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>c</sup>	11.1 <sup>c</sup>	39.59 <sup>a</sup>	
	2.5	5	88.9 <sup>d</sup>	1630 <sup>b</sup>	6.0 <sup>bc</sup>	15.0 <sup>b</sup>	40.27 <sup>a</sup>	
	5	0	88.0 <sup>d</sup>	1637 <sup>b</sup>	6.5 <sup>b</sup>	12.0 <sup>c</sup>	40.36 <sup>a</sup>	
	5	2.5	105.0 <sup>a</sup>	1915.6 <sup>a</sup>	9.0 <sup>a</sup>	15.1 <sup>b</sup>	44.0 <sup>a</sup>	
	5	5	107.1 <sup>a</sup>	1830 <sup>a</sup>	9.1 <sup>a</sup>	19.9 <sup>a</sup>	40.10 <sup>a</sup>	
	0	0	65.0 <sup>g</sup>	700 <sup>f</sup>	6.0 <sup>bc</sup>	15.1 <sup>b</sup>	34.80 <sup>b</sup>	
	0	2.5	85.1 <sup>d</sup>	705 <sup>f</sup>	8.5 <sup>ab</sup>	18.0 <sup>ab</sup>	35.63 <sup>ab</sup>	
	75	0	5	89.0 <sup>d</sup>	799 <sup>e</sup>	6.2 <sup>bc</sup>	15.0 <sup>b</sup>	37.39 <sup>a</sup>
2.5		0	86.9 <sup>e</sup>	897 <sup>e</sup>	5.5 <sup>c</sup>	11.0 <sup>cd</sup>	36.49 <sup>ab</sup>	
2.5		2.5	91.0 <sup>c</sup>	938 <sup>de</sup>	6.1 <sup>bc</sup>	11.1 <sup>cd</sup>	34.80 <sup>b</sup>	
2.5		5	95.1 <sup>b</sup>	1064 <sup>d</sup>	6.5 <sup>b</sup>	14.0 <sup>bc</sup>	31.59 <sup>b</sup>	
5		0	88.9 <sup>d</sup>	1080 <sup>d</sup>	6.1 <sup>bc</sup>	15.9 <sup>b</sup>	33.98 <sup>b</sup>	
5		2.5	90.0 <sup>c</sup>	1164 <sup>cd</sup>	6.4 <sup>b</sup>	15.0 <sup>b</sup>	37.18 <sup>a</sup>	
5		5	88.9 <sup>d</sup>	1298 <sup>c</sup>	7.0 <sup>b</sup>	15.1 <sup>b</sup>	35.41 <sup>ab</sup>	
0		0	58.1 <sup>h</sup>	563 <sup>g</sup>	4.1 <sup>c</sup>	9.5 <sup>e</sup>	19.00 <sup>f</sup>	
0		2.5	81.0 <sup>d</sup>	580 <sup>g</sup>	6.0 <sup>bc</sup>	11.0 <sup>cd</sup>	19.89 <sup>f</sup>	
0		5	85.1 <sup>d</sup>	551 <sup>g</sup>	5.5 <sup>c</sup>	12.0 <sup>c</sup>	20.15 <sup>f</sup>	
50		2.5	0	85.9 <sup>d</sup>	573 <sup>g</sup>	6.0 <sup>bc</sup>	10.0 <sup>d</sup>	23.11 <sup>e</sup>
		2.5	2.5	85.9 <sup>d</sup>	590 <sup>g</sup>	6.1 <sup>bc</sup>	11.5 <sup>c</sup>	25.74 <sup>e</sup>
	2.5	5	87.1 <sup>d</sup>	597 <sup>g</sup>	6.0 <sup>bc</sup>	12.1 <sup>c</sup>	27.16 <sup>d</sup>	
	5	0	80.0 <sup>de</sup>	603 <sup>fg</sup>	7.0 <sup>b</sup>	12.0 <sup>c</sup>	28.24 <sup>cd</sup>	
	5	2.5	80.9 <sup>de</sup>	624 <sup>fg</sup>	7.0 <sup>b</sup>	10.1 <sup>d</sup>	30.17 <sup>c</sup>	
	5	5	91.1 <sup>c</sup>	620 <sup>fg</sup>	8.0 <sup>a</sup>	13.0 <sup>bc</sup>	31.02 <sup>c</sup>	

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

In each column, the averages with the same letters do not have a significant difference based on the LSD test at the five percent probability level.

## کلروفیل کل برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی × بیوچار × زئولیت در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گلرنگ داشت (جدول ۴). بیشترین میزان کلروفیل کل (۱۲/۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت) در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد ۲/۵ درصد بیوچار و ۵ درصد زئولیت مشاهده شد. در مقابل، تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل کل در برگ‌های گلرنگ گردید و کمترین میزان کلروفیل کل (۴/۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت) در تیمار آبیاری پس از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کود به‌دست آمد (جدول ۶). این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر کاربرد بیوچار و زئولیت قرار گرفته است. نتایج تحقیقات نشان داده است که کلروفیل کل برگ ذرت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد بیوچار قرار می‌گیرد (Mradvisi, 2016). در بسیاری از گونه‌های گیاهی، کاهش تولید گیاه در شرایط تنش خشکی معمولاً با کاهش ظرفیت فتوسنتزی مرتبط است (Ghasemi Masarmi et al., 2022). هرچه گیاه سطح برگ بیشتری داشته باشد، از انرژی خورشیدی بیشتری استفاده کرده و فتوسنتز بیشتری انجام می‌دهد. برعکس، با کاهش دوره رشد گیاه تحت تأثیر تنش خشکی، برگ‌ها سریع‌تر رنگیزه‌های سبز خود را از دست داده و میزان کلروفیل کاهش می‌یابد. تنش خشکی باعث اختلال یا حتی آسیب به اجزای فتوسنتزی گلرنگ شده و بر کارایی کوانتومی فتوسیستم‌های فتوسنتزی تأثیر منفی می‌گذارد (Sibi et al., 2012).

در شرایط تنش خشکی، فعالیت‌های فتوشیمیایی گیاه مهار می‌شود. محتوای کلروفیل برگ تغییر کرده و فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین در فرآیند فتوسنتز کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج تحقیقات، کلروفیل برگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده فشارهای محیطی وارد بر گیاه شناخته می‌شود. مقدار کلروفیل برگ در گیاهان تحت تنش کاهش یافته و این کاهش باعث کاهش جذب نور توسط گیاه می‌شود (Ghasemi Masarmi et al., 2022).

تحت شرایط تنش خشکی، تغییراتی مانند کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش راندمان کوانتومی در گیاهان رخ

می‌دهد (Guo et al., 2016). نتایج تحقیقات نشان داده است که با افزایش میزان زئولیت، افزایش محتوای نسبی کلروفیل برگ مشاهده می‌شود. این افزایش در فعالیت‌های فتوسنتزی ممکن است ناشی از نقش زئولیت در سنتز پیش‌سازهای رنگیزه‌های کلروفیل باشد (Kumar and Kumar, 2008).

## کاروتنوئیدها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان کاروتنوئید تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی × بیوچار × زئولیت قرار گرفت (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان کاروتنوئید (۲/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت) در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد ۲/۵ درصد بیوچار و زئولیت مشاهده شد (جدول ۶).

کاروتنوئیدها نقش مهمی در حفاظت گیاهان در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی ایفا می‌کنند. این ترکیبات در سمیت‌زدایی از کلروفیل برگ مؤثر بوده و با کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد، به حفظ سلامت سلول‌های گیاهی کمک می‌کنند (Mansourifar et al., 2012; Ghasemi Masarmi et al., 2022). نتایج تحقیقات نشان داده است که کاربرد بیوچار می‌تواند باعث بهبود محتوای رنگیزه‌های آنتوسیانین، کاروتنوئیدها و کلروفیل در گیاهان شود. به‌عنوان مثال، در اسفناج، استفاده از بیوچار منجر به افزایش این رنگیزه‌ها شده است (Younis et al., 2015). این یافته‌ها نشان می‌دهد که بیوچار می‌تواند با بهبود وضعیت رنگیزه‌های فتوسنتزی، مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی مانند خشکی را افزایش دهد. با توجه به نتایج این تحقیق و مطالعات پیشین، می‌توان نتیجه گرفت که کاروتنوئیدها به‌عنوان ترکیبات محافظتی در شرایط تنش خشکی عمل می‌کنند و کاربرد بیوچار و زئولیت می‌تواند به افزایش محتوای این رنگیزه‌ها و بهبود مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی کمک کند.

## محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی × بیوچار × زئولیت قرار گرفت (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، بالاترین محتوای نسبی آب برگ (۷۴/۱ درصد) در

مانند بادرنجیویه می‌شود (Munne-Bosch *et al.*, 1999). گیاهانی که محتوای نسبی آب برگ بالاتری دارند، توانایی بیشتری برای مقابله با تنش خشکی از خود نشان می‌دهند. تنش خشکی با کاهش جذب آب از خاک توسط ریشه‌ها یا افزایش تعرق از سطح برگ‌ها، محتوای نسبی آب را در گیاهانی مانند کلزا (Batool *et al.*, 2022)، گلرنگ (Beyyavas *et al.*, 2011)، جو (Abdelaal *et al.*, 2020) و ذرت (Tayyab *et al.*, 2020) کاهش می‌دهد.

تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد ۵ درصد بیوچار مشاهده شد. در مقابل، کمترین محتوای نسبی آب برگ (۸/۴۱ درصد) در تیمار آبیاری پس از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی توام با ۵ درصد بیوچار و عدم کاربرد کود به دست آمد (جدول ۶). محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب برگ در گلرنگ تحت تأثیر کمبود آب کاهش یافت. این یافته‌ها با نتایج سایر تحقیقات هم‌خوانی دارد که نشان می‌دهند تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاهش عملکرد گیاهان دارویی

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ تحت تنش خشکی و کود بیوچار و زئولیت

Table 6- Means comparison some morphophysiological traits and yield of safflower under drought stress, biochar, and zeolite treatment

تنش خشکی Drought stress (%FC)	بیوچار (درصد حجمی) Biochar	زئولیت (درصد حجمی) Zeolite	عملکرد Yield (kg ha <sup>-1</sup> )	کلروفیل Chlorophyll total (mg.g <sup>-1</sup> FW)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g <sup>-1</sup> FW)	محتوای آب نسبی Relative water content (%)	درصد روغن Oil percentage
100	0	0	1320 <sup>f</sup>	9.63 <sup>d-i</sup>	0.94 <sup>cd</sup>	66.58 <sup>cd</sup>	25.32 <sup>b</sup>
	0	2.5	1418 <sup>e</sup>	10.78 <sup>b-e</sup>	2.32 <sup>b</sup>	70.55 <sup>ab</sup>	26.72 <sup>b</sup>
	0	5	1450 <sup>e</sup>	10.52 <sup>b-g</sup>	2.34 <sup>b</sup>	68.71 <sup>b</sup>	26.48 <sup>b</sup>
	2.5	0	1430 <sup>e</sup>	10.67 <sup>b-f</sup>	0.80 <sup>bd</sup>	71.38 <sup>a</sup>	27.72 <sup>ab</sup>
	2.5	2.5	1457 <sup>e</sup>	10.93 <sup>a-d</sup>	2.64 <sup>a</sup>	70.5 <sup>a</sup>	29.54 <sup>a</sup>
	2.5	5	1520 <sup>d</sup>	11.71 <sup>ab</sup>	1.82 <sup>de</sup>	71.43 <sup>ab</sup>	25.74 <sup>b</sup>
	5	0	1432 <sup>e</sup>	10.61 <sup>b-f</sup>	1.84 <sup>ce</sup>	74.11 <sup>a</sup>	26.52 <sup>b</sup>
	5	2.5	1447 <sup>e</sup>	11.30 <sup>abc</sup>	2.13 <sup>bc</sup>	68.52 <sup>b</sup>	28.82 <sup>a</sup>
	5	5	1598 <sup>d</sup>	12.43 <sup>a</sup>	2.14 <sup>bc</sup>	69.74 <sup>b</sup>	32.79 <sup>a</sup>
	0	0	1490 <sup>de</sup>	8.26 <sup>ijk</sup>	2.09 <sup>bd</sup>	68.0 <sup>c</sup>	18.6 <sup>d</sup>
75	0	2.5	1573 <sup>d</sup>	9.60 <sup>d-i</sup>	1.26 <sup>g</sup>	66.4 <sup>cd</sup>	19.71 <sup>cd</sup>
	0	5	1652 <sup>cd</sup>	9.70 <sup>d-i</sup>	1.49 <sup>fg</sup>	65.1 <sup>d</sup>	20.18 <sup>cd</sup>
	2.5	0	1680 <sup>cd</sup>	9.22 <sup>f-k</sup>	1.93 <sup>ce</sup>	63.02 <sup>de</sup>	21.94 <sup>c</sup>
	2.5	2.5	1720 <sup>c</sup>	10.14 <sup>c-g</sup>	1.63 <sup>ef</sup>	61.8 <sup>e</sup>	23.74 <sup>c</sup>
	2.5	5	1960 <sup>a</sup>	9.54 <sup>d-i</sup>	1.63 <sup>ef</sup>	60.7 <sup>e</sup>	22.6 <sup>c</sup>
	5	0	1830 <sup>b</sup>	9.07 <sup>h-k</sup>	1.50 <sup>fg</sup>	60.3 <sup>e</sup>	25.4 <sup>b</sup>
	5	2.5	1856 <sup>b</sup>	10.80 <sup>b-e</sup>	1.23 <sup>g</sup>	63.0 <sup>de</sup>	28.3 <sup>a</sup>
	5	5	1900 <sup>ab</sup>	10.97 <sup>a-d</sup>	1.18 <sup>h</sup>	65.0 <sup>d</sup>	31.8 <sup>a</sup>
	0	0	560 <sup>i</sup>	4.89 <sup>m</sup>	1.07 <sup>i</sup>	51.0 <sup>f</sup>	10.9 <sup>g</sup>
	0	2.5	581 <sup>hi</sup>	7.90 <sup>kl</sup>	1.05 <sup>i</sup>	49.8 <sup>f</sup>	12.11 <sup>fg</sup>
50	0	5	592 <sup>hi</sup>	8.74 <sup>hijk</sup>	1.00 <sup>j</sup>	48.3 <sup>fg</sup>	14.3 <sup>f</sup>
	2.5	0	590 <sup>hi</sup>	8.24 <sup>ijk</sup>	0.98 <sup>j</sup>	49.0 <sup>f</sup>	15.0 <sup>f</sup>
	2.5	2.5	603 <sup>h</sup>	9.42 <sup>e-j</sup>	0.87 <sup>k</sup>	50.0 <sup>f</sup>	15.8 <sup>f</sup>
	2.5	5	632 <sup>h</sup>	9.93 <sup>c-g</sup>	0.85 <sup>k</sup>	43.1 <sup>h</sup>	16.5 <sup>e</sup>
	5	0	689 <sup>hf</sup>	6.730 <sup>l</sup>	0.73 <sup>kl</sup>	41.8 <sup>h</sup>	17.31 <sup>de</sup>
	5	2.5	691 <sup>h</sup>	7.95 <sup>kl</sup>	0.69 <sup>l</sup>	42.35 <sup>h</sup>	17.5 <sup>de</sup>
	5	5	789 <sup>g</sup>	9.60 <sup>d-i</sup>	0.60 <sup>l</sup>	43.0 <sup>h</sup>	18.79 <sup>d</sup>

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

In each column, the averages with the same letters do not have a significant difference based on the LSD test at the five percent probability level.

وزن خشک گیاه) در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد ۵ درصد بیوچار مشاهده شد. در مقابل، کمترین میزان فنل کل (۱۲۳ میلی گرم اسید گالیک بر گرم وزن خشک گیاه) در تیمار آبیاری پس از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد بیوچار به دست آمد (شکل ۱). ترکیبات فنلی به عنوان متابولیت‌های ثانویه گیاهی نقش مهمی در دفاع گیاه در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی ایفا می‌کنند. افزایش میزان فنل کل در شرایط تنش خشکی و با کاربرد بیوچار نشان‌دهنده نقش محافظتی این ترکیبات در کاهش اثرات منفی تنش است. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات دیگر هم‌خوانی دارد که نشان می‌دهند کاربرد بیوچار می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان، از جمله افزایش ترکیبات فنلی شود (Shahbaz et al., 2018).

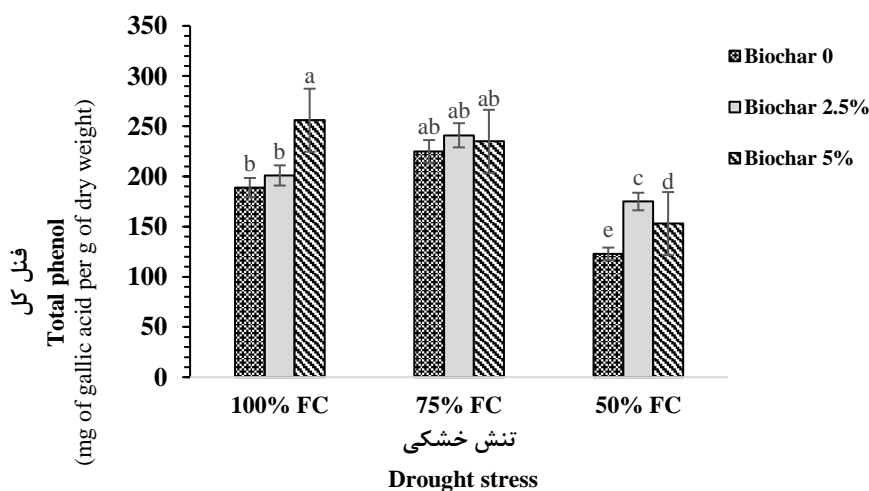
با توجه به نتایج این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد بیوچار در شرایط تنش خشکی می‌تواند به افزایش ترکیبات فنلی در گلرنگ کمک کند. این ترکیبات نه تنها نقش مهمی در دفاع گیاه در برابر تنش‌های محیطی دارند، بلکه می‌توانند به بهبود وضعیت فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه نیز کمک کنند.

در واکنش گلرنگ بهاره به رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش سرعت فتوسنتز و محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Singh et al., 2016). از سوی دیگر، افزایش محتوای نسبی آب برگ و فعالیت فتوسنتزی در دانه‌های کلم با کاربرد بیوچار نیز گزارش شده است (Yildirim et al., 2021).

کاربرد بیوچار و زئولیت در شرایط تنش خشکی می‌تواند به بهبود محتوای نسبی آب برگ کمک کند. این کودها با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و بهبود جذب آب توسط ریشه‌ها، اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داده و محتوای نسبی آب برگ را افزایش می‌دهند. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از بیوچار و زئولیت می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود تحمل گیاهان به تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرد.

## فنل کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی × بیوچار در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر ترکیبات فنل کل گلرنگ داشت (جدول ۴). بر اساس این نتایج، بیشترین میزان فنل کل (۲۵۶ میلی گرم اسید گالیک بر گرم



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی × بیوچار بر میزان فنل کل

Figure 1- The interaction effect of drought stress × biochar on total phenole content

اساس مقایسه میانگین‌ها، بیشترین درصد روغن (۳۲/۷۹ درصد) در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد ۵ درصد بیوچار و زئولیت اندازه‌گیری شد. اگرچه این مقدار با کاهش سطح آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت،

## درصد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی × بیوچار × زئولیت در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن دانه گلرنگ داشت (جدول ۴). بر

افزایش می‌دهند.

### نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش، افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار ویژگی‌های مورفولوژیکی، عملکرد دانه، درصد روغن، شاخص کلروفیل برگ و محتوای نسبی آب برگ در گلرنگ شد. با این حال، کاربرد بیوجار و زئولیت به‌طور قابل توجهی این ویژگی‌ها را در مقایسه با شرایط عدم مصرف این اصلاح‌کننده‌ها بهبود بخشید. استفاده از این اصلاح‌کننده‌های خاک تا حدی از بروز اثرات منفی تنش خشکی بر گلرنگ جلوگیری کرد و مانع از کاهش شدید این شاخص‌ها شد.

استفاده از نهاده‌هایی که جنبه‌های اکولوژیکی سیستم کشاورزی را بهبود بخشیده و خطرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهند، می‌تواند به پیشبرد اهداف کشاورزی پایدار کمک کند. بیوجار و زئولیت به‌عنوان مواد طبیعی و سازگار با محیط زیست، نه تنها باعث بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌شوند، بلکه می‌توانند به حفظ سلامت خاک و کاهش مصرف منابع آبی نیز کمک کنند.

با توجه به نتایج این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد بیوجار و زئولیت در شرایط تشدید تنش خشکی، راهکاری مناسب برای کاهش اثرات منفی این تنش و افزایش تولید گلرنگ است. این رویکرد نه تنها به بهبود عملکرد کشاورزی کمک می‌کند، بلکه گامی مهم در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و حفظ منابع طبیعی محسوب می‌شود.

### تشکر و قدردانی

بدینوسیله حمایت مالی که از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به شماره GR9360 تأمین شده، سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل که بستر اجرای این آزمایش را در مزرعه تحقیقاتی خود مهیا کردند، قدردانی می‌شود.

به‌طوری‌که در تیمار آبیاری پس از ۷۵ درصد ظرفیت زراعی همراه با ۵ درصد بیوجار و زئولیت، میزان ۳۱/۸ درصد روغن از دانه گلرنگ استحصال گردید. در مقابل، کمترین درصد روغن (۱۰/۹ درصد) در تیمار آبیاری پس از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد بیوجار و زئولیت مشاهده شد (جدول ۶). نتایج مشابهی در تحقیق دیگری نشان داد که کاربرد ۱۰ تن بیوجار در هکتار همراه با کودهای شیمیایی و آبیاری متداول، تأثیر مثبتی بر درصد روغن دانه داشت (Abbaspour *et al.*, 2017). این محققان بیان کردند که تنش خشکی نه تنها باعث کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی می‌شود، بلکه با کاهش دوره پر شدن دانه، بر تجمع بسیاری از مواد از جمله روغن نیز تأثیر منفی می‌گذارد. بخشی از کاهش درصد روغن در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان به کاهش طول دوره پر شدن دانه نسبت داد. در شرایط بدون تنش، زمان بیشتری برای پر شدن دانه وجود دارد و در نتیجه درصد روغن نیز افزایش می‌یابد. از آنجایی که ابتدا کربوهیدرات‌ها در دانه تجمع می‌یابند و سپس به روغن، پروتئین یا سایر مواد تبدیل می‌شوند، هرچه طول دوره پر شدن دانه بیشتر باشد، درصد روغن و عملکرد آن نیز بیشتر خواهد بود.

نتایج تحقیقات نشان داده است که آبیاری متداول باعث افزایش درصد روغن در مقایسه با شرایط تنش خشکی می‌شود (Salamati and Danaie, 2020). همچنین، در مطالعه‌ای روی ژنوتیپ‌های کنجد، مشخص شد که با افزایش شدت تنش خشکی، درصد روغن دانه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. بیشترین درصد روغن در تیمار شاهد (عدم تنش خشکی) و کمترین آن در تیمار تنش خشکی شدید مشاهده شد (Najafi and Safari, 2011).

با توجه به نتایج این تحقیق و مطالعات پیشین، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد بیوجار و زئولیت در شرایط تنش خشکی می‌تواند به افزایش درصد روغن دانه گلرنگ کمک کند. این کودها با بهبود شرایط رشد و افزایش طول دوره پر شدن دانه، تأثیرات منفی تنش خشکی را کاهش داده و درصد روغن را

### References

- Abasiyeh, S.K., Rad, A.H.S., Delkhoush, B., Mohammadi, G. N., and Nasrollahi, H., 2013. Effect of potassium and zeolite on seed, oil, and biological yield in safflower. *Annals of Biological Research*, 4(5), pp.204–207.

- Abbaspour, F., Asghari, H.R., Rezvani Moghaddam, P., Abbasdokht, H., Shabahang, J. and Baig Babaei, A., 2017. Effects of biochar application on yield and yield components of black seed (*Nigella sativa* L.) under low irrigation conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(5), pp.825–837. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.114596.2075>
- Abdelaal, K.A., Mazrou, Y.S. and Hafez, Y.M., 2020. Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. *Plants*, 9(6), pp.733. <https://doi.org/10.3390/plants9060733>
- Abedi Baba-Arabi, S., Movahhedi Dhnavi, M., Yadavi, A.R. and Adhami, A., 2010. Effect of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(1), pp.75–95. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.2008739.1390.4.1.6.8>
- Abhishek, A., Boyton, R.J., Peckham, N., McKnight, Á., Coates, L.C., Bluett, J., Barber, V., Cureton, L., Francis, A., Appelbe, D. and Eldridge, L., 2022. Effect of a 2-week interruption in methotrexate treatment versus continued treatment on COVID-19 booster vaccine immunity in adults with inflammatory condition (VROOM study): A randomised, open label, superiority trial. *The Lancet Respiratory Medicine*, 10(9), pp.840–850. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(22\)00186-2](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(22)00186-2)
- Agbna, G.H.D., Dongli, S., Zhipeng, L., Elshaikh, N.A., Guangcheng, S. and Timm, L.C., 2017. Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Scientia Horticulturae*, 222, pp.3–10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.004>
- Ahmad, I., Khan, M.A., Qasim, M., Ahmad, R. and Saleem, M., 2013. Substrate salinity affects growth, yield, and quality of *Rosa hybrida* L. *Pakistan Journal of Science*, 65(2), pp.191–196. <https://doi.org/10.57041/vol65iss2pp%25p>
- Ahmadi Azar, F., Hasanloo, T., Imani, A. and Feiziasl, V., 2015. Water stress and mineral zeolite application on growth and some physiological characteristics of mallow (*Malva sylvestris*). *Journal of Plant Research*, 28, pp.459–474. [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1394.28.3.1.0>
- Ahmadi, M. and Bahrani, M.J., 2009. Effect of nitrogen fertilizer on yield and yield components of three sesame cultivars in Bushehr province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 48(2), pp.123–131. [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763594.1388.13.48.34.4>
- Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Ibrahim, M., Riaz, M. and Shahzad, A.N., 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14), pp.12700–12712. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8904-x>
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, pp.112–121.
- Ashraf, M., 2010. Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotechnology Advances*, 28, pp.169–183. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005>
- Bamminger, C., Poll, C., Sixt, C., Hogy, P., Wüst, D., Kandeler, E. and Marhan, S., 2016. Short-term response of soil microorganisms to biochar addition in a temperate agroecosystem under soil warming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 233, pp.308–317. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.016>

- Batool, A., Taj, S., Rashid, A., Khalid, A., Qadeer, S., Saleem, A.R. and Ghufuran, M.A., 2015. Potential of soil amendments (biochar and gypsum) in increasing water use efficiency of *Abelmoschus esculentus* L. Moench. *Frontiers in Plant Science*, 6, pp.1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00733>
- Beyyavas, V., Haliloglu, H., Copur, O. and Yilmaz, A., 2011. Determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars, lines and populations under the semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*, 10, pp.527–534.
- Durukan, H., Demirbas, A. and Turkecul, I., 2020. Effects of biochar rates on yield and nutrient uptake of sugar beet plants grown under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23, pp.1–11. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1849257>
- Fanaei, H. and Narouirad, M.R., 2014. Study of yield, yield components and tolerance to drought stress in safflower genotypes. *Electronic Journal of Crop Production*, 7(3), pp.33–51. [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1393.7.3.3.0>
- Ghasemi Masarmi, A., Solouki, M., Golkari, S., Mahdinezhad, N., Kalaji, H.R., Fakhri, B. and Jabbari, M., 2022. Comparison of photosystem II yield in Iranian native wheat genotypes using chlorophyll fluorescence parameters under salinity stress. *Plant Production and Genetics*, 3(1), pp.67–84. [In Persian]. <https://doi.org/10.34785/J020.2022.154>
- Ghassemi Sahebi, F., Mohammadrezapour, O., Delbari, M., Khashei Siuki, A., Ritzema, H. and Cherati, A. 2020. Effect of utilization of treated wastewater and seawater with Clinoptilolite-zeolite on yield and yield components of sorghum. *Agricultural Water Management*, 234, pp.106117–106120. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106117>
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E. and Khodaei-Joghan, A., 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management*, 117, pp.106–114. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.007>
- Gomes-Sanchez, D., Vannozzi, G. P., Baldini, M., Tahamasebi Enferadi, S. and Dell Vedove, G., 2000. Effect of soil water availability in sunflower lines derived from interspecific crosses. *Italian Journal of Agronomy*, 1, pp.371–387.
- Guo, J., Ling, H., Wu, Q., Xu, L. and Que, Y., 2014. The choice of reference genes for assessing gene expression in sugarcane under salinity and drought stresses. *International Journal of Scientific Reports*, 4. <https://doi.org/10.1038/srep07042>
- Guo, Y.Y., Yu, H.Y., Kong, D.S., Yan, F. and Zhang, Y.J., 2016. Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. Seedlings. *Photosynthetica*, 54(4), pp.524–531. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0206-x>
- Haider, G., Koyro, H.W., Azam, F., Steffe, D., Müller, C. and Kammann, C., 2015. Biochar but not humic acid product amendment affected maize yields via improving plant-soil moisture relations. *Plant and Soil*, 395, pp.141–157. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2294-3>

- Hall, L.H., Johnson, J., Watt, I., Tsipa, A. and O'Connor, D.B., 2016. Healthcare staff wellbeing, burnout, and patient safety: A systematic review. *PLoS One*, 11(7), e0159015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159015>
- Hussain, S., Khan, F., Cao, W., Wu, L. and Geng, M., 2016. Seed priming alters the production and detoxification of reactive oxygen intermediates in rice seedlings grown under sub-optimal temperature and nutrient supply. *Frontiers in Plant Science*, 7, pp.439. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00439>
- Jain, S., Yue-Lioang, R., Mei-wang, L.E., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y. and Hong-Ving, Z., 2010. Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 4, pp.42–48.
- Joshan, Y., Sani, B., Jabbari, H., Mozafari, H. and Moaveni, P., 2020. The effect of late season drought stress on some morphophysiological characteristics of Iranian safflower varieties in Karaj region. *Environmental Stresses in Crop Science*, 13(4), pp.1093–1104. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.3193.1815>
- Joshi, N.L., Mali, P.C. and Sexena, A., 1998. Effect of nitrogen and sulphur application on yield and fatty acid composition of mustard (*Brassica juncea* L.) oil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 180, pp.59–63. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1998.tb00370.x>
- Kar, G., Kumar, A. and Martha, M., 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agricultural Water Management*, 87, pp.73–82. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.06.002>
- Kaykhazhaleh, M., Ramroudi, M., Galavi, M., Ghanbari, A. and Fanaei, H.R., 2022. Effect of drought stress on some morphophysiological traits and yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in response to potassium use. *Journal of Crops Improvement*, 24(4), pp.1133–1145. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2022.330328.2610>
- Khajepour, M.R., 2006. *Production of Industrial plants*. Isfahan University Jihad Publications, 250 pp. [In Persian].
- Khavari, M., Ramroudi, M., Ghanbri, A. and Dahmardeh, M., 2021. Effect of the yield and content of photosynthetic pigments of *Plantago ovata* in response to phosphorus fertilizers and planting method under drought stress. *Journal of Horticultural Nutrition Plants*, 4(1), pp.113–128. [In Persian]. <https://doi.org/10.22070/hpn.2021.14080.1128>
- Khoshnam, A. and Mamnoie, E., 2021. Effect of water stress and plant density on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in south Kerman. *Environmental Stresses in Crop Science*, 14(1), pp.39–46. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2526.1665>
- Kumar, A.R. and Kumar, M., 2008. Studies on the efficacy of sulphate of potash on physiological, yield and quality parameters of Banana cv. Robusta (Cavendish-AAA). *EurAsian Journal of BioSciences*, 2, pp.102–109.
- Mahesh, M., Thomas, J., Kumar, K.A., Bhople, B.S., Suresh, N.V., Vaid, S.K. and Sahu, S.K., 2018. Zeolite farming: A sustainable agricultural prospective. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(5), pp.2912–2924.
- Mansourifar, S., Shaban, M., Ghobadi, M. and Sabaghpoor, S.H., 2012. Study of grain filling in chickpea cultivars under drought stress and N fertilizer. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(3), pp.591–602. [In Persian].

- Mehrab, N., Chirom, M. and Hojat, S., 2016. Effect of raw and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-enriched zeolite on nitrogen uptake by wheat and nitrogen leaching in soils with different textures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47, pp.1306–1316. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1166377>
- Mohammadi, M., Ghassemi-Golezani, K., Zehtab-Salmasi, S. and Nasrollahzade, S., 2016. Assessment of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under water stress. *International Journal of Life Sciences*, 10(1), pp.58–64. <https://doi.org/10.3126/ijls.v10i1.14512>
- Mohtashami, F. and Tadayon, M.R., 2020. The response on yield and fatty acids composition in late planting of safflower genotypes ascorbic acid and jasmonic acid application under deficit irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Science*, 13(2), pp.455–469. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.2019.1499>
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P. K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M. and Ondrisik, P., 2021. Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*, 11(3), pp.448. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030448>
- Motghi, S., Mottaghi, M., Shiranirad, A. and Lotfifar, O., 2020. Study the efficiency of zeolite in reducing the effect of drought stress on agronomical traits and seed yield of rapeseed in Karaj region. *Plant Ecophysiology*, 11, pp.256–271. [In Persian]. <https://www.magiran.com/p1982431>
- Munne-Bosch, S., Nogues, S. and Alegre, L., 1999. Diurnal variations of photosynthesis and dew absorption by leaves in two shrubs growing in Mediterranean field conditions. *New Phytologist*, 144, pp.109–119. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00490.x>
- Murtaza, G., Ahmed, Z., Eldin, S.M., Ali, B., Bawazeer, S., Usman, M., Iqbal, R., Neupane, D., Ullah, A., Khan, A. and Hassan, M.U., 2023. Biochar-soil-plant interaction: A cross talk for sustainable agriculture under changing climate. *Frontiers in Environmental Science*, 11, pp.1059449. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1059449>
- Nabipour, M., Meskarabashee, M. and Yousefpour, H., 2007. The effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(3), pp.421–426. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.421.426>
- Najafi, H. and Safari, M., 2011. Study of drought stress on yield, yield component and oil of sesame cultivars. 11<sup>th</sup> *National Seminar of Irrigation and Evaporation Reduction*, pp.35–36. [In Persian].
- Nazar, M., Wang, S., Zhao, J., Dong, Z., Li, J., Ali Kaka, N. and Shao, T., 2020. The feasibility and effects of exogenous epiphytic microbiota on the fermentation quality and microbial community dynamics of whole crop corn. *Bioresource Technology*, 306, pp.123106. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123106>
- Nozari, R., Tohidi Moghadam, H.R. and Zahedi, H., 2013. Effect of cattle manure and zeolite applications on physiological and biochemical changes in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] grown under water deficit stress. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13(1), pp.76–84.

- Olmo, M., Alburquerque, J. A., Barrón, V., Del Campillo, M.C., Gallardo, A., Fuentes, M. and Villar, R., 2014. Wheat growth and yield responses to biochar addition under Mediterranean climate condition. *Biology and Fertility of Soils*, 50, pp.1177–1187. <https://doi.org/10.1007/s00374-014-0959-y>
- Paneque, M., José, M., Franco-Navarro, J.D., Colmenero-Flores, J.M. and Knicker, H., 2016. Effect of biochar amendment on morphology, productivity and water relation of sunflower plants under non-irrigation condition. *Catena*, 147, pp.3–10. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.037>
- Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J. and Mohammad Abadi, A.A., 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(1), pp.57–68. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v2i2.7631>
- Salamati, N. and Danaie, A. Kh., 2020. Evaluation of drought stress indices in surface deficit irrigation of new sesame cultivars. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(2), pp.69–87. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2020.17252.3270>
- Sargazi, S., Sirousmehr, A.R., Ghanbari, A. and Mousavi Nik, M., 2023. Evaluation of morphological and biochemical traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions and foliar application of organic fertilizer. *Journal of Plant Process and Function*, 54, pp.105–122. [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222727.1402.12.54.7.7>
- Shahbaz, A.K., Lewińska, K., Iqbal, J., Ali, Q., Mahmood-ur-Rahman, Iqbal, M. and Ramzani, P.M.A., 2018. Improvement in productivity, nutritional quality, and antioxidative defense mechanisms of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and maize (*Zea mays* L.) in nickel contaminated soil amended with different biochar and zeolite ratios. *Journal of Environmental Management*, 218, pp.256–270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.046>
- Shahsavari, N., 2019. Effects of zeolite and zinc on quality of canola (*Brassica napus* L.) under late season drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(9), pp.1117–1122. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1604729>
- Sibi, M., Mirzakhani, M. and Gomarian, M., 2012. Study of cell membranes instability of safflower under water stress, application of zeolite and salicylic acid. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(2), pp.119–136. [In Persian].
- Singh, S., Angadi, S.V., Grover, K., Begna, S. and Auld, D., 2016. Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the semiarid Southern High Plains. *Agricultural Water Management*, 163, pp.354–362. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.010>
- Singh, S.V., Vishakantiah, J., Meka, J.K., Muruganatham, M., Thiruvenkatam, V., Sivaprahasam, V., Rajasekhar, B.N., Bhardwaj, A., Mason, N.J. and Sivaraman, B., 2022. Three-dimensional complex architectures observed in shock processed amino acid mixtures. *Experimental Results*, 3, pp.1–13. <https://doi.org/10.1017/exp.2021.17>

- Taghizadeh Tabari, Z., Asghari, H.R., Abbasdokht, H. and Babakhanzadeh Sajirani, E., 2020. Effects of biochar and salicylic acid on physiological and morphological characteristics of European borage (*Borago officinalis* L.) under water deficit conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 36(1), pp.98–111. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/jopp.2021.17250.2599>
- Tayyab, N., Naz, R., Yasmin, H., Nosheen, A., Keyani, R., Sajjad, M., Hassan, M.N. and Roberts, T. H., 2020. Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought-induced stress in maize. *PLoS One*, 15(5), pp.e0232269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232269>
- Toupchi Khosrowshahi, Z., Ghassemi-Golezani, K., Salehi-Lisar, S. Y. and Motafakkerazad, R., 2020. Changes in antioxidants and leaf pigments of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) affected by exogenous spermine under water deficit. *Biologia Futura*, 71, pp.313–321. <https://doi.org/10.1007/s42977-020-00039-z>
- Weiss, E.A., 2000. *Oilseed Crops* (2nd ed.). Blackwell Science Ltd.
- Yildirim, E., Ekinci, M. and Turan, M., 2021. Impact of biochar in mitigating the negative effect of drought stress on cabbage seedlings. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, pp.2297–2309. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00522-z>
- Younis, U., Danish, S., Ameer, A., Qureshi, T.I., Manzoor, H., Shakeel, A. and Ehsanullah, M., 2015. Influence of biochar on growth and photosynthetic attributes of *Triticum aestivum* L. under half and full irrigation. *International Journal of Biosciences*, 5(7), pp.101–108. <https://doi.org/10.12692/ijb/5.7.101-108>
- Zhang, D., Ding, Y., Chen, P., Zhang, X., Pan, Z. and Liang, D., 2020. Automatic extraction of wheat lodging area based on transfer learning method and DeepLabv3+ network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, pp.105845. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105845>



# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 315-336

### The effect of putrescine and spermidine on the quantitative and qualitative traits, and concentration of leaf mineral elements of sugar beet in different irrigation regimes (Case study: Torbat-Heydarieh)

Mehdi Abbaszadeh <sup>a</sup>, Reza Sadrabadi Haghghi <sup>\*a</sup>, Ali Bagherzadeh Chaharjoui <sup>a</sup>, Amir Salari <sup>b</sup>, Seyed Mostafa Hoseini- Mazinani <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Agricultural Science, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

<sup>b</sup> Department of Science and Water Engineering, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Iran

<sup>c</sup> Department of Agriculture, Yadegar-e-Imam Shaher Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

\*Corresponding Author: [rsadrabadi@mshdiau.ac.ir](mailto:rsadrabadi@mshdiau.ac.ir)

Received: 12 November 2022 Accepted: 19 January 2023 DOI: 10.22034/CSRAR.2023.368778.1290

#### How to cite this article:

Abbaszadeh, M., Sadrabadi Haghghi, R., Bagherzadeh Chaharjoui, A., Salari, A., and Hoseini-Mazinani, S. M., 2025. The effect of putrescine and spermidine on the quantitative and qualitative traits, and concentration of leaf mineral elements of sugar beet in different irrigation regimes (Case study: Torbat-Heydarieh). *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 315–336. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2023.368778.1290>

#### Abstract

**Introduction:** Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is well-known as the second most important sugar-producing crop after sugarcane, contributing to more than 30% of world sugar production. Water stress is considered one of the main factors of reducing Sugar Beet yield, and therefore it is necessary to use strategies to reduce its adverse effects. The external application of growth regulators under stress conditions eliminates the lack of internal plant regulators and reduces the damage of stress on plant growth. Exogenous PAs application can effectively upregulate the situation; among different types of PAs, putrescine and spermidine were found to have the greatest significance in plants water stress. Polyamine can respond to different abiotic and biotic stresses by regulating physiological processes. The purpose of this research is to investigate the effect of irrigation regimes and polyamine foliar spraying on quantitative and qualitative traits and nutritional elements of Sugar Beet.

**Materials and Methods:** This experiment was conducted as split plots based on a randomized complete block design with three replications in Rokh plains of Torbat Heydarieh city Torbat Heydarieh region of Razavi Khorasan province in 2020. The main plots were allocated to irrigation treatments including: 100, 75 and 50% of water requirement and the sub plots were allocated to polyamine treatment in the form of foliar spraying including: putrescine (1 and 0.5 mM), spermidine (1 and 0.5 mM) and control (without foliar spraying) were placed in sub-plots. Drought stress was applied on the 8-leaf of the vegetative growth stage. The foliar application was done in two stages: 8 leaves and the middle stage of the growing season (18 to 20 leaves). One week after foliar feeding, nutrients including: nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, copper, manganese and boron were measured in leaf samples. At the end of the growing season, quantitative



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

traits including: fresh and dry weight of shoot, root weight, root yield and qualitative traits including: percentage of sugar, harmful nitrogen, potassium and sodium were measured.

**Results and Discussion:** The results showed the effect of polyamine foliar spraying and irrigation on all functional traits including biological yield, root yield, root dry weight, leaf fresh and dry weight and sugar content, qualitative yield traits including: sugar yield, white sugar yield, extractable sugar and coefficient extraction of sugar and leaf nutrients was significant. In the foliar application of polyamines, 1 mM putrescine treatment had the highest quantitative, qualitative and leaf nutrients, which has not significant difference with 1 mM spermidine. A significant difference was also observed between irrigation levels in all functional traits. Water stress caused the reduction of nutrients in the leaves and the highest amount of elements was obtained from the full irrigation treatment. The effects of polyamines \* irrigation on some traits such as root yield, sugar yield and white sugar yield were significant and there was no significant difference between putrescine and spermidine treatment at 100% and 75% of field water requirement. In the mild stress treatment (75% irrigation), the amount of root yield was lower compared to the 100% irrigation level, at the same time, a small difference in root yield was observed between the application of two types of polyamine used at the level of 1 millimolar and the level of mild stress. Therefore, with foliar spraying of polyamines in the amount of one millimolar at a mild stress level, the amount of root yield equivalent to the optimal irrigation level was reached.

**Conclusion:** In general, foliar spray with polyamines significantly improves the morphophysiological traits, quantitative and qualitative yield of sugar beet and reduces the negative effect of drought stress, which is probably due to the important role of these elements in the process of osmotic regulation and other physiological, nutritional and biochemical reactions of plants. Therefore, polyamine foliar spraying (putrescine and spermidine) in 1 mM concentration with 75% of RW irrigation is recommended in sugar beet cultivation, especially in drought stress conditions. These findings collectively provide an important illustration of the use of polyamines in modulating drought tolerance in sugar beet plants.

**Keywords:** Extraction coefficient of sugar, Growth regulators, Root yield, Sugar yield

## اثر پوترسین و اسپرمیدین بر صفات کمی، کیفی و غلظت عناصر معدنی برگ چغندر قند در سطوح مختلف آبیاری (مطالعه موردی: تربت حیدریه)

مهدی عباس زاده<sup>۱</sup>، رضا صدرآبادی حقیقی<sup>۱\*</sup>، علی باقرزاده چهارجویی<sup>۱</sup>، امیر سالاری<sup>۲</sup>، سید مصطفی حسینی مزینانی<sup>۳</sup>

۱- گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مجتمع آموزش عالی میناب، هرمزگان، ایران

۳- گروه کشاورزی، واحد یادگار امام شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

\* مسئول مکاتبه: [rsadrabadi@mshdiau.ac.ir](mailto:rsadrabadi@mshdiau.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.368778.1290

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱

### چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی پلی آمین ها و رژیم های مختلف آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی و برخی از عناصر غذایی چغندر قند، آزمایشی به صورت کرت های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در دشت جلگه رخ تربت حیدریه استان خراسان رضوی اجرا گردید. تیمارهای اصلی شامل آبیاری با ۷۵، ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی چغندر قند و تیمارهای فرعی شامل کاربرد پلی آمین به صورت محلول پاشی پوترسین (۱ و ۰/۵ میلی مولار)، اسپرمیدین (۱ و ۰/۵ میلی مولار) و شاهد (بدون محلول پاشی) بودند. نتایج نشان داد اثر تیمارهای محلول پاشی پلی آمین و آبیاری بر تمامی صفات کمی و کیفی شامل عملکرد بیولوژیک، عملکرد ریشه، وزن خشک ریشه، وزن تر و خشک برگ، عیار قند، عملکرد شکر، عملکرد شکر خالص، قند قابل استحصال و ضریب استحصال قند و عناصر غذایی برگ معنی دار بود. در محلول پاشی پلی آمین ها، تیمارهای پوترسین و اسپرمیدین یک میلی مولار، دارای بیشترین عملکرد کمی، کیفی و عناصر غذایی برگ بودند. سطوح مختلف آبیاری نیز اثر معنی داری بر کلیه صفات عملکردی داشت. کم آبیاری باعث کاهش عناصر غذایی در برگ گردید و بالاترین مقدار عناصر از تیمار آبیاری کامل حاصل شد. اثرات متقابل پلی آمین ها و آبیاری بر صفاتی نظیر عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید معنی دار بود. به طور کلی نتایج این تحقیق مشخص نمود محلول پاشی پوترسین و اسپرمیدین با غلظت ۱ میلی مولار در آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی، به طور معنی داری سبب بهبود صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد کمی و کیفی چغندر قند شده و اثر منفی تنش خشکی را کاهش می دهد.

**واژه های کلیدی:** تنظیم کننده رشد، ضریب استحصال قند، عملکرد ریشه، عملکرد شکر

### مقدمه

بخش عظیمی از کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک است و با توجه به این که تنش خشکی شایع ترین تنش غیرزنده است، بررسی راهکارهایی مناسب جهت برخورد با این موضوع برای متخصصان کشاورزی اهمیت به سزایی دارد (Rostampoor and Jafari, 2017). تنش خشکی در کاهش جذب عناصر غذایی نیز نقش زیادی دارد. با توجه به این که بیشتر مناطق چغندرکاری با محدودیت کمبود آب و مشکلات مرتبط با وضعیت شیمیایی خاک مواجه اند، بنابراین مدیریت زراعی مناسب جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود جذب عناصر غذایی، یکی از راهکارهای عملی در مزرعه برای افزایش بهره‌وری خواهد بود (Kafi et al., 2018).

نتایج تحقیقات مختلف نشان می دهد تحت تأثیر تنش رطوبتی، عملکرد ریشه و وزن خشک کل بوته کاهش می یابد

بیش از ۳۰ درصد شکر مورد نیاز جهان، توسط زراعت چغندر قند (*Beta vulgaris L.*) تأمین می گردد. این محصول علاوه بر تولید شکر در تأمین خوراک دام و تناوب زراعی نقش مهمی دارد (Noshad et al., 2016). گیاهان در شرایط عادی رشد و نمو خود در معرض تنش های محیطی مختلفی قرار دارند (Yilmaz et al., 2011). امروزه گرم شدن کره زمین ناشی از تغییرات اقلیم و به دنبال آن کمبود آب و تنش خشکی، به عنوان مهم ترین چالش پیش روی تولیدات کشاورزی در جهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (Yadollahi Farsani, 2020). با توجه به نیاز آبیاری چغندر قند در مناطق خشک و نیمه خشک، هرساله به دلیل کمبود منابع آب در کشور سطح کشت این محصول رو به کاهش است (Mohammadian, 2020).

خشکی به مقدار زیادی در اندام گیاه تولید و ذخیره می‌شوند و هم‌چنین در همانندسازی DNA و فسفریلایسیون پروتئین، تغییر فعالیت آنزیم‌ها و حفظ یکپارچگی غشای سیتوپلاسمی و اندامک‌های سلولی نقش دارند (Chen et al., 2019). کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها می‌تواند با مهار پراکسیدلیپیدها، افزایش کارایی مصرف آب و تعدیل متابولیسم گیاه تحمل گیاهان به خشکی را افزایش دهد (Sagor et al., 2013). با توجه به محدودیت موجود، یکی از مشکلات اساسی تغذیه گیاهان زراعی، عدم تعادل در جذب عناصر غذایی توسط گیاه است. به نظر می‌رسد ایجاد یک پیوند آلی فلزی بین عناصر غذایی و پلی‌آمین‌ها می‌تواند به ایجاد تعادل عناصر غذایی کمک کرده و ضمن کاهش خواص آنتاگونیستی عناصر، جذب آن‌ها را نیز افزایش دهد (Xiaoan et al., 2019). از این رو پلی‌آمین‌ها با کاهش اثر تنش خشکی، باعث تأخیر در پیری برگ‌ها و هم‌چنین طولانی شدن طول دوره مؤثر پرشدن مخزن شده و با تسهیل انتقال مواد فتوسنتزی، باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی می‌گردند (Emadi et al., 2013). اهداف این تحقیق، بررسی تأثیر کاربرد دو نوع پلی‌آمین اسپرمیدین و پوترسین بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند، جذب برخی عناصر غذایی ماکرو و میکرو و هم‌چنین افزایش عیار قند و کاهش نیترات مضر چغندر قند تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر پلی‌آمین‌ها بر جذب عناصر غذایی و خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند تحت تنش خشکی در سال ۱۳۹۹ در تربت حیدریه به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق کشت چغندر قند استان خراسان رضوی اجرا شد. آزمایش در دشت جلگه رخ تربت حیدریه واقع در مجتمع کشاورزی دشت گل با موقعیت جغرافیایی عرض ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و طول ۵۹ درجه و ۰۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۰۴ متری از سطح دریا انجام شد. میانگین درازمدت دمای روزانه ۱۴/۹، میانگین حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۷/۴ و ۲۲/۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش ۱۹۸/۱۳ میلی‌متر در سال است. برخی از اطلاعات هواشناسی ماهانه در طول دوره رشد در جدول ۲ نشان داده شده است. قبل از مراحل آماده‌سازی زمین، نمونه برداری مرکب از عمق صفر تا ۳۰

(Ozby and Yildirim, 2018). پژوهش‌گران دیگری نیز طی پژوهشی بر روی چغندر قند تحت شرایط تنش خشکی بیان داشتند که ارقام مورد مطالعه از نظر صفات مورد بررسی از جمله عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد قند و هم‌چنین مقدار عناصری از جمله سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضر تفاوت معنی‌دار داشته است (Rajabi et al., 2013). در شرایط کمبود آب، چغندر قند می‌تواند ریشه‌های خود را تا عمق یک متر گسترش داده و آب را از اعماق پایین‌تر جذب نماید (Tamara et al., 2017). هم‌چنین در نتایج تحقیق دیگر در مورد طول دوره تنش خشکی بر عملکرد و کیفیت چغندر قند نشان داد که با افزایش طول دوره خشکی از ۲۰ به ۶۰ روز از درصد قندهای قابل‌حل، ساکارز، درجه خلوص، عملکرد ریشه، عملکرد قند خالص، شاخص برداشت، سدیم ریشه و نسبت سدیم به پتاسیم کاسته شده و بر مقدار پتاسیم ریشه افزوده می‌گردد (AL-Jbawi and Abbas, 2013).

در سال‌های اخیر کاربرد مؤثر تنظیم‌کننده‌های رشدی مثل سالیسیلیک اسید، پلی‌آمین‌ها، آبسیزیک اسید و اسید جاسمونیک برای کاهش اثرات تنش‌های محیطی بر روی گیاهان مطرح می‌باشند (Yiu et al., 2009; Singh and Gautam, 2013). پلی‌آمین‌ها در همه سلول‌های گیاهان یافت می‌شوند و علاوه بر تنش‌های زیستی و غیرزیستی، در فرایند رشد و نمو فعال هستند و هم‌چنین نقش دفاعی در گیاهان ایفا می‌کنند (Minocha, 2014; Alcazar et al., 2010). کاربرد خارجی محرک‌های رشد تحت شرایط تنش، باعث رفع کمبود تنظیم‌کننده‌های درونی گیاه می‌شود و آسیب‌های تنش بر رشد گیاهان را کاهش می‌دهد (Ashraf and Foolad, 2007; Ashraf and Akram, 2010). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، از عوامل مؤثر بر عملکرد و تولید گیاه هستند و پلی‌آمین‌ها، گروهی از این ترکیبات را تشکیل می‌دهند. پلی‌آمین‌ها ترکیبات کاتیونی دارای دو یا چند گروه آمین هستند و به دلیل تنوع در تعداد و موقعیت گروه‌های آمین، وظایف گوناگونی از جمله سیگنالینگ سلولی، ثبات غشا، تکثیر و مرگ سلولی را بر عهده دارند (Rangan et al., 2014). پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین، پلی‌آمین‌های اصلی در گیاهان عالی هستند که می‌توانند به فرم آزاد یا متصل با ترکیبات دیگر وجود داشته باشند (Kamiah et al., 2015). پلی‌آمین‌ها در پاسخ به

سانتی متری خاک به صورت تصادفی تهیه شد و برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تعیین نیاز کودی گیاه به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل گردید (جدول ۱). بافت خاک منطقه لومی و درصد شن، سیلت و رس آن به ترتیب ۴۴، ۳۴ و ۲۲ به دست آمد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil from study site

هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	مواد خنثی شونده TNV (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	منگنز Mn (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)
4.54	7.81	0.61	17.51	0.056	9.37	237.5	0.69	5.62	0.53	4.23

جدول ۲- برخی از مؤلفه‌های مهم هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تربت حیدریه در فصل رشد چغندر قند در سال ۱۳۹۹

Synoptic Station during the sugar beet growing season Table 2- Some important meteorological components of Torbat Heydarieh in 2020

ماه Month	مجموع تبخیر Total evaporation (mm)	مجموع بارندگی Total rainfall (mm)	میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%)	میانگین درجه حرارت Average temperature (°C)
اردیبهشت 21 April-21 May	207.9	34.7	44.6	18.1
خرداد 22 May-21 June	372.5	0	18.2	25.2
تیر 22 June-22 July	404.9	0.6	20.6	26.4
مرداد 23 July-22 August	374.5	0	23.8	26.9
شهریور 23 August-22 September	296.3	0	24.7	21.5
مهر 23 September-22 October	175.5	0	21.6	14.5

مورد استفاده، رقم دورتی تک جوانه و کشت در تاریخ ۹۹/۲/۲ صورت گرفت. ابعاد کرت فرعی به طول ۱۰ و عرض ۳ متر در نظر گرفته شد. بذرکاری به صورت ردیفی با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف پس از تنک کردن ۱۷ سانتی متر در عمق ۲ سانتی متری خاک صورت گرفت. بین تیمارها یک کرت نکاشت و بین تکرارها نیز ۳ متر فاصله در نظر گرفته شد. عملیات تنک کاری بوته‌های اضافی جهت دستیابی به تراکم مطلوب (۱۰۰ هزار بوته در هکتار) در مرحله ۲ تا ۴ برگی انجام پذیرفت. پس از انجام کرت بندی، آبیاری به روش قطره‌ای انجام و در ادامه به منظور اندازه‌گیری میزان آب مصرفی، کنتور حجمی نصب گردید. مقدار آب مورد نیاز گیاه با استفاده از روش فائوپنمن مانیتیت به دست آمد (روش فائوپنمن مانیتیت

این آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارها شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی چغندر قند به عنوان تیمارهای اصلی و محلول پاشی با دو نوع پلی آمین اسپرمیدین و پوترسین در دو غلظت نیم و یک میلی مولار و شاهد (بدون مصرف پلی آمین) به عنوان تیمارهای فرعی انجام شد. عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی بستر کشت شامل شخم، دیسک و تسطیح در فروردین ماه انجام شد. همراه با آماده‌سازی بستر کشت، کودهای فسفر و پتاس بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی به ترتیب به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت. بذر

استفاده از سم پاش دستی صورت پذیرفت. محلول پاشی اول در ۲۹ خردادماه و دومین محلول پاشی ۹۹/۵/۲۴ انجام و زمان محلول پاشی ساعت ۱۷ تا ۱۹ بعدازظهر بود. تیمار شاهد با آب محلول پاشی شد. کلیه عملیات داشت؛ مانند خاک دهی، علف زنی، دادن کود سرک (اوره) برای تمام تیمارها به صورت یکسان در طول فصل انجام شد. در اول شهریورماه تمام کرت‌ها جهت مبارزه با سفیدک پودری با چارچ کش تری دمورف (کالکسین) ۷۵ درصد امولسیون با دوز ۰/۷۵ لیتر در هکتار سم پاشی شد.

به منظور بررسی چگونگی اثر تیمارها بر جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو مؤثر در فرایند رشد، از برگ‌های سالم و کامل، در دو نوبت (یک هفته پس از محلول پاشی) پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، سه بوته از هر کرت فرعی نمونه برداری شده و پس از جداسازی برگ از ریشه، ۱۰۰ گرم از برگ‌های جدا شده از هر تیمار جهت تجزیه برگ و اندازه‌گیری عناصر ماکرو شامل ازت کل به روش میکروکجلدال (با استفاده از دستگاه اتوآنالیز کجلتک)، فسفر به روش کالریمتری (توسط اسپکتروفتومتر) و پتاسیم و سدیم به وسیله دستگاه فلیم فتومتر به آزمایشگاه ارسال گردید. کلسیم و منیزیم به روش هضم خشک دستگاه جذب اتمی، بور به هضم خشک روش کالریمتری توسط اسپکتروفتومتر و عناصر میکرو آهن، روی، مس و منگنز به روش استخراج با هضم خشک انجام و توسط دستگاه جذب اتمی در آزمایشگاه خاک‌شناسی اندازه‌گیری شد (Emami, 1996).

در پایان فصل رشد نیز برای نوبت سوم نمونه برداری صورت گرفت و برای اندازه‌گیری صفات کمی شامل: وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن ریشه، عملکرد ریشه، و صفات کیفی شامل: درصد عیار قند (به روش پلاری متری)، نیتروژن مضر (با دستگاه بتالایزر)، مقادیر پتاسیم و سدیم (به روش فلیم فتومتری) به آزمایشگاه‌های مربوطه ارسال گردید. به منظور اندازه‌گیری عملکرد؛ در انتهای فصل رشد (پانزده آبان‌ماه) با در نظر گرفتن اثر حاشیه، به طور تصادفی از سطحی معادل ۶ مترمربع برداشت صورت پذیرفت. پس از سرزنی ریشه‌ها، وزن تر اندام هوایی و ریشه‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری و عملکرد بر حسب تن در هکتار محاسبه شد. از مجموع ریشه‌های هر تیمار یک نمونه خمیر ریشه (حدوداً ۳۰ گرم) در آزمایشگاه عیارسنجی کارخانه قند فریمان تهیه و جهت انجام تجزیه‌های کیفی مورد استفاده

روش استاندارد جهانی و دقیق مورد استفاده جهت تعیین نیاز آبی گیاهان است)، جهت تعیین مقدار نیاز آبی گیاه با استفاده از روش فائوپنمن مانتیث، ابتدا داده‌های هواشناسی روزانه از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی منطقه اخذ شده، سپس با وارد کردن آمار هواشناسی روزانه در مدل Cropwat که بر اساس روش فائوپنمن مانتیث طراحی گردیده است، مقدار تبخیر و تعرق مرجع روزانه محاسبه گردید، محاسبه نیاز آبی روزانه هر گیاه، با ضرب تبخیر و تعرق مرجع روزانه در ضریب گیاهی (Kc) به دست آمد. شایان ذکر است که ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد متفاوت بوده و به‌طور کلی از بخش ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی تشکیل یافته است و جهت محاسبه نیاز آبی، داشتن نمودار تغییرات ضریب گیاهی طی دوره رشد لازم است. ضریب گیاهی چغندر قند در مناطق مورد مطالعه بر اساس تحقیقات قبلی در دسترس بود (Dehghan and Alizadeh, 2012). نیاز آبی روزانه گیاه بر اساس معادله ۱ محاسبه شد.

$$WR = (ET_c + R_o - P_e - CR) / (E_i / 100) \quad (1)$$

که در آن: WR: نیاز آبی روزانه گیاه بر حسب میلی‌متر،  $ET_c$ : تبخیر و تعرق گیاه زراعی بر حسب میلی‌متر،  $R_o$ : رواناب بر حسب میلی‌متر،  $P_e$ : بارندگی مؤثر (میلی‌متر)،  $CR$ : صعود کاپیلاری (میلی‌متر)،  $R_i$ : راندمان آبیاری بر حسب درصد، با توجه به عمق پایین سطح ایستابی در منطقه آزمایش، مقدار صعود کاپیلاری با توجه به بسته‌بودن کرت‌ها و مقدار رواناب صفر در نظر گرفته شدند. راندمان آبیاری قطره‌ای نیز ۹۰ درصد در نظر گرفته شد (Alizadeh and Kamal, 2007). آبیاری کلیه تیمارها هر پنج روز یکبار پس از محاسبه نیاز آبی برای هر تیمار، با استفاده از کنتور حجمی برای هر تیمار جداگانه انجام شد. این مقدار حجم آب به دست آمده، حجم آبیاری کامل، مطلوب و بدون تنش گیاه است (سطح ۱۰۰ درصد). حجم آب مورد نیاز در تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، به ترتیب با ضرب اعداد ۰/۷۵ و ۰/۵۰ در حجم آب محاسبه شده تیمار ۱۰۰ درصد به دست آمد. اولین آبیاری جهت خاک آب در تاریخ ۹۹/۲/۳ صورت گرفت و تا مرحله استقرار کامل گیاه یعنی هشت‌برگی آبیاری به صورت کامل انجام شد. اعمال تیمارهای آبیاری پس از مرحله ۸ برگی تا اتمام دوره رشد گیاه انجام شد. محلول پاشی پلی آمین‌ها، بعد از تهیه غلظت‌های مورد نظر، در دو نوبت ۸ برگی و مرحله میانی فصل رشد (۱۸ تا ۲۰ برگی) با

به ترتیب ۱۷ و ۶۱ درصد افزایش عملکرد بیولوژیک داشت. مقایسه میانگین‌های عملکرد ریشه در تیمارهای مختلف نشان داد که بیشترین عملکرد ریشه مربوط به تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود و تیمار آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی در رتبه دوم قرار داشت. تیمار آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی کمترین رتبه را از نظر این صفت به خود اختصاص داد (جدول ۴). صفات وزن خشک ریشه، وزن تر برگ و وزن خشک برگ نیز از همین قاعده پیروی نموده و بالاترین عملکرد آن‌ها در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۴). به عبارتی تیمارهای کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد ریشه نسبت به شرایط آبیاری کامل شدند که با یافته‌های محققین دیگر (Yadollahi, Farsani, 2020; Mahrokh and Khajepoor, 2010) مطابقت داشت. تنش خشکی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود. در نتیجه میزان فتوسنتز و سطح برگ کاهش می‌یابد (Hernandez-Santana et al., 2017). در نهایت با کاهش تولید آسیمیلات‌ها عملکرد ریشه نیز کاهش پیدا می‌کند. در شرایط تنش خشکی دو دلیل برای کاهش رشد برگ و ریشه ذخیره‌ای چغندر قند وجود دارد که عبارت‌اند از: پتانسیل فشاری کم که موجب کندی توسعه سلول‌ها می‌شود و کاهش هدایت روزنه‌ای که باعث کم‌شدن جذب دی‌اکسید کربن برای تولید ماده خشک می‌شود (Cooke and Scott, 1993). تعدادی از پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که عملکرد ریشه در چغندر قند به تنش آبی بسیار حساس بوده و با بروز تنش، عملکرد ریشه کاهش می‌یابد (Mohammadian et al., 2005). در نتیجه آزمایش دیگری نیز گزارش کردند که عملکرد ریشه در شرایط آبیاری معمولی نسبت به تنش، افزایش معنی‌داری داشت (Nadali et al., 2010). دلیل کاهش عملکرد تحت تأثیر تنش کم‌آبی آن است که کمبود آب باعث کاهش رشد چغندر قند شده و به‌ویژه باعث کم‌شدن آماس سلول و افزایش پتانسیل آب خاک می‌شود. اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به محدودیت رطوبتی دارند و محدودیت نموی گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد (Sharp and Lenoble, 2002). با کاهش میزان رطوبت قابل دسترس گیاه، کاهش سطح برگ اتفاق می‌افتد و جذب نور توسط سایه‌انداز کاهش یافته و در پی آن ماده خشک تولیدی نیز کاهش می‌یابد (Naderi et al., 2005). هم‌چنین در تحقیقی دیگر نشان داد

قرار گرفت. پس از عصاره‌گیری از هر نمونه و شفاف‌سازی عصاره تهیه شده با استفاده از سو استات سرب، عیار قند به روش پلاریمتری توسط دستگاه ساکاری‌متر، غلظت پتاسیم و سدیم به روش فلیم فتومتری و نیتروژن مضر به روش عدد آبی و با استفاده از دستگاه بتاآنالیزر اندازه‌گیری شد (Kant and Kafkafi, 2002).

الکالیته یا ضریب کلیانیت (Alc) نمونه‌های مورد آزمایش با استفاده از معادله ۲، میزان قند ملاس (MS) بر اساس معادله ۳، عملکرد شکر (SY) از معادله ۴، شکر قابل استحصال (WSC) از معادله ۵، عملکرد شکر سفید (WSY) از معادله ۶ و ضریب استحصال شکر (ECS) از معادله ۷ و از طریق روابط زیر محاسبه شدند (Abdollahian-noghabi et al., 2005).

$$\text{Alc} = (\text{k} + \text{Na}) / \text{a-amino-N} \quad (2)$$

$$\text{MS} = 0.34(\text{Na} + \text{k}) + 0.094(\text{a-amino-N}) \quad (3)$$

$$\text{SY} = \text{RY} \times \text{SC} \quad (4)$$

$$\text{WSC} = \text{SC} - (\text{MS} + 0.6) \quad (5)$$

$$\text{WSY} = \text{WSC} \times \text{RY} \quad (6)$$

$$\text{ECS} = (\text{WSC} \div \text{SC}) \times 100 \quad (7)$$

داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری شده پس از اطمینان از همگنی واریانس خطاها با نرم‌افزارهای آماری SAS و MSTAT-C آنالیز و میانگین‌های معنی‌دار شده توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ارزیابی شدند. نمودارها و جداول مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

## نتایج و بحث

**صفات عملکردی:** نتایج نشان داد که اعمال تنش آبی و کاربرد مقادیر مختلف پلی‌آمین بر تمامی صفات عملکردی شامل عملکرد بیولوژیک، عملکرد ریشه، وزن خشک ریشه، وزن تر و خشک برگ و عیار قند تأثیر معنی‌داری داشت و اثر متقابل تنش آبی و پلی‌آمین نیز بر صفت عملکرد ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تیمارهای تنش آبی نشان داد که آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی دارای بالاترین مقدار صفات عملکردی بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود که با تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی مزرعه اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۴). این تیمار نسبت به تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی

زرعی)، اسپرمین یک میلی مولار در رفع آسیب‌های ناشی از تنش خشکی نقش مؤثرتری نشان داده است (Farahbakhsh, Tang and Newton, 2014). در تحقیقی دیگر (Tang and Newton, 2005) گزارش کردند که نقش پلی‌آمین‌ها در افزایش بیوماس گیاهی به احتمال زیاد مربوط به اثر آنتی‌اکسیداتیو، کمک به تعادل کاتیون آنیون و یا به احتمال عمل به عنوان منبع نیتروژن بوده است. پلی‌آمین‌ها از طریق افزایش فعالیت‌های آنزیمی، آنتی‌اکسیداتیو و مقاومت گیاه در مقابل تنش‌های محیطی باعث افزایش پارامترهای رشد و عملکرد در گیاه می‌گردد (Rangan et al., 2014).

در تحقیق حاضر، تنش کم‌آبی باعث افزایش عیار قند شد. بیشترین عیار قند در تیمار آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی مزرعه حاصل شد. تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در گروه دوم آماری قرار داشت و کمترین مقدار عیار قند در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که با تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری نداشت. با توجه به بالا بودن عیار قند در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی، این افزایش عیار قند تا حدودی جایگزین کاهش عملکرد ریشه در این تیمار شده است. بیشترین عیار قند در تیمار پوترسین یک میلی مولار به دست آمد که با تیمار اسپرمیدین یک میلی مولار اختلاف معنی‌داری نداشت؛ ولی با سایر تیمارهای گروه اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین عیار قند نیز به تیمار شاهد اختصاص داشت. به نظر می‌رسد که تغییر هورمونی ناشی از تنش خشکی سبب شده است تا مواد غذایی بیشتری به سمت ریشه حرکت کند و ناخالصی‌ها کاهش و عیار قند افزایش پیدا کند (Khajepoor, 2005). در پژوهشی تیمار تنش آبیاری در مقایسه با تیمار شاهد بالاترین درصد قند را نشان داد. هم‌چنین کمترین عیار قند نیز به دلیل آبیاری کامل و بزرگ شدن ریشه‌ها از تیمار آبیاری کامل حاصل شد (Noorjou and Baghei-Kiani, 2004) که با نتایج این تحقیق هم‌سو است. هم‌چنین بالاتر بودن عیار قند در شرایط تنش خشکی ممکن است به علت از دست رفتن آب ریشه‌ها و کوچک بودن آن‌ها در این شرایط باشد (Ober, 2001).

به طور مشابه محققین دیگر (Mahrokh and Khajepoor, 2019) نشان دادند تنش رطوبتی از طریق افزایش عیار قند باعث افزایش درصد شکر قابل استحصال شد.

که تیمارهای آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ریشه چغندر قند داشته و حداکثر عملکرد ریشه از تیمار شاهد (آبیاری کامل) به دست آمد (Noorjou and Baghaei-Kiani, 2004) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

تنش خشکی با کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز، سبب کاهش تولید آسیمیلات‌ها می‌شود؛ بنابراین تجمع ماده خشک در گیاه کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقی دیگر نیز نشان داد تنش خشکی به کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه چغندر قند منجر شد (Ghaffari and Tadayon, 2017).

بیشترین عملکرد بیولوژیک، عملکرد ریشه، وزن خشک ریشه، وزن تر برگ و وزن خشک برگ در تیمار پوترسین یک میلی مولار حاصل شد که با تیمار اسپرمیدین یک میلی مولار اختلاف معنی‌داری نداشت؛ ولی با بقیه تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). افزایش وزن تر و خشک در گیاهان تیمار شده با پوترسین و اسپرمیدین را می‌توان به تأثیر پلی‌آمین‌ها در بهبود شاخص‌های رشدی، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و نقش محافظتی آن‌ها در پایداری سلول‌ها مرتبط دانست (Hussein et al., 2006; Kusano et al., 2008; Noohpishie and Kalantari, 2011). در آزمایشی گزارش شد که کاربرد پلی‌آمین‌ها موجب بهبود طول اندام هوایی، طول ریشه‌چه و هم‌چنین وزن تر و خشک گیاهچه شدند و استقرار گیاه بهبود یافت (Khan et al., 2012). کاربرد خارجی پلی‌آمین‌های اسپرمیدین و پوترسین موجب افزایش وزن تر و خشک برگ در توت‌فرنگی شد (Movahed et al., 2012) که با یافته‌های تحقیق حاضر هم‌سو است. پژوهش‌های پیشین نشان داده است که استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول در گیاه یونجه (*Medicago sativa L.*) سبب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین برگ می‌شود و تیمار با پوترسین سبب افزایش این صفات می‌گردد (Zeid and Shedeed, 2007). در تحقیق دیگری تنش خشکی در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، باعث کاهش محتوای آب برگ گیاه برنج (*Oryza sativa L.*) شد و محلولپاشی ۱۰ میکرومولار اسپرمین باعث عملکرد بهتر در این شرایط می‌گردد (Farooq et al., 2009). در گیاه ارزن (*Panicum miliaceum L.*) از بین تیمارهای صفر، نیم و یک میلی مولار اسپرمین در تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات عملکرد کمی چغندر قند تحت سطوح مختلف آبیاری و محلول پاشی پلی آمین

Table 3- ANOVA of yield traits of sugar beet under different irrigation levels and polyamine spraying

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات						
		عملکرد بیولوژیک Biologic yield	عملکرد ریشه Root yield	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر برگ Leaf wet weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	عیار قند Sugar content	نیتروژن مضر $\alpha$ -amino-N
بلوک Block	2	2.19 <sup>ns</sup>	1.68 <sup>ns</sup>	0.1156 <sup>ns</sup>	0.429 <sup>ns</sup>	0.0115 <sup>ns</sup>	0.072 <sup>ns</sup>	0.0056 <sup>ns</sup>
آبیاری Irrigation	2	2670.9 <sup>**</sup>	1432.5 <sup>**</sup>	89.58 <sup>**</sup>	191.98 <sup>**</sup>	5.473 <sup>**</sup>	3.51 <sup>**</sup>	0.0042 <sup>ns</sup>
خطای اصلی Error a	4	24.87	13.47	1.045	1.785	0.0618	0.127	0.0028
پلی آمین Polyamine	4	144.2 <sup>**</sup>	86.79 <sup>**</sup>	6.22 <sup>**</sup>	7.69 <sup>*</sup>	0.272 <sup>**</sup>	17.66 <sup>**</sup>	0.652 <sup>**</sup>
پلی آمین * آبیاری P*I	8	23.77 <sup>ns</sup>	15.73 <sup>**</sup>	1.07 <sup>ns</sup>	1.745 <sup>ns</sup>	0.0232 <sup>ns</sup>	0.223 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>
خطای کل Error b	24	10.279	4.39	0.48	2.19	0.0423	0.155	0.0039
ضریب تغییرات C.V (%)			8.86	9.98	13.02	11.66	7.24	8.21

\*\*\*, \*\* و \* : به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی دار

\*, \*\* and ns: significant at 1% and 5% level and not significant respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات عملکرد کمی

Table 4- Mean comparison of yield traits

صفات Traits	تیمار Treatments	عملکرد بیولوژیک Biologic yield (t/ha)	عملکرد ریشه Root yield (t/ha)	وزن خشک ریشه Root dry weight (t/ha)	وزن تر برگ Leaf wet weight (t/ha)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (t/ha)	عیار قند Suger content (%)	نیتروژن مضر $\alpha$ -amino-N (Mmol/100g)
تنش آبی Water stress	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% RW	70.313 a	51.967 a	14.36 a	18.17 a	2.94 a	17.30 b	1.93 a
	۷۵ درصد نیاز آبی 75% RW	59.951 b	44.827 b	12.71 b	15.13 b	2.44 b	18.16 a	1.95 a
	۵۰ درصد نیاز آبی 50% RW	43.678 c	32.641 c	9.55 c	11.04 c	1.74 c	17.35 b	1.96 a
پلی آمین Polyamine	پوترسین ۱ Potrescine 1	62.19 a	46.60 a	13.14 a	15.58 a	2.58 a	18.77 a	1.78 c
	پوترسین ۰/۵ Potrescine 0.5	58.73 b	43.42 b	12.30 b	15.31 a	2.41 ab	18.08 b	1.84 bc
	اسپرمیدین ۱ Spermidine 1	61.34 a	45.71 a	12.85 ab	14.83 a	2.48 ab	18.56 ab	1.82 bc
	اسپرمیدین ۰/۵ Spermidine 0.5	58.85 b	43.91 b	12.39 b	14.94 a	2.40 ab	17.61 c	1.87 b
	شاهد Control	51.29 c	38.08 c	10.85 c	13.21 b	2.10 c	15.22 d	2.43 a

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی دار است

different letters in a column have significantly difference.

ریشه می‌گردد و بدان معنی است که در شرایط تنش، گیاه جهت تنظیم اسمزی خود پتاسیم بیشتری در ریشه ذخیره می‌کند (Mohammadian *et al.*, 2011). عقیده بر این است که در اثر تنش خشکی میزان جذب پتاسیم و سدیم به‌منظور تنظیم فشار اسمزی گیاه افزایش یافته و مقدار جذب هر یک از این دو عنصر به میزان در دسترس بودن آن‌ها در محیط بستگی دارد (Kafi *et al.*, 2011).

تنش رطوبتی باعث افزایش ناخالصی‌های ریشه از جمله سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضر می‌شود و از این طریق راندمان استحصال قند را کاهش و قند ملاس را افزایش می‌دهد (Mirzaei and Rezvani, 2007). در آزمایش دیگری لثر سطوح مختلف آبیاری (تنش و نرمال) بر درصد قند ملاس معنی‌دار نشد. با این‌وجود در شرایط تنش درصد قند ملاس بیشتر بود و نسبت به شرایط نرمال افزایش نشان داد (Orojni *et al.*, 2012) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

#### عناصر غذایی (نمونه‌برداری اول): نتایج جدول تجزیه

واریانس نشان داد اثر رژیم‌های آبیاری بر مقادیر عناصر نیتروژن و کلسیم برگ در سطح پنج درصد و عناصر فسفر، پتاسیم، آهن، منیزیم، سدیم، منگنز، روی، مس و بر برگ در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین تیمار پلی‌آمین بر مقادیر عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، سدیم، منگنز، روی و بر برگ در سطح یک درصد معنی‌دار است. اثر متقابل آبیاری در پلی‌آمین بر روی هیچ‌کدام از عناصر برگ تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

نتایج مقایسه میانگین‌های تیمارها مبین آن است که به‌غیر از سدیم برگ، سایر عناصر غذایی در تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی دارای بیشترین مقدار بودند و با توجه به اینکه در این حالت تنشی به گیاه وارد نمی‌شود؛ بنابراین همه عناصر غذایی در بهترین حالت خود جذب شده‌اند (جدول ۸).

نتایج مقایسه میانگین تیمار پلی‌آمین نشان داد که تیمار پوترسین یک میلی‌مولار باعث افزایش عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، مس، منگنز، روی و بر برگ گردیده است که با تیمار اسپرمیدین یک میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری نداشت. در کل تیمار شاهد نیز دارای کمترین مقادیر عناصر غذایی برگ بود (جدول ۸).

**عملکرد کیفی:** نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد شکر ناخالص، عملکرد شکر سفید، قند قابل استحصال، ضریب استحصال قند و پتاسیم و سدیم ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار و بر روی درصد قند ملاس، ضریب قلیائیت و نیتروژن مضر غیر معنی‌دار بود (جدول ۵). همچنین اثر پلی‌آمین بر تمامی صفات عملکردی کیفی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل آبیاری در پلی‌آمین بر روی صفات عملکرد ناخالص شکر، در سطح یک درصد و بر عملکرد شکر خالص در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌دار داشت ولی بر سایر صفات تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین عملکرد شکر سفید در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که با تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین بیشترین میزان عملکرد ناخالص شکر در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید که با تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار داشت. بیشترین ضریب استحصال قند و قند قابل استحصال نیز از تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی حاصل گردید (جدول ۶). به‌طور کلی در صفات عملکردی کیفی، تیمار آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی دارای شرایط بهتری نسبت به سایر تیمارها بود.

بیشترین عملکرد شکر سفید، عملکرد شکر، ضریب استحصال (۸۰/۹۵)، قند قابل استحصال (۱۵/۲۰)، قند ملاس (۲/۹۷) و ضریب قلیائیت (۴/۶۳) از تیمار پوترسین یک مولار به دست آمد که با تیمار اسپرمیدین یک میلی‌مولار اختلاف آماری نداشتند (جدول ۶).

به نظر می‌رسد افزایش درصد قند ملاس ناشی از افزایش ناخالصی‌های ریشه (یون‌های سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضر) و مواد جامد غیر قندی (مانند قندهای اینورت، بتائین، رافینوز، پلی‌فنول‌ها و رزین‌ها) است که سبب کاهش بلوره شدن ساکارز شده و در جریان کربناسیون حذف نمی‌شوند و در نهایت منجر به اتلاف قند به‌صورت ملاس می‌شوند (Khajepoor, 2005). از طرفی در شرایط تنش خشکی ناخالصی‌های ریشه مثل سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضر افزایش می‌یابد که باعث کاهش درصد قند قابل استحصال و افزایش قند ملاس می‌شوند (Mehrandish *et al.*, 2018).

کاهش میزان آب در دسترس باعث افزایش معنی‌دار پتاسیم

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات عملکرد کیفی چغندر قند تحت سطوح مختلف آبیاری و محلول پاشی پلی آمین

Table 5- ANOVA of qualitative yield traits of sugar beet under different irrigation levels and polyamine spraying

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات							
		MS							
		سدیم ریشه	پتاسیم ریشه	ضریب کلیاتیت	درصد قند	قند قابل	ضریب	عملکرد	عملکرد شکر
		Root Na	Root K	ALC	ملاس	استحصال	استحصال	شکر	سفید
			MS	WSC	قند ECS	SY	WSY		
بلوک Block	2	0.00 <sup>22</sup> ns	0.0001 <sup>ns</sup>	0.0116 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	0.074 <sup>ns</sup>	0.165 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>5</sup> ns	0.005 <sup>ns</sup>
آبیاری Irrigation	2	0.112 <sup>**</sup>	0.231 <sup>**</sup>	0.051 <sup>ns</sup>	0.0035 <sup>ns</sup>	3.33 <sup>**</sup>	3.222 <sup>**</sup>	45.66 <sup>**</sup>	29.47 <sup>**</sup>
خطای اصلی Error a	4	0.0047	0.0014	0.016	0.0008	0.118	0.096	0.38	0.250
پلی آمین Polyamine	4	0.036 <sup>**</sup>	1.42 <sup>**</sup>	3.62 <sup>**</sup>	0.0744 <sup>**</sup>	15.49 <sup>**</sup>	12.68 <sup>**</sup>	10.91 <sup>**</sup>	8.24 <sup>**</sup>
پلی آمین * آبیاری P*I	8	0.0025 <sup>ns</sup>	0.023 <sup>ns</sup>	0.022 <sup>ns</sup>	0.0026 <sup>ns</sup>	0.198 <sup>ns</sup>	0.170 <sup>ns</sup>	0.79 <sup>**</sup>	0.55 <sup>*</sup>
خطای کل Error b	24	0.002	0.039	0.024	0.0049	0.172	0.465	0.22	0.165
ضریب تغییرات C.V (%)			7.75	7.74	6.42	7.94	9.85	8.32	10.64

\*\*\*, \*\* و ns: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی دار

\*, \*\* and ns: significant at 1% and 5% level and not significant respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات عملکرد کیفی

Table 6- Mean comparison of qualitative yield traits

صفات Traits	سدیم ریشه	پتاسیم ریشه	ضریب	درصد قند	قند قابل	ضریب	عملکرد	عملکرد
	Root Na (Mmol/100g)	Root K (Mmol/100g)	ضریب کلیاتیت ALC	ملاس MS	استحصال WSC	استحصال قند ECS	شکر SY (t/ha)	شکر سفید WSY (t/ha)
تیمار Treatments								
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% RW	2.64 b	5.37 a	4.22 a	2.90 ab	13.80 b	79.67 b	9.03 a	7.21 a
تنش آبی 75% RW	2.71 b	5.33 a	4.21 a	2.92 a	14.65 a	80.54 a	8.19 b	6.62 b
۵۰ درصد نیاز آبی 50% RW	2.81 a	5.14 b	4.11 a	2.89 b	13.87 b	79.83 b	5.68 c	4.54 c
پوترسین ۱ Potrescine 1	2.64 d	5.61 a	4.63 a	2.97 a	15.20 a	80.95 a	8.76 a	7.09 a
پوترسین ۰/۵ Potrescine 0.5	2.70 bc	5.38 b	4.40 b	2.92 a	14.56 b	80.51 ab	7.84 b	6.31 b
پلی آمین اسپرمیدین ۱ Polyamine Spermidine 1	2.69 cd	5.45 ab	4.48 ab	2.94 a	14.82 ab	80.72 a	8.35 ab	6.88 ab
اسپرمیدین ۰/۵ Spermidine 0.5	2.74 b	5.38 b	4.34 b	2.94 a	14.07 c	79.89 b	7.75 b	6.20 b
شاهد Control	2.81 a	4.59 c	3.06 c	2.74 b	11.87 d	78.01 c	5.80 c	4.52 c

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی دار است

different letters in a column have significantly difference.

### عناصر غذایی (نمونه برداری دوم): نتایج تجزیه واریانس

نشان داد که اثر تنش آبی بر مقادیر عناصر نیتروژن، منیزیم، آهن، مس، منگنز، روی و بر برگ در سطح یک درصد معنی دار بوده و بر عناصر فسفر، پتاسیم و کلسیم برگ در سطح پنج درصد معنی دار بوده است. هم‌چنین تیمار پلی‌آمین بر مقادیر تمامی عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، سدیم، منگنز، روی و بر برگ در سطح یک درصد تأثیر معنی دار داشت. اثر متقابل تنش آبی و پلی‌آمین بر هیچ کدام از عناصر غذایی معنی داری نگردید (جدول ۹).

نتایج مقایسه میانگین تیمارها بیانگر آن است که تمامی عناصر غذایی در تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی دارای بیشترین مقدار بوده و به دلیل عدم وجود تنش آبی، همه عناصر غذایی در بهترین حالت خود جذب شده‌اند (جدول ۱۰).

نتایج مقایسه میانگین تیمار پلی‌آمین نشان داد که تیمار پوترسین یک میلی‌مولار باعث افزایش تمامی عناصر غذایی به جز سدیم برگ گردیده است که البته با تیمار اسپرمیدین یک میلی‌مولار اختلاف معنی داری نداشت. در مجموع، کمترین مقادیر عناصر غذایی برگ در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۱۰).

در این پژوهش، کاربرد پلی‌آمین‌ها باعث افزایش جذب عناصر غذایی در برگ شد. افزایش جذب عناصری مانند روی و منگنز می‌تواند موجب افزایش میزان رنگیزه و توان فتوسنتزی گیاه شده و عملکرد را بهبود بخشد. عناصر کم‌مصرف نقش مهمی در ارتباط با انتقال مواد قندی در گیاه دارد. هم‌چنین این عناصر در تنظیم متابولیسم سلولی، مقدار پتاسیم و کلسیم در گیاه، رشد سلول‌های اولیه، گرده‌افشانی و تنظیم آب مورد نیاز گیاه نقش فعالی دارد (Camberato, 2004).

این ویژگی‌ها با تولید و تجمع قند در چغندر قند می‌تواند همبستگی مثبت داشته باشد و در نتیجه با افزایش عناصر غذایی در برگ‌ها، به افزایش عملکرد ریشه و میزان قند آن کمک نماید.

پلی‌آمین‌ها، باعث افزایش شدت فتوسنتز گیاهان (Akter

2018, *et al.*) و باعث افزایش تراوش‌های ریشه می‌شوند در نتیجه، به جذب بهتر عناصر توسط ریشه گیاهان کمک می‌نماید. این افزایش جذب عناصر بر اثر پلی‌آمین‌ها، به احتمال زیاد به دلیل نقش آنها در افزایش مقادیر فتوسنتز برگ است. پلی‌آمین‌ها در فرایند نمو ریشه دخالت دارند و کاربرد پلی‌آمین‌های برون‌زا موجب بهبود ساختار ریشه از راه افزایش درصد ریشه‌های باریک و موئین و کاهش ریشه‌های ضخیم می‌شود. این تغییرات موجب بهبود جذب عناصر و افزایش غلظت آن‌ها در گیاه می‌شود. از سوی دیگر، پلی‌آمین‌ها می‌توانند به‌عنوان منبع نیتروژن اضافی برای گیاه عمل کنند و موجب افزایش رشد گیاه شوند (Kusano *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2012). گزارش شده که محلول‌پاشی برگی پوترسین موجب افزایش برخی عناصر غذایی درونی گیاه مارچوبه، مانند نیتروژن، پتاسیم، فسفر، آهن و منیزیم (El-Abagy *et al.*, 2010) و هم‌چنین افزایش غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر در برگ‌های گلابول (Nahed *et al.*, 2009) شد.

پتاسیم بیشتر، در گیاهان به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی مهم به شمار آمده و از راه تأثیر بر مقاومت روزنه‌ای و تنظیم اسمزی سلول‌ها سبب افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی می‌شود (Zheng *et al.*, 2008).

پتاسیم در بزرگ‌شدن یاخته‌ها، رشد ریشه، تخلیه فرآورده‌های فتوسنتزی در بافت‌های مخزن، فعالیت آنزیم‌ها، توازن بار و کاهش جذب یون‌هایی مثل سدیم و آهن در خاک‌های شور نقش دارد (Cakmak, 2005). و نیز در گیاه برنج (Saleethong *et al.*, 2013) کاربرد اسپرمیدین سبب افزایش نسبت  $K^+/Na^+$  گردید. مهار ورود  $Na^+$  به درون ریشه و جلوگیری از افت  $K^+$  در شاخساره‌ها توسط پلی‌آمین سبب بهبود نسبت  $K^+/Na^+$  در جو گردید (Zhao *et al.*, 2007; Shi and Chan, 2014). افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تیمار پلی‌آمین‌ها و افزایش رشد ممکن است به دلیل اثرهای پلی‌آمین‌ها بر بسیاری از فرایندهای زیست‌شیمیایی و فیزیولوژیکی باشد (Hummel *et al.*, 2002).

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات عناصر غذایی چغندر قند تحت سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی پلی‌آمین در نمونه برداری اول

Table 7- ANOVA of nutrition element traits of sugar beet under different irrigation levels and polyamine spraying in first sampling

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (نمونه برداری اول)										
		MS (First sampling)										
		نیترژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سدیم Na	آهن Fe	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	بر B
بلوک Block	2	0.0068 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.023 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	0.0014 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>ns</sup>	42.78 <sup>ns</sup>	0.305 <sup>ns</sup>	28.24 <sup>ns</sup>	7.47 <sup>ns</sup>	4.11 <sup>ns</sup>
آبیاری Irrigation	2	0.116 <sup>*</sup>	0.017 <sup>**</sup>	0.217 <sup>**</sup>	0.011 <sup>*</sup>	0.035 <sup>**</sup>	0.052 <sup>**</sup>	713.19 <sup>**</sup>	0.241 <sup>**</sup>	128.58 <sup>**</sup>	203.48 <sup>**</sup>	198.53 <sup>**</sup>
خطای اصلی Error a	4	0.015	0.0001	0.0069	0.0027	0.0001	0.001	59.16	0.085	4.41	27.97	19.82
پلی آمین Polyamine	4	0.602 <sup>**</sup>	0.0148 <sup>**</sup>	1.65 <sup>**</sup>	0.0122 <sup>**</sup>	0.0098 <sup>**</sup>	0.017 <sup>**</sup>	2653.9 <sup>**</sup>	18.56 <sup>**</sup>	476.77 <sup>**</sup>	580.58 <sup>**</sup>	765.76 <sup>**</sup>
پلی آمین * آبیاری P*I	8	0.033 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.0004 <sup>ns</sup>	0.00056 <sup>ns</sup>	0.0006 <sup>ns</sup>	37.23 <sup>ns</sup>	0.157 <sup>ns</sup>	12.53 <sup>ns</sup>	11.92 <sup>ns</sup>	27.72 <sup>ns</sup>
خطای کل Error b	24	0.033	0.0009	0.02	0.0015	0.00066	0.0023	53.25	0.466	25.19	20.52	22.14
ضریب تغییرات C.V (%)			9.91	7.64	9.73	7.78	6.21	7.00	7.87	9.87	11.40	10.83

ns, \* و \*\*: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی دار

\*, \*\* and ns: significant at 1% and 5% level and not significant respectively

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات عناصر غذایی (نمونه برداری اول)

Table 8- Mean comparison of nutrition element traits (first sampling)

صفات Traits	نیترژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سدیم	آهن	مس	منگنز	روی	بر	
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	B (mg/kg)	
تیمار Treatments												
تنش آبی Water stress	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% RW	4.80 a	0.045 a	4.02 a	0.71 a	0.72 a	3.96 c	191.75 a	15.10 a	74.65 a	54.05 a	71.03 a
	۷۵ درصد نیاز آبی 75% RW	4.64 b	0.043 b	3.76 b	0.68 b	0.69 b	3.98 b	183.57 b	13.10 b	72.39 b	49.34 b	69.47 ab
	۵۰ درصد نیاز آبی 50% RW	4.65 b	0.039 c	3.79 b	0.66 b	0.63 c	4.07 a	172.27 c	11.88 c	72.15 b	45.18 b	66.02 b
پلی آمین Polyamine	پوترسین ۱ Potrescine 1	4.98 a	0.48 a	4.25 a	0.74 a	0.71 a	3.97 bc	207.06 a	15.14 a	81.57 a	58.83 a	79.87 a
	پوترسین ۰/۵ Potrescine 0.5	4.70 b	0.43 b	4.08 b	0.68 bc	0.68 ab	4.06 a	180.46 c	14.72 a	73.96 bc	46.62 c	69.64 bc
	اسپرمیدین ۱ Spermidine 1	4.99 a	0.46 ab	4.19 ab	0.70 ab	0.70 a	3.96 c	199.33 ab	14.76 a	77.03 ab	55.25 ab	76.73 ab
	اسپرمیدین ۰/۵ Spermidine 0.5	4.73 b	0.41 b	4.03 b	0.67 bc	0.67 b	4.01 ab	172.68 d	13.93 b	70.48 c	44.01 c	67.28 c
	شاهد Control	4.28 c	0.37 c	3.17 c	0.64 c	0.63 c	4.04 a	162.14 e	11.58 c	62.28 d	38.23 d	54.68 d

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی دار است

different letters in a column have significantly difference.

جدول ۹- تجزیه واریانس صفات عناصر غذایی چغندر قند تحت سطوح مختلف آبیاری و محلول پاشی پلی آمین در نمونه برداری دوم

Table 9- ANOVA of nutrition element traits of sugar beet under different irrigation levels and polyamine spraying in second

sampling												
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (نمونه برداری دوم)										
		نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سدیم Na	آهن Fe	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	بر B
بلوک	2	0.015	0.0012	0.129	0.0019	0.003	0.0009	40.06	0.091	16.33	16.64	16.23
Block		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
آبیاری	2	0.437	0.008 *	0.488	0.0236	0.0389	0.035	221.09	12.77	81.36	173.87	158.89
Irrigation		**	*	*	*	**	ns	**	**	**	**	**
خطای	4	0.009	0.0005	0.083	0.0014	0.0014	0.009	50.16	0.54	9.10	4.93	5.71
Error a												
پلی آمین	4	0.684	0.00112	1.463	0.111	0.0092	0.036	2500.39	21.27	397.83	454.72	972.63
Polyamine		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
پلی آمین *	8	0.030	0.0003	0.013	0.0012	0.0004	0.0007	25.30	0.66	8.17	15.11	25.23
آبیاری		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P*I												
خطای کل	24	0.02	0.0008	0.056	0.0016	0.0003	0.0018	75.63	0.52	20.75	18.96	24.46
Error b												
ضریب تغییرات			10.40	9.59	8.58	7.33	6.07	8.66	9.08	10.02	11.54	10.77
C.V (%)												

\*\*\*, \*\* و \* : به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی دار

\*, \*\* and ns: significant at 1% and 5% level and not significant respectively

جدول ۱۰- مقایسه میانگین صفات عناصر غذایی (نمونه برداری دوم)

Table 10- Mean comparison of nutrition element traits (second sampling)

صفات Traits	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سدیم Na	آهن Fe	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	بر B	
												تیمار Treatments
تنش آبی Water stress	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% RW	5.39 a	0.47 a	4.33 a	0.75 a	0.738 a	3.87 a	198.20 a	16.43 a	85.51 a	59.44 a	76.11 a
	۷۵ درصد نیاز آبی 75% RW	5.33 a	0.44 b	4.34 a	0.74 a	0.697 b	3.93 a	187.55 b	13.69 b	75.04 b	52.44 b	73.34 b
	۵۰ درصد نیاز آبی 50% RW	5.07 b	0.42 b	4.02 b	0.69 b	0.637 c	3.96 a	176.67 c	14.45 b	70.55 c	47.11 c	69.62 c
پلی آمین Polyamine	پوترسین ۱ Potrescine 1	5.546 ab	0.49 a	4.53 a	0.77 a	0.73 a	3.84 c	211.92 a	15.51 a	84.68 a	60.65 a	86.34 a
	پوترسین ۰.۵ Potrescine 0.5	5.33 b	0.43 b	4.39 ab	0.72 b	0.69 b	3.93 b	182.74 c	15.17ab	75.58 bc	50.68 bc	73.02 c
	اسپرمیدین ۱ Spermidine 1	5.56 a	0.47 ab	4.45 ab	0.74 ab	0.71 a	3.87 c	199.45 ab	15.19ab	81.14 ab	56.67 ab	83.14 ab
	اسپرمیدین ۰.۵ Spermidine 0.5	5.26 b	0.43 b	4.25 b	0.71 bc	0.68 b	3.95 b	176.49 cd	13.94 c	73.66 c	46.83 c	69.23 c
	شاهد Control	4.81 c	0.39 c	3.53 c	0.68 c	0.64 c	4.01 a	168.75 d	11.65 d	66.43 d	42.17 d	58.38 d

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی دار است

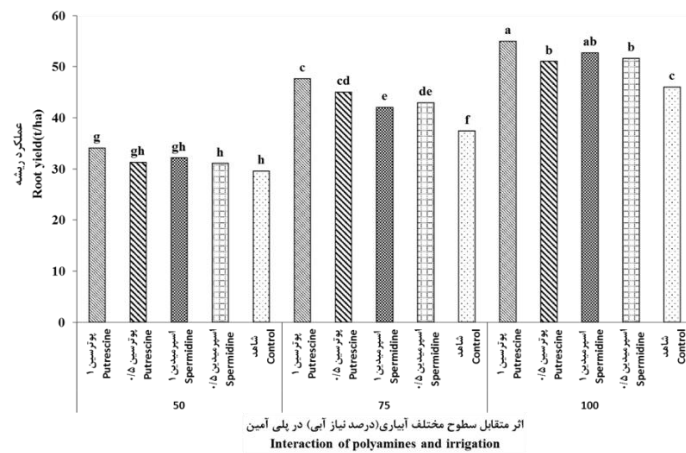
different letters in a column have significantly difference.

تجزیه واریانس نشان داد از نظر عملکرد ریشه بین سطوح

بررسی اثرات متقابل پلی آمین ها و آبیاری: نتایج جدول

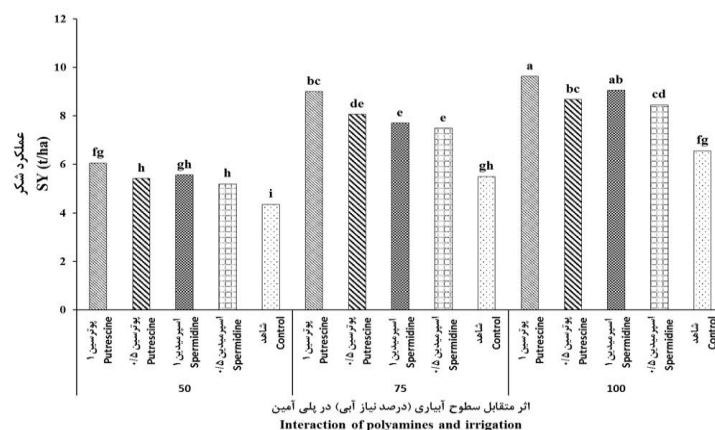
میلی مولار بود (شکل‌های ۳ و ۲). اثرات پلی آمین‌ها بر روی گیاهان، زمانی مشاهده می‌شود که گیاهان تحت شرایط نامناسب محیطی از جمله خشکی باشند. تنش خشکی سبب تجمع انتخابی پلی آمین‌ها می‌گردد به نحوی که در اغلب موارد در ارقام حساس به خشکی، پوترسین و در ارقام مقاوم به خشکی، اسپرمیدین و اسپرمین تجمع می‌یابد (Gill and Tuteja, 2013). در آزمایشی، تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد بر تسهیم مواد پرورده و عملکرد دانه در ماش سبز بررسی و نشان داده شد که محلول پاشی پوترسین و اسپرمیدین، موجب افزایش معنی‌دار اجزاء عملکرد شده است (Jithesh et al., 2006).

مختلف پوترسین، اسپرمیدین و تیمارهای آبیاری اثر معنی‌دار متقابلی در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۳). بیشترین عملکرد ریشه در سطح تیمارهای پوترسین و اسپرمیدین یک میلی مولار در سطح ۱۰۰ درصد آبیاری مشاهده شد (شکل ۱). این دو سطح پلی آمین به ترتیب با ۵۵/۴۴ و ۵۴/۶۹ تن در هکتار بیشترین عملکرد ریشه را داشته که افزایش قابل توجهی نسبت به تیمار شاهد نشان می‌دهد. همچنین پلی آمین‌ها افزایش معنی‌داری در سطح یک درصد عملکرد شکر و ۵ درصد عملکرد شکر سفید داشتند (جدول ۵). بیشترین مقادیر عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید با به ترتیب ۱۰/۱۵ تن در هکتار و ۸/۱۷ تن در هکتار مربوط به تیمار پوترسین یک



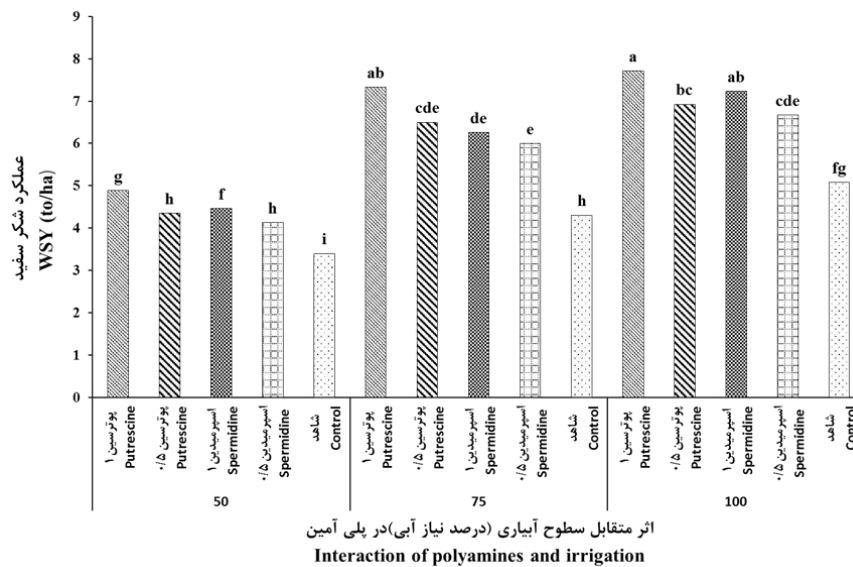
شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد ریشه در مقادیر مختلف پلی آمین و سطوح مختلف آبیاری، حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار)

Figure 1- Means comparisons for sugar beet root yield under polyamine application and different irrigation levels. Common letters in the columns indicate no significant difference (LSD 5 %).



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد شکر در مقادیر مختلف پلی آمین و سطوح مختلف آبیاری، حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار)

Figure 2- Means comparisons for sugar beet sugar content under polyamine application and different irrigation levels. Common letters in the columns indicate no significant difference (LSD 5 %).



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد شکر سفید در مقادیر مختلف پلی آمین و سطوح مختلف آبیاری، حروف مشترک در ستون ها بیانگر عدم تفاوت معنی دار است (آزمون حداقل اختلاف معنی دار)

Figure 3- Means comparisons for sugar beet white sugar content under polyamine application and different irrigation levels. Common letters in the columns indicate no significant difference (LSD 5 %).

بسیار کم بود. نقش محلول پاشی با پوترسین یک میلی مولار باعث صرفه جویی قابل توجه ۲۵ درصدی آب مصرفی در مقابل کاهش کم و قابل اغماض عملکرد شکر گردید. با توجه به محدودیت منابع آبی و نیاز روزافزون جمعیت به غذا، ضرورت دارد تا با کاهش مصرف آب و کشت مدیریت شده، تولید مناسب از سطح زیر کشت تأمین شود. با توجه به اینکه اکثر مناطق خشک و نیمه خشک جهان، با تنش خشکی مواجه است بنابراین می توان با استفاده از محرک های رشد از جمله پلی آمین ها ضمن کاهش اثرات منفی کم آبی، عملکرد مطلوبی در واحد سطح تولید نمود.

### نتیجه گیری کلی

نتایج حاصل از پژوهش بیان نمود که تنش خشکی باعث کاهش صفات عملکردی کمی و کیفی شد. همچنین پلی آمین پوترسین و اسپرمیدین ۱ میلی مولار باعث بیشترین افزایش در صفات عملکردی گردید. اثر متقابل پلی آمین و آبیاری نیز باعث کاهش معنی دار شکر خالص و ناخالص نگردید، بنابراین با توجه به شرایط کم آبی و خشکسالی های اخیر، می توان از مقداری کاهش عملکرد ریشه با توجه به عدم کاهش عملکرد شکر ناخالص و خالص چشم پوشی نموده و با استفاده از پوترسین و اسپرمیدین یک میلی مولار، مزرعه را با ۷۵ درصد نیاز آبی نموده

در تیمار تنش ملایم (۷۵ درصد آبیاری)، مقدار عملکرد ریشه کمتری نسبت به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد به دست آمد، درعین حال بین کاربرد دو نوع پلی آمین مورد استفاده در سطح یک میلی مولار و سطح تنش ملایم اختلاف کمی در عملکرد ریشه مشاهده گردید (شکل ۱)، بنابراین با محلول پاشی پلی آمین ها به مقدار یک میلی مولار در سطح تنشی ملایم به مقدار عملکرد ریشه معادل سطح آبیاری مطلوب رسید. مقادیر قابل قبول عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید با کاربرد مقدار یک میلی مولار پوترسین در تیمار آبیاری ۷۵ درصد به دست آمد که بین این مقادیر با کاربرد پوترسین و اسپرمیدین یک میلی مولار در نیاز آبی ۱۰۰ درصد اختلاف آماری معنی داری مشاهده نگردید (شکل ۲)؛ بنابراین احتمالاً پوترسین و اسپرمیدین توانسته اند این کاهش آبیاری را جبران نموده و سبب صرفه جویی در مقدار آب مصرفی گردند. میزان آب مصرفی در سطح بدون تنش (۱۰۰ درصد آبیاری) ۱۲۳۳۲ مترمکعب در هکتار و در سطح تنشی ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) مقدار آب مصرفی ۹۲۴۹ مترمکعب در هکتار اندازه گیری شد؛ بنابراین هرچند در تیمار ۷۵ درصد آبیاری در مقایسه با شرایط بدون تنش، صرفاً مقدار ۱۰ درصد کاهش عملکرد ریشه حاصل شد؛ ولی در عملکرد شکر ناخالص و خالص مقدار کاهشی

ریشه در اثر محلول پاشی با پلی آمین ها، میزان قند ورودی به ملاس نیز کاهش و در نهایت مقدار ضریب استحصال شکر افزایش یافت. آلکالیتیه نیز تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی قرار گرفت به طوری که بیشترین میزان آن از محلول پاشی پوترسین و اسپرمیدین یک میلی مولار به دست آمد. با توجه به نتیجه کلی این تحقیق و از آنجایی که تنش خشکی مهم ترین عامل محدود کننده تولید چغندر قند به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک جهان همانند ایران است، محلول پاشی با استفاده از پلی آمین ها پوترسین و اسپرمیدین با غلظت یک میلی مولار راهکاری مؤثر جهت کاهش آثار سوء تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) بر ویژگی های مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و کیفیت چغندر قند می باشد.

تا ضمن کسب عملکرد قابل قبول، در مصرف آب نیز صرفه جویی قابل ملاحظه ای صورت پذیرد.

در این پژوهش تیمارهای محلول پاشی پلی آمین با کاهش آثار منفی تنش خشکی نقش مهمی در کاهش صدمات وارده به گیاه داشتند. به طوری که محلول پاشی پوترسین و اسپرمیدین سبب افزایش قابل ملاحظه عملکرد کمی و کیفی شد. تیمارهای محلول پاشی واکنش های فیزیولوژیک گیاه به خشکی را بهبود بخشیدند به طوری که در شرایط تنش خشکی بیشترین محتوای عناصر غذایی برگ در هر دو نمونه برداری از محلول پاشی پلی آمین به دست آمد؛ بنابراین در شرایط خشکسالی، یکی از بهترین راهکارهای کاهش اثرات منفی کم آبی، استفاده از پلی آمین ها جهت افزایش مقدار عناصر غذایی برگ و افزایش عملکرد می باشد. به دلیل کاهش سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضر

## References

- Abdollahian-noghabi, M., Shikholeslami, R., and Babae, B., 2005. Technical terms of sugar beet quantity and quality. *Sugar Beet*, 21(1), pp.101-104. [In Persian].
- Akter, S.H., Rasull, G., Zakaria, M., Sarker, M., Nila, I.S., Dutta, S., Haque, M., and Rohman, M., 2018. Effect of polyamine on pigmentation, reactive oxidative species and antioxidant under drought in maize (*Zea mays* L.). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(7), pp.799-811. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i7.799-811.1493>
- Alcazar, R., Altabella, T., Marco, F., Bortolotti, C., Reymond, M., Koncz, C., Carrasco, P., and Tiburcio, A.F., 2010. Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta*, 231(6), pp.1237-1249. <https://doi.org/10.1007/s00425-010-1130-0>
- Alizadeh, A., and Kamali, G., 2007. *Water requirement of plants in Iran* (2nd ed.). Astan Quds Razavi Publications. [In Persian].
- Al-Jbawi, E., and Abbas, F., 2013. The effect of length during drought stress on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and quality. *Persian Gulf Crop Protection*, 2(1), pp.35-43.
- Ashraf, M., and Akram, N., 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29, pp.162-190. <https://doi.org/10.1080/07352689.2010.483580>
- Ashraf, M., and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), pp.206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Cakmak, I., 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, pp.521-530. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>

- Camberato, J.J., 2004. Foliar application on sugar beet. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, pp.120-126.
- Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., and Zheng, B., 2019. Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 9, pp.1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01945>
- Cooke, D.A., and Scott, R.K., 1993. *The sugar beet crop: science and practice*. Champan and Hall, p. 704. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-0373-9>
- Dehghan, H., and Alizadeh, A., 2012. Evaluation and calibration of different methods to estimate reference crop evapotranspiration under climatic data limitations (Case Study: Khorasan Razavi province). *Journal of Water and Soil*, 26(1), pp.236-250. [In Persian].
- El-Abagy, H.M.H., Rashad, El-Sh.M., Abdel-Mawgoud, A.M.R., and El-Greadly, N.H.M., 2010. Physiological and biochemical effects of some bioregulators on growth, productivity and quality of artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6, pp.683-690.
- Emadi, M., Hasibi, P., and Azimi, A., 2013. Effect of foliar application of putrescine and nutrient elements on grain yield and quality of two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, 15(3), pp.247-261. [In Persian].
- Emami, A., 1996. *Plant decomposition methods* (Vol. 1). Publication No. 982. Soil and Water Research. [In Persian].
- Farahbakhsh, H., Tohidinezhad, A., and Reshad, S., 2014. Effect of polyamines on morphological and chemical characteristics of oat under drought stress. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University. [In Persian].
- Farooq, M., Wahid, A., and Lee, D. J., 2009. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologica Plant*, 31, pp.937-945. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0307-2>
- Ghaffari, H., and Tadayon, M.R., 2017. Effect of vermicompost tea application on morpho-physiological characteristics, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under water stress condition. *Sugar Beet*, 33(2), pp.177-191. [In Persian].
- Gill, S. S., and Tuteja, N., 2013. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, pp.909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Hernandez-Santana, V., Fernández, J.E., Cuevas, M.V., Perez-Martin, A., and Diaz-Espejo, A., 2017. Photosynthetic limitations by water deficit: effect on fruit and olive oil yield, leaf area and trunk diameter and its potential use to control vegetative growth of super-high density olive orchards. *Agricultural Water Management*, 184, pp.9-18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.016>
- Hummel, I., Couée, I., El Amrani, A., Martin-Tanguy, J., and Hennion, F., 2002. Involvement of polyamines in root development at low temperature in the subantarctic cruciferous species *Pringlea antiscorbutica*. *Journal of Experimental Botany*, 53, pp.1463-1473. <https://doi.org/10.1093/jxb/53.373.1463>

- Hussein, M., Nadia, M., El-Gereadly, H.M., and El-Desuki, M., 2006. Role of putrescine in resistance to salinity of pea plants (*Pisum sativum* L.). *Applied Science Research*, 2, pp.598-604.
- Jithesh, M.N., Prashanth, S.R., Sivaprakash, K.R., and Parida, A.K., 2006. Antioxidative response mechanisms in halophytes: their role in stress defense. *Journal of Genetics*, 85(3); 237-254. <https://doi.org/10.1007/BF02935340>
- Kafi, M.M., Kamkar, B., and Mahdavi Damghani, A.M., 2011. *Crop responses to environment*. Mashhad University Press, p. 350. [In Persian].
- Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masomi, A., and Nabati, J., 2018. *Physiology of environmental stresses in plants*. Jahad-e-Daneshgahi Press, p. 502. [In Persian].
- Kamiah, F., Salehabad, M.H., and Zamanibahramabadi, E., 2015. Evaluation the effects of foliar treatments of polyamines and some organic acids on quantitative and qualitative traits in some pistachio cultivars. *Journal of Nuts*, 6(2), pp.131-142.
- Kant, S., and Kafkafi, U., 2002. Potassium and abiotic stresses in plants. In N. Pasricha and S. Bansal (Eds.), *Potassium for sustainable crop production* (pp.233-251). Potash Institute of India.
- Khajepour, M.R., 2005. *Industrial Plants*. Jahad-e- Daneshgahi Press of Isfahan University of Technology. [In Persian]
- Khan, H.A., Ziaf, K., Amjad, M., and Iqbal, Q., 2012. Exogenous application of polyamines improves germination and early seedling growth of hot pepper. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72, pp.429-433. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000300018>
- Kusano, T., Berberich, T., Tateda, C., and Takahashi, Y., 2008. Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta*, 228, pp.367-381. <https://doi.org/10.1007/s00425-008-0772-7>
- Mahrokh, A., and Khajepoor, M.R., 2010. Water regime effect on growth indices and quantitative and qualitative yields characteristics of sugar beet. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41, pp.235-246. [In Persian].
- Mehrandish, M., Jamimoeini, M., and Armin, M., 2018. The effect of source and amount of potassium consumption on the quality characteristics of Aras sugar beet under full and limited irrigation conditions. *Plant Ecophysiology*, 34, pp.97-108.
- Minocha, R., Majumdar, R., and Minocha, S. C., 2014. Polyamines and abiotic stress in plants: a complex relationship. *Frontiers in Plant Science*, 5, pp.175-185. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00175>
- Mirzaei, M.R., and Rezvani, S.M.A., 2007. Effect of drought stress on quality characteristics of sugar beet in different stages of vegetative growth. *Sugar Beet*, 23, pp.29-42.
- Mohammadian, R., 2019. Management package to reduce irrigation water and increase water use productivity in sugar beet cultivation. *Water Management in Agriculture*, 6(2), pp. 103-114.
- Mohammadian, R., Taleghani, D., and Sadeghzadah Hemayaty, S., 2011. Effect of different irrigation managements on quantity and quality of sugar beet. *Sugar Beet*, 26(2), pp.139-156.

- Mohammadian, R., Moghaddam, M., Rahimian, H., and Sadeghian, S.Y., 2005. Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(5), pp.357-368.
- Movahed, N., Eshghi, S., Tafazoli, E., and Jamali, B., 2012. Effects of polyamines on vegetative characteristics, growth, flowering and yield of strawberry ('Paros' and 'Selva'). *Acta Horticulturae*, 926, Lisbon, Portugal. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.926.39>
- Nadali, I., Paknejad, F., Moradi, F., and Vazan, S., 2010. Effects of methanol on yield and some quality characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cv. Rasoul in drought and non-drought stress conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 26(1), pp.95-108.
- Naderi Darbaghshahi, M.R., Noormohammadi, G.H., Majidi, A., Darvish, F., Shirani, A., and Madani, H., 2005. Evaluation of safflower response to different intensities of drought stress in Isfahan region. *Iranian Journal of Crop Science*, 7(3), pp.212-225. [In Persian].
- Nahed, G.A.A., Lobna, S.T., and Soad, M.M.I., 2009. Some studies on the effect of putrescine, ascorbic acid and thiamine on growth, flowering and some chemical constituents of gladiolus plants at Nubaria. *Ozean Journal of Applied Science*, 2, pp.169-179.
- Noohpish, Z., and Kalantari, Kh.M., 2011. The interaction effects of spermidine application and salinity stress in pepper plants. *Iranian Journal of Biology*, 24(6), pp.848-857.
- Noorjou, A., and Baghaei-Kiani, M., 2004. Water stress effect on quantitative and qualitative sugar beet in growth different stage. *Sugar Beet*, 20(1), pp.27-38. [In Persian].
- Noshad, H., Mohammadian, R., and Khayamim, S., 2016. The effect of different nitrogen and potassium levels on quantitative and qualitative traits of sugar beet under drought stress. *Sugar Beet*, 32(1), pp.37-49. [In Persian].
- Ober, E., 2001. The search for drought tolerance in sugar beet. *British Sugar Beet Review*, 69, pp.40-43.
- Orojnina, S., Habibi, D., Taleghani, D., Safari Dolat Abadi, S., Pazoki, A., Moaveni, P., Rahmani, M., and Farshidi, M., 2012. Evaluation of yield and yield components of different sugar beet genotypes under drought stress. *Agriculture and Plant Breeding*, 8(1), pp.127-144.
- Ozbay, S., and Yıldırım, M., 2018. Root yield and quality of sugar beet under drip and sprinkler irrigation with foliar application of micro nutrients. *Journal Agricultural Faculty*, 6(1), pp.105-114.
- Rajabi, A.H., Vahidi, M.R., Haj Seyed Hadi, D., and Taleghani, F., 2013. Study on drought tolerance and interrelationships among some agronomic and morphophysiological traits in sugar beet lines. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(7), pp.761-768.
- Rangan, P., Subramani, R., Kumar, R., Singh, A.K., and Singh, R., 2014. Recent advances in polyamine metabolism and abiotic stress tolerance. *Biological Medicine Research International*, 6(3), pp.604-621. <https://doi.org/10.1155/2014/239621>
- Rostampoor, M., and Jafari, M., 2017. Seed priming is a solution to deal with drought stress and soil salinity. *International Conference on Natural Resources Management in Developing Countries*. Tehran University. [In Persian].

- Sagor, G.H.M., Berberich, T., Takahashi, Y., Niitsu, M., and Kusano, T., 2013. The polyamine spermine protects *Arabidopsis* from heat stress-induced damage by increasing expression of heat shock-related genes. *Transgenic Research*, 22(3), pp.595-605. <https://doi.org/10.1007/s11248-012-9666-3>
- Saleethong, P., Sanitchon, J., Kong-Ngern, K., and Theerakulpisut, P., 2013. Effects of exogenous spermidine (Spd) on yield, yield-related parameters and mineral composition of rice (*Oryza sativa* L. ssp. indica) grains under salt stress. *Australian Journal of Crop Science*, 9, pp.1293-1301.
- Sharp, R.E., and Lenoble, M.E., 2002. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. *Journal of Experimental Botany*, 53, pp.33-37. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.33>
- Shi, H., and Chan, Z., 2014. Improvement of plant abiotic stress tolerance through modulation of the polyamine pathway. *Journal of Integrative Plant Biology*, 40, pp.20-30.
- Singh, P.K., and Gautam, S., 2013. Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(8), pp.2345-2353. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1279-9>
- Tamara, F.J., Fitters, J., Bussell, S., Mooney, D., and Sparkes, L., 2017. Assessing water uptake in sugar beet (*Beta vulgaris*) under different watering regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 144, pp.61-67. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.10.001>
- Tang, W., and Newton, R.J., 2005. Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. *Plant Growth Regulation*, 214, pp.31-43. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-6395-0>
- Wu, Q.S., Zou, Y.N., Liu, M., and Cheng, K., 2012. Effects of exogenous putrescine on mycorrhiza, root system architecture, and physiological traits of *Glomus mosseae*-colonized trifoliate orange seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40, pp.80-85. <https://doi.org/10.15835/nbha4027926>
- Xiaoyan, L.V., Sixue, C., and Yuguang, W., 2019. Advances in understanding the physiological and molecular responses of sugar beet to salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 10, pp.1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01431>
- Yadollahi Farsani, N., 2020. The effect of potassium (K) and boron (B) foliar application on physiological responses, quantitative and qualitative traits of sugar beet under drought stress conditions. MSc Thesis, Agriculture Faculty, Shahrekord University. [In Persian].
- Yilmaz, E., Tuna, A.L., and Burun, B., 2011. Tolerance strategies developed by plants to the effects of salt stress. *C.BU. Journal of Science*, 7(1), pp.47-66.
- Yiu, J.C., Juang, L.D., Fang, D.Y.T., Liu, C.W., and Wu, S.J., 2009. Exogenous putrescine reduces flooding-induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of Welsh onion. *Scientia Horticulturae*, 120, pp.306-314. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.11.020>
- Zeid, I.M., and Shedeed, Z.A., 2007. Alterations in nitrogen metabolites after putrescine treatment in alfalfa under drought stress. *Pakistan Journal of Biology Science*, 10, pp.1513-1518. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.1513.1518>

- Zhao, F., Song, C.P., He, J., and Zhu, H., 2007. Polyamines improve K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> homeostasis in barley seedlings by regulating root ion channel activities. *Plant Physiology*, 145, pp.1061-1072. <https://doi.org/10.1104/pp.107.105882>
- Zheng, Y., Jia, A., Tangyuan, N., Xu, J., Li, Z., and Jiang, G., 2008. Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 165, pp.1455-1465. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.01.001>

# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 337-362

### Analysis of gnotype-by-environmental interaction in genotypes of chickpea using AMMI and BLUP- based indices

Payam Pezeshkpour <sup>\*a</sup>, Davood Fallahi <sup>b</sup>, Rahmatollah Karimizadeh <sup>c</sup>, Amir Mirzaei <sup>d</sup>, Mohammad Barzali <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

<sup>b</sup> Department of Computer Engineering and Information Technology, Payam Noor University, Tehran, Iran

<sup>c</sup> Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran

<sup>d</sup> Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran

<sup>e</sup> Crop and Horticultural Science Research Department., Golestan Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Gonbad, Iran

\*Corresponding Author: [azizi.kh@lu.ir](mailto:azizi.kh@lu.ir)

Received: 12 December 2023 Accepted: 15 November 2024 DOI: [10.22034/CSRAR.2025.429311.1382](https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.429311.1382)

#### How to cite this article:

Pezeshkpour, P., Fallahi, D., Karimizadeh, R., Mirzaei, A. and Barzali, M., 2025. Analysis of gnotype-by-environmental interaction in genotypes of chickpea using AMMI and BLUP- based indices. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 337-362. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.429311.1382>

## Abstract

**Introduction:** Identifying a congenially targeted production environment and understanding the effects of genotype by environmental interactions on the adaptation of chickpea genotypes is essential for achieving an optimal yield stability. Different models like additive main effect and multiplicative interactions (AMMI 1, AMM2), weighted average absolute scores of BLUPs (WAASB), and genotype plus genotype–environment (GGE) interactions were used to understand their suitability in the precise estimation of variance and their interaction.

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is a cool-season grain legume traditionally important in the human diet of Mediterranean and Asian countries that has been increasingly adopted as food globally. GEI can be studied by a number of methods, such as AMMI (additive main effect and multiplicative interaction) analysis or GGE biplot (genotype plus genotype-by environment). However, as long as these methods assume genotypes as random variables, they are not appropriate for analyzing the structure of the linear mixed-effect model (LMM). WAASB (weighted average of absolute scores) has been proposed to better characterize ideal genotypes and a superiority index, WAASBY, to select genotypes based on both yield performance and the WAASB stability score. One of the multivariate methods is AMMI analysis. The BLUP provides reliable estimates, but new insights to deal graphically with a random GEI structure are needed. using LMM, and proposes a new quantitative genotypic stability measure called WAASB, which is the Weighted Average of Absolute Scores from the singular value decomposition of the matrix of BLUPs for the GEI effects generated by an LMM. measure called



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

WAASB, which is the eighted Average of Absolute Scores from the singular value decomposition of the matrix of BLUPs for the GEI effects generated by an LMM. The aim of this study was to evaluate the efficiency of yield stability analysis models and to assess genotype  $\times$  environment interaction effect on seed yield of 18 chickpea genotypes for identifying high-yielding and adapted genotypes by BLUP and AMMI models.

**Materials and Methods:** Seventeen selective advanced genotypes of chickpea from ICARDA with one check variety (Azad) were evaluated across four locations (Gachsaran, Ilam, Gonbad, and Khoramabad) at two growing seasons (2014-2016), in a completely randomized block design with three replications. The data, the analysis of data was performed on 8 environments. Eighteen chickpea genotypes for identifying high-yielding and adapted genotypes by BLUP and AMMI models. Statistical analyses, including simple analysis of variance, combined analysis of variance, and stability analysis carried out by the metan (Multi-environment trial analysis) R package. Five AMMI stability indices, including ASV (AMMI stability value), SIPC (Sum of IPCs scores), EV (Eigenvalue stability parameter of AMMI), Za (Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction), WASS (Weighted average of absolute scores), and simultaneous selection index (ssi) of these parameters, were used for stability evaluation of genotypes.

**Results and Discussion:** The results of Likelihood ratio test (LRT) showed that the effect of genotype and genotype  $\times$  environment interaction on seed yield was significant. Therefore, the best linear unbiased predictors (BLUPs) analysis was considered appropriate for these data. According to AMMI stability value (ASV) index, genotypes 13, 16, 11, 4 and 6 had more yield stability. Simultaneous selection index (SSIASV) based on ASV identified genotypes 6, 16, 2,5 and 11 in terms of seed yield and yield stability as superior genotypes. Given that by using these simultaneous selection indices, genotypes with different patterns for multivariate trials can be considered similar, the results can be misleading. Based on the first two main components, AMMI2 biplot diagram identified genotypes 18, 12, 6 and 15 as genotypes with yield stability. The results of the mosaic diagram showed that the contribution of genotype and genotype  $\times$  environment interaction were 15.45% and 84.55% of the total variation, respectively. Based on weighted average of absolute scores (WAASBY) index using BLUP analysis, genotypes 5, 12, 14, 15 and 18 were identified as high yielding with yield stability.

**Conclusion:** In general, us in mixed models as well as all the components in calculating the WAASBY index, it can be concluded that this index is superior to other indices. Genotypes 5, 12, 14, and 15 had high yield in most environments, and in most methods had good stability and could be candidates for the introduction of new cultivars.

**Keywords:** Heatmap plot, Mosaic plot, Single Value Decomposition (SVD), Simultaneous Selection, Weighted average of absolute scores

## تجزیه برهمکنش ژنوتیپ - محیط در ژنوتیپ‌های نخود با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر مدل BLUP و AMMI

پیام پزشکیپور<sup>۱\*</sup>، داود فلاحی<sup>۲</sup>، رحمت الله کریمی‌زاده<sup>۳</sup>، امیر میرزایی<sup>۴</sup>، محمد برزعلی<sup>۵</sup>

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

۲- گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه پیام نور تهران، ایران

۳- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

۴- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران

۵- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران

\* مسئول مکاتبه: [papezeshkpour@yahoo.com](mailto:papezeshkpour@yahoo.com)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.429311.1382

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

### چکیده

در این پژوهش ۱۷ ژنوتیپ نخود به همراه شاهد آزاد به مدت دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۳) در مناطق خرم‌آباد، ایلام، گچساران و گنبد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه مقادیر منفرد (SVD) که اساس تجزیه روش اثرات اصلی جمع پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) است، بر روی ماتریس حاصله انجام شد. نتایج نسبت درست‌نمایی (LRT) نشان داد که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. بنابراین، تجزیه بهترین پیش‌بینی خطی ناریب (BLUPs) برای این داده‌ها مناسب تشخیص داده شد. بر اساس شاخص ارزش پایداری امی (ASV)، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۳، ۴ و ۱۱ دارای عملکرد پایدارتر بودند. شاخص انتخاب همزمان (SSIASV) بر اساس ASV، ژنوتیپ‌های ۶، ۱۶، ۵، ۲ و ۱۱ را از نظر عملکرد دانه و پایداری عملکرد، به عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی کرد. نمودار بای‌پلات AMMI<sub>2</sub> بر مبنای دو مؤلفه اصلی اول، ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۲، ۶ و ۱۵ را بعنوان ژنوتیپ‌های دارای پایداری عملکرد شناسایی کرد. نتایج نمودار موزائیکی نشان داد که سهم ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط به ترتیب ۱۵/۴۵ درصد و ۸۴/۵۵ درصد از تنوع کل بود. بر اساس شاخص WAASBY مبتنی بر تجزیه BLUP، ژنوتیپ‌های ۵، ۱۲، ۱۴ و ۱۵ پر محصول با عملکرد پایدار شناخته شدند. در مجموع، با توجه به استفاده از مدل مختلط، استفاده از تمام مؤلفه‌های اصلی، تلفیق مدل‌های AMMI و BLUP، استفاده از عملکرد و رتبه پایداری به طور همزمان در محاسبه شاخص WAASBY، به نظر می‌رسد که این شاخص برتر از سایر شاخص‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه مقادیر منفرد، گزینش همزمان، میانگین وزنی نمرات مطلق، نمودار گرمایی، نمودار موزائیکی

### مقدمه

خسارت کرم پيله‌خوار کاشته می‌شود (Mazid et al., 2013);

(Singh et al., 2022). نخود سومین گیاه مهم از گروه حبوبات در جهان و مهم‌ترین آن‌ها در ایران است. سطح زیر کشت نخود در کشور حدود ۴۳۹ هزار هکتار است که از این سطح، سالیانه حدود ۱۶۸ هزار تن نخود برداشت می‌شود (FAO, 2021). کشاورزان نخود کار به ارقامی نیاز دارند که عملکرد بالایی داشته باشند و این خصوصیت مطلوب را در دامنه وسیعی از شرایط محیطی و در طول سال‌های مختلف حفظ نمایند (Zali

نخود بومی منطقه مدیترانه و خاورمیانه است که به طور گسترده‌ای کشت می‌گردد. دانه‌های نخود سرشار از فیبر و پروتئین هستند و منبع خوبی از آهن، فسفر و اسید فولیک هستند (Britannica, 2021). نخود به طور سنتی در رژیم غذایی کشورهای مدیترانه‌ای و آسیایی نقش مهمی دارد، به طور فزاینده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، و معمولاً به صورت دیم در اوایل بهار بخاطر کاهش خسارت سرما، بیماری برق‌زدگی و

(*et al.*, 2009).

انجام پژوهش‌هایی برای دستیابی به ارقام جدید نخود که در مقایسه با ارقام موجود دارای پتانسیل عملکرد بیشتر، سازگاری گسترده‌تر و پایداری عملکرد بالاتری باشند، از اهمیت زیادی برخوردار است. پدیده برهمکنش ژنوتیپ در محیط از ارزش ویژه‌ای نزد دانشمندان علوم ژنتیک و به‌نژادی گیاهان زراعی برخوردار است و آگاهی از آن به‌نژادگران گیاهی را کمک می‌کند تا ارزیابی ژنوتیپ‌ها را با دقت بیشتری انجام داده و بهترین ژنوتیپ‌ها را شناسایی کنند (*Sharifi et al.*, 2017).

امکان کاشت نخود در پائیز و زمستان، بخاطر مزیت‌های افزایش درصد جوانه‌زنی بذور، استفاده بهتر از بارندگی در زمستان، افزایش راندمان مصرف آب، ایجاد محصول پابلند، امکان مکانیزه نمودن مراحل کاشت، داشت و برداشت، افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن از طریق همزیستی با باکتری ریزوبیوم، افزایش مقاومت ارقام نسبت به خسارت کرم پبله‌خوار، کاهش بیماری پژمردگی فوزاریومی، افزایش دوره رشد زایشی و انتقال مجدد بهتر مواد از اندام‌های رویشی، زودرس‌تر بودن نسبت به کاشت بهاره، بیشتر بودن میزان پروتئین برداشت شده نسبت به کشت بهاره، افزایش پایداری تولید کشاورزان خرده‌پا، ایجاد فرصت‌های شغلی برای کشاورزان فقیر و افزایش میزان تولید محصول بعدی در تناوب مانند غلات دیم به دلیل افزایش حاصلخیزی خاک، وجود دارد (*Iliadis, 2001; Rubiales et al., 2022*). نخود عمدتاً در مناطق خشک و نیمه خشک کشت می‌گردد و بیشتر مواقع در مراحل زایشی و پر شدن دانه در این مناطق با تنش دمای بالا مواجهه می‌گردد (*Krishnamurthy et al.*, 2011).

پایداری عملکرد یک ژنوتیپ ارتباط مستقیمی با برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشته و یک ژنوتیپ موفق باید عملکرد و پایداری بالایی در دامنه وسیعی از شرایط محیطی داشته باشد (*Becker and Leon, 1988*). در صورت وجود برهمکنش ژنوتیپ در محیط، لازم است ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد نسبتاً ثابت در دامنه‌ای از محیط‌ها شناسایی شوند. تعیین پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته است (*Hussein et al., 2000; Katsura et al., 2016*).

با در نظر گرفتن سطح زیر کشت نخود، تنوع شرایط اقلیمی- زراعی مناطق مورد کشت و عکس‌العمل ارقام مختلف

در شرایط محیطی متفاوت، معرفی ارقام پرمحصول که سازگاری وسیع داشته باشند حائز اهمیت است. عملکرد ژنوتیپ‌های نخود تا حد زیادی به محیط بستگی دارد. به‌طور کلی ژنوتیپ، محیط و اثر برهمکنش ژنوتیپ در محیط، عملکرد یک رقم زراعی را تعیین می‌کنند (*Farshadfar, 2008*). سازگاری و پایداری عملکرد دو مفهوم مهم در برنامه‌های اصلاح گیاهان زراعی می‌باشند (*Cooper et al., 1994; José et al., 2008*). توانایی یک ژنوتیپ به دارا بودن حداقل برهمکنش در برابر تغییرات محیطی، تحت عنوان پایداری عملکرد ژنوتیپ تعریف شده است (*Eberhart and Russell, 1966; Falconer and Mackey, 1996*). یکی از عوامل مهم اختلاف بین عملکرد بالقوه (پتانسیل) و عملکرد واقعی، عدم پایداری کافی عملکرد است (*Messina et al., 2011*). فنوتیپ ژنوتیپ‌ها ممکن است در محیط‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نشان دهند (*Bocianowski et al., 2019*). مهمترین هدف در تمام برنامه‌های اصلاحی محصولات زراعی افزایش عملکرد است و بهبود عملکرد نیازمند استفاده از روش‌های آماری کارآمد برای تعیین ژنوتیپ برتر است (*Kang, 2020*).

عملکرد تحت تأثیر ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط قرار می‌گیرد و با توجه به ماهیت چند ژنی آن، شدیداً تحت تأثیر عوامل محیطی است. برهمکنش ژنوتیپ در محیط پدیده‌ای است که به پاسخ مختلف ژنوتیپ‌ها در طیف وسیعی از محیط‌ها اشاره دارد. هر چقدر برهمکنش ژنوتیپ در محیط بیشتر باشد، گزینش ژنوتیپ‌ها مشکل‌تر خواهد بود (*Sharifi, 2020*). نیاز مبرمی به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار وجود دارد که می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرند (*Singh et al., 2016*).

شناسایی توده‌های سازگار در محیط‌های نامناسب، یک پیش‌نیاز اساسی در برنامه‌های اصلاحی است. برهمکنش ژنوتیپ در محیط زمانی اتفاق می‌افتد که ژنوتیپ‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی به محیط‌های در حال تغییر با نوسانات در عملکرد محصول نشان می‌دهند. روش‌های متفاوتی برای ارزیابی اثر برهمکنش ژنوتیپ در محیط به وسیله محققین مختلف ارائه شده است که به طور کلی در دو گروه اصلی روش‌های تک متغیره و چند متغیره تقسیم‌بندی می‌شوند. در میان روش‌های چند متغیره مدل اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب‌پذیر

(*et al.*, 2008).

هدف از انتخاب برای سازگاری عمومی، شناسایی ژنوتیپی است که تقریباً در همه محیط‌ها عملکرد خوبی داشته باشد. برهمکنش ژنوتیپ در محیط به‌عنوان تغییر نسبی عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف تعریف شده است که به‌عنوان یک چالش برای به‌زادگران محسوب می‌شود و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مشکل ساخته و باعث کاهش پیشرفت ژنتیکی می‌شود (*Cattivelli et al.*, 1994). متداول‌ترین روش تجزیه آزمایش‌های چند محیطی مبتنی بر فرض یکنواختی واریانس خطا در همه محیط‌های مورد آزمایش است، اما اغلب این موضوع در عمل اتفاق نمی‌افتد و می‌تواند صحت ارزیابی ژنوتیپ‌ها را محدود نماید. پر واضح است که در چنین آزمایش‌هایی، به علت اختلاف عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها، واریانس برهمکنش ژنوتیپ در محیط تغییر کرده و واریانس باقیمانده<sup>۷</sup> در محیط‌ها به علت تفاوت در شرایط طبیعی (خاک، آب و هوا) و همچنین عملیات اجرایی در محیط‌های مختلف تغییر می‌کند (*Hussein et al.*, 2000).

روش‌های AMMI و GGE بای‌پلات از روش‌های پارامتری چند متغیره هستند. علاوه بر روش‌های یاد شده، بهترین پیش‌بینی‌های خطی ناریب (BLUP)ها<sup>۸</sup> نیز برای ارزیابی داده‌های آزمایش‌های چند محیطی پیشنهاد شده است. بهترین پیش‌بینی‌های خطی ناریب، میانگین اثرات تصادفی را با دقت بالا، به ویژه در مدل‌های مختلط، مانند اثر مختلط خطی (LMM) تخمین می‌زند (*Smith et al.*, 2005). مدل‌سازی الگوهای برهمکنش ژنوتیپ در محیط با تجزیه AMMI در نخود به وسیله پژوهشگران زیادی انجام شده است (*Funga et al.*, 2017; *Erdemci et al.*, 2018; *Pezechpour et al.*, 2021; *Mohammed et al.*, 2022).

در سال‌های اخیر از مزایای دو روش AMMI و BLUP به صورت همزمان و تلفیقی استفاده شده است که در آن، یک ماتریس برهمکنش ژنوتیپ در محیط با مدل مختلط خطی مبتنی بر BLUP بدست می‌آید و از تجزیه این ماتریس با یک روش شبه - AMMI با تجزیه ارزش منفرد (SVD)<sup>۹</sup>، یک

(AMMI) و مدل گرافیکی GGE بای‌پلات از اهمیت بالایی برخوردار هستند. روش AMMI در واقع ترکیبی از مدل تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است. دلیل استفاده گسترده از این مدل قدرت تفکیک بالای اثرات اصلی و برهمکنش ژنوتیپ در محیط و نیز توجه بخش جزئی از مجموع مربعات برهمکنش می‌باشد (*Ebdon and Gauch*, 2002). بای‌پلات‌ها، ابزارهای گرافیکی بسیار مؤثری هستند که برای نمایش روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به صورت بصری و برای تجزیه و تحلیل برهمکنش ژنوتیپ در محیط به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند (*Woldemeskel et al.*, 2021).

مدل<sup>۱</sup> AMMI بجز مزیت‌هایی که دارد نواقصی مانند حساسیت به حضور داده‌های پرت (*Rodrigues et al.*, 2016)، و عدم وجود موارد موفقیت آمیز تحلیل مدل خطی اثرات مختلط (LMM)<sup>۲</sup> دارد. در آزمایش‌های چند محیطی (MET)<sup>۳</sup>، عملکرد تحت تأثیر اثرات ژنوتیپ، محیط و برهمکنش‌های ژنوتیپ در محیط قرار می‌گیرد. برهمکنش ژنوتیپ در محیط را می‌توان با تعدادی از روش‌های تجزیه‌ای مانند اثر اصلی افزایشی و برهمکنش ضرب‌پذیر (AMMI) و GGE بای‌پلات<sup>۴</sup> بررسی نمود (*Yan et al.*, 2000). تا زمانی که در روش‌های AMMI و GGE بای‌پلات، ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان متغیرهای تصادفی فرض کنند، برای تحلیل، ساختار مدل خطی اثر مختلط (LMM) مناسب نیستند (*Olivoto et al.*, 2019 a). شاخص WAASB<sup>۵</sup> (میانگین وزنی نمرات مطلق) برای توصیف بهتر ژنوتیپ‌های ایده‌آل و شاخص برتری WAASBY<sup>۶</sup> برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و رتبه پایداری پیشنهاد شده است (*Yan et al.*, 2000; *Olivoto et al.*, 2019 b). جهت دستیابی ارقام با عملکرد بالاتر در محیط‌های ایده‌آل، سازگاری آنها در محیط‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد که این موضوع تحت عنوان سازگاری خصوصی نامیده می‌شود (*Baquedano et al.*, 2008).

در سازگاری خصوصی ژنوتیپ در یک محیط خاص که دارای عملکرد مطلوب می‌باشد معرفی می‌گردد (*Baxevanos*)

<sup>6</sup> - Weighted average of WAASB and response variable (WAASBY)

<sup>7</sup> - Residual

<sup>8</sup> - Best linear unbiased predictors, BLUPs

<sup>9</sup> - Singular value decomposition

<sup>1</sup> - Additive Main effect and Multiplicative

<sup>2</sup> - Linear mixed-effects models

<sup>3</sup> - Multi-environment trials (MET)

<sup>4</sup> - Genotype + Genotype × Environment

<sup>5</sup> - Weighted average of absolute scores, WAASB

شده در تجزیه پایداری برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول نخود سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم کشور به صورت کاشت پاییزه با بهره‌گیری از شاخص‌های مختلف AMMI و ترکیب دو روش AMMI و BLUP، با شاخص‌های WAASB و WAASBY و همچنین ترسیم نمودارهای مختلف برای درک بهتر اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بوده است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور بررسی پایداری و الگوی سازگاری ژنوتیپ‌ها، ۱۷ ژنوتیپ پیشرفته نخود کابلی همراه با رقم آزاد (شاهد) در یک آزمایش مقایسه عملکرد به صورت کشت پاییزه دیم طی دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۳) مورد ارزیابی قرار گرفتند. مناطق اجرای آزمایش شامل خرم‌آباد (اقلیم معتدل و نیمه مرطوب)، گچساران (معتدل و نیمه خشک، ایلام (نیمه گرم و نیمه مرطوب) و گنبد (مدیترانه ای، گرم و خشک) بودند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش و کد آن‌ها در جدول ۱ و نام، مبدأ و کد ژنوتیپ‌های نخود مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

طرح مورد استفاده در هر آزمایش، بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. هر ژنوتیپ در یک کرت شامل چهار خط به طول چهار متر و فاصله بین خطوط ۳۰ سانتی‌متر کشت شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف هفت سانتی‌متر بود. میزان بذر در هر ردیف کاشت ۶۰ عدد در نظر گرفته شد (Zali et al., 2009).

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح و استفاده از دستگاه فاروئر برای تهیه جوی و پشته به‌طور معمول انجام شد. کلیه عملیات داشت شامل کود دهی و وجین به‌صورت یکسان برای همه کرت‌ها انجام شد. برداشت محصول پس از حذف حاشیه شامل دو ردیف کناری و ۲۵ سانتیمتر از ابتدا و انتهای هر کرت، از سطحی معادل ۲/۱ مترمربع انجام شد.

داده‌ها از تمام محیط‌ها برای نرمال بودن تحت آزمون شاپیرو-ویلک<sup>۲</sup> قرار گرفتند. برای بررسی یکنواختی واریانس خطای آزمایش‌ها، آزمون بارتلت انجام شد، سپس با ثابت در نظر گرفتن اثر ژنوتیپ و تصادفی در نظر گرفتن اثر محیط، تجزیه واریانس مرکب صورت گرفت.

معیار پایدار ژنوتیپی به نام شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (WASSB) محاسبه می‌شود که در حقیقت حاصل تلفیق دو روش AMMI و BLUP است و قادر به وزن‌دهی بین صفت وابسته (عملکرد دانه) و پایداری عملکرد است (Olivoto et al., 2019a; Olivoto et al., 2019b). علاوه بر این شاخص، شاخص دیگری به نام WAASBY نیز معرفی شده است که در آن، هر دو معیار عملکرد و پایداری عملکرد همزمان در نظر گرفته می‌شوند تا علاوه بر کاهش برهمکنش ژنوتیپ در محیط، گزینش‌ها دقیق‌تر و قابل ارزیابی باشند (Olivoto et al., 2019 a).

در این شاخص به نژادگر بسته به هدف اصلاحی خود، وزن‌های متفاوتی به هر کدام از دو معیار میانگین عملکرد یا پایداری عملکرد داده و ارزیابی ژنوتیپ‌ها را بر اساس آن انجام می‌دهد. پزشکپور و کریمی‌زاده (Pezeshkpour and Karimizadeh, 2023) با بررسی ۱۷ ژنوتیپ پیشرفته نخود به همراه دو شاهد عادل و آزاد با استفاده از تلفیق مدل‌های AMMI و BLUP و شاخص‌های WAASBY و GGE پایلات بیان کردند که ژنوتیپ FLIP06-43C پایدار می‌باشد و چهار مؤلفه اصلی اول سهم قابل توجهی در توجیه برهمکنش ماتریس ژنوتیپ در محیط حاصل از BLUP را داشتند.

کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh et al., 2021) با ارزیابی کارایی مدل‌های AMMI و BLUP و تلفیق آن‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های گندم پرمحصول دوروم، بیان کردند که نتایج آزمون نسبت درست‌نمایی (LRT)<sup>۱</sup> نشان داده است که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده است و بر اساس شاخص WAASBY مبتنی بر تجزیه BLUP، پنج ژنوتیپ پرمحصول و پایدار معرفی شدند.

دستیابی به ارقامی که بتواند به طیف گسترده‌ای از مناطق سازگار باشد، یکی از ضرورت‌های مهم در برنامه‌های به نژادی است از آنجا که تجزیه واریانس مرکب، فقط اطلاعاتی درباره برهمکنش ژنوتیپ و محیط به دست می‌دهد، تعیین میزان پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آنها برای دستیابی به ارقام مناسب ضروری می‌باشد.

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی کارایی مدل‌های استفاده

<sup>2</sup> - Shapiro-Wilk

<sup>1</sup>- Likelihood Ratio Test, LRT

جدول ۱- اطلاعات آب‌وهوایی و مشخصات ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش (۱۳۹۳-۱۳۹۵)

Table 1- Meteorological and geographical information of experimental locations (2014-2016)

مکان	طول و عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	سال زراعی	کد	میانگین دمای گرم‌ترین ماه	میانگین دمای سردترین ماه	تبخیر	بارندگی
	Longitude and latitude	Height above sea level (m)	Crop year	Code	Average temperature of the hottest month	Average temperature of the coldest month	Evaporation (mm)	Rainfall(mm)
خرم‌آباد Khoramabad	37 ° 28' N	1170	2014-2015	E1	40.4	-5.2	1224	326.3
خرم‌آباد Khoramabad	48 ° 21' E	1170	2015-2016	E2	39	-5.4	1068	743.4
ایلام Ilam	33 ° 38' N	970	2014-2015	E3	41	-4.6	1102.2	325.8
ایلام Ilam	46 ° 24' E	970	2015-2016	E4	46.5	-2.6	936.6	738.8
گچساران Gachsaran	30 ° 21' N	722	2014-2015	E5	47	-1.2	1324	351.6
گچساران Gachsaran	50° 48' E	722	2015-2016	E6	43.2	-1.8	1214	390.1
گنبد Gonbad	37 ° 17' N	52	2014-2015	E7	47.2	-0.9	638.7	279.4
گنبد Gonbad	55° 18' E	52	2015-2016	E8	45.3	-0.8	613	521.5

جدول ۲- نام، مبدأ\* و کد ژنوتیپ‌های نخود مورد مطالعه

Table 2- Name, origin and code of the chickpea genotypes

نام ژنوتیپ	کد
Name Genotype	Code
FLIP03-63C	G1
FLIP03-87C	G2
FLIP05-16C	G3
FLIP03-123C	G4
FLIP03-145C	G5
FLIP01-24C	G6
FLIP05-183C	G7
FLIP05-19C	G8
FLIP05-18C	G9
FLIP07-21C	G10
FLIP07-31C	G11
FLIP07-32C	G12
FLIP07-91C	G13
FLIP08-12C	G14
FLIP08-23C	G15
FLIP01-52C	G16
FLIP88-85C	G17
Azad	G18

\* مبدأ کلیه ژنوتیپ‌ها مرکز تحقیقات بین‌المللی مناطق خشک (ایکاردا) می باشد

آزمایش‌های چند محیطی Metan (Olivoto, 2019) و GGE (Wright and Laffont, 2018) در نرم افزار R انجام شد. از پارامترهای تجزیه امی و همچنین پارامترهای مبتنی بر تجزیه

هر محیط ترکیبی از سال و مکان بود. بنابراین، هشت محیط برای تجزیه و تحلیل پایداری ۱۸ ژنوتیپ و رقم در نظر گرفته شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه

(WAASB)، پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها ارزیابی گردید (Olivoto et al., 2019 a). در تمام این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های با مقادیر پایین این شاخص‌ها، پایدارترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته شدند.

AMMI که شامل  $ASV^1$ ،  $SIPC^2$ ،  $EV^3$ ،  $ZA^4$ ،  $SSI^5$ ، WAASBY و WAASB روی ماتریس برهمکنش ژنوتیپ در محیط حاصل از بهترین پیش بینی ناریب خطی (BLUP) استفاده شد (جدول ۳). با استفاده از میانگین وزنی نمرات مطلق حاصل از تجزیه ارزش منفرد ماتریس BLUPs

جدول ۳- شاخص‌های تجزیه پایداری

Table 3- Stability analysis indices

شماره Code	شاخص Index	فرمول Formula	رفرنس References
(۱)	ارزش پایداری امی AMMI stability value (ASV)	$ASV = \sqrt{\left[ \frac{SSIPC1}{SSIPC2} (IPC1) \right]^2 + (IPC2)^2}$	Purchase et al., 2000
(۲)	مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه‌ها Sum of IPCs scores (SIPC)	$SIPC = \sum_{n=1}^N \lambda_n^{0.5} \gamma_{in}$	Sneller et al., 1997
(۳)	مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI Eigenvalue (EV) stability parameter of AMMI	$EV = \sum_{n=1}^N \gamma_{in}^2 / n$	Zobel et al., 1988
(۴)	قدرمطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction (Za)	$Za_i = \sum_{n=1}^N  \theta_n \gamma_{in} $	Zali et al., 2012
(۵)	شاخص انتخاب همزمان Simultaneous selection index (ssi)	$SSI = R(\text{AMMI stability Indices}) + RY$	Farshadfar, 2008
(۶)	میانگین وزنی نمرات مطلق Weighted average of absolute scores (WAASB)	$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^p  IPCA_{ik} \times EP_k }{\sum_{k=1}^p EP_k}$	Olivoto et al., 2019 b

شاخص‌ها هستند. در رابطه ۵، شاخص گزینش همزمان، حاصل جمع رتبه ژنوتیپ‌ها بر پایه هرکدام از شاخص‌های پایداری AMMI و رتبه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها است.

در رابطه ۶،  $IPCA_{ik}$ ، نمره ژنوتیپ  $k$  امین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA)، و  $EP_k$ ، واریانس توجیه شده توسط  $k$  امین IPCA است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAASB پایدار در نظر گرفته می‌شود (Olivoto et al., 2019 b). نمودارهای بای‌پلات نوع اول ( $IPCA_1$  vs grain yield) و نوع دوم ( $IPCA_1$  vs  $IPCA_2$ ) AMMI<sub>1</sub> با روش استاندارد توضیح داده شده توسط زوبل و همکاران

نسبت  $SSIPC_1/SSIPC_2$  در رابطه ۱، وزن ویژه شده برای مؤلفه اصلی نخست ( $IPC_1$ ) است که از تقسیم مجموع مربعات  $IPC_1$  بر مجموع مربعات  $IPC_2$  (محور مؤلفه اصلی دوم) بدست آمده است. در رابطه ۲،  $\lambda_n$ ، ریشه مشخصه  $IPC$  در  $n$  امین محور است که برای  $SIPC_1$  و  $SIPC_2$  به ترتیب برابر با ۱ و تعداد مؤلفه‌های اصلی باقیمانده در مدل است. در رابطه‌های ۳ و ۴،  $\gamma_{in}$ ، ریشه مشخصه  $n$  امین محور و  $N$  ( $N'$  در رابطه ۴)، تعداد مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار شده در تجزیه واریانس AMMI با آزمون F است. در رابطه ۴، درصد مجموع مربعات توجیه شده به وسیله  $n$  امین محور IPC با  $\theta_n$  نشان داده شده است. در تمام این رابطه‌ها، پایدارترین ژنوتیپ‌ها، دارای کمترین مقادیر این

<sup>4</sup> - Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction, Za

<sup>5</sup> - Simultaneous selection index, SSI

<sup>1</sup> - AMMI stability value, ASV

<sup>2</sup> - Sum of IPCs scores, SIPC

<sup>3</sup> - Eigenvalue stability parameter of AMMI

(Zobel et al., 1988) با بسته Metan کشیده شدند.

اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده (REML) برآورد شدند و برای ارزیابی معنی‌داری اثرهای تصادفی، آزمون نسبت درست‌نمایی (LRT) به کار گرفته شد. از کمیت‌های پایداری WAASBi و WAASBYi برای کمی

سازی پایداری با رابطه‌های  $\gamma$  و  $\lambda$  بهره گرفته شد.

$$WAASBi = \frac{\sum_{k=1}^p |IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^p EP_k} \quad (7)$$

(8)

$$WAASBY_i = \frac{\{W_Y \times [(\frac{GY_i}{GY_{max}}) \times 100]\} + \{W_S \times (100 - \frac{WAASBi}{WAASB_{min}})\}}{W_Y + W_S}$$

که در آن، WAASBi، میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ  $i$ ،  $IPCA_{ik}$ ، نمره ژنوتیپ  $i$  در  $K$  امین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA)، و  $EP_k$ ، مقدار واریانس توجیه شده توسط  $K$  امین IPCA است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAASB پایدار در نظر گرفته می‌شود (Olivoto et al., 2019 b). انتخاب همزمان برای میانگین عملکرد و پایداری (MPS)<sup>2</sup> با شاخص WAASBY انجام شد که در آن به میانگین عملکرد (Y) و شاخص پایداری (WAASB) وزن داده می‌شود و WAASBYi، میانگین وزنی WAASB و عملکرد دانه (GY) برای ژنوتیپ  $i$ ،  $W_Y$ ، وزن داده شده به متغیر پاسخ (در این مورد، عملکرد دانه)،  $GY_i$ ، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ  $i$  با توجه به تمام محیط‌ها،  $GY_{max}$ ، بالاترین متوسط عملکرد دانه مشاهده شده،  $W_S$ ، وزن نسبت داده شده به شاخص پایداری (در این مورد، شاخص WAASB)،  $WAASBi$ ، میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ  $i$ ،  $WAASB_{min}$ ، کمترین مقدار WAASB مشاهده شده در بین ژنوتیپ‌ها است. جنبه‌های دیگری از تلفیق دو روش AMMI و BLUP بهره‌گیری از ابزارهای گرافیکی تجزیه AMMI در شاخص‌های برآورده شده است. به طوری که برای کمک به تفسیر چشمی، گرافیک‌هایی برای نشان دادن میانگین متغیر پاسخ در برابر WAASB ایجاد شدند (Olivoto et al., 2019 a). این ابزارهای گرافیکی که در پدیدآوری آن‌ها از ابزارهای AMMI و بای‌پلات‌های GGE بهره گرفته می‌شوند، برای نشان دادن چشمی جایگاه ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری و میزان عملکرد بسیار کاربردی هستند. وراثت پذیری عمومی ( $H2 = VG/VP$ ) برای عملکرد با استفاده از

مقادیر BLUP در مکان‌ها و سال‌ها با تقسیم تنوع ژنوتیپی به تنوع کل برآورد شد (Piepho and Möhring, 2007).

## نتایج و بحث

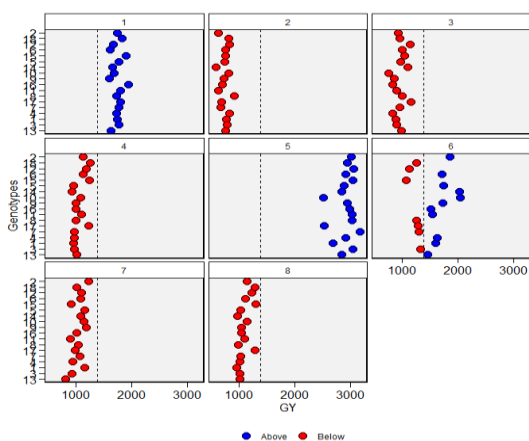
### تعیین سهم مؤلفه‌ها در برهمکنش ژنوتیپ در محیط و نمودار گرمایی و موزائیکی

واریانس برآورد شده به سه جزء واریانس ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ در محیط و باقیمانده تفکیک شد. بر اساس اطلاعات جدول ۴، ۳۱/۲۶ درصد از واریانس توسط برهمکنش ژنوتیپ در محیط توجیه می‌شود، حال آنکه اثر ژنوتیپ، تنها توجیه کننده ۱۵/۴۵ درصد از واریانس برآورد شده است. عمده واریانس (۵۳/۲۹ درصد) نیز توسط اثر باقیمانده توجیه گردید. اثر باقیمانده عمدتاً<sup>۱</sup> به اثر محیط مربوط می‌شود که با توجه به تفاوت‌های زیاد بین محیط‌های آزمایشی از نظر ویژگی‌های خاک، مقدار و پراکنش بارندگی و سایر عوامل قابل توجیه است. نتایج تحقیقات محققان روی نخود نیز نشان داده است که بخش عمده واریانس توسط اثر محیط توجیه می‌شود (Tekalign et al., 2017; Brankovic-Radojic et al., 2018). تجزیه واریانس جداگانه در هر کدام از محیط‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ در پنج محیط از هشت محیط مطالعه شده معنی‌دار بود (نتایج ارائه نشده‌اند). بنابر این ژنوتیپ‌ها در محیط‌های آزمایشی دارای تنوع کافی بودند و برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط نیاز به تجزیه‌های پایداری بود. متوسط عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بین ۱۲۶۶ (برای ژنوتیپ ۱۳) تا ۱۵۱۰ (برای ژنوتیپ ۲) کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در این پژوهش اثر محیط بیشترین سهم را در توجیه مجموع مربعات کل به خود اختصاص داد که این موضوع نشان دهنده دامنه وسیع‌تر اثرات اصلی محیط نسبت به اثرات اصلی داده نشده است) برای هر محیط واریانس ساده (داده‌ها نشان داده نشده است) برای هر محیط انجام و آزمون بارتلت برای بررسی همگن بودن واریانس‌های خطای آزمایش‌ها نیز انجام شد. با انجام آزمون بارتلت روی داده‌های هشت محیط، فرض همگنی واریانس خطاهای آزمایش مورد تأیید قرار گرفت ( $\chi^2=7/86^{ns}$ ). مقادیر محاسبه شده برای چولگی (۱/۵۴)، کشیدگی (۲/۴۹) و عدم معنی‌دار بودن سطح

<sup>2</sup> - Mean performance and stability, MPS

<sup>1</sup> - Restricted maximum likelihood, REML

(۷) و گنبد (۴ و ۸) کمترین تغییرات عملکرد کلی را طی دو سال داشته‌اند، در حالیکه مقدار این تغییرات در ایستگاه‌های خرم آباد (۱ و ۵) و ایلام (۲ و ۶) بالاست (شکل ۱-ب). این موضوع می‌تواند از نوسان‌های بیشتر در وضعیت اقلیمی دو سال آزمایش در این دو منطقه ناشی شود. پژوهشگران دیگری نیز واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های نخود را در محیط‌های مختلف گزارش کرده‌اند (Azam *et al.*, 2020; karimizadeh *et al.*, 2020; Sellami *et al.*, 2021; Dhuria and Babbar, 2021; Pezeshkpour *et al.*, 2022; Jorben *et al.*, 2022).

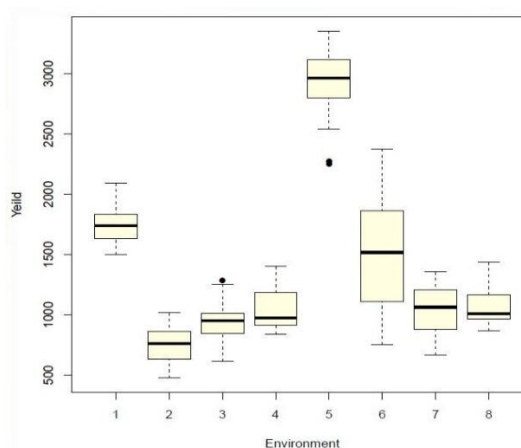


شکل ۱- نمایش باکس پلات میانگین عملکرد دانه (الف) و عملکرد ژنوتیپ‌ها (ب) در محیط‌های هشت گانه

Figure 1- Boxplot showing average seed yield in eight environments

است، به گونه‌ای که ستون اول در برگیرنده ۳۴/۳۱ درصد از کل مساحت مربع است و اولین مؤلفه اصلی از مجموع مربعات کل را تشکیل می‌دهد. ستون (مؤلفه اصلی) دوم ۳۱/۳۸ درصد از مجموع مربعات کل را در بر می‌گیرد. این دو مؤلفه اصلی، با یکدیگر ۶۵/۶۹ درصد از مجموع مربعات کل، ۱۴/۰۶ درصد (۱۰/۷۶ درصد + ۳/۳ درصد) از مجموع مربعات ژنوتیپ را تشکیل می‌دهند. در هر ستون، ردیف‌های نمودار موزائیکی، آن ستون (یا محور مؤلفه اصلی) را به بخش برآمده از مجموع مربعات ژنوتیپ و بخش برآمده از مجموع مربعات ژنوتیپ در محیط تقسیم می‌کند. با توجه به اینکه سهم ژنوتیپ (۹/۲۸ درصد) در نخستین محور مؤلفه اصلی کمتر از اثر ژنوتیپ در محیط (۹۰/۷۲ درصد) است، نمی‌توان این محور را محور ژنوتیپ نامید و بر اساس آن تفاوت میانگین ژنوتیپ‌ها را از نظر عملکرد دانه با یکدیگر سنجید. بنابراین توجه به سایر مؤلفه‌ها

احتمال ( $P < 0.06$ ) بر اساس آزمون کولموگروف - اسمیرنوف (Smirnov, 1948; Sa'diyah and Hadi, 2016) نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع داده‌ها هست. با مقایسه داده‌های بارندگی و متوسط درجه حرارت در زمان آزمایش و داده‌های دراز مدت، به نظر می‌رسد که بیشترین میزان کاهش عملکرد ناشی از کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت و به عبارتی عوامل ناشی از تغییرات تصادفی سال می‌باشد. این نتیجه در بر همکنش معنی دار ژنوتیپ  $\times$  سال نیز دیده می‌شود. در شکل ۱ - الف، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر یک از محیط‌ها به نمایش گذاشته شده است. همانگونه که مشخص است، ایستگاه‌های گچساران (۳) و

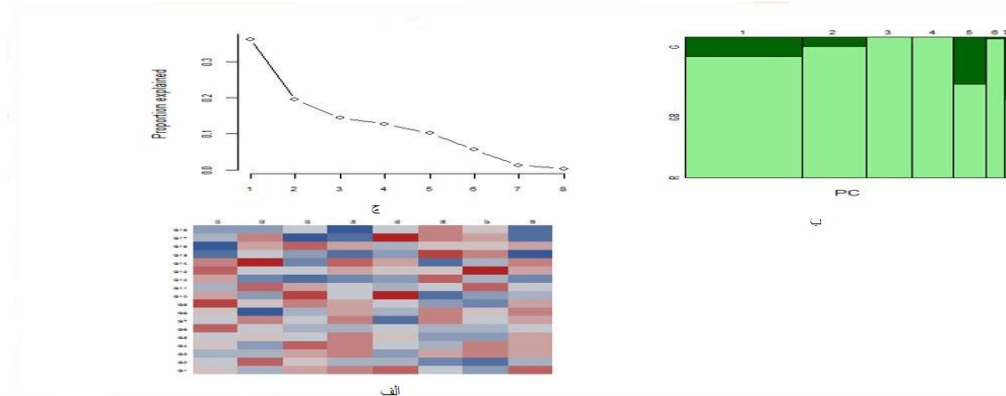


## ارزیابی فاکتورهای تصادفی و ثلثت، برآورد اجزای واریانس و تخمین میانگین‌های پیش بینی شده

پیش از تجزیه پایداری، مجموع مربعات کل (TSS) به دو جزء مجموع مربعات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط با بهره‌گیری از نمودار موزائیکی از یکدیگر جدا شدند. در این نمودار که به وسیله لافونت و همکاران (Laffont *et al.*, 2007) پیشنهاد شده است، کل مربع نمودار ۱۰۰ درصد مجموع مربعات کل است و نواحی با رنگ تیره تنوع کل ناشی از اثر ژنوتیپی یا اختلاف بین میانگین ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد که در این تحقیق ۱۵/۴۵ درصد از تنوع کل است و نواحی با رنگ روشن، تنوع ناشی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط را نشان می‌دهد که ۸۴/۵۵ درصد از تنوع کل را در بر می‌گیرد (شکل ۲-ب). ستون‌های این نمودار وابسته به محورهای مؤلفه اصلی

از BLUP داشتند (شکل ۳)، به طوری که مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۳۴/۳۱ و ۳۱/۳۸ درصد از تغییرات را توجیه کردند، بنابراین نتایج تجزیه پایداری فقط بر اساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم ممکن است نتایج اشتباهی در پی داشته باشد، چون این دو مؤلفه در مجموع ۶۵/۶۹ درصد (مؤلفه اول ۳۴/۳۱ درصد و مؤلفه دوم ۳۱/۳۸ درصد) از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کنند، لذا استفاده از مؤلفه‌های سوم، چهارم و پنجم که سهم قابل توجهی در توجیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط دارند می‌تواند نتایج مطمئن‌تری را ارائه دهد. با توجه به بهره‌گیری از مدل مختلط LMM<sup>۲</sup> در تجزیه داده‌ها، از آزمون نسبت درست نمایی<sup>۳</sup> LRT<sup>۳</sup> برای ارزیابی معنی‌داری عوامل آزمایشی استفاده شد. نتایج نشان داد که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار بود.

نیز در بررسی اثر اصلی ژنوتیپ ضروری است. مجموع مربعات محور مؤلفه اصلی دوم، سهم کمتری از اثرهای ژنوتیپ در محیط (۹۶/۷ درصد) را نسبت به اثرهای ژنوتیپ (۳/۳ درصد) دارد، بنابراین می‌توان این ستون را به عنوان محور برهمکنش ژنوتیپ در محیط نام نهاد، هر چند نقش مؤلفه‌های بعدی به ویژه پنجم با سهم ۳۸ درصد را نمی‌توان در این برهمکنش نادیده گرفت و باید از آن برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بهره گرفت، بنابراین ارزیابی ژنوتیپ‌ها در رابطه با عملکرد و پایداری باید بر اساس مجموعه مؤلفه‌ها باشد. از آزمون اسکریت<sup>۱</sup> برای شناسایی بهترین شمار مؤلفه‌های توجیه کننده برهمکنش ژنوتیپ در محیط استفاده شد. نتایج نشان داد که تا مؤلفه اصلی پنجم هر کدام از مؤلفه‌ها سهم قابل توجهی در توجیه برهمکنش ماتریس ژنوتیپ در محیط حاصل



شکل ۲- پیش تجزیه‌های برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI)<sup>۴</sup>. الف. نمودار گرمایی پراکنش عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها، ب. نمودار موزائیکی جهت نمایش سهم مؤلفه‌ها از واریانس G+GE، ج. ریشه مشخصه ماتریس GEI

Figure 2- Pre-analysis of GEI. a. Heatmap plot for yield of genotypes in environments; b. Mosaic plot for indication of PCs contribution in G+GE; c. Eigenvalues of the BLUP\_GEI matrix

ژنوتیپ در محیط و باقیمانده به واریانس فنوتیپی نشان داد که این سه جزء به ترتیب ۱۵/۴۵ درصد، ۳۱/۲۶ درصد و ۵۳/۲۹ درصد از واریانس فنوتیپی را توجیه کردند (جدول ۴). همانطور که ملاحظه می‌شود واریانس فنوتیپی پایین‌ترین سهم را از واریانس فنوتیپی داشت. این موضوع حاکی از تأثیر پایین ژن‌ها در ایجاد تنوع میان ژنوتیپ‌ها بود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه، تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفتند. از آنجایی که نسبت تنوع ژنتیکی به محیطی کمتر است، کارایی گزینش کاهش خواهد یافت و شناسایی و انتخاب

برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ در محیط نشان داد که بیان فنوتیپی عملکرد دانه یک ژنوتیپ ممکن است در یک محیط بیشتر و در محیطی دیگر کمتر باشد (Thennarsu, 1995)، بنابراین تجزیه BLUP برای چنین داده‌هایی مناسب است (Olivoto et al., 2019 a)، و از این رو اقدام به برآورد بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUP ها) گردید و تجزیه پایداری به روش AMMI روی این BLUP ها انجام شد. ارزیابی نسبت اجزای واریانس برآورد شده به روش درست نمایی محدود شده (REML) شامل واریانس فنوتیپی، برهمکنش

<sup>۳</sup> - Likelihood ratio test

<sup>۴</sup> - Genotype × environment interaction (GEI)

<sup>۱</sup> - Screenshot

<sup>۲</sup> linear mixed-effect model

همچنین نسبت این دو ضریب تغییرات به ترتیب برابر با ۶/۲۶ درصد، ۱۱/۶۲ درصد، و ۰/۵۳ بود. نسبت برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر اثر ژنوتیپی دو برابر بود. برای افزایش دقت پیش‌بینی، استفاده از مدل‌های آماری با طولانی‌پیش‌بینی بهتر همچون بهترین پیش‌بینی نارایب خطی (BLUP)، یکی از گزینه‌های پیش‌روی به نژادگران است که تجزیه پایداری به روش AMMI می‌تواند بر روی این پیش‌بینی‌ها انجام شود (Olivoto et al., 2019a). بر اساس نتایج تجزیه واریانس AMMI، اثر محیط، و برهمکنش ژنوتیپ در محیط معنی‌دار بود (نتایج ارائه نشده). پنج مؤلفه اصلی اول نقش مهمی در توجیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشتند. این مؤلفه‌های اصلی در مجموع ۹۶/۲ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند. اثر معنی‌دار محیط، و برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان‌دهنده پیش‌زمینه گسترده مواد ژنتیکی و تنوع مکان‌های آزمایشی و سال‌های زراعی است. نتایج تحقیقات پیشین نیز اثر ژنتیکی و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را برای عملکرد دلنه نخود گزارش داده‌اند (Tamang et al., 2022; Danyali et al., 2012; Rashidi et al., 2013; Sellami et al., 2021). وجود برهمکنش ژنوتیپ در محیط، نیاز به تشخیص سازگاری عملکرد ژنوتیپ‌ها را بر اساس ارزیابی در چند مکان و سال نشان می‌دهد. کاهش برهمکنش ژنوتیپ در محیط متضمن گزینش ژنوتیپ‌هایی با بالاترین پایداری عملکرد در طیف گسترده‌ای از محیط‌ها است. تجزیه AMMI و BLUP ابزارهای مهمی برای به دست آوردن درک درستی از عوامل دخیل در پدیدآوری برهمکنش ژنوتیپ در محیط هستند. از این رو، نخست پایداری ژنوتیپ‌ها با شاخص‌های مختلف AMMI سنجیده شده و سپس با ابزارهای گرافیکی مختلف و تلفیق روش‌های AMMI و BLUP، ژنوتیپ‌های با پایداری عملکرد شناسایی شدند.

## شناختن شاخص‌های پایداری AMMI و شاخص انتخاب هم‌زمان<sup>۲</sup>

از شاخص‌های مختلف AMMI، همچون ASV برای کمی‌سازی و طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها، بر اساس پایداری عملکرد دانه آن‌ها، استفاده شد. بر اساس شاخص پایداری ASV، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۶، ۱۱، ۴ و ۶ با نمره‌های پایین، پایدارترین ژنوتیپ‌ها

ژنوتیپ‌های مطلوب از نامطلوب به شکل صحیح‌تری انجام خواهد شد. واریانس پایین برهمکنش ژنوتیپ در محیط نسبت به واریانس محیطی مبین تأثیرگذاری کم این اثر بر بیان فنوتیپی عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مختلف نخود بود که سبب ایجاد نوسان کمتر عملکرد دانه از محیطی به محیط دیگر شد. پژوهشگران دیگری نیز برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ در محیط را بر عملکرد دلنه نخود با تجزیه واریانس به روش کمترین مربعات گزارش کرده‌اند (Sellami et al., 2021; Rubiales et al., 2021; Jorben et al., 2022).

با توجه به استوار بودن بسیاری از تلاش‌ها در گام‌های نهایی برنامه‌های به‌نژادی در آزمایش‌های چند محیطی، دقت پیش‌بینی، برای گزینش درست ژنوتیپ‌ها، توصیه ژنوتیپ‌ها و شناسایی محیط‌های کلان<sup>۱</sup> بسیار مهم است (Olivoto et al., 2019 a). میزان وراثت‌پذیری عمومی برای عملکرد دانه در این تحقیق ۰/۱۵۴ بود. ضریب تبیین برهمکنش ژنوتیپ در محیط و میزان وراثت‌پذیری بر میانگین به ترتیب برابر با ۰/۳۱۲ و ۰/۸۱۵ درصد بود. دقت گزینش ژنوتیپ و همبستگی بین ارزش‌های ژنوتیپی در سراسر محیط‌ها نیز به ترتیب ۰/۹۰۲ و ۰/۳۶۹ بود. دقت گزینش همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد (Olivoto et al., 2019 b). دقت گزینش بالای صفات نشان‌دهنده پایایی مدل در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بود. همبستگی ژنوتیپی بین محیط‌ها پایین بود. همبستگی پایین نشان‌دهنده مشکلاتی در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار برتر بود. در این راستا نیاز به اطلاعات و جزئیات دقیق‌تری برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر می‌باشد (Koundinya et al., 2021). برآورد وراثت‌پذیری نقش مهمی را در پیشرفت برنامه‌های به‌نژادی در جهت شناسایی و توصیه ژنوتیپ‌ها ایفا می‌کند (Olivoto et al., 2019 b). در واقع وراثت‌پذیری یک مفهوم آماری است که درجه تنوع در یک صفت فنوتیپی را که ناشی از تنوع ژنتیکی بین افراد است را برآورد می‌کند. اگر وراثت‌پذیری صفتی کمتر از ۰/۲ باشد نشان‌دهنده وراثت‌پذیری پایین، اگر بین ۰/۲ تا ۰/۵ باشد دارای وراثت‌پذیری متوسط و اگر بیش از ۰/۵ باشد از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار است.

ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات باقیمانده و

<sup>۲</sup> - Simultaneous selection index, SSI

<sup>۱</sup> - Mega- environment

بودند. شاخص انتخاب همزمان (SSIASV) بر اساس ASV، ژنوتیپ‌های ۶، ۱۶، ۲، ۵ و ۱۱ را ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد دانه شناسایی کرد. بر اساس شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۱، ۶، ۱۶ و ۴ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. انتخاب همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های ۶، ۲، ۱۱، ۵ و ۱۶ به عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی کرد. ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۱، ۶ و ۴ از نظر شاخص EV و ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۶، ۴، ۱۱ و ۶ از نظر شاخص ZA پایدار بودند، حال آنکه انتخاب همزمان این شاخص‌ها و عملکرد دانه برای SSIEV، ژنوتیپ‌های ۶، ۲، ۵، ۱۱، ۱۸ و ۱۶ برای SSIZA، ژنوتیپ‌های ۶، ۲، ۱۶، ۵، ۱۱ و ۱۸ را برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی کرد (جدول ۵). از ASV به عنوان یک شاخص مفید برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نخود استفاده شده است (Zali et al., 2009; Pouresmael et al., 2018; Pezeshkpour et al., 2021; Fikre et al., 2018). آماره‌های SSI که ترکیبی از دو معیار پایداری و عملکرد یک ژنوتیپ در یک شاخص واحد است، مشکلات و محدودیت‌های مربوط به انتخاب ژنوتیپ بر اساس تنها شاخص پایداری را کاهش می‌دهد و استفاده از این شاخص‌ها وابسته به این واقعیت است که پایدارترین ژنوتیپ‌ها، همواره بالاترین عملکرد را ندارند (Farshadfar, 2008). با در نظر گرفتن این موضوع که اگر درصد دو مؤلفه اصلی اول بیش از ۵۰ درصد از کل تغییرات ژنوتیپ در محیط را توجیه کند، بای‌پلات می‌تواند ابزار مناسبی برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط باشد (Crossa, 1990)، اما در این تحقیق با آنکه دو مؤلفه اصلی اول ۶۵/۶۹ درصد از برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند، اما دیده می‌شود که گزینش ژنوتیپ‌ها فقط بر پایه این دو مؤلفه و صرف نظر از سایر مؤلفه‌ها و همچنین عملکرد دانه می‌تواند به نتیجه‌گیری نادرستی منجر شود. برای نمونه ژنوتیپ ۴ که در هر چهار شاخص AMMI پایدار بود، زمانی که از SSI برای هر یک از شاخص‌ها استفاده شد، یکی از ژنوتیپ‌های منتخب شناخته نشد. در مقابل، ژنوتیپ ۲ که بر اساس پارامترهای AMMI پایدار نبود، به عنوان ژنوتیپ برتر با توجه به شاخص‌های SSI آن‌ها شناخته شد. در این راستا اظهار شده است که زمانی که توجیه الگوی برهمکنش ژنوتیپ در محیط با دو مؤلفه اصلی اول کم تا متوسط باشد (برای نمونه در محاسبه

شاخص ASV)، لازم است در تفسیر نتایج احتیاط شود. با افزایش برهمکنش ژنوتیپ در محیط، الگوی برهمکنش ژنوتیپ در محیط در تعداد بیشتری از محورهای باقی می‌ماند، به طوری که حتی مؤلفه‌های اصلی آخر نیز سهمی در این برهمکنش‌ها دارند (Olivoto et al., 2019 a). بنابراین در ادامه برای تجزیه پایداری داده‌ها از مدل‌هایی استفاده شد که در آن‌ها تمام مؤلفه‌ها در ارزیابی‌ها نقش داشتند. در بای‌پلات نوع اول AMMI (عملکرد دانه در برابر مؤلفه اصلی اول) که تعدادی از پژوهشگران از آن برای تجزیه پایداری در نخود استفاده کرده‌اند (Pezeshkpour et al., 2021; Karimizadeh et al., 2022) در محور افقی، عملکرد دانه به عنوان نمود یا بیان فنوتیپی یک ژنوتیپ و در محور عمودی، اولین مؤلفه اصلی برای برهمکنش ژنوتیپ در محیط قرار داده می‌شوند و بر پایه مقادیر بزرگی (مثبت یا منفی) و کوچکی (نزدیک به صفر و مبدأ مختصات) اولین مؤلفه اصلی، به ترتیب ژنوتیپ‌ها یا محیط‌ها دارای برهمکنش بالا و یا پایین در نظر گرفته می‌شوند، اما با توجه به نتایج نمودار موزائیکی (شکل ۲-ب) که در نخستین محور مؤلفه اصلی آن، مجموع مربعات ژنوتیپ در محیط سهم بالایی از تنوع کل را داشت، به نظر می‌رسد که ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها با این محور مؤلفه اصلی می‌تواند همراه با چالش باشد و چندان نمی‌توان به نتایج آن اطمینان داشت. با این وجود، برای مقایسه نتایج نمودارهای بعدی با این نمودار، به چگونگی قرار گرفتن ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در این نمودار اشاره شده است. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱، ۱۳، ۴ و ۶ نزدیکترین ژنوتیپ‌ها به مبدأ بای‌پلات بودند. البته بیشتر ژنوتیپ‌ها در اطراف محور عمودی پراکنده بودند و کمترین فاصله را از این محور داشتند. اگر بنابر تصمیم‌گیری درباره پایداری ژنوتیپ‌ها بر پایه نخستین محور مؤلفه اصلی می‌بود، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۲، ۱۸، ۲، ۱۴ و ۱۰ (با علامت مثبت) و ژنوتیپ‌های ۷، ۸، ۱۷ و ۹ (با علامت مثبت) را باید ناپایدار و ژنوتیپ‌های ۱۱، ۴، ۱۳ و ۶ پایدار در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۵-الف). که البته در بخش‌های بعدی و با تجزیه‌های بیشتر، نادرستی بخش‌هایی از این نتایج نشان داده شده است. به نظر می‌رسد که ارزیابی ژنوتیپ‌ها با بای‌پلات نوع دوم (AMMI<sub>2</sub>)، که در پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها بر پایه جایگاه آن‌ها در محورهای مختصات برآمده از دو مؤلفه اصلی اول سنجیده می‌شود، با توجه به سهم

دلیل شیب خط بالا، ژنوتیپ‌های ناپایدار بودند. بررسی همزمان این نمودار با شکل ۴ نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۶ و ۱۵ و ۵ با آنکه میانگین مشابهی داشتند (شکل ۴)، اما الگوی خط آن‌ها (شکل ۵-ج) کاملاً متفاوت بود، دلیل این موضوع این است که قدر مطلق نمره مؤلفه اصلی اول ژنوتیپ‌های شماره ۱۲ و ۱۵ به ترتیب ۲۱/۵ و ۲۷/۴ می‌باشد که نسبت به ژنوتیپ‌های ۶ و ۵ با قدر مطلق نمره به ترتیب ۷/۸۲ و ۱۱/۶ بسیار بیشتر بود (شکل ۵-الف) که نشان‌دهنده ناپایداری ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۵ و پایداری ژنوتیپ‌های ۵ و ۶ است. در ادامه رتبه‌های کاملاً متفاوت این ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص پایداری و عملکرد دانه دیده خواهد شد. از مقایسه شکل ۴ با شکل ۵-ج ملاحظه شد که ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۸ و ۱۲ با آنکه بیشترین میانگین را داشتند، اما معادله خط آن‌ها دارای شیب نزولی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های پایدار بودند. باید توجه شود که رسم این نمودار بر اساس اولین مؤلفه اصلی است که ۳۴/۳۱ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کند. از این رو تجزیه‌های تکمیلی بر اساس سایر شاخص‌ها ارائه شده است که در برآورد آن‌ها از امتیازهای تمام مؤلفه‌ها بهره گرفته شده است.

### رتبه بندی ژنوتیپ با توجه به وزن دهی شاخص پایداری و متغیر وابسته (عملکرد دانه)

در شکل ۴، شناسایی ژنوتیپ‌ها با مقادیر WAASBY انجام شده است که نوعی معیار گزینش همزمان مبتنی بر میانگین عملکرد دانه و شاخص پایداری (WAASB) است و در محاسبه آن وزن‌های متفاوتی به عملکرد دانه و شاخص WAASB داده شده است.

در این نمودار از وزن دهی برابر ۵۰:۵۰ برای هر دو شاخص عملکرد دانه و شاخص پایداری (WAASB) استفاده شد، که بیانگر نگرش یکسان به پایداری و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و اهمیت یکسان هر دو شاخص در گزینش یک ژنوتیپ است.

بای پلات نوع سوم (عملکرد دانه در برابر میانگین وزنی نمرات مطلق یا (WAASB)، به چهار بخش یا چارک تقسیم شد (شکل ۵-د) که در آن ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری با شاخص WAASB و میانگین عملکرد دانه به طور همزمان ارزیابی

بالای این دو مؤلفه در برهمکنش ژنوتیپ در محیط (۶۵/۶۹ درصد)، نسبت به بای پلات نوع اول به واقعیت نزدیک‌تر باشد. ژنوتیپ‌های ۱۶، ۶، ۷، ۹ و ۲ با بیشترین فاصله از مبدأ بای پلات، سهم بالایی در برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشتند و از نظر عملکرد دانه ناپایدار بودند، اما این ژنوتیپ‌ها بهترین یا ضعیف‌ترین در برخی یا تمام محیط‌ها و دارای سازگاری به برخی از محیط‌ها بودند، به طوری که در هر بخش بهترین ژنوتیپ، ژنوتیپ قرار گرفته در رأس آن بخش برای محیط‌های واقع در آن است (Yan et al., 2000). در هر کدام از بخش‌های این نمودار چند ضلعی، ژنوتیپ‌های سازگار با برخی از محیط‌ها قابل شناسایی است، برای نمونه، ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۲ برای محیط ۵ مناسب بودند، بنابراین ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۲، ۶ و ۱۵ علاوه بر عملکرد بالا (با بیشترین مقادیر در PC<sub>1</sub>) از پایداری بالایی (با کمترین مقادیر در PC<sub>2</sub>) نیز برخوردار بودند و می‌توانند به عنوان ژنوتیپ‌های بهینه در نظر گرفته شوند. مشابه این تحقیق، پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از روش بای پلات نوع دوم، ژنوتیپ‌های پایدار خود را شناسایی کرده‌اند (Houasli et al., 2021; Sabaghpour et al., 2012; Funga et al., 2017; Mohammed et al., 2022). شکل دیگر بای پلات چند ضلعی یا "کدام-برنده-کجا"<sup>۱</sup>، نمودار عملکرد اسمی<sup>۲</sup> است (Olivoto et al., 2019b). که محور X و Y آن به ترتیب، مربوط به امتیاز اولین مؤلفه اصلی محیط و عملکرد ژنوتیپ‌ها است (شکل ۵-ج). در این نمودار، برای هر کدام از ژنوتیپ‌ها یک خط با معادله  $Y=a+bx$  نوشته می‌شود که در آن X، نمره محور مؤلفه اصلی اول (IPCA<sub>1</sub>) محیطی؛ a، میانگین کل هر ژنوتیپ و b، اولین مؤلفه اصلی هر ژنوتیپ است (Olivoto et al., 2019b).

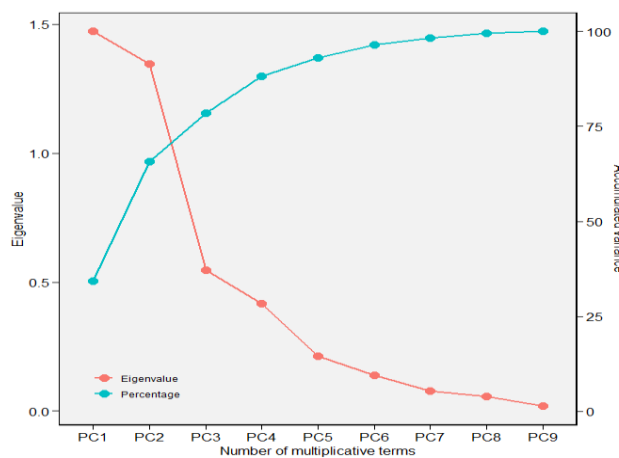
ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۷، ۱۱ و ۴ با توجه به کمترین امتیاز مؤلفه اصلی اول (ضرایب b یا شیب خط)، سهم ناچیزی در برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشته و از پایداری بیشتری برخوردار بودند. حال آنکه ژنوتیپ‌های دیگر در محیط‌های مختلف عملکرد متفاوتی داشته و ناپایدار بودند. ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۵ که در برخی از محیط‌ها و بر اساس گزینش همزمان مبتنی بر مقادیر برآورد شده از میانگین وزنی پایداری (WAASB) و میانگین عملکرد دارای عملکرد دانه بالایی بودند (شکل ۴)، به

<sup>2</sup> - Nominal yield

<sup>1</sup> - Which-won-where

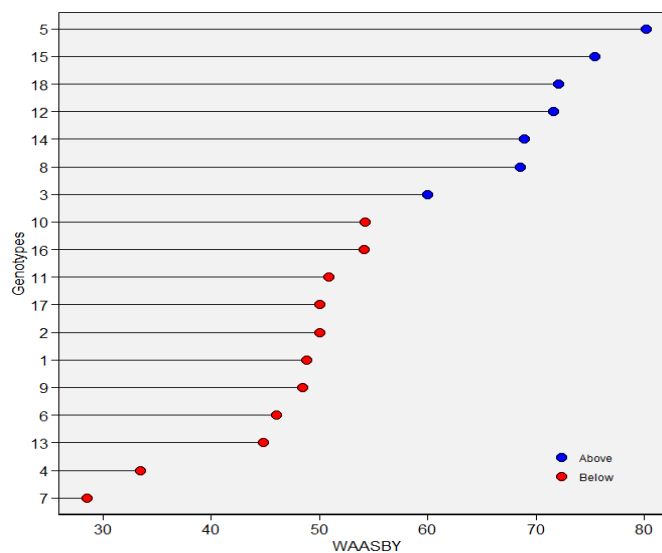
ناحیه (به ویژه محیط ۶) به دلیل داشتن مقادیر بالای متغیر پاسخ و همچنین توانایی تشخیص خوب می‌تواند به صورت ویژه مورد توجه واقع شود. ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۱، ۴، ۱، ۳، و ۸ در چارک سوم (ربع III)، با آنکه عملکرد کمتر از میانگین کل داشتند، اما به دلیل پایین بودن مقادیر WAASB (هر قدر این شاخص پایین تر باشد، عملکرد ژنوتیپ پایدار تر خواهد بود)، دارای عملکرد پایدار شناخته شدند که در بای پلات نوع دوم نیز پایدار بودند. محیط‌های این ناحیه، محیط‌های با قابلیت تشخیص پایین و دارای عملکرد پایین بودند (شکل ۱ الف و ب)

می‌شوند. در چارک اول (ربع I)، ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۷ با توجه به سهم زیاد در برهمکنش ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ‌های ناپایدار و دارای عملکرد کمتر از متوسط کل بودند (Olivoto *et al.*, 2019 b). بنابراین این ژنوتیپ‌ها علاوه بر ناپایداری بالا، با توجه به اینکه در این چارک هیچ محیطی قرار نداشت، به محیط‌های ویژه‌ای نیز سازگار نیستند و ژنوتیپ‌های مطلوبی محسوب نمی‌شوند. در چارک دوم (ربع II)، ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۵، ۱۲، ۱۴ و ۱۸ با وجود داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل، به دلیل مقدار بالای WAASB، ناپایدار هستند. محیط‌های واقع در این



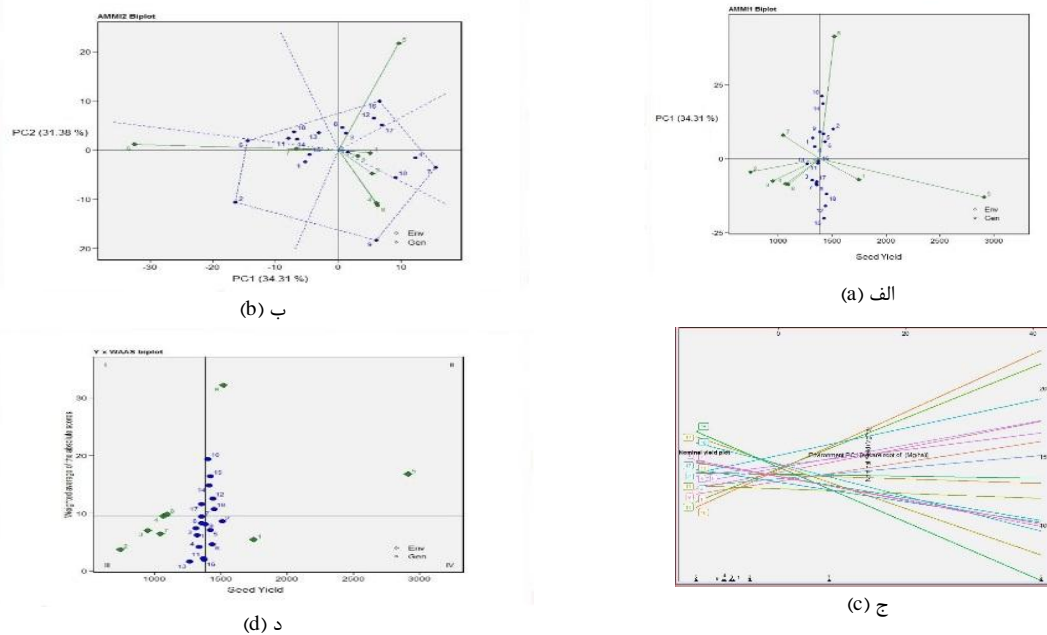
شکل ۳- مقادیر ویژه ماتریس BLUP-GEI عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود در آزمایش‌های چند محیطی

Figure 3 - Eigenvalues of the BLUP-GEI matrix of seed yield of chickpea genotypes in multi environment yield trial



شکل ۴- مقادیر برآورد شده از میانگین وزنی پایداری (WAASB) و میانگین عملکرد (Y)(WAASBY) برای ۱۸ ژنوتیپ نخود با توجه به وزن در نظر گرفته شده ۵۰:۵۰ برای عملکرد و پایداری

Figure 4 - Estimated values of weighted average of the stability (WAASB) and mean performance (Y)(WAASBY) for 18 chickpea Genotypes considering the weights of 50 and 50 for yielding and stability, respectively



شکل ۵- دیاگرام‌های ارزیابی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود در هشت محیط. بای پلات  $AMMI_1$  (الف)، بای پلات  $AMMI_2$  (ب)، نمودار عملکرد اسمی در برابر اولین محور مؤلفه اصلی محیطی برهمکنش  $(IPCA_1)$  (ج) و بای پلات عملکرد دانه در مقابل میانگین وزنی نمرات مطلق برای بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی از برهمکنش ژنوتیپ‌ها با محیط (WAASB) (د).

Figure 5- Diagrams for analysis the grain yield of chickpea genotypes evaluated in eight environments.  $AMMI_1$  biplot (a),  $AMMI_2$  biplot (b), Nomina; seed yield vs the first environmental interaction principal component axis ( $IPCA_1$ ) plot (c) and biplot of the seed yield vs weighted average of absolute scores for the best linear unbiased predictions of the genotypes- environment interaction (WAASB) (d).

بهره‌گیری از همه محورهای مؤلفه‌های اصلی در محاسبه آن است که از آن بخشی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط که در مؤلفه‌های اصلی اول و دوم بروز پیدا نکرده است را نیز در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها به کار می‌برد (Olivoto *et al.*, 2019 a).  
بعلاوه در رسم این نمودار بای پلات (شکل ۵-د) رویکرد مدل مختلط به کار برده می‌شود که امکان تخمین پارامترهای مهم در ژنتیک کمی همچون واریانس‌های ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ  $\times$  محیط، وراثت پذیری عمومی، وراثت پذیری بر اساس میانگین و همبستگی‌های ژنتیکی واریانس را هم فراهم می‌کند (Olivoto *et al.*, 2019 b). در شکل ۶ رتبه‌های ژنوتیپ‌ها بسته به وزن‌های داده شده به هر کدام از دو شاخص متغیر وابسته (GY) و پایداری (WAASB) نشان داده شده است. در مستطیل سیاه رنگ، شناسایی ژنوتیپ‌ها با معیار گزینش همزمان بر اساس میانگین عملکرد دانه (GY) و شاخص پایداری (WAASB)، یعنی مقادیر WAASBY انجام شده است که در آن وزن دهی ۵۰:۵۰ برای هر دو شاخص عملکرد دانه و WAASB استفاده شد که بیانگر اهمیت یکسان ژنوتیپ‌ها

ژنوتیپ‌های واقع در چارک چهارم (ربع IV) به دلیل بزرگی متغیر پاسخ (دارا بودن عملکرد بالا) و پایداری عملکرد بالا (مقادیر پایین WAASB)، بسیار پر محصول و دارای پایداری عملکرد بیشتری هستند که شامل ژنوتیپ‌های ۲، ۵، و ۶ بودند. در شکل ۵-ج، ژنوتیپ ۲ در مقایسه با ژنوتیپ‌های ۵ و ۶ دارای شیب خط رو به بالا بود و از پایداری عملکرد کمتری برخوردار بود، حال آنکه بر پایه شاخص WAASB پایدار بودند. با توجه به اینکه در محاسبه شاخص WAASB، کلیه مؤلفه‌های اصلی به کار گرفته شدند، پایداری عملکرد را به شکل بهتری نشان می‌دهند و ژنوتیپ‌های برگزیده با این شاخص از پایداری مطمئن‌تری برخوردار هستند. بای پلات  $WAASB \times GY$  (شکل ۵-د) که تفسیر همزمان پایداری و عملکرد را انجام می‌دهد، می‌تواند برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار برای همه محیط‌ها به کار رود، حال آنکه نمودارهای بای پلات  $AMMI_1$  (شکل ۵-الف) و  $AMMI_2$  (شکل ۵-ب) برای شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار برای محیط‌های ویژه کاربرد بیشتری دارد. مهم‌ترین مزیت این بای پلات نسبت به دو بای پلات  $AMMI$ ،

رتبه بندی ژنوتیپ‌ها فقط بر اساس عملکرد دانه (با وزن ۱۰۰ درصد) انجام گرفت. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۲، ۶، ۱۸، ۱۲، ۱۵ و ۵ بالاترین عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های ۱۳، ۳، ۱، ۴، ۱۷ و ۷ کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند. خوشه‌های سمت چپ این نمودار، برای شناسایی گروه‌های ژنوتیپی با نمود مشابه پایداری عملکرد و میانگین عملکرد دانه به کار برده می‌شود. ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۸، و ۱۳ ضعیف از نظر عملکرد و پایدار (سبز رنگ)، ژنوتیپ ۲ پر محصول اما ناپایدار (قرمز رنگ)، ژنوتیپ‌های ۴، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۶ و ۱۷ ناپایدار و کم محصول (رنگ آبی)، و ژنوتیپ‌های ۵، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۸ بسیار پر محصول و پایدار (مشکی رنگ) از نظر عملکرد دانه بودند، که بر اساس وزن ۵۰:۵۰ برای دو شاخص نیز در رتبه‌های اول تا چهارم گزینش همزمان با پایداری عملکرد و عملکرد دانه (WAASBY) قرار داشتند. برای افزایش کارایی انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایداری عملکرد از شاخص انتخاب همزمان استفاده شد (شکل ۶)، که حاصل جمع رتبه ژنوتیپ‌ها در هر کدام از شاخص‌های AMMI (در اینجا شامل ASV، SIPC، EV و ZA) و رتبه ژنوتیپ از نظر متغیر پاسخ (عملکرد دانه) است و مقادیر پایین‌تر مطلوب است (Bocianowski et al., 2019). با وجود آسان بودن تفسیر پایداری و میانگین عملکرد دانه با این شاخص‌ها، وجود ابهام‌هایی در آن می‌تواند به درک نادرست در انتخاب یا توصیه یک ژنوتیپ نخود بینجامد. برای مثال، مقدار مشخص SSIEV برای دو ژنوتیپ ۱۱ و ۱۸ برابر با ۱۴ بود، حال آنکه این عدد از جمع ۳+۱۱ برای ژنوتیپ ۱۱ و ۱۲+۲ برای ژنوتیپ ۱۸ حاصل شده است. با توجه به اینکه در ژنوتیپ ۱۸، رتبه عملکرد دانه (۲) بهتر است و در ژنوتیپ ۱۱، رتبه پایداری عملکرد دانه (۳) بهتر است، با استفاده از این شاخص انتخاب همزمان (SSIEV) ژنوتیپ‌هایی با الگوهای متفاوت برای آزمایش‌های چند محیطی، مشابه در نظر گرفته شده‌اند. باید در نظر داشت که توصیه یک ژنوتیپ با پایداری عملکرد دانه، اما با عملکرد پایین (مانند ژنوتیپ ۱۳) با توصیف ژنوتیپی که در یک محیط عملکرد خوبی دارد، اما در سایر موارد دارای عملکرد پایینی است (یعنی یک ژنوتیپ ناپایدار، مانند ژنوتیپ ۷) کاملاً متفاوت است و در حالت دوم، توصیه ژنوتیپ برای محیط‌های خاص باید بررسی شود (Olivoto et al., 2019 b). حال آنکه شاخص SSI، هر دو ژنوتیپ را دارای ارزش یکسان

از نظر پایداری و عملکرد دانه است، یعنی در گزینش یک ژنوتیپ این دو شاخص هر دو به یک اندازه اهمیت داده شده‌اند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۵، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۸ با داشتن بیشترین مقدار WAASBY بر اساس وزن دهی ۵۰:۵۰ (شکل ۶)، ژنوتیپ‌های پایدار بودند. در شکل ۵ - د، این ژنوتیپ‌ها در چارک‌های دوم (۱۲، ۱۴ و ۱۵، با عملکرد دانه بالا، اما ناپایدار)، سوم (۸ با عملکرد کمتر از میانگین کل، اما ناپایدار) و چهارم (۵ پر محصول و پایدار) قرار داشتند، بنابراین به نظر می‌رسد بسته به وزن دو شاخص پایداری و میانگین عملکرد، می‌توان با مقایسه این دو نمودار به یک ارزیابی فراگیر از پایداری ژنوتیپ‌ها دست یافت. با توجه به اینکه امتیازهای برخی از ژنوتیپ‌ها (مانند ۱۲ و ۱۵) در دو مؤلفه اصلی اول، پایین بود، گزینش یا حذف این ژنوتیپ‌ها بر اساس آماره‌های مبتنی بر دو مؤلفه اصلی اول یا نمودارهای بای‌پلات مربوطه ممکن است به نتایج اشتباهی بینجامد، شاخص WAASB مبتنی بر ماتریس BLUP قابل توصیه است و نتایج بدست آمده از آن قابلیت اعتماد بیشتری دارد. در صورت سهم پایین دو مؤلفه اصلی اول در برهمکنش ژنوتیپ در محیط، باید تفسیر نتایج با شاخص ASV با احتیاط انجام شود، زیرا تنها بخش ساده برهمکنش ژنوتیپ × محیط را می‌توان در اولین مؤلفه اصلی نشان داد و ممکن است بخش پیچیده برهمکنش ژنوتیپ در محیط در این شاخص و بای‌پلات‌های مربوطه حذف شده باشد (Olivoto et al., 2019 b). در این شرایط، برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول و پایدار، بای‌پلات WAASB × GY (شکل ۵-د) یا نمودار WAASBY (شکل ۶) می‌تواند مناسب‌تر باشد. در اولین ستون سمت چپ این نمودار (شکل ۴)، رتبه بندی فقط بر اساس شاخص پایداری WAASB انجام شد که در محور X آن، وزن شاخص پایداری (WAASB) و شاخص متغیر وابسته (عملکرد دانه) به ترتیب ۱۰۰ و صفر در نظر گرفته شده است و بر اساس آن پلیدارترین ژنوتیپ‌ها ۳، ۸، ۱۳، ۵ و ۱۵ بودند و ژنوتیپ‌های ۲، ۷، ۶ و ۴ کمترین پایداری را داشتند. روشن است که این رتبه بندی نمی‌تواند درست باشد، زیرا در آن هیچ گونه توجهی به عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نشده است. در این نمودار از چپ به راست، در هر ستون به وزن متغیر پاسخ (عملکرد دانه) ۵ درصد افزوده و از وزن شاخص پایداری (WAASB)، ۵ درصد کاسته شد، به طوری که در آخرین ستون سمت راست،

پذیرش است که رتبه برای پایداری با ASV یا هر کدام از شاخص‌های AMMI دیگر قابل اعتماد باشد. برای مثال دو مؤلفه اصلی که در محاسبه ASV استفاده شده‌اند، سهم بالایی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط را داشته باشند. اگر توجیه الگوی برهمکنش ژنوتیپ در محیط در دو مؤلفه اصلی پایین باشد، رتبه ASV ممکن است گمراه کننده باشد، بنابراین هنگام استفاده از این شاخص باید به این موضوع دقت شود. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس ماتریس همبستگی رتبه بین معیارهای پایداری انجام گرفت (شکل ۷).

فرض می‌کند. رتبه بندی چنین ژنوتیپ‌هایی با شاخص WAASBY با توجه به وزن‌دهی‌های متفاوت می‌تولند مشابه هم نباشد، چنانچه در شکل ۶ دیده می‌شود ژنوتیپ ۱۸ در خوشه چهارم (ژنوتیپ با عملکرد پایدار و پر محصول) و ژنوتیپ ۱۱ در خوشه سوم (ژنوتیپ‌های پایدار اما کم محصول) قرار گرفتند.

آن توجه کرد این است که استفاده از شاخص انتخاب همزمان غیر پارامتری (SSI) برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی که میانگین و پایداری عملکرد دلنه بالایی دارند، به شرطی قابل

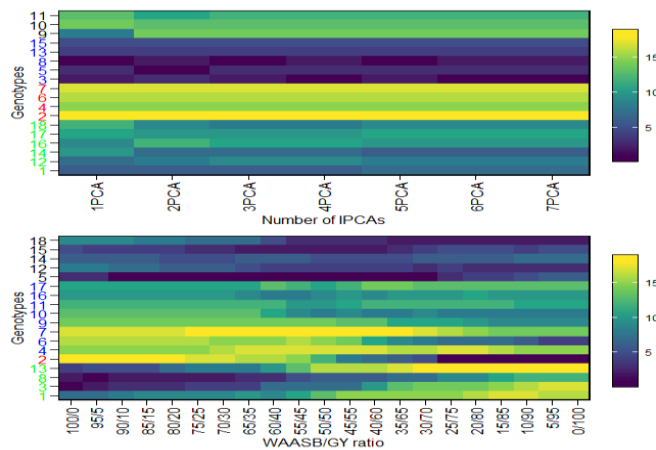
جدول ۴- ارزیابی معنی‌داری فاکتورها در مدل مختلط و برآورد اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده در ژنوتیپ‌های نخود

Table 4- Evaluation of significance of factors by LRT ( $\chi^2$ ) and estimation of variance components by REML in durum wheat genotypes

آماره Statistics	آزمون نسبت درست‌نمایی Likelihood ratio test	
	ژنوتیپ در محیط (G×E)	ژنوتیپ (G)
کای اسکور $\chi^2$	44.832	19.315
مقدار احتمال p- Value	2.147e-11	1.008e-05
اجزای واریانس Variance components		
پارامترهای برآورد شده به روش درست‌نمایی محدود شده (REML)	برآوردها Estimates (%)	
واریانس ژنوتیپی GEN $\sigma^2$ g	2803 (15.45)	
واریانس ژنوتیپ در محیط $\sigma^2$ i GEN:ENV	5671 (31.26)	
واریانس باقیمانده $\sigma^2$ e Residual	9669 (53.29)	
واریانس فنوتیپی $\sigma^2$ P Phenotypic variance	1814	
وراثت پذیری عمومی h <sup>2</sup> g Heritability	0.1545	
ضریب تشخیص اثرهای R <sup>2</sup> gei GEI <sub>r</sub> 2 GEI	0.3126	
وراثت پذیری میانگین ژنوتیپی h <sup>2</sup> mg	0.8152	
دقت انتخاب ژنوتیپ As	0.9029	
همبستگی بین مقادیر ژنوتیپی در میان محیط‌ها rge	0.3697	
ضریب تغییرات ژنوتیپی (%) CVg	6.260	
ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده (%) CVe	11.63	
نرخ ضریب تغییرات ژنوتیپی بر ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده CVg/CVe ratio	0.5384	
انحراف معیار <sup>۱</sup>	0.92	
خطای استاندارد <sup>۲</sup>	0.05	

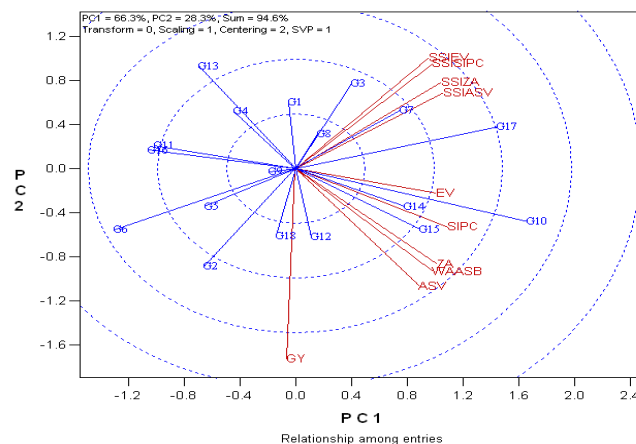
<sup>1</sup> - Standard deviation

<sup>2</sup> - Standard error



شکل ۶- نقشه حرارتی، رتبه بندی ژنوتیپ بر اساس محورهای مؤلفه اصلی مورد استفاده برای تخمین شاخص WAASB و رتبه‌های ژنوتیپ‌های نخود با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای پایداری و عملکرد دانه. اولین رتبه سمت چپ، صرفاً بر اساس پایداری بدست آمده است. آخرین رتبه سمت راست نیز با در نظر گرفتن عملکرد دانه بدست آمده است. میان این دو انتها، رتبه‌ها از وزن‌های مختلف پایداری و عملکرد بدست آمده است. چهار خوشه، چهار گروه ژنوتیپی را نشان می‌دهد: (۱) ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر عملکرد و ناپایدار (سبز رنگ)، (۲): ژنوتیپ‌های پر محصول اما ناپایدار (قرمز رنگ)، (۳) ژنوتیپ‌های پایدار اما کم محصول (رنگ آبی)، و (۴) ژنوتیپ‌های بسیار پر محصول و پایدار (رنگ مشکی)

Figure 6- Heatmap shows the genotype ranking depending on the number of principal component axes used for estimating the WAASB index. An euclidean distance-based dendrogram is used for grouping the genotype ranking for both genotypes and principal component axes. Ranks of chickpea genotypes considering different weights for stability and yielding. The most-left ranks were obtained considering the stability only. The most right-ranks were obtained considering the grain yield only. Between the extremes, the ranks were obtained different weights for stability and yielding. The four clusters represent four classes of genotypes: (1) Poorly productive and unstable genotypes (green color); (2) productive but unstable genotypes (Red color); (3) stable but poorly productive genotypes (blue color); and (4), highly productive and stable genotypes (black color)



شکل ۷- بای پلات مؤلفه اصلی اول در مقابل مؤلفه اصلی دوم بر اساس میانگین عملکرد دانه و آماره‌های پایداری ۱۸ ژنوتیپ نخود در هشت محیط  
Figure 7- Biplot (PC1 vs. PC2) of stability procedures based on the rank correlation matrix with yield in 18 chickpea genotypes in eight environments

از واریانس متغیرهای اصلی را توجیه کردند. بای پلات مؤلفه اصلی اول در مقابل مؤلفه اصلی دوم روابط بین میانگین عملکرد دانه و پارامترهای پایداری را نشان می‌دهد. زاویه بین بردارهایی

نکته دیگری که در هنگام استفاده از این شاخص‌ها باید به بر اساس نتایج حاصله دو مؤلفه اصلی اول ۹۴/۶ درصد (به ترتیب ۶۶/۳ و ۲۸/۳۹ درصد به وسیله مؤلفه اصلی اول و دوم)

دارند ولی با عملکرد دانه همبستگی معنی داری نشان ندادند. گروه سوم شامل ZA، WAASB و ASV هستند که ارتباط و همبستگی مثبتی با میانگین عملکرد دانه داشتند، بنابراین این پارامترها دارای مفهوم دینامیکی (زراعی) پایداری هستند. طول بردار هر پارامتر، انحراف معیار درونی آن را تقریب می‌زند، که این انحراف معیار توانایی تمایز پارامتر را نشان می‌دهد. بررسی بای پلات همبستگی بین پارامترها در مجموع نشان‌دهنده قدرت تمایز بالا در همه پارامترهای مورد آزمایش بود. از میان پارامترهای مورد بررسی، پارامترهای EV و SIPC نسبت به سایر پارامترها قدرت تمایز کمتری نشان داد.

که پارامترهای پایداری را به مرکز بای پلات متصل می‌کند، همبستگی تقریبی بین آن‌ها را نشان می‌دهد. زاویه حاده نشانگر همبستگی مثبت و زاویه منفرجه نشانگر استقلال و همبستگی بسیار ضعیف یا همبستگی منفی بین پارامترهای پایداری است. بر اساس این بای پلات، پارامترهای پایداری مورد مطالعه در چهار گروه تقسیم شدند. گروه اول شامل SSIEV، SSISIPC، SSIZASV و SSIZASV بودند. این آماره‌ها رابطه مثبتی با یکدیگر و رابطه منفی با عملکرد دانه داشتند. بنابراین این پارامترها دارای مفهوم ایستا (بیولوژیکی) از پایداری هستند. گروه دوم شامل EV و SIPC هستند که همبستگی مثبتی با همدیگر

جدول ۵- شاخص‌های پایداری، رتبه ژنوتیپ‌ها و شاخص انتخاب همزمان (SSI)، برای ژنوتیپ‌های نخود

Table 5- Stability indices, rank of genotypes and simultaneous selection index (SSI) for chickpea genotypes

Code	Grain yield(kg/ha)	ASV	SIPC	EV	ZA	WAASB	rGY	rASV	rSIPC	rEV	rZA	rWAASB	SSIASV	SSISIPC	SSIEV	SSIZA
G1	1320	23.2	10.6	0.016	0.11	6.22	16	6	6	6	6	6	22	22	22	22
G2	1510	33	14	0.029	0.151	8.61	1	12	9	9	11	11	13	10	10	12
G3	1315	24.8	15.2	0.038	0.136	7.38	17	7	10	11	8	8	24	27	28	25
G4	1338	14.2	8.34	0.011	0.076	4.16	15	4	5	4	4	4	19	20	19	19
G5	1419	27.5	11.3	0.019	0.124	7.1	6	8	7	7	7	7	14	13	13	13
G6	1434	18.9	6.6	0.008	0.079	4.62	4	5	3	2	5	5	9	7	6	9
G7	1355	30.1	21.2	0.082	0.176	9.41	14	11	14	15	12	12	25	28	29	26
G8	1357	29.7	15.2	0.034	0.149	8.29	12	9	11	10	10	10	21	23	22	22
G9	1385	30	13.9	0.028	0.143	8.08	9	10	8	8	9	9	19	17	17	18
G10	1404	70.3	34.9	0.178	0.346	19.4	8	18	18	17	18	18	26	26	25	26
G11	1368	6.66	5.98	0.009	0.043	2.21	11	3	2	3	3	3	14	13	14	14
G12	1439	51.9	17.5	0.058	0.214	12.6	3	15	12	13	14	15	18	15	16	17
G13	1266	5.73	3.05	0.001	0.029	1.62	18	1	1	1	1	1	19	19	19	19
G14	1412	60.7	21.2	0.081	0.254	14.8	7	16	15	14	16	16	23	22	21	23
G15	1424	65.7	24.3	0.099	0.282	16.4	5	17	16	16	17	17	22	21	21	22
G16	1373	6.35	6.61	0.014	0.041	1.96	10	2	4	5	2	2	12	14	15	12
G17	1355	34.8	31.6	0.244	0.228	11.6	13	13	17	18	15	14	26	30	31	28
G18	1448	39.4	18.7	0.051	0.19	10.7	2	14	13	12	13	13	16	15	14	15

## نتیجه‌گیری کلی

۱۶، ۱۳، ۱۱، ۴ و ۶، شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۱، ۶، ۱۶ و ۴؛ شاخص EV، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۱، ۴ و ۱۶؛ و شاخص ZA، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۶، ۱۱، ۴ و ۶ پایدار بودند. هنگامی که از شاخص انتخاب همزمان (SSI) برای این شاخص‌ها استفاده شد، بر اساس معیار SSIASV، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱، ۲، ۵ و ۶؛ معیار SSISIPC ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵، ۲، ۱۶، ۱۸ و ۱۲؛ معیار SSIEV، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵، ۲، ۱۸ و ۱۶؛ معیار SSIZASV، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۵، ۲، ۱۸ و ۱۶ برترین ژنوتیپ‌های نخود بودند. نمودار بای پلات AMMI 2 بر مبنای دو مؤلفه اصلی اول، ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۲، ۶ و ۱۵ را به عنوان

در این پژوهش پس از بدست آوردن اطمینان از اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ در محیط با روش‌های مختلف تجزیه پایداری عملکرد دانه انجام شد و نتایج آن‌ها با یکدیگر سنجیده شد. البته پیش از انجام این تجزیه‌ها با نمودار موزائیکی مشاهده شد که نخستین محور مؤلفه اصلی سهم بالایی از تنوع ژنوتیپی و محور مؤلفه اصلی دوم سهم بالایی از تنوع ژنوتیپ × محیط را داشتند. کارایی نمودار موزائیکی در این است که سهم هر یک از اجزای ژنوتیپ و ژنوتیپ در محیط را در هر کدام از مؤلفه‌ها به صورت چشمی نشان می‌دهد. بر پایه شاخص ASV، ژنوتیپ‌های

بهره‌گیری از تجزیه‌هایی مانند تجزیه عاملی، BLUP و AMMI در شناسایی ژنوتیپ‌های برگزیده کمک کند. با توجه به اینکه از مدل مختلط و همچنین تمام مؤلفه‌ها در محاسبه شاخص WAASBY استفاده شد، به نظر می‌رسد که این شاخص برتر از سایر شاخص‌ها باشد.

### سپاسگزاری

این مقاله، برگرفته از نتایج پروژه پژوهشی با شماره مصوب ۰-۵۹-۱۵-۹۳۲۲۰ و شماره فروست ۵۲۵۷۳ می‌باشد و با عنوان " بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود در آزمایش‌های یکنواخت سراسری مناطق نیمه گرمسیر دیم " در موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور می‌باشد.

ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار شناسایی کردند. با توجه به اینکه در محاسبه بای‌پلات AMMI<sub>2</sub>، تمام مؤلفه‌های اصلی سهم نیستند و فقط مؤلفه‌های اصلی اول و دوم با توجیه ۳۴/۳ و ۳۱/۴ درصد از برهمکنش ژنوتیپ در محیط به کار گرفته شده‌اند، از شاخص پایداری ژنوتیپی WAASBY استفاده شد که پتانسیل ارائه برآوردهای قابل اطمینان از پایداری عملکرد را دارد و امکان تفسیر همزمان بر پایه میانگین عملکرد و پایداری عملکرد را در یک نمودار دو بعدی فراهم می‌آورد. بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های ۵، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۸ بسیار پر محصول و پایدار بودند. در مجموع به نظر می‌رسد که برای یک نتیجه‌گیری با اطمینان بالا، استفاده از نمودار WAASBY با وزن‌دهی متغیر از صفر تا صد برای شاخص WAASB و میانگین عملکرد دانه می‌تواند به نتایج مطمئن تری از تجزیه پایداری با

### References

- Azam, M.G., Iqba, M.S., Hossain, M.A. and Hossain, M.F., 2020. Stability investigation and genotype× environment association in chickpea genotypes utilizing AMMI and GGE biplot model. *Genetics and Molecular Research*, 19(3), pp.1-15.
- Baquedano, F.J., Valladares, F. and Castillo, F.J., 2008. Phenotypic plasticity blurs ecotypic divergence in the response of *Quercus coccifera* and *Pinus halepensis* to water stress. *European Journal of Forest Research*, 127, pp.495-506. <https://doi.org/10.1007/s10342-008-0232-8>
- Baxevanos, D., Goulas, C., Rossi, J. and Braojos, E., 2008. Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE biplots. *Agronomy Journal*, 100(5), pp.1230-1236. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0363>
- Becker, H.C. and Leon, J., 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, 101, pp.1-23. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x>
- Bocianowski, J., Warzecha, T., Nowosad, K. and Bathelt, R., 2019. Genotype by environment interaction using AMMI model and estimation of additive and epistasis gene effects for 1000-kernel weight in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Applied Genetics*, 60(2), pp.127-135. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.06.004>
- Branković-Radojčić, D.V., Babić, V., Filipović, M., Srdić, J., Girek, Z., Zivanović, T. and Radojčić, A., 2018. Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. *Genetika*, 50(3), pp.1067-1080. <https://doi.org/10.2298/gensr1803067b>
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Chickpea." Encyclopaedia Britannica. 2021. Available online: <https://www.britannica.com/plant/chickpea> (accessed on 28 January 2021). <https://doi.org/10.3390/agronomy11050962>

- Cattivelli, L., Crosatti, C., Grossi, M., Faccioli, P., and Stanca, A.M. 1994. Molecular study on cold-and drought resistance in barley. *Genetica Polonica*, 35, 39-45.
- Cooper, M. and DeLacy, I.H., 1994. Relationships among analytical methods used to study genotypic variation and genotype-by-environment interaction in plant breeding multi-environment experiments. *Theoretical and Applied Genetics*, 88(5), pp.561-572. <https://doi.org/10.1007/bf01240919>
- Crossa, J., 1990. Statistical analyses of multilocation trials. *Advances in Agronomy*, 44, pp.55-85. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(08\)60818-4](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(08)60818-4)
- Danyali, S.F., Razavi, F., Segherloo, A.E., Dehghani, H. and Sabaghpour, S.H., 2012. Yield Stability in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Study Relationship among the univariate and multivariate stability Parameters. *Research in Plant Biology*, 2(3), pp.6-61.
- Dhuria, N. and Babbar, A., 2021. Genotype× Environment (G×E) interaction and stability analysis of diverse elite kabuli chickpea lines for phenological and yield related traits under normal and heat stress environment. *Legume Research-An International Journal*, 44(1), pp.31-35. <https://doi.org/10.18805/lr-4064>
- Ebdon, J.S. and Gauch Jr, H.G., 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials: I. Interpretation of genotype× environment interaction. *Crop Science*, 42(2), pp.489-496. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.4890>
- Eberhart, S.T. and Russell, W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop Science*, 6(1), pp.36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
- Erdemci, I., 2018. Investigation of genotype× environment interaction in chickpea genotypes using AMMI and GGE biplot analysis. *Turkish Journal of Field Crops*, 23(1), pp.20-26. <https://doi.org/10.17557/tjfc.414846>
- Falconer, D.S. and Mackay, T.F.C., 1996. Hardy-Weinberg Equilibrium. Introduction to Quantitative Genetics, 4th edition. Addison Wesley Longman, Harlow, Essex, UK, pp.5-18. <https://doi.org/10.1017/s0016672300028573>
- FAO. 2021. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Accessed 30 September , 2019.
- Farshadfar, E., 2008. Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(14), pp.1791-1796. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.1791.1796>
- Fikre, A., Funga, A., Korbu, L., Eshete, M., Girma, N., Zewdie, A., Bekele, D., Muhamed, R., Daba, K. and Ojiewo, C.O., 2018. Stability analysis in chickpea genotype sets as tool for breeding germplasm structuring strategy and adaptability scoping. *Ethiopian Journal of Crop Science*, 6(2), pp.19-37.
- Funga, A., Tadesse, M., Eshete, M., Fikre, A., Korbu, L., Girma, N., Bekele, D., Mohamed, R., Bishaw, Z., Rao, G. and Siambi, M., 2017. Genotype by environment interaction on yield stability of desi type chickpea ('*Cicer arietinum*'L.) at major chickpea producing areas of Ethiopia. *Australian Journal of Crop Science*, 11(2), pp.212-219. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.02.p297>

- Houasli, C., Sahri, A., Nsarellah, N. and Idrissi, O., 2021. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) breeding in Morocco: genetic gain and stability of grain yield and seed size under winter planting conditions. *Euphytica*, 217(8), pp.1-14. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02885-x>
- Hussein, M.A., Bjornstad, A.S. and Aastveit, A.H., 2000. SASG× ESTAB: A SAS program for computing genotype× environment stability statistics. *Agronomy Journal*, 92(3), pp.454-459. <https://doi.org/2134/agronj2000.923454x>
- Iliadis, C., 2001. Evaluation of six chickpea varieties for seed yield under autumn and spring sowing. *The Journal of Agricultural Science*, 137(4), pp.439-444. <https://doi.org/10.1017/s0021859601001502>
- Jorben, J., Rao, A., Bharadwaj, C., Nitesh, S., Tiwari, N., Kumar, T. and Hegde, V., 2022. Multi-trait multi environment analysis for stability in MABC lines of Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92(8), pp.1005-1009. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i8.122599>
- José, F. and Cunha Melo, L., 2008. Yield stability and adaptability of common bean lines developed by Embrapa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 38(2), pp.141-145.
- Kang, M.S., 2020. Genotype-environment interaction and stability analyses: An update. *Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding*, pp.140-161. <https://doi.org/10.1079/9781789240214.0140>
- Karimizadeh, R., Ghogh, H., Hosseinpour, T., Armion, M., Shahbazi Homonlo, K. and Sharifi, P., 2021. Evaluating of the efficiency of AMMI and BLUP models and their integration for identifying high-yielding durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) genotypes adapted to warm rainfed regions of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 23(1), pp.30-48. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.15625540.1400.23.1.3.7>
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Barzali, M., Mehraban, A. and Sharifi, P., 2020. Evaluation the mean performance and stability of lentil genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques. *Journal of Crop Breeding*, 12(36), pp.160-170. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/jcb.12.36.160>
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Mirzaei, A., Barzali, M., Keshavarzi, K. and Sharifi, P., 2022. Evaluation of Seed Yield Stability of Chickpea Genotypes Using GGE Biplot Method. *Isfahan University of Technology Journal of Crop Production and Processing*, 11(4), pp.81-92. [In Persian]. <https://doi.org/10.47176/jcpp.11.4.21613>
- Katsura, K., Tsujimoto, Y., Oda, M., Matsushima, K.I., Inusah, B., Dogbe, W. and Sakagami, J.I., 2016. Genotype-by-environment interaction analysis of rice (*Oryza* spp.) yield in a floodplain ecosystem in West Africa. *European Journal of Agronomy*, 73, pp.152-159. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.014>
- Koundinya, A.V.V., Ajeesh, B.R., Hegde, V., Sheela, M.N., Mohan, C. and Asha, K.I., 2021. Genetic parameters, stability and selection of cassava genotypes between rainy and water stress conditions using AMMI, WAAS, BLUP and MTSI. *Scientia Horticulturae*, 281, pp.109949. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109949>
- Krishnamurthy, L., Gaur, P.M., Basu, P.S., Chaturvedi, S.K., Tripathi, S., Vadez, V., Rathore, A., Varshney, R.K. and Gowda, C.L.L., 2011. Large genetic variation for heat tolerance in the reference collection of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm. *Plant Genetic Resources*, 9(1), pp.59-69. <https://doi.org/10.1017/s1479262110000407>

- Laffont, J.L., Hanafi, M. and Wright, K., 2007. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. *Crop Science*, 47(3), pp.990-996. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.08.0549>
- Mazid, A., Shideed, K., El-Abdullah, M., Zyadeh, G. and Jumaa, M., 2013. Impacts of crop improvement research on farmers livelihoods: The case of winter –sown chickpea in Syria. *Experimental Agriculture*, 49(3), pp.336-351. <https://doi.org/10.1017/s0014479712001342>
- Messina, C.D., Podlich, D., Dong, Z., Samples, M. and Cooper, M., 2011. Yield–trait performance landscapes: from theory to application in breeding maize for drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 62(3), pp.855-868. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq329>
- Mohammed, A., Tefera, M., Kindie, Y., Bisetegn, S., Wudu, E., Asres, F., Assefie, S., Dagnachew, W. and Tefera, A., 2022. Evaluation of desi type chickpea (*Cicer artinum* L.) genotypes for yield and yield components in Eastern Amhara, Ethiopia. *Agricultural Science Digest-A Research Journal*, 42(1), pp.8-13. <https://doi.org/10.18805/ag.d-275>
- Olivoto, T., 2019. Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1. 0 [online]
- Olivoto, T., Lúcio, A.D., da Silva, J.A., Sari, B.G. and Diel, M.I., 2019 b. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, 111(6), pp.2961-2969. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0221>
- Olivoto, T., Nardino, M., Meira, D., Meier, C., Follmann, D.N., de Souza, V.Q., Konflanz, V.A. and Baretta, D., 2021. Multi-trait selection for mean performance and stability in maize. *Agronomy Journal*, 113(5), pp.3968-3974. <https://doi.org/10.1002/agj2.20741>
- Olivoto, T.; Lúcio, A.D., da Silva, J.A., Marchioro, V.S., de Souza, V.Q. and Jost, E., 2019 a. Mean performance and stability in multienvironment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111, pp.2949–2960. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220>
- Pezeshkpour, P. and Karimizadeh, R., 2023. Evaluation of the mean performance and stability of chickpea genotypes by integration AMMI and BLUP models and selection based on multi-trait stability index (MTSI). *Journal of Crop Breeding*, 15(46), pp.73-83. [In Persian]. <https://doi.org/10.61186/jcb.15.46.73>
- Pezeshkpour, P., Karimizadeh, R., Mirzaei, A. and Barzali, M., 2021. Analysis of Yield Stability of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes using AMMI Method. *Journal of Crop Breeding*, 13(38), pp.60-70. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/jcb.13.38.60>
- Pezeshkpour, P., Minapour, A. and Raeisvand, M., 2022. Seed Yield Stability of Autumn Sowing Chickpea Genotypes Using Nonparametric Methods. *Journal of Crop Production*, 14(4), pp.1-20. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.18882.2408>
- Piepho, H.P. and Möhring, J., 2007. Computing heritability and selection response from unbalanced plant breeding trials. *Genetics*, 177(3), pp.1881-1888. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.074229>
- Pouresmael, M., Kanouni, H., Hajihassani, M., Astraki, H., Mirakhorli, A., Nasrollahi, M. and Mozaffari, J., 2018. Stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.) landraces in national plant gene bank of Iran for drylands. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(2), pp.387-400.

- Purchase, J.L., Hatting, H. and Van Deventer, C.S., 2000. Genotype× environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*, 17(3), pp.101-107. <https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878>
- Rashidi, M., Farshadfar, E. and Jowkar, M.M., 2013. AMMI analysis of phenotypic stability in chickpea genotypes over stress and non-stress environments. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(3), pp.253-260.
- Rodrigues, P.C., Monteiro, A. and Lourenc, V.M., 2016. A robust AMMI model for the analysis of genotype-by-environment data. *Bioinformatics*, 32, pp.58–66. <https://doi.org/10.31742/ijgpb.81.1.9>
- Rubiales, D., Moral, A. and Flores, F., 2022. Performance of Winter-Sown Chickpea Breeding Lines with Contrasting Levels of Resistance to Ascochyta Blight. *Agronomy*, 12(9), pp.2194-2206. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092194>.
- Sa'diyah, H. and Hadi, A.F., 2016. AMMI model for yield estimation in multi-environment trials: a comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, pp.163-169. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.113>
- Sabaghpour, S.H., Razavi, F., Fatemeh Danyali, S., Tobe, D. and Ebadi, A., 2012. Additive main effect and multiplicative interaction analysis for grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Iran. *International Scholarly Research Notices*, pp.1-6. <https://doi.org/10.5402/2012/639381>
- Sellami, M.H., Lavini, A. and Pulvento, C., 2021. Phenotypic and quality traits of chickpea genotypes under rainfed conditions in south Italy. *Agronomy*, 11(5), pp.962-977. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050962>
- Sharifi P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A. and Abbasian, A., 2017. Evaluation of Genotype × Environment Interaction in Rice Based on AMMI model in Iran. *Rice Science*, 24(3), pp.173–180. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.02.001>
- Sharifi, P., 2020. Application of Multivariate Analysis Methods in Agricultural Sciences. Rasht branch, Islamic Azad University Press, pp.288. [In Persian].
- Singh, M., Bhardwaj, C., Singh, S., Panatu, S., Chaturvedi, S.K., Rana, J.C., Rizvi, A.H., Kumar, N. and Sarker, A., 2016. Chickpea genetic resources and its utilization in India: Current status and future prospects. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 76(04), pp.515-529. <https://doi.org/10.5958/0975-6906.2016.00070.5>
- Singh, R., Kumar, K., Purayannur, S., Chen, W. and Verma, P.K., 2022. Ascochyta rabiei: A threat to global chickpea production. *Molecular Plant Pathology*, 23(9), pp.1241-1261. <https://doi.org/10.1111/mpp.13235>
- Smirnov, N., 1948. Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *The Annals of Mathematical Statistics*, 19(2), pp.279-281. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730256>
- Smith, A.B., Cullis, B.R. and Thompson, R., 2005. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. *The Journal of Agricultural Science*, 143(6), pp.449-462. <https://doi.org/10.1017/s0021859605005587>

- Sneller, C.H., Kilgore-norquest, L. and Dombek, D., 1997. Repeatability of yield stability statistics in soybean. *Crop Science*, 7, pp.383–390. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700020013x>
- Tamang, S., Saha, P., Bhattacharya, S. and Das, A., 2022. Unveiling genotype× environment interactions towards identification of stable sources of resistance in chickpea—collar rot pathosystem exploiting GGE biplot technique. *Australasian Plant Pathology*, 51(1), pp.47-58. <https://doi.org/10.1007/s13313-021-00834-9>
- Tekalign, A., Sibiy, J., Derera, J. and Fikre, A., 2017. Analysis of genotype× environment interaction and stability for grain yield and chocolate spot ('Botrytis fabae') disease resistance in faba bean ('*Vicia faba*'). *Australian Journal of Crop Science*, 11(10), pp.1228-1235. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.10.pne413>
- Woldemeskel, T.A., Fenta, B.A., Mekonnen, G.A., Endalamaw, H.Z. and Alemu, A.F., 2021. Multi-environment trials data analysis: An efficient biplot analysis approach, pp.1-16. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1086830/v1>
- Wright, K. and Laffont, J.L., 2018. Package 'gge', [online], pp.36-351.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q. and Szlavnic, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), pp.597-605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>
- Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S.H. and Karimizadeh, R., 2012. Evaluation of genotype × environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research*, 3, pp.3126–3136
- Zali, H., Sabaghpour, S.H., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R. and Hashem, A., 2009. Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter compare to other stability methods. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40(2), pp.21-29. [In Persian].
- Zobel, R.W., Wright, A.J. and Gauch H.G., 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80, pp.388-393. <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x>

# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 363-374

### Evaluation of some indicators of tolerance to drought stress in four potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars

Amir Hooshang Jalali <sup>\*a</sup>, Ahmad Mousapour Gorji <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

<sup>b</sup> Department of Vegetable, Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran

\*Corresponding Author: [jalali51@yahoo.com](mailto:jalali51@yahoo.com)

Received: 3 January 2024

Accepted: 8 May 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.433833.1391

#### How to cite this article:

Jalali, A. H., and Mousapour Gorji, A. 2025. Evaluation of some indicators of tolerance to drought stress in four potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 363–374. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2024.433833.1391>

#### Abstract

**Introduction:** Among different abiotic stresses, drought is one of the main inhibiting factors that affects all growth and metabolic processes and ultimately reduces crop productivity. As a plant that is sensitive to drought stress, the performance of potato reduced due to the decrease in the efficiency of photosynthesis, loss of tubers, and reduction in tubers. With the increase of global warming and climate changes, some models show that by 2069, if drought-adapted cultivars are not used in Iran, we will see a 48.3% drop in yields. In a research, two stress sensitivity indices (SSI) and stress tolerance index (STI) were used to determine the drought tolerance of 20 potato genotypes and two genotypes with higher yield were isolated. In a study in Turkey, stress sensitivity index (SSI), stress tolerance index (STI) and yield stability index (YSI) were used to compare the yield of four potato cultivars and the results showed that Atlas and Maranka cultivars had values of 0.61 and 0.67 respectively, had the lowest stress sensitivity index.

**Materials and Methods:** This research was conducted in the year 2021 at the agricultural and natural resources research station of Rozveh, Chadegan city (longitude 50 degrees 34 minutes east and latitude 32 degrees 50 minutes north) at an altitude of 2230 meters above sea level. To conduct the research, the experiment of split plots used in the form of a randomized complete block design with three replications. The main factor included two levels of irrigation (full irrigation at field capacity humidity as control and irrigation at 75% of field capacity humidity as stress treatment) and the secondary factor included four varieties (Agria, Marfona, Atosa and Anusha). Each plot consisted of four rows of four meters long, in which the distance between and on the row considered 75 and 25 cm, respectively. The aerial organs pruned to thicken the skin of the tuber and prevent injuries during harvesting. The indicators of drought tolerance used in this research were stress sensitivity indices (SSI), stress tolerance index (STI), yield stability index (YSI), mean productivity index (MPI) and geometric mean productivity (GMP). In order to estimate yield and yield components, two meters taken from the middle rows of each plot. SAS software (version 9.1) used to analyze the data, and Duncan's multiple range mean comparison test used to compare the means (at a 5% probability level).

**Results and Discussion:** The interaction of irrigation factors and variety on yield (total, salable and non-salable) and stress sensitivity indices, stress tolerance index and yield stability index were



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

significant at the 5% probability level and on the average productivity and geometric mean indices at the 1% probability level. By producing 36.20 tons of salable yield per hectare, Atosa cultivar produced 37 and 31% more yield than Marfona and Agria cultivars, respectively, but there was no significant yield difference with Anusha cultivar. The stress tolerance index ranged from 0.48 (Marfona cultivar) to 1.03 (Atosa cultivar) and the average productivity index ranged from 26.67 in Marfona cultivar to 38.82 in Atosa cultivar. Among the four cultivars studied in this research, three cultivars, Atosa, Anousha and Agria, with a yield stability index of 76.90, 78.52 and 78.56% in a statistical group and Marfona cultivar with a yield stability index of 72.87% in a statistical group placed. Usually, cultivars that have higher tolerance to stress (due to morphological and physiological characteristics) also show more stability of performance under stress conditions. The water use efficiency of Agria, Atosa and Anusha cultivars under water stress conditions increased by 20, 18 and 16%, respectively. The results of this research showed that in the range of stresses applied in this study; two new cultivars of Atosa and Anusha have acceptable tolerance to moisture stress and can be included in the cultivation pattern of different regions in Isfahan province.

**Conclusion:** In all four cultivars tested in this study, moisture stress decreased tuber yield, but the amount of yield loss was different in these cultivars. Two relatively new potato cultivars, Atosa and Anusha, were superior to Agria and Marfona by producing 31.5 and 30 tons of salable yield, respectively. Performance evaluation using stress evaluation indicators shows that the two cultivars of Atosa and Anusha can have a suitable position in the conditions of conventional drought stress (in this study, irrigation of 75% of moisture to the extent of field capacity) in the crop rotations of Isfahan province. Based on the results observed between yield under stress conditions and stress-free conditions with stress tolerance indices, average productivity and geometric mean of these three indices were more suitable for evaluating cultivars than the stress sensitivity index.

**Keywords:** Geometric mean productivity, Mean productivity index, Salable yield, Stress tolerance index

## ارزیابی برخی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و کارایی مصرف آب در چهار رقم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

امیر هوشنگ جلالی<sup>۱\*</sup>، احمد موسی پور گرجی<sup>۲</sup>

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲- بخش تحقیقات سبزی و صیفی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

\* مسئول مکاتبه: [jalali51@yahoo.com](mailto:jalali51@yahoo.com)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.433833.1391

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳

### چکیده

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی رزوه، شهرستان چادگان با استفاده از آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری کامل در حد رطوبت ظرفیت مزرعه به عنوان شاهد و آبیاری در ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه به‌عنوان تیمار تنش) و عامل فرعی شامل چهار رقم سیب‌زمینی (آگریا، مارفونا، آتوسا و آنوشا) بودند. نتایج نشان داد که رقم آتوسا با تولید ۳۶/۲۰ تن عملکرد در هکتار نسبت به دو رقم مارفونا و آگریا به ترتیب ۳۷ و ۳۱ درصد به طور معنی‌داری عملکرد بیشتری تولید نمود؛ ولی تفاوت عملکرد قابل فروش آن با رقم آنوشا معنی‌دار نبود. شاخص تحمل تنش دامنه‌ای از ۰/۴۸ (رقم مارفونا) تا ۱/۰۳ (رقم آتوسا) و شاخص میانگین بهره‌وری دامنه‌ای از ۲۶/۶۷ در رقم مارفونا تا ۳۸/۸۲ در رقم آتوسا داشتند. شاخص ثبات عملکرد در سه رقم آتوسا، آنوشا و آگریا به ترتیب برابر ۷۶/۹۰، ۷۸/۵۲ و ۷۸/۵۶ درصد بود که به طور معنی‌دار نسبت به این شاخص در رقم مارفونا (۷۲/۸۷ درصد) بیشتر بود. کارایی مصرف آب ارقام آگریا، آتوسا و آنوشا در شرایط تنش خشکی به ترتیب ۲۰، ۱۸ و ۱۶ درصد افزایش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که در دامنه تنش‌های اعمال شده در این مطالعه دو رقم جدید آتوسا و آنوشا تحمل قابل قبولی به تنش رطوبتی از خود نشان دادند و بنابراین می‌توانند در تناوب‌های زراعی منطقه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: شاخص تحمل تنش، شاخص میانگین بهره‌وری، عملکرد قابل فروش، میانگین هندسی

### مقدمه

افت غده‌دهی و کاهش حجم شدن غده‌ها است (Jalali et al., 2020). با توجه به افزایش گرمایش زمین و تغییرات آب و هوایی برخی مدل‌ها نشان می‌دهند که تا سال ۲۰۶۹ میلادی در صورتی که در ایران از ارقام سازش یافته با خشک‌سالی استفاده نشود شاهد افت ۴۸/۳ درصدی عملکردهای سیب‌زمینی خواهیم بود (Hijmans, 2003).

به طور معمول، انتخاب ارقام گیاهی مقاوم به تنش خشکی بر اساس صفات زراعی مختلف مانند تولید زیست‌توده گیاهی، ویژگی‌های عملکرد و شاخص‌های مختلف تحمل به تنش است. به عنوان مثال فرناندز (Fernandez, 1992) بر اساس محیط‌های با حضور تنش و بدون تنش چهار گروه گیاهی با عملکرد بالا در هر دو محیط، عملکرد بالا فقط در محیط بدون تنش، ارقام با عملکرد بالا در شرایط تنش و ارقام با عملکرد پایین در هر دو شرایط را تشخیص داد. در پژوهشی برای تعیین تحمل به خشکی ۲۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی از دو شاخص

بر اساس آمار سال ۲۰۲۱ میلادی سطح زیر کشت جهانی سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) ۱۸/۲ میلیون هکتار بوده و از این سطح ۳۷۶/۲ میلیون تن غده سیب‌زمینی تولید شده که تقریباً یک سوم آن مربوط به کشورهای در حال توسعه (عمدتاً در کشورهای آسیایی) است. ایران در این سال با سطح زیر کشت ۸۸ هزار هکتار و تولید ۲/۶ میلیون تن تنها ۰/۶۹ درصد از کل تولید جهان را به خود اختصاص داده است (FAO, 2023).

در میان تنش‌های غیر زیستی مختلف، خشک‌سالی یکی از عوامل بازدارنده اصلی است که بر کلیه فرآیندهای رشد و متابولیک گیاه تأثیر می‌گذارد و در نهایت باعث کاهش بهره‌وری محصول می‌شود (Ali et al., 2020). عملکرد سیب‌زمینی به عنوان یک گیاه حساس به تنش خشکی در اثر مواجهه با کم آبی دچار نقصان شده و این امر به دلیل کاهش کارایی فتوسنتز،

توجه به پتانسیل‌های ارقام جدید می‌تواند برای حل برخی از مشکلات از قبیل تنش خشکی راهگشا باشد؛ بنابراین پژوهش حاضر سعی دارد چهار رقم سیب‌زمینی (دو رقم قدیمی و دو رقم جدید) را با استفاده از برخی شاخص‌های تحمل به خشکی ارزیابی نماید.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی رزوه، استان اصفهان، شهرستان چادگان (طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی) با ارتفاع ۲۲۳۰ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه چادگان، از مناطق سردسیر استان اصفهان بوده و این موضوع سبب شده است تا حجم آب مصرفی برای سیب زمینی در این منطقه، در مقایسه با بسیاری از مناطق کشت و کار سیب زمینی در استان، کمتر باشد. برای انجام پژوهش از آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری کامل در رطوبت ظرفیت مزرعه به‌عنوان شاهد و آبیاری در ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه به‌عنوان تیمار تنش) و عامل فرعی شامل چهار رقم آگریا (دیررس)، مارفونا (زودرس)، آتوسا (متوسط رس) و آنوشا (متوسط رس) بودند. غده‌ها در اول خردادماه کشت شدند.

هر کرت شامل چهار خط کشت به طول چهار متر بود که به ترتیب فاصله بین و روی ردیف در آن ۷۵ و ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تیمار آبیاری برای کلیه کرت‌ها سیستم قطره‌ای توسط لوله‌هایی با قطر ۱۶ میلی‌متر دارای قطره چکان‌های پلاک‌دار در فاصله ۲۵ سانتی‌متری با دبی ۱/۵ لیتر در ساعت انجام شد. برای تعیین دقیق میزان آب مصرفی در ابتدای هر بلوک یک کنتور نصب و میزان آب مصرفی در هر دور آبیاری یادداشت برداری شد. بر اساس قرائت کنتور حجم آب مصرفی برای تیمارهای معمول و تیمارهای تنش به ترتیب برابر ۴۸۶۵ و ۳۵۸۵ متر مکعب در هکتار آب خالص بود.

جهت جلوگیری از نشت آب بین تیمارهای تنش و شاهد دو ردیف نکاشت منظور گردید. برخی از ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج آزمون خاک، نیازی به استفاده از کودهای فسفر و

حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI) استفاده و دو ژنوتیپ را با عملکرد بالاتر جداسازی شد (Hossain *et al.*, 2017). در مطالعه‌ای در ترکیه شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص ثبات عملکرد (YSI) برای مقایسه عملکرد چهار رقم سیب‌زمینی استفاده شد و نتایج نشان داد که دو رقم اطلس و مارانکا به ترتیب با مقادیر ۰/۶۱ و ۰/۶۷ کمترین شاخص حساسیت به تنش را داشتند (Rodríguez *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای در بنگلادش برخی شاخص‌های تحمل به خشکی در ۱۶ ژنوتیپ سیب‌زمینی بررسی شد و نتایج نشان داد که شاخص تحمل تنش دامنه تغییراتی از ۰/۴۲ تا ۰/۸۲ و شاخص میانگین هندسی دامنه‌ای از ۰/۰۱ تا ۰/۱۷ داشت (Al Mahmud *et al.*, 2021). در کشورهای مختلف از شاخص‌های تحمل به تنش برای تشخیص ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی استفاده می‌شود. در کشور ترکیه برخی از کلون‌های تولید شده توسط مرکز بین‌المللی سیب‌زمینی در شرایط تنش رطوبتی و استفاده از شاخص‌های تحمل تنش آزمایش و نتایج حاکی از برتری کلون‌های CIP-398180.612، CIP-397069.5 و CIP-304371.67 بود (Beyene *et al.*, 2019). در بنگلادش با استفاده از شاخص‌های حساسیت به تنش و شاخص تحمل تنش رطوبتی، مشخص شد که سه رقم محلی سیب‌زمینی توانایی تحمل تنش را نداشتند ولی ژنوتیپ CIP-396244.12 هم در شرایط رطوبت معمول و هم در شرایط تنش رطوبتی بیشترین عملکرد را تولید نمود (Al Mahmud *et al.*, 2021).

سالانه بیش از ۱۴ هزار هکتار از اراضی زراعی استان اصفهان به کشت سیب‌زمینی اختصاص می‌یابد. این در حالی است که هم در مناطق مرکزی (به دلیل نوسان آب چاه‌های متأثر از رودخانه زاینده‌رود) و هم در مناطق غربی استان به دلیل خشک‌سالی‌های پی‌درپی، وقوع تنش آبی در زراعت سیب‌زمینی به امری اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است. از این رو استفاده از ارقام متناسب با این شرایط می‌تواند تا حد زیادی از شدت این مشکل بکاهد. خوشبختانه تنوع خوبی از نظر ارقام سیب‌زمینی در کشور وجود دارد و از سال ۱۳۱۴ تا ۱۴۰۱، ۷۷ رقم اصلاح شده در موسسه ثبت و گواهی بذر و نهال به ثبت رسیده است (SPCRI, 2024).

پتاسیم وجود نداشت. ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص (از نوع کود اوره) در سه نوبت قبل از کاشت، مرحله پنچ تا شش برگی

(هنگام خاک‌دهی پای بوته) و مرحله رشد سریع غده‌ها (کامل شدن رشد رویشی) به زمین اضافه شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (mg kg <sup>-1</sup> )	فسفر Phosphor (mg kg <sup>-1</sup> )	مواد آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m <sup>-1</sup> )	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0.06	410	26	0.55	7.7	3.5	44.4	41.2	14.4

آب‌یاری تا مرحله استقرار اولیه (ظهور دو برگ کامل) برای همه کرت‌ها یکسان و بر اساس رطوبت در حد ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شد. ارقام مارفونا و آگریا جزو ارقام متداول هستند که به طور معمول، توسط زارعین اصفهان کشت می‌شوند و ارقام آتوسا و آنوشا که قبلاً به ترتیب با نام کلون‌های KSG82 و KSG31 شناخته می‌شدند، توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کشور نام‌گذاری و معرفی شده‌اند. این ارقام پر محصول، متوسط رس، دومنظوره (تازه خوری و مصرف در صنایع تبدیلی) و مقاوم به بیماری‌های ویروسی هستند. شاخص‌های تحمل به خشکی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است (Fernandez, 1992; Rodríguez, 2016; Farshadfar and Ghasemi, 2015 et al., 2016). در این فرمول‌ها  $\bar{Y}_p$  و  $\bar{Y}_s$  به ترتیب عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش برای هر رقم و میانگین عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش برای کلیه ارقام است. عملیات سرزنی اندام‌های هوایی جهت ضخیم شدن پوست غده و جلوگیری از صدمات غده هنگام برداشت انجام گردید. عملیات برداشت ارقام مارفونا،

آتوسا و آنوشا در ۱۵ مهرماه و رقم آگریا یک هفته بعد انجام شد. کشت ارقام دیررسی همچون آگریا و برداشت زودتر از موعد آن‌ها در منطقه مورد مطالعه مرسوم است و با توجه به اینکه در تحقیق حاضر، تلاش شد تا شرایط عینی زارعین، شبیه سازی شود، لذا رقم دیررس آگریا، زودتر از موعد خودش برداشت گردید. جهت برآورد عملکرد و اجزاء عملکرد، دو متر از ردیف‌های وسط هر کرت برداشت شد. غده‌های دارای شکاف، غده‌های پوسیده، بد شکل و دارای رشد ثانویه، غده‌هایی که دارای بیش از چهار جوش اسکب بر روی پوست بودند و همچنین غده‌های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های غیر قابل فروش در نظر گرفته شدند. کارایی مصرف آب از تقسیم عملکرد قابل فروش بر آب مصرفی محاسبه شد (Tanner and Sinclair, 1983). برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و برای مقایسه میانگین‌ها به کمک روش برش‌دهی و با استفاده از آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن (در سطح احتمال پنج درصد) استفاده شد.

جدول ۲- شاخص‌های تحمل به خشکی مورد استفاده در این پژوهش

Table 2- Drought tolerance indices used in this research

نام شاخص Index name	علامت اختصاری Symbols	فرمول Formula
شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index	(SSI)	$SSI = [(1 - (Y_s/Y_p) - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)]$
شاخص تحمل تنش Stress Tolerance Index	(STI)	$STI = (Y_p \times Y_s) / (\bar{Y}_p)^2$
شاخص ثبات عملکرد Yield Stability Index	(YSI)	$YSI = (Y_s/Y_p) \times 100$
شاخص میانگین بهره‌وری Mean Productivity Index	(MPI)	$GMP = (Y_p + Y_s) / 2$
میانگین هندسی Geometric Mean productivity	(GMP)	$GMP = \sqrt{(Y_p \times Y_s)}$

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. تأثیر عامل آبیاری بر عملکرد کل، عملکرد قابل فروش و عملکرد غیر قابل فروش و کلیه شاخص‌های ارزیابی تنش رطوبتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. روند مشابهی برای تأثیر رقم در سطح آماری پنج درصد مشاهده شد. برهمکنش عوامل آبیاری و رقم بر عملکرد (کل، قابل فروش و غیر قابل فروش) و شاخص‌های حساسیت به تنش، شاخص تحمل تنش و شاخص ثبات عملکرد در سطح احتمال پنج درصد و بر شاخص‌های میانگین بهره‌وری و میانگین هندسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

## عملکرد در شرایط آبیاری کامل (بدون تنش)

مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در سطوح برهمکنش عوامل آبیاری و رقم در جدول ۴ ارائه شده است. ارقام آتوسا و آنوشا به ترتیب با عملکرد غده کل ۴۳/۸۹ و ۴۱/۳۴ تن در هکتار در شرایط بدون تنش نسبت به دو رقم مارفونا و آگریا

برتری معنی‌دار داشتند. روند مشابهی برای تغییرات عملکرد قابل فروش در شرایط بدون تنش مشاهده شد. در این شرایط رقم آتوسا با تولید ۳۶/۲۰ تن غده در هکتار نسبت به دو رقم مارفونا و آگریا به ترتیب ۳۷ و ۳۱ درصد عملکرد بیشتر تولید نمود. در ارقام جدید سیب‌زمینی توانایی استفاده کارآمد از نور و تبدیل آن به کربوهیدرات (قدرت مبدأ) و همچنین ظرفیت ذخیره‌سازی غده‌ها (قدرت مقصد) از دلایل عملکرد بالاتر آن‌ها در شرایط بهینه رشد است (Oliveira et al., 2016). برخی از پژوهش‌ها نیز معماری اندام‌های هوایی (Crop architecture) و سرعت بیشتر رشد اندام‌هایی مثل برگ‌ها در ارقام جدید را دلیل این برتری می‌دانند (Fantaw et al., 2019). در شرایط بدون تنش، عملکرد غیر قابل فروش رقم آگریا نسبت به ارقام مارفونا، آتوسا و آنوشا به ترتیب ۶۶، ۳۶ و ۳۷ درصد بیشتر بود که دلیل آن دیررس تر بودن رقم آگریا و تمایل آن به تولید غده‌های بیشتر در طول فصل رشد است. در حقیقت برای شبیه سازی عملیات زراعی مشابه کشاورزان، رقم دیررس آگریا قدری زودتر از موعد برداشت شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح آبیاری و رقم بر عملکرد، شاخص حساسیت به تنش، شاخص تحمل تنش، شاخص ثبات عملکرد، شاخص میانگین بهره‌وری، شاخص خشکی نسبی و میانگین هندسی سیب‌زمینی

Table 3- Analysis of variance (mean square) of irrigation levels and cultivars effects on yield, stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), yield stability index (YSI), mean productivity index (MPI), and geometric mean productivity (GMP) of potato

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares							میانگین هندسی GMP	کارایی مصرف آب Water use efficiency
		عملکرد کل Total yield	عملکرد قابل فروش Marketable yield	عملکرد غیر قابل فروش Non-marketable yield	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل تنش STI	شاخص ثبات عملکرد YSI	شاخص میانگین بهره‌وری MPI		
بلوک Block	2	0.61 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	1.15 <sup>ns</sup>	1.10 <sup>ns</sup>	1.34 <sup>ns</sup>	2.11 <sup>ns</sup>	1.05 <sup>ns</sup>	0.85 <sup>ns</sup>
آبیاری Irrigation (I)	1	13.23 <sup>**</sup>	23.65 <sup>**</sup>	6.80 <sup>**</sup>	1.57 <sup>**</sup>	3.57 <sup>**</sup>	4.67 <sup>**</sup>	4.12 <sup>**</sup>	3.69 <sup>**</sup>	2.99 <sup>**</sup>
خطا a Error a	2	1.00	3.23	0.40	1.00	0.19	0.89	1.09	1.46	1.02
رقم Cultivar (C)	3	2.31 <sup>*</sup>	30.09 <sup>*</sup>	5.13 <sup>*</sup>	1.08 <sup>*</sup>	5.80 <sup>*</sup>	3.11 <sup>*</sup>	2.80 <sup>*</sup>	4.10 <sup>*</sup>	5.40 <sup>*</sup>
آبیاری × رقم (C × I)	3	3.10 <sup>*</sup>	44.67 <sup>*</sup>	7.89 <sup>*</sup>	0.87 <sup>*</sup>	2.15 <sup>*</sup>	3.01 <sup>*</sup>	4.03 <sup>**</sup>	4.78 <sup>**</sup>	2.98 <sup>**</sup>
خطا b Error b	12	3.98	20.52	4.45	0.34	1.00	1.43	0.98	1.00	0.68
ضریب تغییرات CV(%)		14.87	13.45	12.55	9.32	8.00	6.98	8.79	6.98	7.93

<sup>ns</sup> و \* و \*\* به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

<sup>ns</sup>, \*, and \*\* No significant difference and significant difference at the probability level of five and one percent, respectively

مواجه می‌شوند (Fandika et al., 2016). غالباً وقوع تنش خشکی، باعث افزایش غده‌های با قطر کمتر از سه سانتی متر می‌شود و عملاً پتانسیل تولید محصول موجب سوددهی قابل قبول برای کشاورز نمی‌گردد و تنها ارقام متحمل به خشکی هستند که با وجود تولید تعداد کمتر غده در این شرایط عملکرد اقتصادی قابل قبولی تولید می‌کنند (Nasir and Toth, 2022). تنش رطوبتی بر سرعت فتوسنتز، انتقال مواد در آوندهای چوبی و آبکش، سوخت و ساز قند و تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌ها تأثیر می‌گذارد. در این شرایط غده‌دهی با تأخیر بیشتری انجام می‌شود و درصد غده‌های بد شکل افزایش می‌یابد (Lal et al., 2022).

### عملکرد در شرایط تنش آبیاری

در شرایط اعمال تنش رطوبتی در طول فصل رشد، دو رقم آتوسا و آنوشا به ترتیب با تولید ۳۳/۷۵ و ۳۲/۴۶ تن عملکرد کل و ۳۱/۵ و ۳۰ تن عملکرد قابل فروش همچنان نسبت به دو رقم آگریا و مارفونا برتر بودند (جدول ۴). درصد افت عملکرد این دو رقم نسبت به شرایط بدون تنش به ترتیب ۲۳ و ۲۱/۵ درصد و درصد افت عملکرد ارقام مارفونا و آگریا به ترتیب ۲۷ و ۲۱/۵ درصد بود. در شرایط تنش عملکرد غیر قابل فروش ارقام آزمایشی تفاوت معنی‌داری با هم نداشت. ارقام جدید معرفی شده اگرچه دارای پتانسیل عملکرد زیادتری نسبت به ارقام قدیمی هستند ولی از نظر نیازهای زراعی مثل آب آبیاری پر توقع تر محسوب شده و در مقابل تنش خشکی با افت عملکرد زیادتری

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات عملکرد کل، عملکرد قابل فروش و عملکرد غیر قابل فروش در سطوح برهمکنش آبیاری و رقم

Table 4- Mean comparison of total yield, marketable yield and non-marketable yield in irrigation and cultivar interaction

تیمارها	ارقام	عملکرد کل	عملکرد غیر قابل فروش	عملکرد قابل فروش
Treatments	Cultivars	Total yield (t ha <sup>-1</sup> )	Non-marketable yield (t ha <sup>-1</sup> )	Marketable yield (t ha <sup>-1</sup> )
آبیاری کامل Full irrigation	آگریا Agria	35.78b	7.90 a	27.65 b
	مارفونا Marfona	30.85 c	4.75 b	26.40 b
	آتوسا Atousa	43.89 a	5.81 b	36.20 a
	آنوشا Anousha	41.34 a	5.76 b	34.98 a
	آگریا Agria	28.11 b	3.90 a	24.10 b
تنش خشکی Drought stress	مارفونا Marfona	22.48 b	3.45 a	19.00 b
	آتوسا Atousa	33.75 a	2.11 a	31.50 a
	آنوشا Anousha	32.46 a	2.36 a	30.00 a
	آگریا Agria	28.11 b	3.90 a	24.10 b

برای هر سطح آبیاری، میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

For each irrigation level, the means with the same letters in columns are not significantly different according to Duncan test (five percent probability)

است. بیشترین حساسیت به تنش در چهار رقم مورد مطالعه مربوط به رقم مارفونا بود (SSI=1.20) که به‌طور معنی‌دار حساسیت بیشتری به تنش رطوبتی داشت (جدول ۵). شاخص حساسیت به تنش (SSI) یکی از شاخص‌های تحمل خشکی توسط گیاهان است که هرچه مقدار آن کمتر باشد، مقاومت به

### ارزیابی شاخص‌های تحمل تنش رطوبتی

همان‌گونه که از فرمول‌های بیان‌شده در جدول ۲ مشخص است، مبنای شاخص‌های تحمل تنش برخلاف برخی شاخص‌های فیزیولوژیک که بقاء و فرایندهای حیاتی گیاه را رصد می‌کند، عملکرد یک گیاه در شرایط تنش و شرایط معمول

ارقام متحمل و ارقام با شاخص حساسیت به تنش بیش از یک کاملاً حساس به تنش محسوب شده‌اند ( Hassanpanah, 2010). با این تعریف هر چهار رقم موجود در پژوهش حاضر (به‌ویژه رقم مارفونا) ارقامی حساس به تنش خشکی هستند.

خشکی زیادتر است. در پژوهشی، طی مقایسه چهار رقم سیب‌زمینی، مشخص شد که دو رقم اطلس و مارانکا نسبت به دو رقم دیگر به ترتیب با مقادیر ۰/۶۱ و ۰/۶۷ شاخص حساسیت به تنش کمتری داشتند (Rodríguez et al., 2016). در برخی از پژوهش‌ها ارقام دارای شاخص حساسیت به تنش ۰/۳۷-۰/۷۲

جدول ۵- مقایسه برخی شاخص‌های تحمل تنش در چهار رقم سیب‌زمینی

Table 5- Comparison of some indices of stress tolerance in four potato cultivars

ارقام Cultivars	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل تنش STI	شاخص ثبات عملکرد YSI	شاخص میانگین بهره‌وری MPI	میانگین هندسی GMP
آگریا Agria	0.93 b	0.70 b	78.56 a	31.95 b	31.71 c
مارفونا Marfona	1.20 a	0.48 c	72.87 b	26.67 c	26.33 b
آتوسا Atousa	1.00 b	1.03 a	76.90 ab	38.82 a	38.49 a
آنوشا Anousha	0.93 b	0.93 a	78.52 a	36.90 a	36.63 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

The means with the same letters in columns are not significantly different according to Duncan test (five percent probability)

گرفت. معمولاً ارقامی که تحمل به تنش بالاتری دارند (به دلیل ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک) ثبات عملکرد بیشتری نیز در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند. در یک تحقیق، در مقایسه چهار رقم سیب‌زمینی در شرایط معمول و شرایط تنش دو رقم اطلس و مارانکا به ترتیب با شاخص ثبات عملکرد ۷۹/۲۹ و ۸۱/۰۷ نسبت به دو رقم دیگر برتری داشتند (Rodríguez et al., 2016). در برخی از پژوهش‌ها عنوان شده واریته‌های سیب‌زمینی با تحمل بیشتر به تنش خشکی مقادیر پایداری عملکرد ۸۵-۸۰ درصد و واریته‌های حساس شاخص پایداری عملکرد حدود ۶۰ درصد دارند (Shi et al., 2015); بنابراین ارقام استفاده شده در این پژوهش از ثبات عملکرد قابل قبولی برخوردار بودند.

شاخص میانگین بهره‌وری یکی از ساده‌ترین شاخص‌هایی است که در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در حقیقت میانگین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش است. در این پژوهش این شاخص از ۲۶/۶۷ در رقم مارفونا تا ۳۸/۸۲ در رقم آتوسا تغییر نمود (جدول ۵). شاخص میانگین بهره‌وری در رقم آنوشا تفاوت معنی‌داری با رقم آتوسا نداشت ولی این

شاخص تحمل تنش (STI) در این پژوهش دامنه‌ای از ۰/۴۸ (رقم مارفونا) تا ۱/۰۳ (رقم آتوسا) داشت. دو رقم جدید آتوسا و آنوشا نسبت به دو رقم قدیمی‌تر مارفونا و آگریا شاخص تحمل تنش بیشتری داشتند. این شاخص گاهی به نام شاخص شدت تنش آبی نیز شناخته می‌شود. در مطالعه‌ای در بنگلادش ۱۶ ژنوتیپ سیب‌زمینی بررسی و نتایج نشان داد که شاخص تحمل تنش دامنه تغییراتی از ۰/۴۲ تا ۰/۸۲ داشت. در این پژوهش شاخص تحمل تنش یکی از بهترین شاخص‌ها در غربالگری ارقام سیب‌زمینی تلقی گردید (Al Mahmud et al., 2021).

یکی از موضوعات مورد علاقه پژوهشگران در زمینه تنش خشکی، حفظ عملکرد در چنین شرایطی است. شاخص ثبات عملکرد (YSI) که برحسب درصد بیان می‌شود از جمله شاخص‌هایی است که در این رابطه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بین چهار رقم مطالعه شده در این پژوهش سه رقم آتوسا، آنوشا و آگریا با شاخص ثبات عملکرد ۷۶/۹۰، ۷۸/۵۲ و ۷۸/۵۶ درصد در یک گروه آماری قرار گرفتند و رقم مارفونا با شاخص ثبات عملکرد ۷۲/۸۷ درصد در گروه آماری دیگری قرار

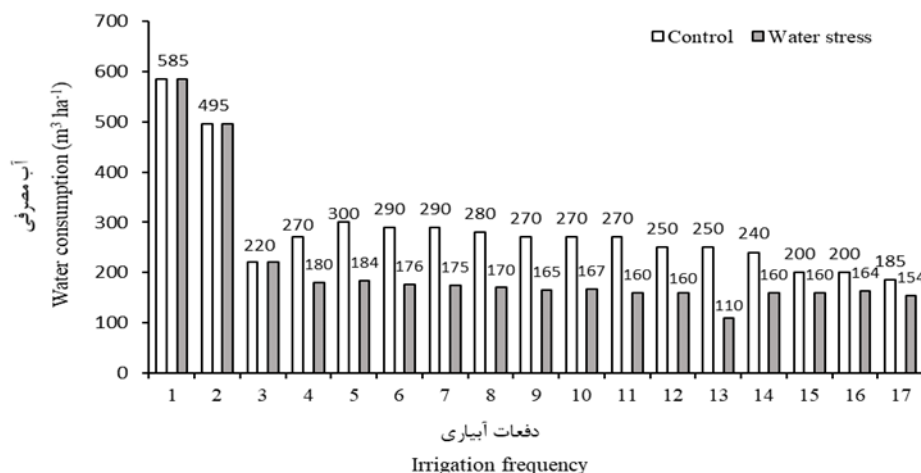
در رقم دراگا تا ۲۷/۶۵ در رقم سرنناد متفاوت بود. شاخص میانگین بهره‌وری زمانی که تفاوت عملکرد در شرایط تنش و شرایط معمول زیاد باشد کاربرد دارد، در حالی که شاخص میانگین هندسی در تمام شرایط قابلیت تفکیک ارقام را بهتر از شاخص میانگین بهره‌وری انجام می‌دهد (Darabad, 2014).

### کارایی مصرف آب

همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در طی ۱۷ نوبت آبیاری انجام شده در طول دوره رشد، در تیمار شاهد ۴۸۶۵ متر مکعب در هکتار و در شرایط تنش رطوبتی ۳۵۸۵ متر مکعب در هکتار آب خالص مصرف شده است. البته مقادیر آب مصرف شده در سه نوبت اول تا استقرار اولیه یکسان در نظر گرفته شد. مقادیر آب مصرف شده در شرایط معمول آبیاری با اطلاعات قبلی موجود در رابطه با نیاز خالص آبی سیب زمینی در این ناحیه (۵۰۰۰ متر مکعب در هر هکتار) مطابقت دارد (Jalali et al., 2017).

شاخص در رقم آگریا نسبت به رقم مارفونا حدود ۲۰ درصد بیشتر بود. این شاخص به بهره‌بردار این اطمینان را می‌دهد که استفاده از یک رقم خاص در شرایط تنش برایش تا چه حد صرفه اقتصادی دارد؛ بنابراین مقدار قابل قبول این شاخص به شرایط تولید بستگی دارد. به عنوان مثال ممکن است حد آستانه قابل قبول برای میانگین بهره‌وری ۲۰ تن در هکتار است (Shi et al., 2015). باین وجود و علیرغم ساختار ساده محاسبه شاخص میانگین بهره‌وری، به دلیل کاربردی بودن آن این شاخص جزو شاخص‌های اصلی و قابل اعتماد برای غربالگری و مقایسه ارقام به شمار می‌رود (Bavandpori et al., 2022).

روند تغییرات میانگین هندسی مشابه روند تغییرات شاخص میانگین بهره‌وری بود (جدول ۵). در مورد این شاخص رقم آتوسا با میانگین ۳۸/۴۹ بیشترین و رقم مارفونا با میانگین ۲۶/۳۳ کمترین مقدار را داشتند. در پژوهش مشابهی در اردبیل شش رقم مختلف سیب‌زمینی از نظر شاخص میانگین هندسی مقایسه شدند و نتایج نشان داد که مقدار این شاخص از ۲۴/۲۲



شکل ۱- دفعات و مقدار آب آبیاری در تیمارهای آبیاری معمول و تنش رطوبتی

Figure 1- The frequency and amount of irrigation water in the usual irrigation treatments and water stress condition

مناطق سردسیر استان اصفهان بوده و حجم آب مصرفی برای سیب زمینی در این منطقه، در مقایسه با بسیاری از مناطق کشت و کار سیب زمینی در استان، کمتر است. در شرایط تنش رطوبتی علیرغم کاهش عملکرد غده کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد و دلیل این امر در برخی پژوهش‌ها تاثیر بیشتر تنش بر تعلق نسبت به فتوسنتز عنوان شده است (Reyes-Cabrera et al., 2016). امروزه استفاده از تنش‌های رطوبتی

در همه ارقام آزمایشی (بجز مارفونا) کارایی مصرف آب در شرایط تنش رطوبتی به طور معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۶). کارایی مصرف آب ارقام مارفونا، آگریا، آتوسا و آنوشا در شرایط آبیاری معمول به ترتیب برابر ۵/۴۲، ۵/۴۶، ۷/۴۴ و ۷/۱۹ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب آب بود. در شرایط تنش رطوبتی کارایی مصرف آب در ارقام آگریا، آتوسا و آنوشا به ترتیب ۲۰، ۱۸ و ۱۶ درصد افزایش یافت. به هر صورت منطقه چادگان، از

می‌شود (Stikic et al., 2010)، هرچند در تنش‌های شدید، تاثیر کاهش فراوانی آب می‌تولند معکوس عمل کرده و با کاهش کارایی مصرف آب همراه باشد (Reddy et al., 2016).

(در حد تحمل گیاه) به یک ابزار مدیریتی برای افزایش کارایی مصرف آب و ذخیره آب حاصل از صرفه جویی تبدیل شده است. در این شرایط با کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش سطح برگ و افزایش زیست توده ریشه نوعی سازش به خشکی در گیاه ایجاد

جدول ۶- کارایی مصرف آب آبیاری در تیمارهای آبیاری معمول و تنش رطوبتی

Table 6- Water use efficiency in conventional and water stress conditions

	ارقام			
	Cultivars			
	آگریا	مارفونا	آتوسا	آنوشا
	Agria	Marfona	Atousa	Anousha
بدون تنش				
No water stress	5.60 b	5.42 a	7.44 b	7.19 b
تنش رطوبتی				
Water stress	6.72 a	5.60 a	8.78 a	8.36 a

بر پایه روش برش‌دهی اثرات متقابل، برای هر رقم میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

Based on interaction cross-section method, for each cultivar, the means with the same letters in columns are not significantly different according to Duncan test (five percent probability)

تنش بیانگر آن است که دو رقم آتوسا و آنوشا می‌توانند در شرایط تنش‌های خشکی متعارف (در این پژوهش آبیاری ۷۵ درصد رطوبت در حد ظرفیت مزرعه) در تناوب‌های زراعی استان اصفهان جایگاه مناسبی داشته باشند.

### سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان برای همکاری و تأمین اعتبار لازم جهت این پژوهش سپاسگزاری نمایند.

### نتیجه‌گیری کلی

با کمبود منابع آبی و طبیعتاً نوسانات ناشی از آن، تنش‌های رطوبتی در مناطق تولید سیب زمینی محتمل است. در هر چهار رقم آزمایش‌شده در این مطالعه، تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد غده شد، اما مقدار افت عملکرد در این ارقام متفاوت بود. دو رقم جدید سیب‌زمینی آتوسا و آنوشا به ترتیب با تولید ۳۱/۵ و ۳۰ تن عملکرد قلیل فروش نسبت به دو رقم آگریا و مارفونا برتر بودند. در شرایط تنش رطوبتی کارایی مصرف آب در ارقام آگریا، آتوسا و آنوشا به ترتیب ۲۰، ۱۸ و ۱۶ درصد افزایش یافت. ارزیابی عملکرد با استفاده از شاخص‌های ارزیابی

### References

- Al Mahmud, A., Alam, M.J., Kundu, B.C., Skalicky, M., Rahman, M.M., Rahaman, E.S., Sultana, M., Molla, M.S.H., Hossain, A., El-Shehawi, A.M. and Brestic, M., 2021. Selection of suitable potato genotypes for late-sown heat stress conditions based on field performance and stress tolerance indices. *Sustainability*, 13(5), pp.2770. <https://doi.org/10.3390/su13052770>
- Ali, Q., Shahid, S., Hussain, A.I., Shehzad, F., Perveen, R., Habib, N., Ali, S., Iqbal, N., Waseem, M. and Hussain, S.M., 2020. Breeding plants for future climates. *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I: General Consequences and Plant Responses*, pp.753-795. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2156-0\\_27](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2156-0_27)

- Bavandpori, F., Farshadfar, E. and Farshadfar, M., 2022. Evaluation of drought tolerance among wheat landraces based on yield and integral selection indices. *Environmental Stresses in Crop Science*, 14, pp.873-886. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.3482.1865>
- Beyene, Z.K., Mekbib, F., Abebe, T. and Asfaw, A., 2019. Drought resistance indices for screening of potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(8), pp.1118-1124. [doi.org/10.24925/turjaf.v7i8.1118-1124.2226](https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i8.1118-1124.2226)
- Darabad, G.R., 2014. Evaluating the best indicators and identifying the most tolerant varieties to draught in potato varieties. *International Journal of Biosciences*, 4(8), pp.189-195. <https://doi.org/10.12692/ijb/4.8.189-195>
- Fandika, I.R., Kemp, P.D., Millner, J.P., Horne, D. and Roskrug, N., 2016. Irrigation and nitrogen effects on tuber yield and water use efficiency of heritage and modern potato cultivars. *Agricultural Water Management*, 170, pp.148-157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.027>
- Fantaw, S., Ayalew, A., Tadesse, D. and Agegnehu, E., 2019. Evaluation of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties for yield and yield components. *Journal of Horticulture & Forestry*, 11(3), pp.48-53. <https://doi.org/10.5897/jhf2016.0475>
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2023. FAOSTAT, Retrieved January 12, 2020, Available at: <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>.
- Farshadfar, E. and Ghasemi, M., 2015. Evaluation of drought tolerance in bread wheat using water relations and integrated selection index. *Journal of Biodiversity & Environmental Sciences*, 6, pp.77-84.
- Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan, 1992 (pp.257-270). <https://doi.org/10.22001/wvc.72511>
- Hassanpanah, D., 2010. Evaluation of potato cultivars for resistance against water deficit stress under In vivo conditions. *Potato Research*, 53(1), pp.383-392. <https://doi.org/10.1007/s11540-010-9179-5>
- Hijmans, R.J., 2003. The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*, 80, pp.271-279. <https://doi.org/10.1007/bf02855363>
- Hossain, M.M., Zakaria, M., Mian, M.K., Karim, M.A. and Hossain, M., 2017. Stress tolerance attributes and yield based selection of potato genotypes for water stress environment. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 39(2), pp.186-194. <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2017.22>
- Jalali, A.H., Hassanpanah, D. and Mousapour Gorji, A., 2020. Environmental stresses and their management in potato production. Ministry of Jihad-e-Agriculture Agricultural Research, Education and Extension Organization Seed and Plant Improvement Institute. 214pp. [In Persian].
- Jalali, A.H., Salemi, H., Nikouei, A., Gavangy, S., Rezaei, M., Khodaghohi, M. and Toomanian, N., 2017. Determination of water requirement for potato in different climates of Isfahan province. *Applied Research in Field Crops*, 30, pp.53-73. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2018.116108.1210>

- Lal, M.K., Tiwari, R.K., Kumar, A., Dey, A., Kumar, R., Kumar, D., Jaiswal, A., Changan, S.S., Raigond, P., Dutt, S. and Luthra, S.K., 2022. Mechanistic concept of physiological, biochemical and molecular responses of the potato crop to heat and drought stress. *Plants*, 11(21), 2857. <https://doi.org/10.3390/plants11212857>
- Nasir, M.W. and Toth, Z., 2022. Effect of drought stress on potato production: A review. *Agronomy*, 12(3), pp.635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>
- Oliveira, J.S., Brown, H.E., Gash, A. and Moot, D.J., 2016. An explanation of yield differences in three potato cultivars. *Agronomy Journal*, 108(4), pp.1434-1446. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0486>
- Reddy, J.M., Jumaboev, K., Bobojonov, I., Carli, C. and Eshmuratov, D., 2016. Yield and water use efficiency of potato varieties under different soil-moisture stress conditions in the Fergana Valley of Central Asia. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40, pp.407-431. <https://doi.org/10.1080/21683565.2016.1141145>
- Reyes-Cabrera, J., Zotarelli, L., Dukes, M.D., Rowland, D.L. and Sargent, S.A., 2016. Soil moisture distribution under drip irrigation and seepage for potato production. *Agricultural Water Management*, 169, pp.183-192. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.001>
- Rodríguez, A.M., Tejón, A.M. and del Sol, D.R., 2016. Agronomical indicators for determination of potato (*Solanum tuberosum* L.) tolerance to drought. *Agrisost*, 22(1), pp.1-7. <https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.37175.0>
- SPCRI (Seed and Plant Certification and Registration Institute). 2024. National list of summer vegetable varieties. [In Persian].
- Shi, S., Fan, M., Iwama, K., Lic, F., Zhang, Z. and Jia, L., 2015. Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. *International Journal of Plant Production*, 9(2), pp.305-320. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2015.2050>
- Stikic, R., Savic, S., Jovanovic, Z., Jacobsen, S.E., Liu, F. and Jensen, C.R., 2010. Deficit irrigation strategies: use of stress physiology knowledge to increase water use efficiency in tomato and potato. *Horticulture in 21st Century*, ISBN: 978-1-61668-582-9, pp.161-178.
- Tanner, C.B. and Sinclair, T.R., 1983. Efficient water use in crop production: Research or re-research? Book Series: ASA, CSSA, and SSSA Books. <https://doi.org/10.2134/1983.limitationsto efficientwateruse.c1>

## Investigation of some physiological indicators affecting the growth of wheat plant (*Triticum aestivum*) under the influence of foliar application of growth regulators under salt and water stress conditions

Hamid Reza Tajdari <sup>a</sup>, Ali Soleymani <sup>\*b</sup>, Nosratolah Montajabi <sup>c</sup>, Mohammad Reza Naderi Darbaghshahi <sup>a</sup>, Hamid Reza Javanmard <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

<sup>b</sup> Plant Improvement and Seed Production Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

<sup>c</sup> Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

\*Corresponding Author: [a.soleymani444@gmail.com](mailto:a.soleymani444@gmail.com)

Received: 26 February 2023

Accepted: 8 April 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.387466.1323

### How to cite this article:

Tajdari, H. R., Soleymani, A., Montajabi, N., Naderi Darbaghshahi, M. R., and Javanmard, H. R. 2025. Investigation of some physiological indicators affecting the growth of wheat plant (*Triticum aestivum*) under the influence of foliar application of growth regulators under salt and water stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 375-396. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2024.387466.1323>

### Abstract

**Introduction:** Agriculture, especially cereals, plays a very important role in food security. Among cereals, wheat is one of the most important crops in terms of cultivated area and production rate in the world, and plays an important role in providing the food needs of human societies. Among the environmental factors, salinity stress has been the subject of much global research for more than 100 years as one of the most important factors in reducing the production of agricultural products, and for about 50 years, it has received serious attention from researchers in our country. Many different solutions have been proposed to increase the performance of agricultural plants under different stress conditions, one of which is the use of plant growth regulators and their effect on the plant's hormonal balance.

**Materials and Methods:** To investigate the effect of foliar application of growth regulators of gibberellic acid, salicylic acid and cytokinin on physiological traits of wheat under salinity and water stress conditions, a split plots experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted in two agricultural research Station and farms in the northern plain of Golpayegan city during the 2022-2023 cropping seasons. The first treatment of salinity stress includes: a. Irrigation with EC: 1.5 ds / m<sup>-1</sup> (first farm) and b. Salinity stress with irrigation water EC: 10 ds / m<sup>-1</sup> (second farm) as an environmental factor, the second treatment of water stress with 2 irrigation levels: a. After 90 mm of cumulative evaporation from the Class A evaporation pan, b. After 120 mm of cumulative evaporation from the Class A evaporation pan as the main factor, the third treatment was the application of growth regulators of salicylic acid, gibberellic acid, and cytokinin at the level of 100 ppm, and the control treatment (no use of growth regulators) as a secondary factor. The



examined traits included leaf area index, total dry matter, net assimilation rate, relative growth rate, crop growth rate, chlorophyll a, b, and grain yield.

**Results and Discussion:** The non-saline environment and the irrigation level of 90 mm evaporation from the class A pan, compared to the saline environment and the irrigation level of 120 mm evaporation, increased the index of leaf area, total dry matter, net assimilation rate, relative growth rate, product growth rate and chlorophyll a, b. The interaction effect of environment  $\times$  irrigation level  $\times$  growth regulators showed the highest grain yield in non-saline environments at the irrigation level of 90 mm, evaporation from the class A pan in the gibberellic acid +cytokinin treatment at the rate of 8979.00 kg/ha and at the irrigation level of 120 mm, Evaporation from class A pan was observed at the rate of 7557.33 kg/ha in gibberellic acid +cytokinin treatment. The highest grain yield under salinity stress conditions at the irrigation level of 90 mm evaporation from class A pan in gibberellic acid  $\times$  salicylic acid Treatment at the rate of 6737.33 kg/ha, and at the irrigation level of 120 mm evaporation from class A pan in gibberellic acid +salicylic acid +cytokinin treatment was observed at the rate of 5138.33 kg/ha.

**Conclusion:** The leaf area index and the production of more photosynthetic substances increased the growth rate of the plant. With the increase in plant growth in the final stages due to the decrease in the ratio of photosynthesizing organs to non-photosynthesizing organs, and by shading the upper organs on the lower organs and reducing the photosynthetic power per unit area, the amount of leaf area, dry weight, and the growth rate of the product and the relative growth rate of the product decreased. The decrease in the dry weight of the aerial organs and the leaf area index at the end of the growing season is probably due to the fall of the leaves and the negative net assimilation. The relative growth rate changes with changes in the state of photosynthesis and respiration of the plant, and for this reason, with the passage of time, the growth of the plant becomes negative with an increase in the amount of respiration at the end of the growth period.

**Keywords:** Class A evaporation pan, Grain yield, Leaf area index, Total dry matter

## ارزیابی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر رشد گیاه گندم (*Triticum aestivum*) تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش شوری و آبی

حمید رضا تاجداری<sup>۱</sup>، علی سلیمانی<sup>۲\*</sup>، نصرت اله منتجبی<sup>۳</sup>، محمد رضا نادری درباغشاهی<sup>۱</sup>، حمید رضا جوانمرد<sup>۱</sup>

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران  
 ۲- مرکز تحقیقات اصلاح و تولید بذر، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران  
 ۳- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

\* مسئول مکاتبه: [a.soleymani444@gmail.com](mailto:a.soleymani444@gmail.com)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.387466.1323

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷

### چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید، سالیسیلیک‌اسید و سیتوکینین بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاه گندم، آزمایشی به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در دو مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی و علوم دامی شهرستان گلپایگان به‌عنوان محیط غیر شور (هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۱/۵ دسی زیمنس بر متر) و مزارع دشت شمال شهرستان گلپایگان به‌عنوان محیط شور (هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۱۰ دسی زیمنس بر متر) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش آبی در دو سطح آبیاری بر اساس ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در کرت‌های اصلی و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد سالیسیلیک‌اسید، جیبرلیک‌اسید و سیتوکینین با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام و تیمار شاهد (محلول پاشی با آب معمولی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. محیط غیرشور و سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A نسبت به محیط شور و سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، باعث افزایش ۳۶ درصدی شاخص سطح برگ، ۳۸ درصدی ماده خشک کل، سرعت اسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول، کلروفیل a و b شد. اثر متقابل محیط × تنظیم‌کننده‌های رشد بر کلروفیل a و b به ترتیب باعث افزایش ۶۴ و ۶۸ درصدی و اثر متقابل سطوح آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد بر کلروفیل a و b به ترتیب باعث افزایش ۶۸ و ۷۰ درصدی میزان کلروفیل شد.

واژه‌های کلیدی: تشتک کلاس A، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، ماده خشک کل

### مقدمه

جمعیت جهان به شکل روزافزونی در حال افزایش است. تقاضا برای مصرف مواد غذایی در کشورهای کمتر توسعه یافته از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۳۰ حدود ۲/۷ برابر خواهد شد. بنابراین بحران غذایی از مسائلی است که انسان امروزی با آن روبرو خواهد شد (Pirasteh-Anosheh et al., 2019). در شرایط حال حاضر، علوم کشاورزی به بیش‌ترین تعداد مطالعات در زمینه سازگاری محصول با شرایط آب و هوایی در حال تغییر نیاز دارد. تغییرات اقلیمی، افزایش روزافزون تأثیر تنش‌های غیرزنده، از جمله شوری و خشکسالی، فرصت‌های جدیدی را برای استفاده از موادی ایجاد می‌کند که در موارد شدید تنش به حفظ سطح ثابتی از عملکرد محصولات کلیدی کمک کند (Kinga et al., 2020). بخش کشاورزی خصوصاً غلات نقش بسیار مهمی در امنیت غذایی و تولید ناخالص داخلی کشاورزی

دارد.

در بین غلات، گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی از لحاظ سطح زیرکشت و میزان تولید در جهان است و نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری دارد (Rahimi et al., 2017). در بین عوامل محیطی، تنش شوری بیش از ۱۰۰ سال است که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش تولید محصولات کشاورزی موضوع بسیاری از پژوهش‌های جهانی بوده و حدود ۵۰ سال است که در کشور ما نیز مورد توجه جدی پژوهشگران قرار گرفته است. تشدید روند شور شدن منابع آب و خاک، باعث افزایش توجه به پژوهش‌های مرتبط با راهکارهای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط شور شده است (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2019) طبق آمار سازمان خوار و بار کشاورزی ملل متحد (FAO) حدود ۸۳۰ میلیون هکتار از خاک‌های جهان شور هستند و از مجموع ۲۳۰ میلیون هکتار

سالیسیلیک‌اسید در بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه مانند محتوای پروتئین‌های محلول، پرولین آزاد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان هورمون‌های گیاهی و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط تنش شوری در برخی از گیاهان زراعی مانند گندم و جو نشان داده شده است (Pirasteh-Anosheh et al., 2017). تأثیر مثبت یا منفی سیتوکینین‌ها در گیاهان بسته به زمان مصرف، غلظت مورد استفاده و گونه گیاهی متفاوت است. در اکثر پژوهش‌ها گزارش شده است که کاربرد سیتوکینین سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های غیرزنده و نیز باعث تقسیم سلولی، حذف چیرگی رأسی، تمایز ساقه و به تأخیر انداختن پیری می‌شود (Veselov et al., 2017). در شرایط فعلی که شاهد تغییرات گسترده اقلیمی و به تبع آن تغییر در بافت و ساختمان خاک‌های زراعی هستیم، اتخاذ روش‌های مدیریت زراعی کاربرد مواد تنظیم‌کننده رشد و مسائلی از این دست با توجه به شرایط محیطی هر منطقه از جمله استان اصفهان به عنوان یکی از مهم‌ترین قطب‌های تولید محصولات زراعی، ضروری می‌باشد. هدف اصلی از انجام این آزمایش بررسی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر رشد گیاه گندم تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش شوری و آبی در شهرستان گلپایگان بود.

### مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در دو مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی و علوم دامی شهرستان گلپایگان به‌عنوان محیط غیر شور (هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر) با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و مزارع دشت شمال شهرستان گلپایگان به‌عنوان محیط شور (هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی در هر محیط به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش در هر محیط شامل تنش آبی در دو سطح آبیاری بر اساس ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتت تبخیر کلاس A در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید،

اراضی کشاورزی آبی و ۱۵۰۰ میلیون هکتار اراضی دیم، به ترتیب ۴۵ میلیون و ۳۲ میلیون هکتار تحت تأثیر درجاتی از شوری قرار دارند (FAO, 2018). ایران هجدهمین کشور وسیع دنیا است، اما از نظر خاک به‌ویژه خاک مناسب کشاورزی چنین جایگاهی را ندارد. کاهش کیفیت آب و خاک مانند افزایش شوری به عنوان یکی از عوامل مهمی شناخته شده است که سبب کاهش رشد و عملکرد محصولات مختلف از جمله گندم می‌شود. در مناطق خشک و نیمه خشک، کاهش کمیت و کیفیت آب از جمله مسائل محدودکننده تولید است (Mosaffa et al., 2019). شوری با منفی کردن پتانسیل اسمزی محیط خاک اطراف ریشه به دلیل تجمع مقادیر بالای نمک باعث ایجاد پدیده خشکی فیزیولوژی شده و به طور مستقیم به ساختار داخلی گیاه آسیب وارد می‌کند. همچنین با به هم زدن ساختمان خاک و جدا شدن ذرات کلئیدی و تخلخل خاک برای ریشه مشکلات تنفسی بوجود می‌آورد (Pirasteh et al., 2015).

راهکارهای متفاوت و متعددی برای افزایش عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های مختلف پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و تأثیر آن‌ها بر تعادل هورمونی گیاه است. تنظیم‌کننده‌های رشد اکسین، سیتوکینین، اکسید نیتریک، براسینوستروئید، جیبرلین، سالیسیلیک‌اسید، آبسزیک‌اسید، جاسمونات و اتیلن برای استفاده عملی جهت بهبود عملکرد محصول در شرایط تنش شوری و آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان تأثیرگذاری تنظیم‌کننده‌ها به شدت، ژنوتیپ، زمان کاربرد، غلظت مورد استفاده آن‌ها و شدت سطح تنش وابسته است (Quamruzzaman et al., 2021). جیبرلین‌ها اثرات مختلفی در گیاهان دارند که برخی از این اثرات شامل طویل شدن بیش از اندازه ساقه‌ها به وسیله تحریک تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها، بولتینگ در گیاهان روز بلند، القای جوانه‌زنی بذرها، خصوصاً در بذریه‌هایی که نیاز سرمایی یا نوری دارند، تحریک تولید آنزیم‌های مهم هیدرولیزکننده در جوانه‌زنی بذرها، حبوبات و افزایش تحمل به تنش‌های محیطی می‌باشد. سالیسیلیک‌اسید یکی دیگر از تنظیم‌کننده‌های رشدی است که نقش مهمی در پاسخ گیاهان به تنش شوری دارد و از گیاه در برابر بسیاری از تنش‌های غیر زنده حمایت می‌کند. نقش

۱- برجستگی دوگانه ، ۲- مرحله سنبلیچه انتهایی یا طویل شدن ساقه به میزان ۲۵ سی سی محلول تنظیم کننده رشد در ۵ لیتر آب در هر کرت در ابتدای صبح انجام شد.

سالیسیلیک اسید و سیتوکینین با غلظت ۱۰۰ پی پی ام و تیمار شاهد (محلول پاشی با آب معمولی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تیمار با تنظیم کننده‌های رشد جیبرلیک اسید، سالیسیلیک اسید و سیتوکینین به صورت پاشی در دو مرحله:

جدول ۱- مشخصات اقلیم منطقه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 1- Climate characteristics of the region in the cropping seasons 2021-2022

ماه Month	حداکثر مطلق دما maximum Absolute temperature (°C)	حداقل مطلق دما Absolute minimum temperature (°C)	میانگین ماهانه تبخیر Average monthly (mm) evaporation	میانگین ماهانه بارندگی Average monthly rainfall (mm)
آبان November	15.5	3.9	0	52.1
آذر December	12.9	0.8	0	41.9
دی January	8.9	-2.5	0	55.7
بهمن February	9.7	-2.5	0	21.5
اسفند March	3.5	3.5	0	40.5
فروردین April	21.3	6.8	205.3	2.3
اردیبهشت May	24.7	10.9	275.6	7
خرداد Jun	31.9	16.6	368.5	0
تیر July	35.9	19.5	421.5	0

جدول ۲- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزارع غیرشور و شور گلپایگان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 2-Physicochemical characteristics of the soil of non-saline and saline fields in golpayegan in the cropping seasons 2021-2022

مزرعه Field	عمق خاک Soil depth (cm)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon (%)	نیترژن کل Total nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (mg/kg)	پتاسیم Potassium (mg/kg)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	بافت خاک Soil texture
عدم شوری Non-saline	0-30	7.19	0.62	0.06	16.36	175	19	27	54	لومی سیلت Loami silt
شور Salinity	0-30	7.62	0.55	0.04	11	216	20	29	51	لومی سیلت Loami silt

گلپایگان در فاصله ۱۸۰ کیلومتری و مزارع دشت شمال در فاصله ۱۴۰ کیلومتری مرکز استان اصفهان قرار گرفته‌اند. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی (Koppen, 1936)، اقلیم شهرستان گلپایگان با نماد BSK (BS) نماینگر اقلیم نیمه خشک و K نشانگر اقلیم‌های است که در عرض‌های میانی جغرافیایی قرار دارند و دمای میانگین سالانه آن‌ها زیر ۱۸ درجه سانتی‌گراد) نشان داده می‌شود (جدول ۱).

صفات مورد بررسی شامل شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، سرعت اسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول، میزان کلروفیل a ، b و عملکرد دانه بود. در این آزمایش از گندم رقم سیوند که رقم غالب منطقه است استفاده شد. این رقم هگزاپلوئید، مقاوم به زنگ سیاه و زرد، آفات، ریزش دانه و خوابیدگی بوته بوده و مناسب برای کشت در مناطق معتدل کشور می‌باشد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی و علوم دامی

گرفت که علت اختلاف ۴۵ روز در تاریخ کاشت، شرایط محیطی و شوری آب آبیاری در مزرعه شور (دشت شمال) بود. جهت ممانعت از اثرات متقابل تیمارهای هم جوار بین دو کرت هم جوار ۱ متر و فاصله بین تکرارها ۳ متر در نظر گرفته شد. همچنین در این آزمایش، از ابتدا و انتهای هر کرت آزمایشی نیم‌متر و خطوط کاشت اول، چهارم و هفتم حذف و از قسمت‌های باقی‌مانده جهت انجام نمونه‌برداری استفاده شد. نمونه‌برداری در ۵ مرحله انجام شد. مرحله اول نمونه‌برداری در مزرعه غیر شور، ۱۳۵ روز بعد از سبز شدن و در مزرعه شور ۷۵ روز بعد از سبز شدن صورت پذیرفت. مراحل بعدی هر ۱۵ روز یک‌بار و در مرحله برداشت نهایی نیز یک مرحله نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌برداری توسط یک کوآدرات ۱×۱ متر مربع صورت گرفت و نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی با نوشتن کد برای هر یک گذاشته شد. بعد از اندازه‌گیری صفات، پاکت‌ها درون آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت گذاشته و توسط یک ترازوی دیجیتال با حساسیت یک صدم اندازه‌گیری و نتایج به دست آمده نوشته شد. همچنین در برداشت نهایی ۱ مترمربع از ردیف‌های میانی هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای از سطح خاک برداشت و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد.

برای تعیین محتوای نسبی آب پرچم، تغییرات شاخص سطح برگ، سرعت اسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول به ترتیب از روابط ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ استفاده شد (Ahmadi et al., 2011).

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \quad (1)$$

$$LAI = LA / GA \quad (2)$$

$$NAR = CGR / LAI \quad (3)$$

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1) \quad (4)$$

$$CGR = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) \quad (5)$$

کلیه داده‌های حاصله با استفاده از نرم‌افزار Mstat c ورژن ۱/۱/۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، برای بدست آوردن ضرائب رگرسیونی از نرم‌افزار Stat Graphic ورژن ۱۸/۱/۰۰۱ و نیز جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

در این پژوهش با توجه به اجرای آزمایش در دو محیط مجزا و برای تجزیه مرکب صفات و بررسی امکان ترکیب دو

به‌منظور اجرای این طرح، قبل از کاشت، از خاک قطعه زمین واقع در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و مزارع دشت شمال گلپایگان، نمونه‌برداری انجام گرفت و این نمونه‌ها جهت انجام آزمایش خاک به آزمایشگاه خاکشناسی مرکز تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی استان اصفهان ارسال شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در جدول ۲ ارائه شده است.

جهت انجام این پژوهش ۲ قطعه زمین به مساحت هر کدام ۸۰۰ متر مربع (۲۰×۴۰) مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور آماده سازی زمین در اواخر تابستان ۱۴۰۰ توسط گاو آهن برگردان‌دار شخم به عمق ۳۰ سانتی‌متر انجام شد و به کمک دیسک و لولر کلوخه‌ها خرد و تسطیح زمین انجام گرفت. پس از انجام شخم، با توجه به نتیجه آزمایش کودی خاک، در مزرعه غیرشور در زمان قبل از کاشت، تمام کود فسفر مورد نیاز از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار (ساخت شرکت ارکان شیمی جنوب)، کود پتاسه از نوع سولفات پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (شرکت ارکان شیمی جنوب) و یک سوم کود نیتروژن (ساخت شرکت پتروشیمی پردیس) به صورت اوره به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه و سپس دیسک زده شد. پس از انجام دیسک با لولر زمین مورد نظر تسطیح گردید. مابقی کود اوره در مراحل ساقه رفتن و قبل از گل‌دهی هر کدام به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک اضافه شد. در مزرعه شور نیز در زمان قبل از کاشت، تمام کود فسفر مورد نیاز به صورت سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار (ساخت شرکت ارکان شیمی جنوب)، کود پتاسه از نوع سولفات پتاسیم به میزان ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار (ساخت شرکت ارکان شیمی جنوب) و یک سوم کود نیتروژن (شرکت پتروشیمی پردیس) به صورت اوره به خاک اضافه و سپس دیسک زده شد. پس از انجام دیسک با لولر زمین مورد نظر تسطیح گردید. مابقی کود اوره در مراحل ساقه رفتن و قبل از گل‌دهی هر کدام به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک اضافه شد. در ادامه، کرت‌هایی به طول هشت متر و عرض ۱۴۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. هر کرت آزمایشی شامل هفت خط کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر بود. عملیات کاشت بذر در مزرعه غیر شور در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۰۱ و در مزرعه شور ۱۴۰۰/۰۹/۱۵ با تراکم ۴۰۰ بوته در هکتار انجام

محیط از آزمون بارتلت استفاده شد که به دلیل معنی‌دار نبودن آن تجزیه مرکب محیط‌ها انجام شد.

## نتایج و بحث

### شاخص سطح برگ

اثر متقابل محیط  $\times$  سطوح آبیاری  $\times$  تنظیم‌کننده‌های رشد بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). شاخص سطح برگ در محیط غیر شور (هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی زیمنس بر متر) و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشنگ کلاس A تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد تا حدود ۱۶۰ روز پس از سبز شدن به شدت افزایش یافت. در این زمان، گیاه متأثر از محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بوده و در مرحله سنبلیچه انتهایی قرار داشت. تا ۱۷۰ روز پس از سبز شدن همزمان با مرحله آبستنی، با ظهور سنبله در اواخر اردیبهشت ماه به حداکثر خود رسید و از ۱۸۰ روز پس از سبز شدن همزمان با مرحله گل‌دهی به علت انتقال مواد فتوسنتزی از اندام رویشی به اندام زایشی، کاهش یافت (شکل ۱ الف).

بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ در محیط غیر شور در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مربوط به تیمارهای جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید و جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به ترتیب به میزان ۲/۹۶ و ۲/۹۱ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد به میزان ۲/۳۲ بود. شاخص سطح برگ در محیط غیر شور و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشنگ کلاس A تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد تا حدود ۱۶۵ روز پس از سبز شدن که همزمان با مرحله سنبلیچه انتهایی بود افزایش یافت، در ۱۷۵ روز پس از سبز شدن و همزمان با ظهور سنبله به حداکثر خود رسید و از ۱۸۰ روز پس از سبز شدن به علت انتقال فاز رویشی به مرحله گل‌دهی کاهش یافت (شکل ۱ ب).

بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ در محیط غیر شور در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مربوط به تیمارهای جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به ترتیب به میزان ۲/۲۹ و

۲/۲۸ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد به میزان ۱/۶۱ بود. در مطالعه‌ای مربوط به گندم هم کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ در شرایط تنش آبیاری از طریق کاهش فشار تورگر و به واسطه پیری تدریجی و از دست رفتن برگ‌ها گزارش شد (Muhammad et al., 2016).

شاخص سطح برگ در محیط شور (هدایت الکتریکی ۱۰ دسی زیمنس بر متر) و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشنگ کلاس A تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد تا حدود ۱۰۰ روز پس از سبز شدن به شدت افزایش یافت، در ۱۰۰ روز پس از سبز شدن در مرحله آبستنی به حداکثر خود رسید و از ۱۱۵ روز پس از سبز شدن به شدت کاهش یافت (شکل ۱ ج). بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ در محیط شور در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مربوط به تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱/۹۵ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد به میزان ۱/۴۱ بود.

شاخص سطح برگ در محیط شور و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشنگ کلاس A تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نیز تا حدود ۱۰۵ روز پس از سبز شدن افزایش یافت، در ۱۱۵ روز پس از سبز شدن به حداکثر خود رسید و از ۱۲۰ روز پس از سبز شدن به شدت کاهش یافت (شکل ۱ د). بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ در محیط شور و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مربوط به تیمارهای جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱/۸۲ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد به میزان ۱/۴۹ بود.

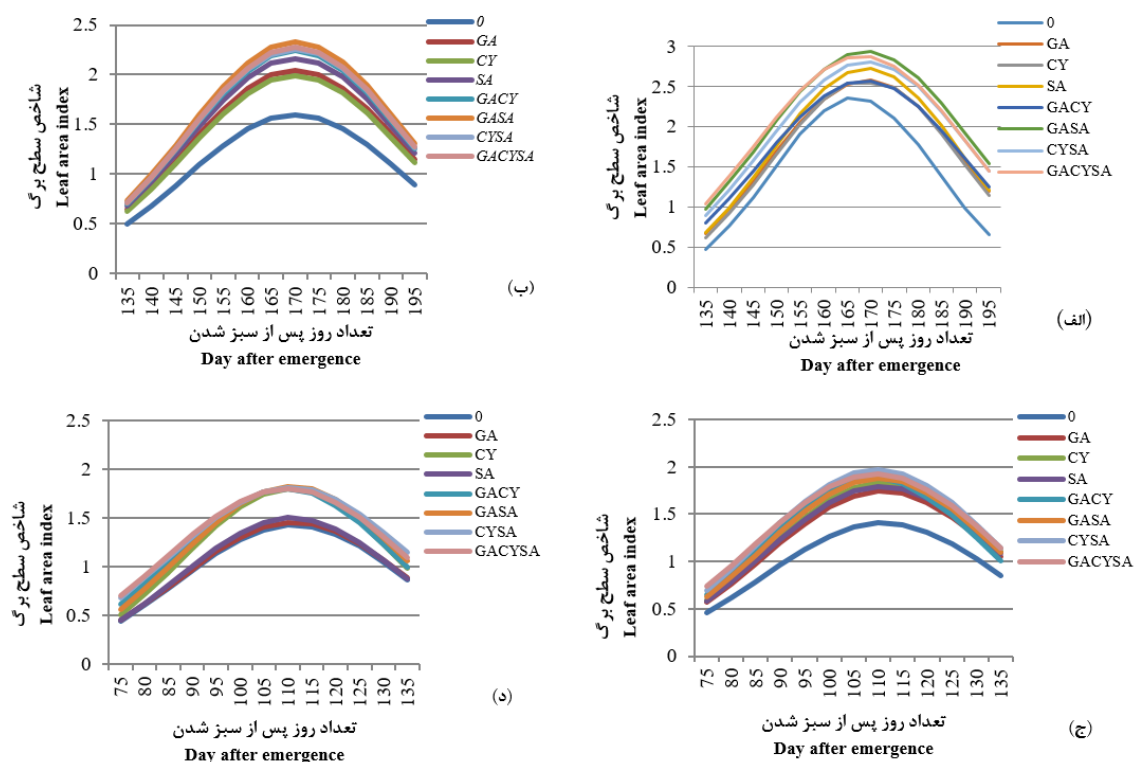
در پژوهش حاضر، محیط شور نسبت به محیط غیر شور طول دوره رشد کوتاه‌تری را تجربه کرد که دلیل آن مواجه شدن با شرایط نامناسب محیطی از جمله تنش شوری و آبی بود. لذا گیاه مراحل رشد خود را جهت فرار از این شرایط نامناسب کوتاه نمود (طول دوره رشد گیاه در محیط غیر شور ۲۴۳ روز و در محیط شور ۲۱۲ روز بود). مرحله حداکثر تجمع ماده خشک با مرحله حداکثر شاخص سطح برگ در نمودار روند رشد گیاه تقریباً مطابقت دارد. در تأیید مطالب مذکور، در نتایج همبستگی صفات نیز مشاهده می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان شاخص سطح برگ و ماده خشک کل ( $r=0.792^{**}$ )

روند تجمع ماده خشک کل در محیط غیر شور و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نشان می‌دهد که تا حدود ۱۳۵ روز پس از سبز شدن، تجمع ماده خشک با سرعت بطئی صورت گرفته و پس از آن تجمع ماده خشک با سرعت زیادی افزایش یافت که این زمان بعد از مرحله سنبلیچه انتهایی و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بود و در ۱۶۵ تا ۱۷۵ روز به حداکثر خود رسید. در این زمان گیاه در مرحله سنبلیچه انتهایی بود و این روند رشد تا مرحله آبستنی ادامه پیدا کرد و پس از آن تا برداشت نهایی به دلیل ریزش برگ‌های مسن و حذف ماده خشک پهنک و دم‌برگ‌های خشک شده، ماده خشک کل کاهش یافت (شکل ۲ الف).

وجود داشت که نشان‌دهنده هم‌روندی بین دو صفت می‌باشد (جدول ۹). در مطالعه‌های بر روی گندم هم کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ در شرایط تنش آبیاری به واسطه پیری تدریجی و ازدست رفتن برگ‌ها گزارش گردید ( Muhammad *et al.*, 2016).

هم‌چنین محققان به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین افزایش سطح برگ مربوط به تیمار محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در مرحله شروع پنجه زنی بود که این روند تا ۱۶۶ روز پس از کاشت به‌همین ترتیب ادامه داشت ( Hashemi *et al.*, 2015).

### ماده خشک کل



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ نسبت به روز پس از سبز شدن در:

- (الف) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی‌متر تبخیر
- (ب) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر
- (ج) محیط شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی‌متر تبخیر
- (د) محیط شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر

Figure 1- The trend of leaf area index changes (LAI) in day after emergence in:  
 (a) Non-saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level  
 (b) Non-saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level  
 (c) saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level  
 (d) saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

جدول ۳- تجزیه مرکب صفات فیزیولوژیکی در دو محیط شور و غیرشور در تنش‌های آبی و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد

Table 3- Composite analysis of physiological traits in two saline and non-saline environments under water stress and foliar application of growth regulators

میانگین مربعات						
Mean squares						
منبع تغییرات	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	ماده خشک کل	کلروفیل a	کلروفیل b	عملکرد دانه
S. O. V	df	Leaf area index	Total dry mater	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Grain yield
محیط	1	9.93**	5051755.04**	4.53**	3.53**	132713957.04**
Environment						
تکرار در محیط	4	0.08	71816.71	0.01	0.06	485758.46
Repeat in Environment						
آبیاری	1	2.46 <sup>ns</sup>	7.02 <sup>ns</sup>	4.71*	4.12*	45460290.04*
Irrigation						
محیط × آبیاری	1	0.96**	25807.04 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	15050.04*
Environment × Irrigation						
خطای الف	4	0.00	15795.80	0.00	0.00	729954.17
Error a						
تنظیم‌کننده	7	0.38**	456398.71**	0.80**	0.74**	3810329.99**
Regulator						
محیط × تنظیم‌کننده	7	0.04**	35176.85 <sup>ns</sup>	0.02**	0.04**	73156.47 <sup>ns</sup>
Environment × Regulator						
آبیاری × تنظیم‌کننده	7	0.00 <sup>ns</sup>	5054.04 <sup>ns</sup>	0.02*	0.03**	80284.47 <sup>ns</sup>
Irrigation × Regulator						
محیط × آبیاری × تنظیم‌کننده	7	0.03**	27553.42 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	88379.85 <sup>ns</sup>
Environment × Irrigation × Regulator						
خطای ب	56	0.01	18153.49	0.00	0.00	188996.45
Error b						
ضریب تغییرات (%)		4.44	11.84	4.68	4.57	6.58
C.V (%)						

\*, \*\* و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری

\*, \*\* and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

آبیاری بیش‌ترین ماده خشک در تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱۶۳۱/۳۲ گرم بر متر مربع و کم‌ترین آن در تیمار شاهد به میزان ۱۰۴۴/۰۰ گرم بر متر مربع مشاهده شد (جدول ۸). در هر دو محیط شور و غیر شور با نزدیک شدن به دماهای بالا شاهد ریزش برگ‌ها بودیم که در کنار تنش شوری و خشکی باعث کاهش ماده خشک گردید که این شرایط در محیط شور بیشتر نمایان شد. این نتایج با گزارش‌های سایر محققین مبنی بر کاهش ماده خشک تولیدی در شرایط تنش مطابقت دارد (Soleymani, 2017; Ren et al., 2016).

بیش‌ترین میزان تجمع ماده خشک در محیط غیر شور و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد متعلق به تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱۶۵۱/۳۳ گرم بر متر مربع و کم‌ترین آن در تیمار شاهد به میزان ۱۰۹۰/۰۰ گرم بر متر مربع مشاهده شد (جدول ۸). روند تجمع ماده خشک کل در محیط غیر شور و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد نیز به علت فاصله کوتاه دور آبیاری مانند سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر بود (شکل ۲ ب) در این سطح

عملکرد بالا در شرایط بدست می‌آید که دما در ابتدای رویش، پایین، در مرحله رشد، متوسط و در مرحله رسیدن بالا باشد. بدیهی است میزان عملکرد را باید در ارتباط با تمامی عوامل و فرآیندهایی در نظر گرفت که مرتبط با عملکرد دانه و وابسته به تولید ماده‌ی خشک باشند (Fathi *et al.*, 2011).

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی در دو محیط شور و غیر شور، تنش‌های آبی و محلول‌یابی تنظیم‌کننده‌های رشد

Table 4- The results of Mean comparisons physiological traits in two saline and non-saline environments, water stress and foliar application of growth regulators

تیمار Treatment	شاخص سطح برگ Leaf area index	ماده خشک کل Total dry mater (g/m <sup>2</sup> )	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)
<b>محیط</b>					
<b>Environment</b>					
محیط عدم شوری Non-saline	2.39 <sup>a</sup>	1367.58 <sup>a</sup>	1.26 <sup>a</sup>	1.10 <sup>a</sup>	7781.08 <sup>a</sup>
محیط شور Saline	1.57 <sup>b</sup>	908.79 <sup>b</sup>	0.82 <sup>b</sup>	0.71 <sup>b</sup>	5429.54 <sup>b</sup>
<b>سطوح آبیاری</b>					
<b>Irrigation Levels (mm)</b>					
90	2.23 <sup>a</sup>	1172.17 <sup>a</sup>	1.26 <sup>a</sup>	1.11 <sup>a</sup>	7293.46 <sup>a</sup>
120	1.91 <sup>a</sup>	1104.21 <sup>a</sup>	0.82 <sup>b</sup>	0.70 <sup>b</sup>	5917.17 <sup>b</sup>
<b>تنظیم‌کننده</b>					
<b>Regulator</b>					
Control	1.71 <sup>c</sup>	891.00 <sup>e</sup>	0.72 <sup>c</sup>	0.59 <sup>c</sup>	5349.33 <sup>c</sup>
GA	1.97 <sup>b</sup>	927.5 <sup>de</sup>	0.81 <sup>c</sup>	0.67 <sup>bc</sup>	6760.42 <sup>bc</sup>
CY	2.03 <sup>b</sup>	999.00 <sup>cde</sup>	0.97 <sup>b</sup>	0.86 <sup>b</sup>	6539.17 <sup>cd</sup>
SA	2.04 <sup>ab</sup>	1133.33 <sup>bc</sup>	0.81 <sup>c</sup>	0.73 <sup>bc</sup>	6331.75 <sup>d</sup>
GACY	2.16 <sup>ab</sup>	1113.5 <sup>bcd</sup>	1.28 <sup>a</sup>	1.15 <sup>a</sup>	7040.83 <sup>a</sup>
GASA	2.24 <sup>a</sup>	1268.17 <sup>ab</sup>	1.03 <sup>b</sup>	0.83 <sup>b</sup>	6921.42 <sup>ab</sup>
CYSA	2.17 <sup>ab</sup>	1370.33 <sup>b</sup>	1.32 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>	6863.17 <sup>ab</sup>
GACYSA	2.24 <sup>a</sup>	1402.67 <sup>a</sup>	1.38 <sup>a</sup>	1.23 <sup>a</sup>	7036.42 <sup>ab</sup>

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محیط × سطوح آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی

Table 5- The results of mean comparisons interaction effect of environment × irrigation levels on physiological traits

تیمار Treatment	شاخص سطح برگ Index Leaf Area	ماده خشک کل Total dry mater (g/m <sup>2</sup> )	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g)
<b>محیط عدم شوری</b>				
Non salty environment	90 mm	2.65 <sup>a</sup>	1385.17 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>
	120 mm	2.13 <sup>b</sup>	1350.00 <sup>a</sup>	1.04 <sup>b</sup>
<b>محیط شور</b>				
Salinity environment	90 mm	1.81 <sup>c</sup>	959.17 <sup>b</sup>	1.05 <sup>b</sup>
	120 mm	1.69 <sup>d</sup>	858.42 <sup>b</sup>	0.59 <sup>c</sup>

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

تنظیم‌کننده‌های رشد نیز به علت فاصله کوتاه دور آبیاری مانند سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر بود (شکل ۵۲). در این سطح آبیاری بیش‌ترین ماده خشک در تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱۱۰۵/۳۳ گرم بر متر مربع و کم‌ترین آن در تیمار شاهد به میزان ۶۸۶/۶۷ گرم بر متر مربع مشاهده شد.

در هر دو محیط شور و غیر شور دلیل برتری ماده خشک کل در مرحله پنجه‌زنی احتمالاً به دلیل رشد سریع‌تر برگ‌ها و بیشتر شدن رشد عمومی گیاه است، چرا که روند سریع رشد برگ‌ها باعث جذب بیشتر انرژی خورشیدی، آسمیلات‌سازی و افزایش فتوسنتز خواهد شد و بر تجمع ماده خشک کل می‌افزاید. نتایج این آزمایش با یافته‌های سایر محققین که اعلام نمودند بیش‌ترین وزن خشک بوته در شرایط محلول پاشی سالیسیلیک‌اسید در مراحل شروع پنجه‌زنی و برجستگی دوگانه به دست آمد، نیز مطابقت داشت (Hashemi et al., 2015).

روند تجمع ماده خشک کل در محیط شور و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشک کلاس A تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که تا حدود ۷۵ روز پس از سبز شدن تجمع ماده خشک با سرعت بطئی صورت گرفته و پس از آن تجمع ماده خشک کل با سرعت زیادی افزایش یافت و در ۱۱۰ تا ۱۲۰ روز به حداکثر خود رسیده و پس از آن تا برداشت نهایی به دلیل ریزش برگ‌های مسن و حذف ماده خشک پهنک و دم‌برگ‌های خشک شده، وزن خشک کل لندکی کاهش یافت (شکل ۲ ج). بیش‌ترین میزان تجمع ماده خشک در محیط شور و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر تحت تأثیر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد متعلق به تیمار جیبرلیک‌اسید + سالیسیلیک‌اسید + سیتوکینین به میزان ۱۲۲۲/۶۷ گرم بر متر مربع و کم‌ترین آن در تیمار شاهد به میزان ۷۴۳/۳۳ گرم بر متر مربع مشاهده شد (جدول ۸).

روند تجمع ماده خشک کل در محیط شور و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشک کلاس A تحت تأثیر

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محیط × تنظیم‌کننده‌های رشد بر صفات فیزیولوژیکی در دو محیط شور و غیر شور در محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد

Table 6- The results of Mean comparisons interaction effect of environment × growth regulators on physiological traits in two saline and non-saline environments Foliar application of growth regulators

تیمار Treatment	شاخص سطح برگ Leaf area index	ماده خشک کل Total dry mater (g/m <sup>2</sup> )	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g)	
محیط غیر شور Non-saline environment	Control	1.97 <sup>e</sup>	1067.00 <sup>de</sup>	0.87 <sup>h</sup>	0.70 <sup>g</sup>
	GA	2.30 <sup>cd</sup>	1116.00 <sup>d</sup>	0.98 <sup>g</sup>	0.82 <sup>f</sup>
	CY	2.25 <sup>d</sup>	1210.33 <sup>bcd</sup>	1.21 <sup>d</sup>	1.08 <sup>c</sup>
	SA	2.4 <sup>bc</sup>	1369.00 <sup>b</sup>	1.00 <sup>g</sup>	0.91 <sup>e</sup>
	GACY	2.46 <sup>b</sup>	1300.67 <sup>bc</sup>	1.52 <sup>b</sup>	1.38 <sup>b</sup>
	GASA	2.65 <sup>a</sup>	1612.33 <sup>a</sup>	1.31 <sup>c</sup>	0.97 <sup>d</sup>
	CYSA	2.49 <sup>b</sup>	1624.00 <sup>a</sup>	1.54 <sup>b</sup>	1.41 <sup>b</sup>
	GACYSA	2.60 <sup>a</sup>	1641.33 <sup>a</sup>	1.62 <sup>a</sup>	1.5 <sup>a</sup>
	محیط شور Salinity environment	Control	1.45 <sup>h</sup>	715.00 <sup>h</sup>	0.57 <sup>k</sup>
GA		1.63 <sup>g</sup>	739.00 <sup>gh</sup>	0.65 <sup>j</sup>	0.53 <sup>ij</sup>
CY		1.80 <sup>f</sup>	787.67 <sup>gh</sup>	0.74 <sup>i</sup>	0.64 <sup>h</sup>
SA		1.68 <sup>g</sup>	897.67 <sup>fg</sup>	0.61 <sup>jk</sup>	0.55 <sup>i</sup>
GACY		1.85 <sup>f</sup>	926.33 <sup>ef</sup>	1.03 <sup>f</sup>	0.92 <sup>de</sup>
GASA		1.83 <sup>f</sup>	924.00 <sup>ef</sup>	0.75 <sup>i</sup>	0.69 <sup>gh</sup>
CYSA		1.84 <sup>f</sup>	1116.67 <sup>d</sup>	1.10 <sup>e</sup>	0.93 <sup>de</sup>
GACYSA		1.88 <sup>ef</sup>	1164.00 <sup>cd</sup>	1.14 <sup>e</sup>	0.96 <sup>d</sup>

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

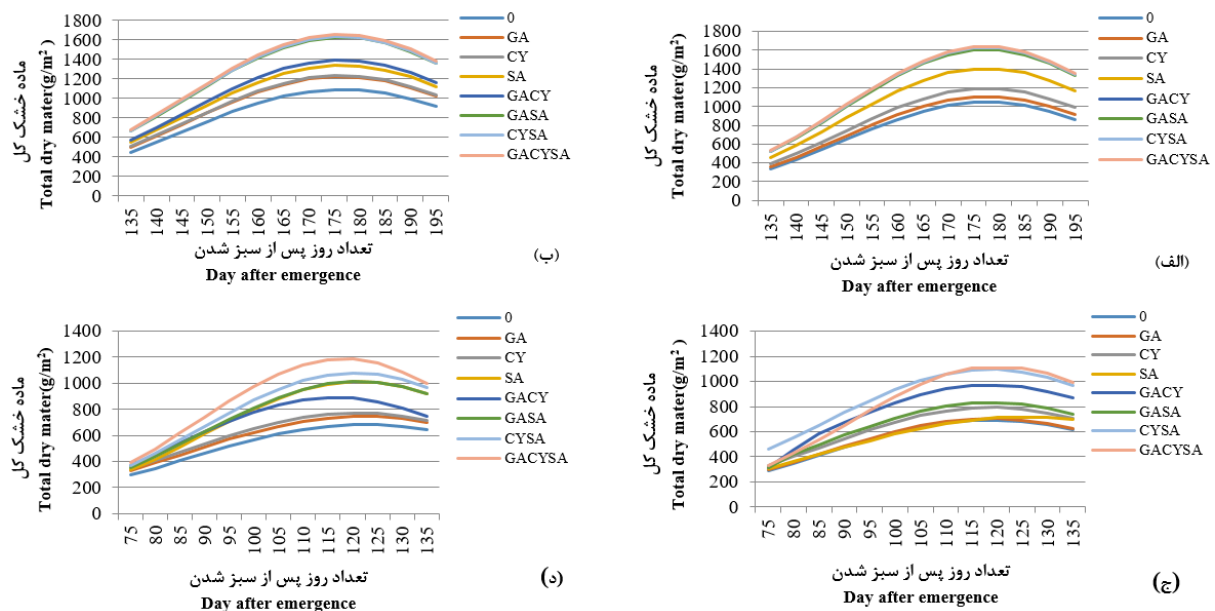
جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد بر صفات فیزیولوژیکی

Table 7- The results of mean comparisons interaction effect of irrigation levels × growth regulators on physiological traits

تیمار	شاخص سطح برگ	وزن خشک کل	کلروفیل a	کلروفیل b	
Treatment	Leaf area index	Total dry mater (g/m <sup>2</sup> )	Chlorophyll a (mg/g)	Chlorophyll b (mg/g)	
90 mm	Control	1.87 <sup>fg</sup>	916.67 <sup>ef</sup>	0.86 <sup>g</sup>	0.75 <sup>f</sup>
	GA	2.15 <sup>cde</sup>	955.67 <sup>ef</sup>	1.00 <sup>f</sup>	0.85 <sup>e</sup>
	CY	2.16 <sup>bcde</sup>	1010.33 <sup>def</sup>	1.19 <sup>d</sup>	1.09 <sup>b</sup>
	SA	2.21 <sup>abcde</sup>	1206.00 <sup>abcd</sup>	1.04 <sup>f</sup>	0.94 <sup>cd</sup>
	GACY	2.29 <sup>abcd</sup>	1138.33 <sup>bcde</sup>	1.52 <sup>b</sup>	1.41 <sup>a</sup>
	GASA	2.41 <sup>ab</sup>	1324.67 <sup>abc</sup>	1.29 <sup>c</sup>	0.96 <sup>cd</sup>
	CYSA	2.32 <sup>abc</sup>	1388.67 <sup>a</sup>	1.57 <sup>b</sup>	1.42 <sup>a</sup>
	GACYSA	2.43 <sup>a</sup>	1437.00 <sup>a</sup>	1.64 <sup>a</sup>	1.48 <sup>a</sup>
	120mm	Control	1.55 <sup>h</sup>	865.33 <sup>f</sup>	0.58 <sup>i</sup>
GA		1.79 <sup>g</sup>	899.33 <sup>ef</sup>	0.63 <sup>i</sup>	0.5 <sup>hi</sup>
CY		1.89 <sup>fg</sup>	987.67 <sup>def</sup>	0.76 <sup>h</sup>	0.63 <sup>g</sup>
SA		1.87 <sup>fg</sup>	1060.67 <sup>def</sup>	0.58 <sup>i</sup>	0.52 <sup>h</sup>
GACY		2.03 <sup>efg</sup>	1088.67 <sup>cdef</sup>	1.04 <sup>f</sup>	0.89 <sup>d</sup>
GASA		2.08 <sup>cdef</sup>	1211.67 <sup>abcd</sup>	0.77 <sup>h</sup>	0.69 <sup>fg</sup>
CYSA		2.01 <sup>efg</sup>	1352.00 <sup>ab</sup>	1.07 <sup>e</sup>	0.92 <sup>cde</sup>
GACYSA		2.06 <sup>def</sup>	1368.33 <sup>ab</sup>	1.12 <sup>de</sup>	0.99 <sup>c</sup>

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.



شکل ۲- روند تغییرات ماده خشک کل نسبت به روز پس از سبز شدن در:

- (الف) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر  
 (ب) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر  
 (ج) محیط شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر  
 (د) محیط شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر

Figure 2- The trend of Total dry mater changes (TDM) in day after emergence in:

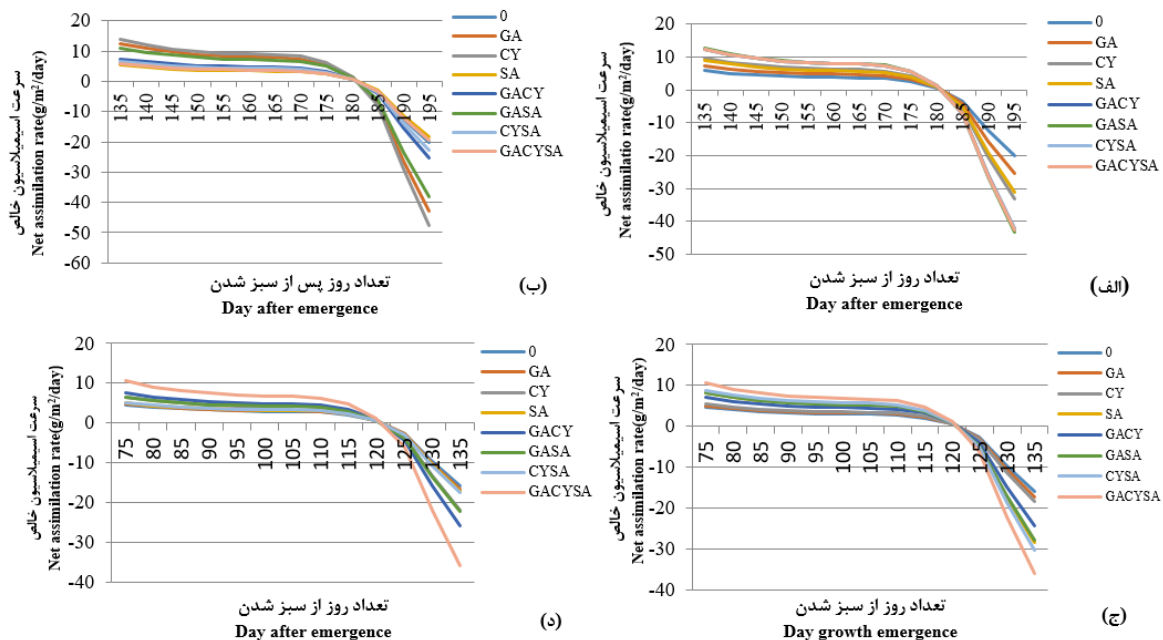
- (a) Non-saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level  
 (b) Non-saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level  
 (c) saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level  
 (d) saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

و عملکرد دانه شد. لذا آبیاری گندم پس از تبخیر تجمعی ۹۰ میلی‌متر، می‌تواند تا ۲۲ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کند و در این شرایط کاهش معنی‌داری در شاخص‌های رشد مشاهده نشد (Dehghanzadeh, 2019).

روند سرعت اسیمیلاسیون خالص در محیط شور و سطح آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشنگی کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نشان می‌دهد که گیاه در اوایل دوره رشد شاخص سطح برگ کم‌تری را تا حدود ۱۱۰ روز پس از سبز شدن تولید کرد که با قرار گرفتن در محیط شور سطح برگ کم‌تری نسبت به محیط غیرشور تولید کرد (شکل‌های ۳ ج و د). این گونه استنباط می‌شود که در تیمار تنش شدید به دلیل شاخص سطح برگ کم‌تر، برگ‌های بیش‌تری در معرض نور مستقیم خورشید قرار گرفته و مقادیر حداکثر سرعت اسیمیلاسیون خالص بیش‌تری در مقایسه با تیمارهای شاهد و تنش ملایم ایجاد شد (Muhammad et al., 2016).

### سرعت اسیمیلاسیون خالص

روند سرعت اسیمیلاسیون خالص در محیط غیرشور و سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشنگی کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که گیاه در اوایل دوره رشد با قرار گرفتن در محیط مناسب، سطح برگ بیش‌تری را تا حدود ۱۷۰ روز پس از سبز شدن نسبت به سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تولید می‌کند (شکل‌های ۳ الف و ب) که البته به علت کوتاه بودن فاصله آبیاری اختلاف زیادی بین سطوح آبیاری مشاهده نگردید. علت افزایش سرعت جذب خالص در ابتدای فصل رشد به این موضوع بر می‌گردد که میزان شاخص سطح برگ مرتباً کاهش پیدا می‌کند و با کاهش شاخص سطح برگ نهایتاً سرعت جذب خالص افزایش می‌یابد. نتایج یک آزمایش نشان داد که آبیاری پس از ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از نظر سرعت جذب خالص، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری نداشت. آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی به طور قابل توجهی باعث کاهش سرعت جذب خالص، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول



شکل ۳- روند تغییرات اسیمیلاسیون خالص نسبت به روز پس از سبز شدن در:

- (الف) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی‌متر تبخیر  
 (ب) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر  
 (ج) محیط شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی‌متر تبخیر  
 (د) محیط شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر

Figure 3- The trend of Net assimilation rate changes (NAR) in day after emergence in:

- (a) Non-saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level  
 (b) Non-saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level  
 (c) saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level  
 (d) saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

### سرعت رشد نسبی

سرعت رشد نسبی (RGR) بیان‌کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است. تغییرات سرعت رشد نسبی بر مبنای روزهای پس از کاشت در ترکیبات تیماری مختلف نشان داد که در تمام ترکیبات تیماری، سرعت رشد نسبی، با افزایش سن گیاه کاهش یافت. کاهش سرعت رشد نسبی گیاه در طی فصل رشد، می‌تواند به پیری برگ‌های پایینی، در سایه قرار گرفتن آن‌ها و همچنین افزایش بافت‌ها و کربوهیدرات‌های ساختمانی (که در فتوسنتز نقشی ندارند) نسبت به بافت‌های متابولیکی فعال نسبت داده شود. طبق نتایج به دست آمده با افزایش سن گیاه سرعت رشد نسبی ارقام به صورت خطی (با شیب‌های متفاوت) کاهش یافت (شکل‌های ۴ الف، ب، ج، د). از آنجایی که سرعت رشد نسبی با مشتق‌گیری از تغییرات وزن خشک نسبت به زمان تعیین می‌گردد و مشتق در نقطه حداکثر صفر می‌باشد لذا در محیط غیر شور در سطوح آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در محدوده بین ۱۷۰ تا ۱۹۵ روز پس از سبز شدن و در محدوده بین ۱۱۵ تا ۱۲۵ روز پس از سبز شدن در محیط شور و سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر و ۱۱۵ تا ۱۳۵ روز پس از سبز شدن در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر یعنی جایی که تجمع ماده خشک به حداکثر میزان خود رسیده است، صفر گردید و بعد از آن منفی شد. تغییرات سرعت رشد نسبی (شکل‌های ۴ الف، ب، ج، د) نشان می‌دهد که در تمام ترکیبات تیماری، سرعت رشد نسبی با افزایش سن گیاه کاهش می‌یابد.

به نظر می‌رسد رقابت برای کسب آب و عناصر غذایی در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در دوره زمانی بیش‌تری اتفاق می‌افتد و در نتیجه میزان فتوسنتز خالص و در نهایت سرعت رشد نسبی کاهش بیش‌تری نسبت به تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر داشت. در تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر به علت فراهم بودن آب بیش‌تر سرعت رشد نسبی با شیب کم‌تری کاهش یافت.

در تیمارهای محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد، کاهش سرعت رشد از شاهد کمتر بود، یعنی اینکه وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در گیاهان شاهد کمتر از گیاهان تیمار شده بود. به نحوی که در محیط غیر شور و در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر تیمار جیبرلیک اسید + سیتوکینین و در سطح

۱۲۰ میلی‌متر تیمار جیبرلیک اسید + سالیسیلیک اسید و در محیط شور در هر دو سطح آبیاری تیمار جیبرلیک اسید + سالیسیلیک اسید + سیتوکینین باعث افزایش میزان رشد نسبی گیاه شد که این امر می‌تواند به دلیل فراهمی عناصر غذایی در مراحل اولیه رشد رویشی باشد.

بر اساس (شکل‌های ۴ الف، ب، ج، د) حداکثر سرعت رشد نسبی در ابتدای فصل رشد به دست آمد و پس از آن روند کاهشی نشان داد. از آنجا که با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد، وزن افزایش یافته نسبت به وزن اولیه کم‌تر می‌شود سرعت رشد نسبی نیز روند کاهشی نشان می‌دهد و حداقل مقادیر این شاخص نیز در انتهای فصل رشد به دلیل توقف رشد گیاه حاصل می‌گردد. به نظر می‌رسد در ابتدای فصل رشد و قبل از ساقه رفتن به علت نفوذ نور بیشتر به داخل جامعه گیاهی و سایه اندازی کم‌تر برگ‌ها بر روی یکدیگر و جذب خالص و در نتیجه تنفس کم‌تر میزان سرعت رشد نسبی بالا بوده و به تدریج به دلیل متراکم شدن کانوپی، میزان سرعت رشد نسبی روندی کاهشی داشته و در آخر فصل رشد به دلیل پیری گیاه، افزایش بافت‌های ساختمانی، کاهش کارایی تولید و متوقف شدن فعالیت‌های گیاه در تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های رویشی و زایشی میزان سرعت رشد نسبی به کم‌ترین مقدار خود طی فصل رشد گندم می‌رسد.

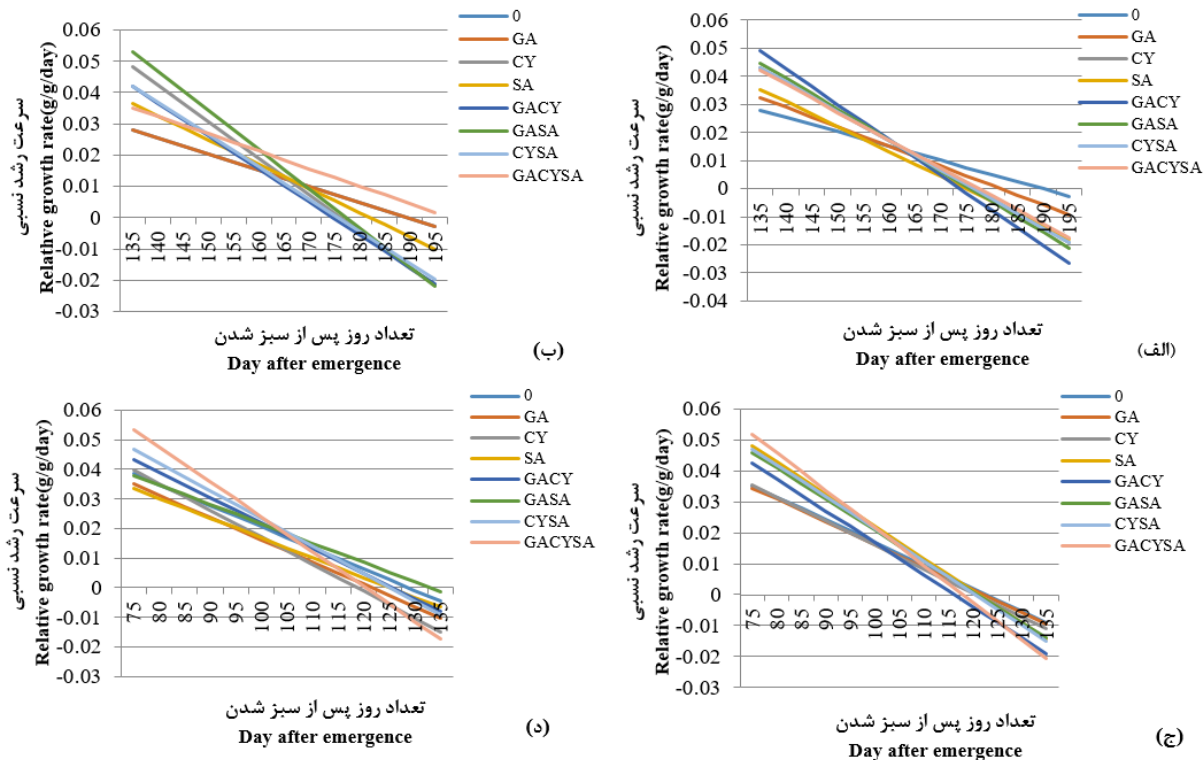
### سرعت رشد محصول

سرعت رشد محصول در اوایل دوره رشد در محیط غیر شور و سطوح آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد متفاوت بوده و در ۱۳۵ تا ۱۴۵ روز پس از سبز شدن به حداکثر خود رسید و پس از آن سرعت رشد محصول روند کاهشی پیدا کرد (شکل‌های ۵ الف و ب).

روند سرعت رشد محصول در محیط شور در سطوح آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر با محیط غیر شور متفاوت بود. به نحوی که پس از دوره کوتاه رشدی در اوایل سبز شدن، سرعت رشد محصول ۸۵ تا ۹۵ روز پس از سبز شدن به حداکثر خود رسید و پس از آن روند رشد کاهشی شد (شکل‌های ۵ ج و د). این موضوع نشان‌دهنده تأثیر مستقیم شرایط تنش‌های محیطی بر سرعت رشد و کوتاه شدن روند رشد گیاه و در نتیجه کاهش

به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سرعت رشد محصول با شاخص سطح برگ مشاهده شد که نشانگر هم‌روندی این صفات در تولید ماده خشک کل است (Soleymani, 2017).

استفاده حداکثری از شرایط محیطی نسبت شرایط نرمال را به دنبال داشت. شاخص سطح برگ نقش اصلی را در تعیین سرعت رشد محصول داشته است. نتایج یک آزمایش حاکی از آنست که با افزایش شدت تنش خشکی حداکثر سرعت رشد محصول



شکل ۴- روند تغییرات سرعت رشد نسبی نسبت به روز پس از سبز شدن در:

- (الف) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر
- (ب) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر
- (ج) محیط شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر
- (د) محیط شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر

Figure 4- The trend of Relative growth rate changes (RGR) in day after emergence in:

- (a) Non-saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level
- (b) Non-saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level
- (c) saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level
- (d) saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶). نتایج حاکی از آن است که محیط‌های غیر شور و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک‌اسید موجب افزایش ۶۴ درصدی میزان کلروفیل a گردید.

در آزمایش حاضر شوری با اثر بر روی کلروپلاست و تغییر ساختمان کلروپلاست باعث کاهش تجمع کلروفیل در محیط شور شد. لذا محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد با توجه به اثرات هرکدام به علت تعدیل در کاهش مقدار رنگیزه‌های

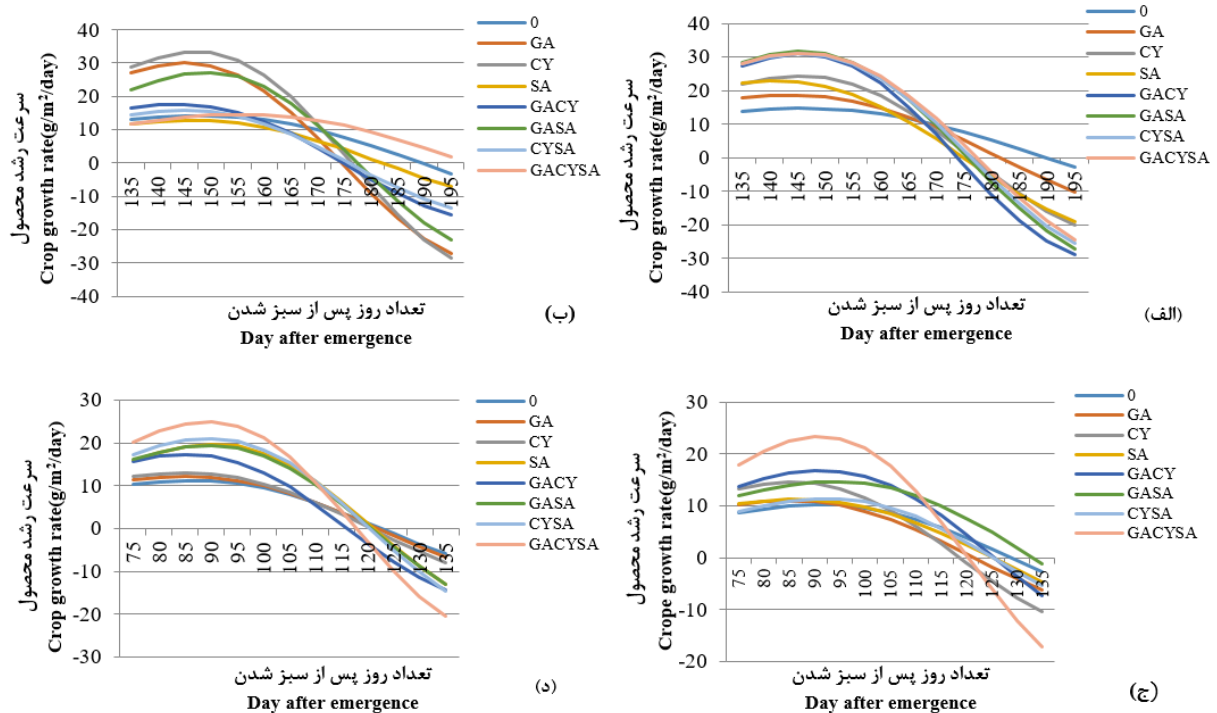
## میزان کلروفیل a

اثر متقابل محیط × تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سطوح آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل a در محیط عدم شوری و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک‌اسید به میزان ۱/۶۲ میلی گرم بر گرم حاصل شد که با سایر تیمارهای محلول پاشی و عدم محلول پاشی اختلاف

نشان‌دهنده هم‌روندی بین این صفات می‌باشد (جدول ۹). کاهش فتوسنتز بر روی غلات می‌تواند به دلیل واکنش‌های متفاوت تجمع کلروفیل و یا تغییرات ساختمان کلروپلاست در شرایط تنش شوری باشد (Fallah, 2013).

فتوسنتزی و احتمالاً با حفظ ساختار و فعالیت روبیسکو باعث افزایش مقدار قندها و عملکرد دانه شد.

در تأیید مطالب مذکور، در نتایج همبستگی صفات نیز مشاهده می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان کلروفیل a و عملکرد دانه ( $r = 0.740^{**}$ ) وجود داشت که



شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد محصول نسبت به روز پس از سبز شدن در:

(الف) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر

(ب) محیط غیر شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر

(ج) محیط شور و آبیاری با سطح ۹۰ میلی متر تبخیر

(د) محیط شور و آبیاری با سطح ۱۲۰ میلی متر تبخیر

Figure 5- The trend of Crop growth rate changes (CGR) in day after emergence in:

(a) Non-saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level

(b) Non-saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

(c) saline environment and irrigation with 90 mm evaporation level

(d) saline environment and irrigation with 120 mm evaporation level

محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد موجب افزایش ۶۴ درصدی میزان کلروفیل a گردید. محلول پاشی سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزکننده کلروفیل a و b، میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را به ترتیب ۳۲، ۳۴، ۱۵، ۱۴ درصد افزایش داده است که این افزایش ارتباط مثبتی با عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی داشته است (Rezabeigi et al., 2021)

بیش‌ترین میزان کلروفیل a در شرایط سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشیت کلاس A و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک‌اسید به میزان ۱/۶۴ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد که اختلاف آن با سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و سایر تیمارهای محلول پاشی و عدم محلول پاشی معنی‌دار بود. (جدول ۷). نتایج حاکی از آن است که اثر متقابل سطوح آبیاری ×

Table 8- The results of mean comparisons interaction effect of environment × irrigation levels × growth regulators on physiological traits

تیمار	شاخص سطح برگ	ماده خشک کل	کلروفیل a	کلروفیل b	عملکرد دانه		
Treatment	Leaf area index	Total dry mater (g/m <sup>2</sup> )	Chlorophyll a (mg/g)	Chlorophyll b (mg/g)	Grain yield (kg/ha)		
90	Control	2.32 <sup>fg</sup>	1090.00 <sup>def</sup>	0.98 <sup>ij</sup>	0.84 <sup>i</sup>	7258.33 <sup>ef</sup>	
	GA	2.55 <sup>cd</sup>	1130.67 <sup>def</sup>	1.18 <sup>h</sup>	1.00 <sup>h</sup>	8743 <sup>ab</sup>	
	CY	2.49 <sup>de</sup>	1230.67 <sup>cde</sup>	1.42 <sup>de</sup>	1.30 <sup>c</sup>	8316 <sup>abc</sup>	
	SA	2.62 <sup>bcd</sup>	1336.67 <sup>cd</sup>	1.24 <sup>gh</sup>	1.11 <sup>fg</sup>	8154 <sup>bcd</sup>	
	GACY	2.67 <sup>bc</sup>	1390.00 <sup>bc</sup>	1.76 <sup>b</sup>	1.64 <sup>b</sup>	8979 <sup>a</sup>	
	GASA	2.96 <sup>a</sup>	1624.67 <sup>ab</sup>	1.57 <sup>c</sup>	1.06 <sup>gh</sup>	8825 <sup>ab</sup>	
	CYSA	2.71 <sup>b</sup>	1627.33 <sup>ab</sup>	1.78 <sup>ab</sup>	1.66 <sup>b</sup>	8653.33 <sup>ab</sup>	
	GACYSA	2.91 <sup>a</sup>	1651.33 <sup>a</sup>	1.85 <sup>a</sup>	1.76 <sup>a</sup>	8925.33 <sup>ab</sup>	
محیط غیر شور Non salty environment	Control	1.61 <sup>no</sup>	1044.00 <sup>efg</sup>	0.76 <sup>m</sup>	0.57 <sup>mn</sup>	5715 <sup>klm</sup>	
	GA	2.06 <sup>hi</sup>	1101.33 <sup>def</sup>	0.78 <sup>klm</sup>	0.63 <sup>lm</sup>	7304 <sup>ef</sup>	
	CY	2.02 <sup>ij</sup>	1190.00 <sup>cde</sup>	1.00 <sup>ij</sup>	0.85 <sup>i</sup>	7056.67 <sup>efg</sup>	
	SA	2.18 <sup>gh</sup>	1401.33 <sup>abc</sup>	0.77 <sup>klm</sup>	0.70 <sup>jkl</sup>	6865 <sup>efgh</sup>	
	120	GACY	2.26 <sup>fg</sup>	1211.33 <sup>cde</sup>	1.29 <sup>fg</sup>	1.13 <sup>efg</sup>	7557.33 <sup>de</sup>
	GASA	2.35 <sup>ef</sup>	1600.00 <sup>ab</sup>	1.06 <sup>i</sup>	0.52 <sup>n</sup>	7049.33 <sup>efg</sup>	
	CYSA	2.28 <sup>fg</sup>	1620.67 <sup>ab</sup>	1.3 <sup>fg</sup>	0.67 <sup>kl</sup>	7550 <sup>cde</sup>	
	GACYSA	2.29 <sup>fg</sup>	1631.33 <sup>ab</sup>	1.39 <sup>de</sup>	0.73 <sup>jk</sup>	7546 <sup>cde</sup>	
	Control	1.41 <sup>p</sup>	743.33 <sup>ij</sup>	0.73 <sup>m</sup>	0.66 <sup>kl</sup>	4685.67 <sup>n</sup>	
	GA	1.75 <sup>mn</sup>	780.67 <sup>hij</sup>	0.82 <sup>kl</sup>	0.7 <sup>kl</sup>	5964 <sup>ijk</sup>	
90	CY	1.84 <sup>klm</sup>	790.00 <sup>hij</sup>	0.96 <sup>j</sup>	0.87 <sup>i</sup>	6172.33 <sup>hijk</sup>	
	SA	1.8 <sup>klm</sup>	1075.33 <sup>def</sup>	0.84 <sup>kl</sup>	0.76 <sup>j</sup>	5866.67 <sup>jkl</sup>	
	GACY	1.91 <sup>ijklm</sup>	886.67 <sup>ghij</sup>	1.29 <sup>fg</sup>	1.19 <sup>def</sup>	6536.33 <sup>ghij</sup>	
	GASA	1.86 <sup>ijklm</sup>	1024.67 <sup>efgh</sup>	1.00 <sup>ij</sup>	0.86 <sup>i</sup>	6737.33 <sup>efghi</sup>	
	CYSA	1.93 <sup>ijkl</sup>	1150.00 <sup>cde</sup>	1.35 <sup>ef</sup>	1.18 <sup>def</sup>	6343 <sup>ghijk</sup>	
	GACYSA	1.95 <sup>ijkl</sup>	1222.67 <sup>cde</sup>	1.43 <sup>d</sup>	1.20 <sup>de</sup>	6536 <sup>ghij</sup>	
	محیط شور Salinity environment	Control	1.49 <sup>op</sup>	686.67 <sup>j</sup>	0.41 <sup>o</sup>	0.30 <sup>p</sup>	3738.33 <sup>o</sup>
		GA	1.52 <sup>op</sup>	697.33 <sup>j</sup>	0.48 <sup>n</sup>	0.36 <sup>op</sup>	5030.67 <sup>mn</sup>
CY		1.77 <sup>lm</sup>	785.33 <sup>hij</sup>	0.52 <sup>n</sup>	0.42 <sup>o</sup>	4611.67 <sup>n</sup>	
SA		1.56 <sup>op</sup>	720.00 <sup>ij</sup>	0.39 <sup>o</sup>	0.34 <sup>op</sup>	4441.33 <sup>no</sup>	
120		GACY	1.8 <sup>klm</sup>	966.00 <sup>efghi</sup>	0.78 <sup>klm</sup>	0.65 <sup>kl</sup>	5090.67 <sup>mn</sup>
GASA		1.8 <sup>klm</sup>	823.33 <sup>ghij</sup>	0.49 <sup>n</sup>	0.52 <sup>n</sup>	5074 <sup>mn</sup>	
CYSA		1.75 <sup>mn</sup>	1083.33 <sup>def</sup>	0.84 <sup>kl</sup>	0.67 <sup>kl</sup>	4906.33 <sup>n</sup>	
GACYSA		1.82 <sup>klm</sup>	1105.33 <sup>def</sup>	0.85 <sup>k</sup>	0.73 <sup>jk</sup>	5138.33 <sup>lmn</sup>	

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک‌اسید به میزان ۱/۵ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد که با سایر تیمارهای محلول پاشی و عدم محلول پاشی اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶). نتایج حاکی از آن است که

## میزان کلروفیل b

اثر متقابل محیط × تنظیم‌کننده رشد و سطوح آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل b در محیط عدم شوری و

عملکرد دانه شش (Sarafraz-Ardakani *et al.*, 2017). محلول پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزکننده کلروفیل a و b میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را به ترتیب ۱۵، ۱۴، ۳۴، ۳۲ درصد افزایش داده که این افزایش ارتباط مثبتی با عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی داشته است (Rezabeigi *et al.*, 2021).

### عملکرد دانه

اثر متقابل محیط × سطوح آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در شرایط عدم شوری و سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتت کلاس A به میزان ۸۴۸۱/۷۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که اختلاف آن با محیط شور و آبیاری در سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر معنی دار بود (جدول ۵) و (شکل ۶). نتایج حاکی از آن است که اثر متقابل محیط × سطوح آبیاری موجب افزایش ۴۳ درصدی عملکرد دانه گردید. تنش آبی عملکرد دانه را کاهش می‌دهد که این کاهش به علت اثرات منفی این تنش بر سطح برگ، فتوسنتز پوشش گیاهی، سرعت رشد محصول و اجزای مختلف عملکرد می‌باشد (Jaberi *et al.*, 2015; Farooq *et al.*, 2016).

شوری و خشکی از جمله تنش‌های مهم و تأثیرگذار در عملکرد دانه است که با اثر بر روی سطح برگ و کاهش فتوسنتز، عملکرد نهایی را به شدت کاهش می‌دهد. کمیت و کیفیت دانه مهم‌ترین عامل در ارزیابی عملکرد گیاه به حساب می‌آید. عملکرد دانه در اکثر گیاهان زراعی حاصل فاکتورهای محیطی و ژنتیکی می‌باشد.

فاکتورهای محیطی از قبیل کیفیت آب، خاک و تنش‌های محیطی به شدت عملکرد نهایی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. در گیاه گندم ارتباط مستقیمی بین اندام‌های مختلف رویشی و زایشی از قبیل منبع و مقصد وجود دارد. بدست آوردن عملکرد مناسب حاصل رشد مناسب در اندام‌های سبزینه‌ای از جمله برگ‌ها، ساقه‌ها، پدانکل و سایر قسمت‌ها می‌باشد. قرار گرفتن این مراحل رشدی در شرایط مناسب تضمین کننده عملکرد اقتصادی و بهبود کیفیت در مخزن گیاه گندم بود. در آزمایش حاضر نیز در تأیید مطالب مذکور، در نتایج همبستگی

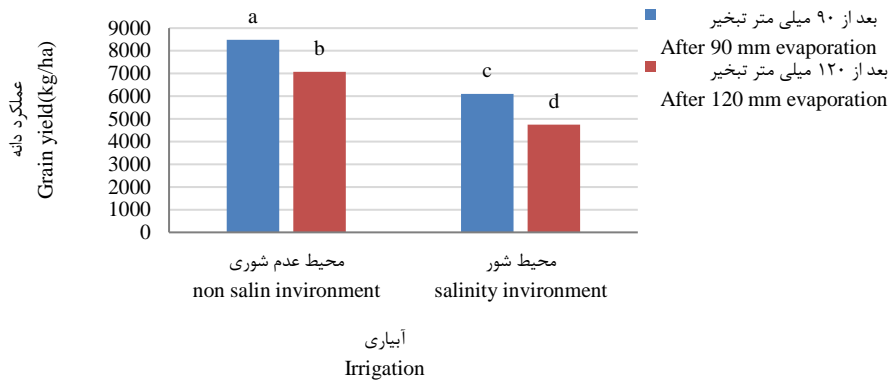
محیط‌های غیر شور و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک اسید موجب افزایش ۶۸ درصدی میزان کلروفیل b گردید.

محققان نشان دادند که با افزایش میزان شوری، مقادیر کلروفیل‌های a و b در گیاه کلزا کاهش معنی داری یافت که میزان کاهش کلروفیل b در تمامی تیمارها بیش‌تر از کلروفیل a بود (Eghbal *et al.*, 2013). که این گزارش با نتایج حاضر در این آزمایش مطابقت دارد. عکس‌العمل کلروفیل b در محیط و سطوح مختلف آبیاری نیز همانند کلروفیل a بود. تنش‌های مختلف شوری و خشکی با اثر بر ساختمان کلروپلاست باعث کاهش کلروفیل b شد. اما محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش شوری و آبی باعث تعدیل اثرات منفی شده و در نهایت افزایش عملکرد گیاه را به دنبال داشت. در تأیید مطالب مذکور، در نتایج همبستگی صفات نیز مشاهده می‌شود که همبستگی مثبت و معنی داری بین میزان کلروفیل b و عملکرد دانه ( $r = 0.735^{**}$ ) وجود داشت که نشان‌دهنده هم‌روندی بین این صفات می‌باشد (جدول ۹).

اثر متقابل سطوح آبیاری × محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل b در شرایط سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتت کلاس A و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک اسید + سیتوکینین + سالیسیلیک اسید به میزان ۱/۴۸ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد که اختلاف آن با سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و سایر تیمارهای محلول پاشی و عدم محلول پاشی معنی دار بود (جدول ۷). نتایج حاکی از آن است که اثر متقابل سطوح آبیاری × محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد موجب افزایش ۷۰ درصدی میزان کلروفیل b گردید. طی یک آزمایش نیز عنوان شد که جیبرلیک اسید، میزان کلروفیل‌های a, b و سرعت فتوسنتزی را تحریک کرده، شکل و ساختمان پلاستیدها را تغییر می‌دهد و همچنین این ماده می‌تواند میزان فعالیت آنزیم روبیسکو را در شرایط آزمایشگاهی تغییر دهد (Nazarbeigi *et al.*, 2014). پاشش سیتوکینین با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام در کنار آبسیزیک اسید در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار فاقد تنش باعث اختلاف معنی دار در شاخص‌های کلروفیل فلورسانس، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، وزن هزاردانه و

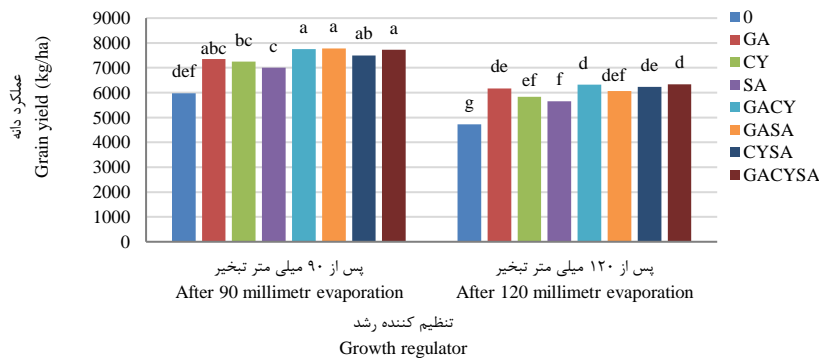
کلروفیل، افزایش تولید کربوهیدرات و تنظیم اسمزی در دو رقم گندم متحمل (پیشگام) و حساس (MV-17) طی کاربرد خارجی غلظت ۱۵۰ میکرومولار کینتین (اسپری کردن) در مرحله بروز تنش در شرایط مزرعه طی مرحله پر شدن دانه مشاهده شده است (Sarafraz-Ardakani *et al.*, 2014).

صفات نیز مشاهده می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان عملکرد دانه و صفات شاخص سطح برگ ( $r = 0.743^{**}$ ) و ماده خشک کل ( $r = 0.803^{**}$ ) وجود داشت که نشان‌دهنده هم‌روندی بین این صفات می‌باشد (جدول ۹). افزایش نرخ فتوسنتز و عملکرد دانه از طریق تنظیم محتوای



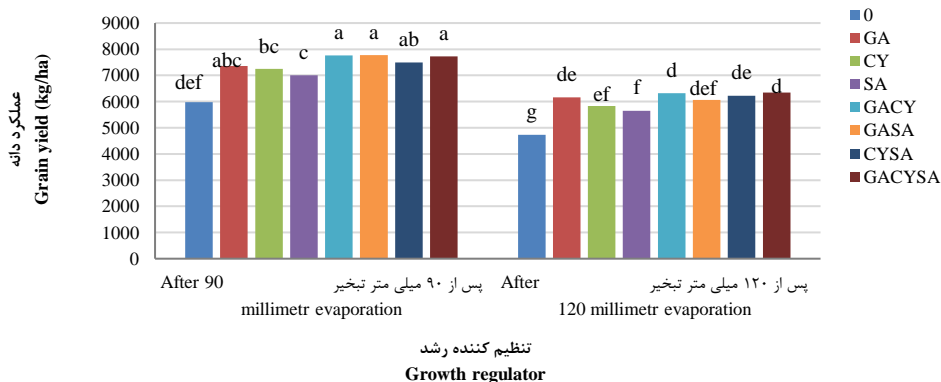
شکل ۶- اثر متقابل محیط و سطوح آبیاری روی عملکرد دانه

Figure 6- The interaction effect of environment and irrigation levels on grain yield



شکل ۷- اثر متقابل محیط و تنظیم‌کننده‌های رشد روی عملکرد دانه

Figure 7- The interaction effect of environment and growth regulators on grain yield



شکل ۸- اثر متقابل سطوح آبیاری و تنظیم‌کننده‌های رشد روی عملکرد دانه

Figure 8- The interaction effect of irrigation levels and Growth regulators on grain yield

جدول ۹- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده

Table 9- Correlation between measured traits

	LAI	TDM	CHLa	CHLb	GY
شاخص سطح برگ	1				
LAI					
ماده خشک کل	0.786**	1			
TDM					
کلروفیل a	0.805**	0.805**	1		
CHLa					
کلروفیل b	0.761**	0.766**	0.964**	1	
CHL b					
عملکرد دانه	0.803**	0.743**	0.740**	0.735**	1
GY					

\*، \*\* و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری

\*، \*\* and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

## نتیجه‌گیری کلی

سالیسیلیک‌اسید) با غلظت توصیه شده ۱۰۰ پی‌پی‌ام با توجه به اثرات تخصصی هر کدام به صورت پاششی در دو مرحله: ۱- برجستگی دوگانه (Double ridge)، ۲- مرحله سنبلیچه انتهایی یا طولیل شدن ساقه (Terminal spikelet) می‌تواند به خوبی عملکرد گیاه را در اکثر صفات بخصوص در شرایط تنش شوری و آبی افزایش دهد. با توجه به تأثیرات بسیار زیادی که تنظیم‌کننده‌های رشد بر روی عملکرد و کیفیت و ثبات تولید محصول دارند می‌بایست به آنها توجه بیشتری کرد. با توجه به نتایج می‌توان سه توصیه کاربردی را بیان کرد که این توصیه‌ها عمدتاً برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری کلی می‌باشد. ۱- نگرش سیستم به آنها به عنوان یک کالای لوکس و غیر استراتژیک تغییر کند. ۲- توصیه می‌شود تحقیقات بیشتری در خصوص مصادیق کاربردی تنظیم‌کننده‌ها رشد گیاهی در کشور انجام شود. ۳- آموزش و ترویج کشاورزان و تبیین اهمیت و سودمندی تنظیم‌کننده‌های رشد برای تمامی گیاهان اعم از زراعت و باغبانی مخصوصاً در شرایط تنش‌های محیطی.

## تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچگونه تعارض منافی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

در پژوهش حاضر شاخص سطح برگ مطلوب از جمله عوامل مؤثر در عملکرد دانه بود. شاخص سطح برگ بیش‌تر با افزایش فعالیت فتوسنتزی موجب تجمع بیش‌تر هیدرات‌های کربن و تجمع ماده خشک گردید. تولید مواد فتوسنتزی بیش‌تر باعث افزایش سرعت رشد گیاه شد. با افزایش رشد گیاه در مراحل پایانی به علت کاهش نسبت اندام‌های فتوسنتزکننده به اندام‌های غیرفتوسنتزکننده و با سایه‌اندازی اندام‌های بالایی بر روی لندام پایینی و کاهش توان فتوسنتزی در واحد سطح، میزان سطح برگ، ماده خشک، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی محصول کاهش یافت. کاهش ماده خشک اندام‌های هوایی و شاخص سطح برگ در اواخر فصل رشد احتمالاً به دلیل ریزش برگ‌ها و منفی شدن اسیمیلایون خالص می‌باشد. سرعت رشد نسبی با تغییرات وضعیت فتوسنتز و تنفس گیاه تغییر می‌یابد و به همین دلیل با گذشت زمان، رشد گیاه با افزایش مقدار تنفس در اواخر دوره رشد، منفی می‌گردد. لذا توسعه مطلوب سطح برگ، تجمع ماده خشک و رشد گیاه منوط به قرار گرفتن آن در شرایط بدون تنش از جمله شوری و آبی است که در کنار این موضوع استفاده از تیمار ترکیبی سه تنظیم‌کننده رشد (جیبرلیک‌اسید + سیتوکینین +

## References

- Ahmadi, J., Khatibi, M., Amirshakari, H., and Aminidhaghi, M., 2013. Evaluation of effective morpho-physiological indicators on the performance of spring wheat cultivars using multivariate statistical methods. *Journal of Agriculture Science*, 4(4), pp.55-66. [In Persian].

- Dehghanzadeh, H., 2019. Evaluation of some physiological growth indices effective on growth and grain yield of three wheat cultivars under drought stress. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(2), pp.365-375. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1394.1300>
- Eghbal, M., and Ashraf, M., 2013. Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environmental and Experimental Botany*, 86, pp.76-85. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.06.002>
- Fallah, A., 2013. The final report of the research project on some physiological mechanisms related to salinity stress in rice cultivars. *Journal of Publications of the Country's Rice Research Institute*. [In Persian].
- FAO., 2018. FAO. Soils portal, salt-affected soils. FAO/AGL Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/soilsportal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affectedsoils/en/>
- Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S.S., and Siddique, K.H.M., 2016. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(2), 81-102. <https://doi.org/10.1111/jac.12169>
- Fathi, R., Reza, T., and Farzad, F., 2011. Characterization of Iranian landrace wheat accessions by inter simple sequence repeat (ISSR) markers. *Journal of Applied Environment Biological Science*, 1, pp.432-436. <https://doi.org/10.22067/gsc.v14i4.48516>
- Hashemi, S.A., Imam, Y., and Pirasteh Anousheh, H., 2015. Effect of time and method of salicylic acid application on growth process, yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress. *Crop Physiology*, 6(24), pp.5-18. [In Persian].
- Jaberi, H., Lotfi, B., Jamshidnia, T., Fathi, A., Olad, R., and Abdollahi, A., 2015. Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phenological stages. *Scientia*, 12(3), pp.144-148. <https://doi.org/10.15192/pscp.sa.2015.12.3.144148>
- Kinga, M., Idzi, S., Roman, K., Jolanta, K., and Roman, K., 2020. Effect of foliar applied acetylsalicylic acid on wheat (*Triticum aestivum* L.) under field conditions. *Agronomy*, 10(12), pp.1-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121918>
- Koppen, W., 1636. Das geographische system der Klimate. In W. Koppen and R. Geger (Eds.), *Handbuch der Klimatologie* (pp.1-44). Gebruder Borntraeger.
- Mosaffa, H.R., and Sepaskhah, A.R., 2019. Performance of irrigation regimes and water salinity on winter wheat as influenced by planting methods. *Agricultural Water Management*, 216, pp.444-456. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.027>
- Muhammad, Z.I., Fathy, S.E., and Saleh, M.I., 2016. Wheat phenological development and growth studies as affected by drought and late season high temperature stress under arid environment. *Frontiers in Plant Science*, pp.1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00795>
- Nazarbeigi, A., Falahi, H.A., Naseri, R., Mirzaei, A., and Rashidpour, M., 2014. Effect of different concentrations of salt (NaCl), salicylic acid (SA) and gibberellic acid (GA3) on proline content and a, b chlorophylls of two

- cultivars of canola (Hayola 401 and RGS). *Journal of Plant Ecophysiology Applied Research*, 1(2), pp.25-37. [In Persian].
- Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y., 2017. Induced salinity tolerance and altered ion storage factor in *Hordeum vulgare* plants upon salicylic-acid priming. *Iran Agricultural Research*, 36(1), pp.41-84. [In Persian].
- Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y., 2019. The role of plant growth regulators in enhancing crop yield under saline conditions: From theory to practice. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(3), pp.188-209. <https://doi.org/10.29252/abj.21.3.188>
- Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., and Sepaskhah, A.R., 2015. Improving barley performance by proper foliar applied salicylic-acid under saline conditions. *International Journal of Plant Production*, 9(3), pp.467-486. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2015.2226>
- Quamruzzaman, M.D., Nuruzzaman Manik, S.M., Shabala, S., and Zhou, M., 2021. Improving performance of salt-grown crops by exogenous application of plant growth regulators. *Biomolecules*, 6(11), pp.788. <https://doi.org/10.3390/biom11060788>
- Rahimi, A., Bihamta, M.R., and Khodarahmi, M., 2017. Evaluation of different characteristics of wheat genotypes under drought stress using multivariate statistical. *Journal of Crop Breeding*, 9(21), pp.147-152. <https://doi.org/10.29252/jcb.9.21.147>
- Ren, D., Xu, X., Hao, Y., and Huang, G., 2016. Modeling and assessing field irrigation water use in a canal system of Hetao, upper Yellow River basin: Application to maize, sunflower and watermelon. *Journal of Hydrology*, 532, pp.122-139. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.040>
- Rezabeigi, S., Bijanzadeh, A., and Behpuri, A., 2021. The effect of foliar application of salicylic acid on photosynthetic pigments, enzyme activity and yield of pasta wheat (*Triticum durum* L.) under drought stress conditions. *Plant Process and Function*, 9(35), pp.243-258.
- Sarafraz Ardakani, M.R., Khavarinejad, R.A., Moradi, F., and Najafi, F., 2017. Photosynthetic efficiency and grain yield of two varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) during drought stress under external application of cytokinin and abscisic acid treatments. *Environmental Stress in Agricultural Sciences*, 11(3), pp.503-514. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.431.1081>
- Soleymani, A., 2017. Effect of drought stress on some physiological growth indices of sunflower cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(4), pp.505-519. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.108.1028>
- Veselov, D.S., Kudoyarova, G.R., Kudryakova, N.V., and Kusnetsov, V.V., 2017. Role of cytokinins in stress resistance of plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 64(1), pp.15-27. <https://doi.org/10.1134/s1021443717010162>

# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropsceince.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 397-410

### Effects of planting method, deficit irrigation, mulching and nitrogen on weed populations and root impurities of sugar beet

Karim Rahmani <sup>a</sup>, Masoomeh Delbari <sup>\*b</sup>, Peyman Afrasiab <sup>b</sup>, Fariborz Abbasi <sup>c</sup>, Vali Allah Yusufabadi <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Ph.D Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>b</sup> Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>c</sup> Agricultural Engineering and Technical Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

<sup>d</sup> Seed Breeding and Preparation Research Institute, Karaj, Iran

\*Corresponding Author: mas\_delbari@yahoo.com

Received: 1 February 2023 Accepted: 10 October 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.379755.1310

#### How to cite this article:

Rahmani, K., Delbari, M., Afrasiab, P., Abbasi, F., and Yusufabadi, V. A. 2025. Effects of planting method, deficit irrigation, mulching and nitrogen on weed populations and root impurities of sugar beet. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 397-410. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2023.379755.1310>

#### Abstract

**Introduction:** The occurrence of continuous drought and water crises in arid and semi-arid regions of Iran, including the Lake Urmia catchment area, has necessitated changes in the agricultural system to cope with the water scarcity. Any modification in the agricultural system can impact all the ecosystem components, including weeds. Weeds grow at the same time as sugar beet and accompany it during its growth period. Sugar beet is one of the crops that suffer the most damage from the presence of weeds in the fields. Weeds can significantly reduce sugar beet yield and efficiency. Nitrogen fertilizer can be an effective way to decompose plant residues. Therefore, the aim of this study is to investigate the effects of cultivation arrangement, planting method, irrigation regime, and nitrogen fertilizer with and without mulch in tape irrigation on weed populations and different elements of sugar beet roots in the catchment area of Lake Urmia, which has the largest area under sugar beet cultivation in Iran.

**Materials and Methods:** The study area is located 7 km south of Bukan city, which is part of the catchment area of Lake Urmia. The experiment was conducted during the 2018-2019 cropping seasons as a factorial design based on a randomized complete block with three replicates. The first factor was the use or non-use of mulch, and the second factor included different types of tape arrangements and cultivation rows (50x50, 40x50, 40x60, 50x50x50), different cultivation techniques (seedling planting and an arrangement of direct seeding (50x50x50)), irrigation regimes (75% and 100% full coverage irrigation in the 40x50 arrangement), and the use of nitrogen fertilizer (at three levels in the 40x50 arrangement). At the end of the growth period, the crops from each plot were harvested and screened. After washing, 150 grams of root pulp were prepared, frozen, and sent to the laboratory to determine some quality characteristics. Weed control in seed cultivation was carried out in two stages during the growth period and in both years, with the first stage taking place 45 days after planting, simultaneously with planting, and the second stage 30 days after planting by hand weeding. The first round of manual weeding of weeds in the plantation was done at the same time.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**Results and Discussion:** The results indicate that mulch did not have a significant effect on weed populations at a 5% level of significance. However, the planting method, either direct sowing or seedling transplantation, had a significant effect on weed populations at a 5% level of significance in both years. The average number of weeds in seed cultivation was 55% higher in the first year and 54% higher in the second year compared to seedling cultivation, even though seed cultivation was performed 45 days later than the area cultivation time. The amount of Alpha-Amino-Nitrogen and sodium in sugar beet roots was 2.1 and 2.5 times higher in seed culture in the first year, and 2.1 and 3 times higher in the second year, respectively. In the case of 25% reduced irrigation, the average Alpha-Amino-Nitrogen and sodium in sugar beet roots increased by 8.6% and 39% in the first year and 8.5% and 35% in the second year, respectively, compared to full irrigation.

**Conclusion:** Considering the environmental and economic benefits of reducing weeds in sugar beet cultivation, using the two-row arrangement method (40x50, 40x60, and 50x50) is recommended as an effective alternative to direct sowing. This method was found to significantly reduce weed populations compared to direct sowing, leading to reduced use of harmful pesticides and lower labor costs in organic production. Additionally, the two-row arrangement method may offer other benefits such as improved water and nutrient management, although it may require more precise planting and irrigation practices. Further research could investigate the potential drawbacks and benefits of this method in different soil and climate conditions.

**Keywords:** Alpha-Amino-Nitrogen, Direct sowing, Plant residues, Seedling transplantation

## اثرات روش کشت، کم آبیاری، مالچ و کود نیتروژن بر جمعیت علف هرز و ناخالصی‌های ریشه چغندر قند

کریم رحمانی<sup>۱</sup>، معصومه دلبری<sup>۲\*</sup>، پیمان افراسیاب<sup>۲</sup>، فریبرز عباسی<sup>۲</sup>، ولی الله یوسف آبادی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، کرج، ایران

\* مسئول مکاتبه: masoomeh.delbari@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.379755.1310

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲

### چکیده

در این پژوهش اثرات آرایش و روش کشت، مالچ، رژیم آبیاری و کود نیتروژن در آبیاری نواری تیپ بر جمعیت علف هرز و عناصر ریشه چغندر قند بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی دو فصل زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد. عامل اول شامل کاربرد یا عدم کاربرد مالچ و عامل دوم شامل دو روش کشت (نشائی و بذری)، چهار آرایش کشت نشائی، دو رژیم آبیاری و سه سطح کود نیتروژن بود. براساس نتایج، اثر روش کشت بر جمعیت علف هرز در سطح پنج درصد در هر دو سال معنی‌دار بود. میانگین جمعیت علف هرز در آرایش تک ردیفه (۵۰\*۵۰\*۵۰) در سال اول و دوم به ترتیب ۸۶ و ۷۷ درصد نسبت به میانگین آرایش‌های دو ردیفه (۵۰\*۴۰، ۴۰\*۶۰ و ۵۰\*۵۰) بیشتر بود. اثر مالچ در کشت نشائی و بذری و رژیم آبیاری و کود نیتروژن در کشت نشائی بر جمعیت علف هرز در هر دو سال معنی‌دار نبود. جمعیت علف هرز در تیمار مالچ‌دار در سال اول و دوم به ترتیب ۱۱ و ۶ درصد بیشتر از تیمار بدون مالچ بود. اثر روش کشت بر مقدار نیتروژن مضره و سدیم ریشه چغندر قند در هر دو سال در سطح پنج درصد، معنی‌دار بود. با افزایش مقدار کود نیتروژن، نیتروژن مضره، سدیم، پتاسیم و ملاس در ریشه چغندر قند در هر دو سال افزایش یافت. بنابراین با تغییر روش کشت از بذری به نشائی و آرایش کشت می‌توان جمعیت علف هرز را بیش از ۵۰ درصد کاهش داد.

**واژه‌های کلیدی:** بقایای گیاهی، کشت بذری، کشت نشائی، نیتروژن مضره

### مقدمه

۹۰ درصد موجب کاهش عملکرد چغندر قند شوند. این درحالی است که وقتی مزرعه چغندر قند تا مرحله ۲ برگ‌ی عاری از علف هرز نگه داشته شود، میزان کاهش ناشی از جوانه‌زنی علف‌های هرزی که بعد از این دوره جوانه می‌زنند به ۲۵ درصد و در زمانی که مزرعه چغندر قند تا مرحله ۶ تا ۸ برگ‌ی عاری از علف هرز نگه داشته شود، میزان خسارت به زیر ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. در واقع عملکرد کامل چغندر قند زمانی حاصل خواهد شد که مزرعه تا ۱۰ هفته پس از کاشت (۸ تا ۱۰ برگ‌ی چغندر قند) از وجود علف‌های هرز پاکسازی شود (Draycott, 2006).

تغییر در آرایش نوار تیپ و ردیف کشت، روش کشت، مالچ‌پاشی و سطح خیس شده مزرعه، بانک بذر علف‌های هرز و سرعت توسعه جمعیت آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی عملکرد شکر در چغندر قند تحت تأثیر عوامل گوناگونی نظیر

بروز خشک‌سالی‌های مستمر و بحران آب در مناطق خشک و نیمه خشک ایران از جمله حوضه آبریز دریاچه ارومیه باعث تغییر نظام کشاورزی برای مقابله با بحران آب خواهد شد. اما هرگونه تغییر در نظام کشاورزی، تأثیر بر تمامی اجزای بوم نظام از جمله علف‌های هرز خواهد داشت (Ahmadi et al., 2015). یکی از گیاهانی که بیشترین خسارت را از وجود علف‌های هرز در مزارع می‌بیند، چغندر قند است. کم شدن میزان محصول چغندر قند و راندمان آن از مهمترین خسارات علف‌های هرز به این گیاه صنعتی است. مشکل علف‌های هرز برخلاف حشرات، بیماری‌ها و نماتدها به حدی است که در صورت عدم مبارزه با آنها زراعت چغندر قند را از بین خواهد برد (Sahabi et al., 2010). علف‌های هرزی که همزمان با چغندر قند جوانه زده و در طول دوره رشد این گیاه را همراهی می‌کنند، می‌توانند تا

تداخل کامل علف‌های هرز با محصول چغندر قند، ۵۷ درصد کاهش در عملکرد ریشه و ۸۴ درصد کاهش در عملکرد قند ناخالص گزارش شد (Bandegi et al., 2014). بازده بالای سرمایه‌گذاری در مدیریت علف‌های هرز اهمیت ادامه تحقیقات علم علف‌های هرز را برای حفظ عملکرد بالای محصول و سودآوری تولید چغندر قند برجسته می‌کند (Soltani et al., 2018).

اندازه‌گیری درصد قند و عناصر سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره موجود در ریشه برای پیش‌بینی میزان قند قابل استحصال لازم است (Sheikholeslami, 1997). آزمایش مزرعه‌ای به منظور ارزیابی تأثیر سطوح آبیاری و روش‌های کاشت در مزرعه خردل انجام شد. در بین روش‌های مختلف کاشت و مالچ پاشی، کاشت بذر در بستر همراه با مالچ کاه برنج به میزان ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار میزان عملکرد، جذب مواد مغذی، کیفیت روغن و بهره‌وری آب را به طور معنی‌داری بیشتر از کاشت در بستر بدون مالچ نشان داد. همچنین بهره‌وری آب با افزایش سطوح آبیاری کاهش یافت (Singh et al., 2021). به منظور ارزیابی عملکرد و پایداری چهار رقم بوته چغندر قند با سه تاریخ کاشت (یکم شهریور، یکم مهر و یکم آبان) با چهار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که تاریخ‌های مختلف کاشت بر تمامی صفات چغندر قند اثر معنی‌داری دارد. کاشت بوته چغندر قند در اول مهرماه به طور معنی‌داری بالاترین عملکرد ریشه و شکر و همچنین صفات کیفی همراه بود (Gobarah et al., 2019). در تحقیقی تأثیر مصرف مقادیر مختلف بقایای گیاهی و کود نیتروژن را بر عملکرد اجزای عملکرد ارقام جو بررسی کردند. بالاترین میزان عملکرد دانه با مصرف ۱۰۱ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در حضور مالچ (از بین تیمارهای ۶۷، ۱۰۱ و ۳۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به دست آمد. هنگامی که بقایای گیاهی بلافاصله قبل از کاشت به خاک اضافه می‌شود، به دلیل کند شدن سرعت تجزیه بقایا، نیتروژن خاک غیرمتحرک (معدنی) می‌گردد (Sadeghi, 2009). یکی از راه‌های موثر برای تجزیه بقایای گیاهی، استفاده از کود نیتروژنی متناسب با کاربرد بقایای گیاهی است. با وجود این هنوز اطلاعات محدودی در زمینه اثر متقابل آرایش نوار تیپ، ردیف کشت و روش کاشت (نشائی و بذری) تحت رژیم‌های آبیاری و

زمان کاشت، تراکم، روش کشت، رژیم آبیاری، مدیریت زارع، کود نیتروژن، علف هرز و سایر عوامل زراعی قرار دارد. بر اساس آزمایش‌های متعدد انجام شده در موسسه تحقیقات آفات و بیماری‌های گیاهی، در صورتی که علف‌های هرز در مزارع چغندر قند کنترل نشود، می‌تواند تا حدود صد در صد به محصول خسارت وارد کند (Ahmadi et al., 2015). رشد اولیه ساقه چغندر قند نسبت به گونه‌های علف‌های هرز یکساله مانند علف‌های هرز معمولی و تاج خروس کند است. پیش‌بینی می‌شود که چغندر قند در هنگام رقابت با علف‌های هرز نسبت به سایر گونه‌های زراعی عملکرد بیشتری را از دست بدهد (Jursík et al., 2008). تأثیر علف‌های هرز بر کیفیت چغندر قند تحت شرایط محیطی متغیر است. مطالعه‌ای بر روی تأثیر کشت نشائی بر کنترل علف‌های هرز نشان داد که کشت نشائی هزینه‌های کنترل علف‌های هرز را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Khaembah and Nelson, 2016). کشت نشائی نسبت به بذری، به طور معنی‌داری میزان آلودگی چغندر قند به علف هرز را کاهش داد، به طوری که میزان آلودگی به علف هرز در روش کشت نشائی چهار برابر کمتر از روش کاشت مستقیم بود (Yousefabadi et al., 2017). تنظیم جمعیت گیاه با تغییر فاصله ردیف‌های کشت باعث کاهش رشد علف‌های هرز می‌شود (Zargar et al., 2017). کاهش فاصله بین ردیف‌های کشت توانایی رقابت محصول نسبت به علف هرز را افزایش می‌دهد و در نتیجه میزان نور خورشید موجود برای جوانه زدن و رشد علف‌های هرز را به حداقل می‌رساند (Tharp and Kells, 2001).

دو روش وجین دستی و مکانیکی مهم‌ترین تکنیک‌های غیرشیمیایی مدیریت علف‌های هرز هستند و از نظر اقتصادی نیز پایدار هستند (Tharp and Kells, 2001). آزمایش مزرعه‌ای به منظور بررسی اثر الگوهای مختلف کاشت، زمان وجین مکانیکی و کاربرد علف کش در کنترل علف‌های هرز در کشت چغندر قند انجام شد. نتایج نشان داد الگوی کاشت باعث کاهش تراکم علف‌های هرز می‌شود. بهترین نتایج در کاشت دو ردیفه در فاصله ۶۲ سانتی‌متری به دست آمد. از نظر زمان وجین، بهترین نتایج در کنترل مکانیکی علف‌های هرز در مرحله چهار برگی چغندر قند حاصل شد که بیشترین کاهش را هم در تراکم علف‌های هرز داشت (Bayat et al., 2019). در اثر

محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه انجام شد. حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران با مساحت ۵۱۷۶۲ کیلومتر مربع یکی از شش حوضه آبریز اصلی ایران است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک فراسرد و سرد می‌باشد. بر اساس میانگین دوره آماری ۱۳۹۶-۱۳۸۶ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی شهرستان بوکان، میانگین بارندگی و تبخیر سالانه منطقه به ترتیب ۳۶۱/۴ و ۱۷۹۹/۷ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه حدود ۷/۶ درجه سانتی‌گراد و حداکثر تعداد روزهای یخبندان ۱۰۰ روز در سال می‌باشد (Monthly Statistics of the National Meteorological Organization., 2018). برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ آمده است. همچنین برخی خصوصیات کیفی منبع آب آبیاری (چاه نیمه عمیق) در جدول ۲ ارائه شده است.

سطوح مختلف کود نیتروژن در حالت کاربرد یا عدم کاربرد مالچ بر عناصر مختلف ریشه چغندر قند و جمعیت علف هرز وجود دارد. بنابراین هدف اصلی از این مقاله بررسی اثرات آرایش کشت، روش کشت، رژیم آبیاری و کود نیتروژن با و بدون کاربرد مالچ در آبیاری نواری تیپ بر جمعیت علف‌های هرز و عناصر مختلف ریشه چغندر قند در حوضه آبریز دریاچه ارومیه است که بیشترین سطح زیرکشت چغندر قند را در کشور دارا می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو فصل زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در زمین‌های کشاورزی روستای بیگ بسی با طول جغرافیایی ۶۰۳۵۴۷ و عرض جغرافیایی ۴۵۳۵۵۹۳ و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۵۱ متر واقع در ۷ کیلومتری جنوب شهرستان بوکان جزء

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Soil physical and chemical properties of the experiment field

عمق شوری	اسیدیتته	Saturation	Absorbable	Absorbable	ازت کل	رس	لای	شن	بافت	جرم مخصوص
Depth	EC	pH	Percentage	potassium	Total nitrogen	Clay	Silt	Sand	Texture	Soil bulk density
(cm)	(dS/m)		(SP)%	(ppm)	(T.N) %	(%)	(%)	(%)		(g/cm <sup>3</sup> )
0-30	0.731	7.68	47	189	0.08	25	39	36	Loam	1.42
30-60	0.474	7.74	48	111	0.05	25	41	34	Loam	1.41

جدول ۲- تجزیه شیمیایی آب چاه مزرعه آزمایشی

Table 2- Chemical analysis of well water in the experiment field

کل مواد جامد محلول	اسیدیتته pH	سولفات	شوری	کلر	بی‌کربنات	سدیم	پتاسیم	کلاس	نسبت جذب سدیم
TDS		SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	EC	CL	Hco <sup>-3</sup>	Na <sup>⊕</sup>	K <sup>⊕</sup>	Class	SAR
(mg/l)		(mg/l)	(dS/m)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)
341	7.31	3	0.57	1.8	3.7	0.3	1.4	C2S1	1.4

ردیف نوار تیپ و در آرایش کشت ۵۰\*۵۰\*۵۰ برای هر ردیف کشت، از یک ردیف نوار تیپ استفاده شد. ابعاد هر کرت آزمایشی ۳\*۵ متر مربع در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌های چغندر قند روی هر ردیف کشت به‌طور مساوی حدود ۲۰ سانتی‌متر منظور گردید. برای جلوگیری از تداخل آب آبیاری تیمارهای مجاور، فاصله بین کرت‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. پس از آماده‌سازی زمین، مالچ کلش باقی مانده گندم به میزان ۲ تن در هکتار تا عمق ۳۰ سانتی‌متر به تیمارهایی که قرار است مالچ به‌کار برده شود، اضافه شد. در کاشت چغندر قند بذری از کلش‌های سال قبل در هر دو سال استفاده شد. اجرای

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اول استفاده یا عدم استفاده از مالچ و عامل دوم شامل روش‌های مختلف کشت، رژیم آبیاری و کود نیتروژن (چهار نوع آرایش نوار تیپ در کشت نشائی (۵۰\*۵۰، ۵۰\*۴۰، ۶۰\*۴۰، ۵۰\*۵۰\*۵۰)، یک آرایش نوار تیپ در کشت بذری (۵۰\*۵۰\*۵۰)، سه سطح کود نیتروژن (۱۱۲، ۱۵۰ و ۱۸۸ کیلوگرم در هکتار) در آرایش ۴۰\*۵۰ و دو سطح آبیاری (۷۵ و ۱۰۰ درصد آبیاری کامل) در آرایش ۵۰\*۴۰\*۵۰ کشت نشائی بود. در تیمارهای آرایش ۵۰\*۵۰\*۵۰، ۵۰\*۴۰ و ۶۰\*۴۰ بین دو ردیف کشت شده بر روی هر پشته، از یک

تخلیه در آبیاری‌های بعدی (معادل رطوبت حجمی ۲۲/۱۶ درصد) تعیین شد. بدین ترتیب دور آبیاری متغیر و مدت زمان آبیاری در هر دور ثابت بود. مقدار آب آبیاری در هر دور آبیاری و در کل دوره رشد گیاه چغندر قند با توجه به مدت زمان آبیاری و دبی خروجی هر قطره‌چکان و تعداد قطره‌چکان‌ها در هر تیمار یا هر هکتار بدست آمد. در تیمارهای با آرایش ۴۰\*۶۰، ۵۰\*۵۰ و ۴۰\*۵۰، مدت زمان آبیاری ۶ ساعت بود. با توجه به دو برابر بودن تعداد قطره‌چکان‌ها در تیمارهای با آرایش ۵۰\*۵۰\*۵۰ نسبت به سایر تیمارها، زمان آبیاری در این آرایش در هر دور آبیاری نصف سایر آرایش‌ها (۳ ساعت) بود. در تیمارهای کم‌آبیاری، میزان آب آبیاری به اندازه ۷۵ درصد آبیاری کامل بود که برای حصول آن، زمان آبیاری در هر نوبت معادل ۷۵ درصد زمان آبیاری کامل (۴/۵ ساعت) در نظر گرفته شد.

در هر دو سال کنترل علف‌های هرز در کشت بذری در مرحله اول ۴۵ روز پس از کاشت، همزمان با کشت نشائی و در مرحله دوم ۳۰ روز بعد از کشت نشائی با وجین دستی انجام شد (Jihad Akbar et al., 2004). در همین زمان نوبت اول وجین دستی علف‌های هرز در کشت نشائی انجام گرفت. در دوره رشد برای مبارزه با آفات، طعمه پاشی علیه آگروتیس با سم سوین و مبارزه با سرخرطومی و لیتا با سموم دیازینون یک و نیم در هزار و زولن یک و نیم در هزار برای کشت بذری و سم گالکسین یک در هزار برای مبارزه با سفیدک برای کشت بذری و کشت نشائی انجام شد. تنک کردن چغندر قند در مرحله ۴ تا ۶ برگی انجام شد. در این مرحله، در زراعت‌های تک بوته، فاصله ۲ بوته در روی خط به حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر رسانده شد و بوته‌های اضافی حذف شد. در زراعت‌های کپه‌ای تنها یک بوته باقی گذاشته شد و بقیه حذف شد. برای صرفه‌جویی در وقت و هزینه با حرکت در میانه جویچه، دو ردیف کاشت در مسیر حرکت خود تنک شدند (Ahmadi et al., 2015). فاصله ۲ بوته در روی خط به فاصله ۲۰ سانتی‌متر رسانده شد تا با فاصله قطره‌چکان‌ها برابر باشد. در کشت نشائی، تنک کردن در هر دو سال لازم نبود. در پایان دوره رشد، محصول هر کرت برداشت و سرزنی شد. پس از شستشو، ۱۵۰ گرم خمیر ریشه تهیه و بعد از انجماد برای تعیین برخی صفات کیفی به آزمایشگاه ارسال شد. میزان ناخالصی‌های ریشه که شامل میزان سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره ریشه است، بر

مالج پاشی بعد از کرت‌بندی و قبل از اجرای سامانه آبیاری نواری تیپ انجام شد. در این تحقیق برای تهیه نشاء از گلدان‌های کاغذی مخصوص چغندر قند استفاده شد (Yousefabadi et al., 2017). گلدان‌ها با ترکیبی از خاک زراعی، کود دامی کاملاً پوسیده، پرلیت، کوکوپیت و خاک‌برگ پر شد و بذر چغندر قند رقم شکوفا در داخل آن‌ها در سال ۱۳۹۷ در ۱۲ اردیبهشت و در سال ۱۳۹۸ در ۱۰ اردیبهشت کشت شد. جوانه‌زنی بذر و مراحل اولیه رشد گیاهچه‌ها به مدت حدود ۴۵ روز در گلخانه سپری شد. نشاء تولیدی در مرحله ۴ تا ۶ برگی به همراه گلدان به زمین و کرت‌های مورد نظر منتقل شد. در هر سال همزمان با تهیه نشاء در گلخانه، کشت مستقیم بذر در مزرعه نیز انجام شد (در سال اول در ۱۴ اردیبهشت و در سال دوم در ۱۳ اردیبهشت). عملیات تنک کردن در کشت بذری در زمان انتقال نشاء از گلخانه به مزرعه انجام گرفت. با توجه به اینکه کشت چغندر قند نشائی و بذری در حالت مالج کلش گندم هم انجام شد، یکی از راه‌های موثر برای تجزیه بقایای گیاهی، استفاده از کود نیتروژنی متناسب با بقایای مالج است. بنابراین، با توجه به بررسی‌های انجام شده، کود نیتروژن در سه سطح ۱۱۲، ۱۵۰ و ۱۸۸ کیلوگرم در هکتار، ۴۵ روز بعد از نشاء کاری به تیمارهای مالج‌دار و بدون مالج به صورت سرک اضافه شد (Topak et al., 2016). با توجه به غنی بودن خاک مزرعه، به غیر از کود نیتروژن، کود دیگری به خاک مزرعه اضافه نشد.

اجرای سامانه آبیاری نواری تیپ همراه با فیلتراسیون برای همه تیمارها اجرا شد. برای انتخاب با کیفیت‌ترین نوار تیپ در بین نوار تیپ‌های تولید داخل و خارج کشور موجود در منطقه، پنج نوع نوار تیپ با دبی قطره‌چکان ۲ لیتر در ساعت و فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر بر اساس طول ۱۰۰ متر لاترال مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس بهترین ضریب یکنواختی کریستین سن و یکنواختی توزیع (Keller and Bliesner, 1992)، نوار تیپ پلاکدار Sun Stream-FLD ترکیه برای اجرا انتخاب شد. از دستگاه Profile Probe (type PR2) پس از واسنجی، برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در مزرعه برای تعیین زمان آبیاری استفاده شد. زمان آبیاری گیاه چغندر قند بر اساس ۵۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس در عمق توسعه ریشه (معادل رطوبت حجمی ۲۲/۱۶ درصد) در دو آبیاری اول و ۶۰ درصد

## نتایج و بحث

## جمعیت علف هرز غالب چغندرقد در منطقه

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین جمعیت علف هرز در کشت چغندرقد بذری (جمع مراحل اول و دوم) و کشت نشائی (مرحله اول) برای دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به ترتیب در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر مالچ بر جمعیت علف هرز معنی‌دار نیست ولی اثر روش کاشت (نشائی و بذری) بر جمعیت علف‌های هرز در سطح ۵ درصد در هر دو سال معنی‌دار است (جدول ۳). اثر متقابل مالچ و روش کاشت بر جمعیت علف هرز معنی‌دار نبود (جدول ۳) که ممکن است به این دلیل باشد که کنترل علف‌های هرز از طریق وجین دستی در کشت بذری در فصل زراعی، در دو مرحله انجام شد ولی در کشت نشائی، در یک مرحله انجام شد و مرحله دوم لازم نبود.

حسب میلی اکری والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه اندازه‌گیری شد. بدین منظور بخشی از عصاره صاف شده خمیر ریشه در دستگاه بتالایزر ریخته شد و به طریق فلیم فوتومتری میزان املاح سدیم و پتاسیم آن تعیین شد. در این روش از طریق مقایسه با طیف نشتی لیتیوم که قبلاً واسنجی شده است، مقادیر سدیم تعیین شد. در مرحله بعد، مقداری از محلول صاف شده برای تعیین میزان ازت مضره ریشه (کلیه ترکیبات آلی ازت مثل اسیدهای آمینه) به روش رنگ‌سنجی معروف به عدد آبی مورد استفاده قرار گرفت (Fernandez et al., 2020).  
تحلیل آماری و تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تحقیق بر اساس طرح آماری مورد استفاده با نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد (Yousefabadi et al., 2017). مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مالچ و روش کاشت بر جمعیت علف هرز

Table 3- Analysis of variance for the effects of mulching and planting method on weed populations

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	میانگین مربعات
Source of variation	df	Mean Squares-2018	Mean Squares-2019
مالچ و بدون مالچ (A)	1	3 <sup>ns</sup>	1.33 <sup>ns</sup>
No Mulch-Mulch (A)			
کشت بذری و کشت نشائی (B)	1	21.33*	16.33*
Direct sowing- Seedling transplantation (B)			
A*B	1	0.01 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>
خطا	6	0.36	0.3
Error			
درصد ضریب تغییرات		9.74	10.05
Coeff. Var			

<sup>ns</sup>, \*, \*\*, \*\*\* به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

<sup>ns</sup>, \*, \*\*, \*\*\* non-significant, significant at probability levels 5% and 1%, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین جمعیت علف هرز در روش‌های کاشت مختلف

Table 4- Mean comparison of weed populations for different planting methods

تیمارها	مقایسه میانگین	مقایسه میانگین
Treatments	Mean comparisons-2018 (plants/m <sup>2</sup> )	Mean comparisons-2019 (plants/m <sup>2</sup> )
بدون مالچ	5.67a	5.167a
No Mulch		
مالچ دار	6.67a	5.83a
Mulch		
کاشت نشائی با آرایش 50*50*50	4.83b	4.33b
Seedling transplantation of 50*50*50		
کاشت بذری با آرایش 50*50*50	7.5a	6.67a
Direct sowing of 50*50*50		

\*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on the LSD test at a 0.05 probability level.

میانگین جمعیت علف هرز در کاشت بذری در سال اول ۵۵ و در سال دوم ۵۴ درصد بیشتر از کاشت نشائی بود، در حالی که کاشت بذری ۴۵ روز دیرتر نسبت به زمان کاشت منطقه انجام شد (جدول ۴). این نتیجه با یافته‌های قبلی که نشان دادند که کاشت نشایی چغندر قند هزینه‌های کنترل علف‌های هرز به‌علت حذف یک مرحله کنترل علف هرز به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد، مطابقت دارد ( Khaembah and Nelson, 2017).

همچنین این نتایج با مطالعات میدانی که در آن میزان آلودگی به علف هرز در روش کاشت نشائی چهار برابر کمتر از روش کاشت بذری بود، تطابق دارد ( Yousefabadi et al., 2016).

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین جمعیت علف هرز در کاشت نشائی در آرایش‌های مختلف در شرایط کاربرد یا عدم کاربرد مالچ به ترتیب در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر مالچ و آرایش کاشت بر جمعیت علف هرز در کشت نشائی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	میانگین مربعات
Source of variation	df	Mean Squares-2018	Mean Squares-2019
مالچ و بدون مالچ (A)	1	0.667 <sup>ns</sup>	0.167 <sup>ns</sup>
No Mulch-Mulch (A)			
آرایش‌های کشت در کشت نشائی (B)	3	7.89 <sup>**</sup>	8.83 <sup>**</sup>
Sowing patterns in seedling transplantation			
(B)			
A×B	3	0.56 <sup>ns</sup>	0.5 <sup>ns</sup>
خطا	14	0.34	0.148
Error			
درصد ضریب تغییرات		18.39	13.2
Coeff. Var			

<sup>ns</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

<sup>ns</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> non-significant, significant at probability levels 5% and 1%, respectively.

مطابق جدول ۵، اثر مالچ بر جمعیت علف هرز در کشت نشائی از نظر آماری معنی‌دار نبود ولی اثر عامل دوم (آرایش کاشت) در کشت نشائی بر جمعیت علف هرز در سطح ۱ درصد در هر دو سال معنی‌دار بود. علت آن می‌تواند نزدیک بودن نوار تیپ به هم (۵۰ سانتی متر) در آرایش ۵۰×۵۰\*۵۰ و افزایش سطح خیس شده در کرت‌ها باشد. اثر متقابل مالچ، نوع کشت و آرایش کشت بر جمعیت علف هرز چغندر قند معنی‌دار نبود (جدول ۵).

مقایسه میانگین جمعیت علف هرز در کاشت نشائی در آرایش‌های مختلف

جدول ۶- مقایسه میانگین جمعیت علف هرز در کاشت نشائی در آرایش‌های مختلف

تیمارها	مقایسه میانگین	مقایسه میانگین
Treatments	Mean comparisons-2018 (plants/m <sup>2</sup> )	Mean comparisons-2019 (plants/m <sup>2</sup> )
بدون مالچ	3a	2.83a
No Mulch		
مالچ دار	3.33a	3a
Mulch		
آرایش کشت ۴۰×۵۰	2.3b	2.83b
Sowing pattern 40*50		
آرایش کشت ۴۰×۶۰	2.5b	2.33b
Sowing pattern 40*60		
آرایش کشت ۵۰×۵۰	3b	2.167b
Sowing pattern 50*50		
آرایش کشت ۵۰×۵۰×۵۰	4.83a	4.33a
Sowing pattern 50*50*50		

\* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on the Duncan's test at a 0.05 probability level.

کردند علف هرز در کشت یک ردیفه چغندر قند نسبت به دو ردیفه بیشتر است (Bayat et al., 2019) و کاهش فاصله ردیف‌های کشت جمعیت علف‌های هرز را کاهش می‌دهد (Tharp and Kells, 2001)، مطابقت دارد. سطح خیس شدگی در پایان هر نوبت آبیاری در آرایش ۵۰\*۵۰\*۵۰ بیشتر از سایر آرایش‌ها بود. به‌عنوان نمونه سطح خیس شدگی در دو ساعت بعد از آبیاری در آرایش‌های ۵۰\*۵۰\*۵۰ و ۵۰\*۵۰ در شکل ۱ نشان داده شده است.

طبق جدول ۶، میانگین جمعیت علف هرز در آرایش ۵۰\*۵۰\*۵۰ در سال اول ۸۶ درصد و در سال دوم ۷۷ درصد نسبت به میانگین آن در آرایش‌های ۵۰\*۴۰، ۵۰\*۴۰\*۶۰ و ۵۰\*۵۰ بیشتر بود که می‌تواند به‌علت نزدیک بودن ردیف‌های نوار تیپ به هم (۵۰ سانتی‌متر) و افزایش فاصله ردیف کشت در آرایش ۵۰\*۵۰\*۵۰ باشد. همچنین کشت در آرایش ۵۰\*۵۰\*۵۰ برخلاف سایر آرایش‌ها، یک ردیفه بود (جدول ۶). نتایج این تحقیق، با یافته‌های قبلی که گزارش



ب: آرایش ۵۰\*۵۰\*۵۰



الف: آرایش ۵۰\*۵۰

شکل ۱- سطح خیس شدگی بعد از دو ساعت آبیاری در آرایش ۵۰\*۵۰ (الف) و ۵۰\*۵۰\*۵۰ (ب)

Figure 1- Wetted area after two hours of irrigation in sowing pattern 50\*50 (a) and 50\*50\*50 (b)

پتاسیم در ریشه چغندر قند در هر دو سال زراعی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. از طرفی مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) نشان داد که مقدار نیتروژن مضره، سدیم و پتاسیم موجود در ریشه در هر دو سال زراعی تفاوت چندانی با هم ندارند. نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۷ نشان داد که اثر روش کاشت (نشائی یا بذری) بر مقدار نیتروژن مضره و سدیم در سطح پنج درصد در هر دو سال معنی‌دار است. اما اثر آن بر مقدار پتاسیم موجود در ریشه چغندر قند در هر دو سال معنی‌دار نیست. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) نشان داد که مقدار نیتروژن مضره و سدیم در کشت نشائی نسبت به بذری در سال اول به ترتیب ۲/۱ و ۲/۵ برابر و در سال دوم به ترتیب ۲/۱ و ۳ برابر است.

### ناخالصی‌های ریشه چغندر قند

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های ناخالصی‌های ریشه چغندر قند برای دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به ترتیب در جداول ۷ و ۸ ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد که اثر استفاده از مالچ بر مقدار نیتروژن مضره، سدیم و پتاسیم در ریشه چغندر قند در هر دو سال معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) نشان داد که مقدار نیتروژن مضره و سدیم در حالت بدون مالچ در سال اول به ترتیب ۵/۱ و ۴/۳ درصد و در سال دوم به ترتیب ۷/۳ و ۵ درصد نسبت به حالت مالچ‌دار بیشتر است. برعکس مقدار پتاسیم در حالت مالچ‌دار در سال اول ۴/۸ درصد و در سال دوم ۴/۳ درصد نسبت به حالت بدون مالچ بیشتر است. مطابق جدول ۷ اثر آرایش کشت و نوار تیپ در کشت نشائی بر مقدار نیتروژن مضره، سدیم و

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر آرایش کشت، روش کشت، رژیم آبیاری و کود نیتروژن بر عناصر مختلف ریشه چغندر قند

Table 7- Analysis of variance for effects of sowing pattern, planting method, irrigation regime and nitrogen fertilizer on different elements of sugar beet roots

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares-2018			میانگین مربعات Mean Squares-2019		
		نیتروژن مضره Alpha-Amino-Nitrogen	سدیم Sodium	پتاسیم Potassium	نیتروژن مضره Alpha-Amino-Nitrogen	سدیم Sodium	پتاسیم Potassium
		آرایش کشت نشائی					
Sowing patterns (40*50), (40*60), (50*50), (50*50*50)							
آرایش کشت (B) Sowing pattern(B)	3	0.599 <sup>ns</sup>	0.027 <sup>ns</sup>	0.080 <sup>ns</sup>	0.76 <sup>ns</sup>	91.51 <sup>ns</sup>	0.987 <sup>ns</sup>
A×B	3	0.074 <sup>ns</sup>	0.059 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.121 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	0.159 <sup>ns</sup>
خطا Error	14	0.11	0.22	0.43	0.26	0.33	0.49
درصد ضریب تغییرات Coeff. Var		15.5	17.62	12.34	18.19	22	10.7
روش کشت (کشت بذری، کشت نشائی)							
Planting method (Direct sowing, Seedling transplantation)							
روش کشت (B) Sowing pattern(B)	1	1.84 <sup>*</sup>	8.2 <sup>*</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	1.16 <sup>*</sup>	10.36 <sup>*</sup>	0.512 <sup>ns</sup>
A×B	1	0.006 <sup>ns</sup>	0.35 <sup>ns</sup>	0.031 <sup>ns</sup>	0.047 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	0.0481 <sup>ns</sup>
خطا Error	6	0.04	0.14	0.49	0.025	0.17	0.186
درصد ضریب تغییرات Coeff. Var		15.5	19.29	13.97	12.89	20.92	8.22
رژیم آبیاری							
Irrigation regime (I100, I75)							
رژیم آبیاری	1	0.080 <sup>ns</sup>	1.78 <sup>ns</sup>	0.147 <sup>ns</sup>	0.088 <sup>ns</sup>	2.23 <sup>ns</sup>	0.114 <sup>ns</sup>
A×B	1	0.246 <sup>ns</sup>	0.35 <sup>ns</sup>	1.44 <sup>ns</sup>	0.273 <sup>ns</sup>	0.403 <sup>ns</sup>	1.6 <sup>ns</sup>
خطا Error	6	0.021	0.027	0.28	0.175	0.268	0.25
درصد ضریب تغییرات Coeff. Var		7.47	7.04	10.35	20.38	19.3	9.15
رژیم نیتروژن							
Nitrogen regime (N188, N150, N112)							
رژیم نیتروژن	2	0.387 <sup>ns</sup>	0.122 <sup>ns</sup>	0.77 <sup>ns</sup>	0.689 <sup>ns</sup>	0.180 <sup>ns</sup>	1.32 <sup>ns</sup>
A×B	2	0.199 <sup>ns</sup>	0.384 <sup>ns</sup>	0.067 <sup>ns</sup>	0.180 <sup>ns</sup>	0.58 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>
خطا Error	10	0.024	0.028	0.287	0.35	0.30	0.28
درصد ضریب تغییرات Coeff. Var		7.87	6.43	10.39	18.04	19.09	9.6

ns, \*, \*\* به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, \*, \*\* not significant, significant at probability levels 5% and 1%, respectively.

مقدار پتاسیم موجود در ریشه چغندر قند در هر دو سال معنی دار نیست.

مقایسه میانگین‌ها (جدول ۸) نشان داد که مقدار نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۷ نشان داد که اثر روش کاشت (نشائی یا بذری) بر مقدار نیتروژن مضره و سدیم در سطح پنج درصد در هر دو سال معنی دار است. اما اثر آن بر

مضره و سدیم در کشت نشائی نسبت به بذری در سال اول به ترتیب ۲/۱ و ۲/۵ برابر و در سال دوم به ترتیب ۲/۱ و ۳ برابر است. اما مقدار پتاسیم در هر دو نوع کشت تفاوت چشمگیری ندارد.

جدول ۸- مقایسه میانگین نیتروژن مضره، سدیم و پتاسیم در ریشه چغندر قند

Table 8- The mean comparison of Alpha-Amino-Nitrogen, sodium and potassium in sugar beet roots

تیمارها Treatments	مقایسه میانگین			مقایسه میانگین		
	نیتروژن مضره (αN) Alpha-Amino-Nitrogen	سدیم (Na) Sodium	پتاسیم (K) Potassium	نیتروژن مضره (αN) Alpha-Amino-Nitrogen	سدیم (Na) Sodium	پتاسیم (K) Potassium
عامل Factor		اول			اول	
بدون مالچ No Mulch	1.84a	2.4a	4.98a	1.9a	2.52a	5.48a
مالچ دار Mulch	1.75a	2.3a	5.22a	1.87a	2.40a	5.72a
عامل Factor		دوم			دوم	
کشت نشائی - آرایش ۴۰×۵۰* Seedling transplantation- Sowing pattern 40*50	1.87ab	2.74a	4.96a	1.97a	3.01a	5.32a
کشت نشائی - آرایش ۴۰×۶۰* Seedling transplantation- Sowing pattern 40*60	2.35a	2.6a	5.1a	2.37a	2.08a	6.18a
کشت نشائی - آرایش ۵۰×۵۰* Seedling transplantation- Sowing pattern 50*50	1.69ab	2.66a	5.13a	1.74a	2.22a	5.94a
کشت نشائی - آرایش ۵۰×۵۰×۵۰* Seedling transplantation- Sowing pattern 50*50*50	1.66ab	2.74a	4.88a	1.54a	2.91a	5.45a
کشت نشائی - آرایش ۵۰×۵۰×۵۰* Seedling transplantation- Sowing pattern 50*50*50	1.66a	2.74a	4.88a	1.54a	2.91a	5.45a
کشت بذری - آرایش ۵۰×۵۰×۵۰* Direct sowing - Sowing pattern 50*50*50	0.88b	1.08b	5.09a	0.923b	1.05b	5.04a
کشت نشائی - آرایش ۴۰×۵۰ آبیاری ۱۰۰٪ Seedling transplantation- Sowing pattern 40*50	1.87a	2.74a	4.96a	1.97a	3.01a	5.32a
کشت نشائی - آرایش ۴۰×۵۰ آبیاری ۷۵٪ Seedling transplantation- Sowing pattern 40*50- Irrigation level of I75	2.03a	1.97a	5.18a	2.14a	2.23a	5.51a
کشت نشائی - آرایش ۴۰×۵۰ - نیتروژن (۱۸۸) Seedling transplantation- Sowing pattern 40*50 - Nitrogen(188)	2.25a	2.54a	5.56a	2.5a	2.81a	6.1a
کشت نشائی - آرایش ۴۰×۵۰ - نیتروژن (۱۵۰) Seedling transplantation- Sowing pattern 40*50 - Nitrogen(150)	1.87ab	2.74a	4.96a	1.97a	3.01a	5.32a
کشت نشائی - آرایش ۴۰×۵۰ - نیتروژن (۱۱۲) Seedling transplantation- Sowing pattern 40*50 - Nitrogen(112)	1.78ab	2.47a	4.93a	1.88a	2.80a	5.27a

\*آبیاری کامل و سطح نیتروژن ۱۵۰ (کیلو گرم بر هکتار)

\*: Full irrigation and N=150 (kg.ha<sup>-1</sup>)

\*\* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

\*\* : Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on the Duncan's test at a 0.05 probability level.

چغندر قند با افزایش سطح کاربرد نیتروژن افزایش یافت؛ هر چند این افزایش چندان چشمگیر نیست.

### نتیجه گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد جمعیت علف هرز در کشت نشائی چغندر قند به علت حذف علف‌های هرز در مرحله ۴ تا ۶ برگی کمتر از کشت بذری است. بنابراین، کشت نشائی باعث کاهش مصرف سموم برای کنترل شیمیایی علف هرز و همچنین کاهش هزینه کارگری در تولید چغندر قند ارگانیک می‌شود. جمعیت علف هرز بیشتر در آرایش تک ردیفه به نزدیک‌تر بودن نوار تیپ نسبت به هم (۵۰ سانتی‌متر) که باعث سطح خیس شده بیشتر در کرت‌ها شده است، بر می‌گردد. اثر مالچ، رژیم آبیاری و کود نیتروژن بر عناصر مختلف ریشه چغندر قند در کشت نشائی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. با توجه به اینکه کاهش علف هرز منجر به حفظ محیط زیست به دلیل کاهش مصرف سموم مختلف و همچنین کاهش هزینه کارگری در تولید چغندر قند ارگانیک می‌شود، استفاده از روش کشت نشائی با آرایش‌های دو ردیفه (۴۰\*۵۰، ۴۰\*۶۰ و ۵۰\*۵۰) به عنوان روش جایگزین کشت بذری پیشنهاد می‌شود.

### سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با کد پژوهانه UOZ-GR-6621 انجام شد که بدینوسیله از آن تشکر و قدردانی می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم آبیاری (آبیاری کامل و کم‌آبیاری) بر مقدار نیتروژن مضره، سدیم و پتاسیم موجود در ریشه چغندر قند در کشت نشائی در هر دو سال معنی‌دار نیست (جدول ۷). مقایسه میانگین مقدار نیتروژن مضره، سدیم و پتاسیم موجود در ریشه در کشت چغندر قند نشائی در حالت آبیاری کامل و ۲۵ درصد کم‌آبیاری در جدول ۸ نشان داده شده است. با کاهش سطح آب آبیاری به دلیل تنش آبی، عملکرد ریشه کاهش ولی عناصر خالص و ناخالص افزایش می‌یابد، میانگین نیتروژن مضره و سدیم موجود در ریشه چغندر قند به ترتیب ۸/۶ و ۳۹ درصد در سال اول و ۸/۵ و ۳۵ درصد در سال دوم در مقایسه با آبیاری کامل افزایش یافت. اما مقدار پتاسیم در هر دو سال تفاوت چشمگیری نداشت. مطابق جدول ۷ اثر سطوح مختلف کود نیتروژن (۱۱۲، ۱۵۰ و ۱۸۸ کیلوگرم در هکتار) بر مقدار نیتروژن مضره، سدیم و پتاسیم موجود در ریشه چغندر قند در کشت نشائی در هر دو سال معنی‌دار نیست. مقایسه میانگین مقدار نیتروژن مضره، سدیم و پتاسیم موجود در ریشه چغندر قند در کشت نشائی در هر دو سال (جدول ۸) نشان‌دهنده افزایش مقدار نیتروژن مضره در ریشه چغندر قند با افزایش مقدار کود نیتروژن است؛ میانگین نیتروژن مضره در سطح ۱۸۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب ۲۰ و ۲۶ درصد در سال اول و ۲۷ و ۳۳ درصد در سال دوم در مقایسه با سطوح ۱۵۰ و ۱۱۲ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن، افزایش یافت. این نتایج با یافته‌های محققان قبلی مطابقت دارد (Gohari et al., 1997; Khayamim et al., 2003; Sharifi Ziveh et al., 2013). مقدار پتاسیم در ریشه

### References

- Ahmadi, M., Mohammadian, R., Hosseinpour, A. and Khayamim, S. 2015. Guidance on sugar beet (planting, growing and harvesting). Agricultural Education and Extension Research Organization, Research Institute for Breeding and Preparation of Sugar Beet Seeds. First Edition. [In Persian].
- Bandegi, M.R. and Armin, M. 2014. Effect of weed interference with sugar beet under different nitrogen amounts. *Plant Ecophysiology Journal*, 6(19), pp.45-57. [In Persian].
- Bayat, M., Kavhiza, N., Orujov, E., Zargar, M., Akhrarov, A. and Temewei, A. G. 2019. Integrated weed control methods utilizing planting patterns in sugar beet. *Research on Crops*, 20(2), pp.413-418. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2019.060>
- Draycott, A.P. 2006. Sugar beet. Blackwell Publishing. pp.476.

- Fernandez, J.E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V. and Cuevas, M.V. 2020. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high-density olive tree orchard. *Agricultural Water Management*. 237, p.106074. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>
- Gobarah, M.E., Hussein, M.M., Tawfik, M.M., Ahmed, A.G. and Mohamed, M.F. 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(3), pp.343-354. <https://doi.org/10.21608/agro.2019.20126.1197>
- Gohari, J., Taheri, K., Rouhi, A. and Ghalibi, S. 1997. Determination of quantitative and qualitative response of sugar beet crop to nitrogen fertilizer, irrigation and plant density. Research report. Sugar beet institute. Karaj. [In Persian].
- Jihad Akbar, M.R., Tabatabai Namvard, R. and Ebrahimian, M.R. 2004. Critical period of weed competition with sugar beet in Kabotarabad-Esfahan. *Journal of Sugar Beet*, 2(1), pp.73-92. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/jsb.2004.6827>
- Jursík, M., Holec, J., Soukup, J. and Venclová, V. 2008. Competitive relationships between sugar beet and weeds in dependence on time of weed control. *Plant Soil and Environment*, 54(3), pp.108–116. <https://doi.org/10.17221/2687-pse>
- Keller, J. and Blisner, R.D. 1992. Sprinkler and trickle Irrigation. Avi Book. Van No strand Reinhold, New York.
- Khaembah, E.N. and Nelson., W.R. 2016. Transplanting as a means to enhance crop security of fodder beet. *BioRxiv*, p. 056408. <https://doi.org/10.1101/056408>
- Khayamim, S., Mazaheri, D., Nabayan Aul, M., Gohari, J. and Jahansoz, M.R. 2003. Assessment of sugar beet physiologic and technologic characteristics at different plant density and nitrogen use levels. *Pajouhesh- va-sazandegi Journal*, 16(3), pp.21-29. [In Persian].
- Monthly statistics of the National Meteorological Organization. 2018. <https://data.irimo.ir>
- Sadeghi, H. and Bahrani, M.J. 2009. Effects of crop residue and nitrogen rates on yield and yield components of two dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Plant Production Science*, 12(4), pp.497-502. <https://doi.org/10.1626/pps.12.497>
- Sahabi, H., Sefidi Mahalati, M. and Kochaki, A.R. 2010. Investigating the role of nitrogen partitioning on the allocation pattern of sugar beet dry matter. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(4), pp.569-576. [In Persian].
- Sharifi Ziveh, P., Fadakar, F. and Mahdavi, V. 2013. Chemical control of dodder (*Cuscuta spp.*) in the sugar beet fields. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(24), pp.3502-3505.
- Sheikholeslami, R. 1997. Sugar and optimizing sugar beet quality determination formulas. *Journal of Sugar Beet*, 12(1-2), pp.72-82. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/jsb.1997.116488>
- Singh, S.P., Mahapatra, B.S., Pramanick, B. and Yadav, V.R. 2021. Effect of irrigation levels, planting methods and mulching on nutrient uptake, yield, quality, water and fertilizer productivity of field mustard (*Brassica rapa* L.) under sandy loam soil. *Agricultural Water Management*, 244, 106539. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106539>

- Soltani, N., Dille, J.A., Robinson, D.E., Sprague, C.L., Morishita, D.W., Lawrence, N.C., Kniss, A.R., Jha, P., Felix, J., Nurse, R.E. and Sikkema, P.H. 2018. Potential yield loss in sugar beet due to weed interference in the United States and Canada. *Weed Technology*, 32(6), pp.749-753. <https://doi.org/10.1017/wet.2018.88>
- Tharp, B.E. and Kells, J.J., 2001. Effect of glufosinate-resistant corn (*Zea mays*) population and row spacing on light interception, corn yield, and common lambsquarters (*Chenopodium album*) growth. *Weed Technology*, 15(3), pp.413-418. [https://doi.org/10.1614/0890-037x\(2001\)015\[0413:eogrcz\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037x(2001)015[0413:eogrcz]2.0.CO;2)
- Topak, R., Acara, B., Uyanöz, R. and Ceyhan, E. 2016. Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. *Agricultural Water Management*, 176, 180–190. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.004>
- Yousefabadi, V. 2017. Technical report of sugar beet seedling transplantation using paper pot and potless methods. Agricultural Education Press. 26 p., Karaj, Iran. [In Persian].
- Yousefabadi, V.A., Alebrahim, M.T., Tuobe, A., Zand, E. and Abdollahian-Noghabi, M., 2017. Effect of seedling transplantation and post-emergence herbicides application on field dodder (*Cuscuta campestris*) control in sugar beet. *Romanian Agricultural Research*, (34).
- Zargar, M., Astarkhanova, T.S., Pakina, E.N., Astarkhanov, I.R., Rimikhanov, A.A., Gyul'magomedova, S.A., Ramazanov, Z.M. and Rebouh, N.Y., 2017. Survey of biological components efficiency on safety and productivity of different tomato cultivars. *Research on Crops*, 18(2), pp.279-288. <https://doi.org/10.5958/2348-7542.2017.00048.1>

# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropsceince.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 411-425

### The effect of methanol foliar application on some physiological reactions of cowpea plant under drought stress

Hassan Nouriyani <sup>\*1</sup>

<sup>a</sup> Department of Agronomy and Plant Breeding, Payame Noor University, Iran

\*Corresponding Author: [hnouriyani@pnu.ac.ir](mailto:hnouriyani@pnu.ac.ir)

Received: 1 February 2025

Accepted: 23 March 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.503631.1468

#### How to cite this article:

Nouriyani, H. 2025. The effect of methanol foliar application on some physiological reactions of cowpea plant under drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 411-425. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.503631.1468>

#### Abstract

**Introduction:** Among the environmental stresses, drought is one of the most important factors affecting the growth and development of plants, and due to the simultaneous effect on the morphological, physiological and biochemical characteristics of plant tissues and cells, it ultimately leads to plant growth decay and yield reduction. This stress induces various physiological, biochemical and molecular responses in plants as a survival mechanism. Also, this stress can reduce the chlorophyll content, relative water content, stomatal conductance and ultimately grain yield. The results of some studies show that increasing the concentration of CO<sub>2</sub> in the leaves leads to a reduction of the negative effects caused by drought stress in plants. One of the important strategies to increase the concentration of CO<sub>2</sub> in plants is the use of compounds such as methanol, which can increase the concentration of CO<sub>2</sub> in plants and help photosynthesis and growth under drought stress conditions. In this case, methanol can act as an additional carbon source, and in environmental conditions where the plant is limited by CO<sub>2</sub> (such as drought stress), methanol as a precursor can help the plant absorb more carbon and turn it into the final product of photosynthesis. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of methanol foliar spraying on some physiological reactions of cowpea plants in the face of drought stress.

**Materials and Methods:** The research was conducted as a split plot experiment based on randomized complete block design with three replications during the summer of 2021 in the Dezful region. Drought stress was applied based on irrigation intervals at four levels (80, 110, 140, and 170 mm of evaporation from a Class A evaporation pan) as the main factor. Foliar spraying was performed at four levels (0, 10, 20, and 30% volumetric methanol solution with 2 grams per liter of glycine) as the sub-factor. The evaluated traits included stomatal conductance, transpiration, sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration, photosynthesis, relative water content, chlorophyll index, proline content, electrolytes leakage, anthocyanin and flavonoid. Analysis of variance was performed using statistical analysis system (SAS version: 9.3). The means were compared using the Duncan's multiple range test at 5% probability level.

**Results and Discussion:** The results of the experiment showed that under drought stress conditions, stomatal conductance, transpiration rate, sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration, photosynthetic rate, relative water content, and chlorophyll index decreased. In contrast, the content of proline, electrolyte leakage,



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

anthocyanins, and flavonoids increased. Methanol foliar application also had a significant effect on all the studied traits, with the maximum effect observed in the treatment with 30% volumetric methanol solution, particularly on transpiration rate and anthocyanin content. Under irrigation conditions after 170 mm of evaporation, foliar application with 30% volumetric methanol resulted in a significant increase in stomatal conductance (89%), sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration (20%), photosynthetic rate (67%), and chlorophyll index (31%), anthocyanin content (12%) as well as a 27% reduction in the amount of electrolytes leakage compared to the treatment of no foliar application (control) was observed in these conditions.

**Conclusion:** Based on the results of this study, the use of methanol, especially the foliar spraying of 30% volumetric of methanol, improved some physiological traits such as stomatal conductance, relative water content, chlorophyll index, sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration, and photosynthesis rate, cell membrane stability, proline content and secondary metabolites like anthocyanins and flavonoids which can improve the cowpea ability to increase drought stress tolerance.

**Keywords:** Anthocyanin, Electrolytes leakage, Methanol, Photosynthesis, Proline

## اثر محلول پاشی متانول بر برخی واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه لوبیا تحت تنش خشکی

حسن نوریانی\*

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه پیام نور، ایران

\* مسئول مکاتبه: [hnouriyani@pnu.ac.ir](mailto:hnouriyani@pnu.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.503631.1468

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳

## چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی متانول بر برخی واکنش‌های فیزیولوژیکی لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در تابستان سال ۱۴۰۰ در منطقه دزفول اجرا گردید. در این تحقیق تنش خشکی به صورت دور آبیاری در چهار سطح (آبیاری پس از ۸۰، ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، به عنوان فاکتور اصلی و محلول پاشی مقادیر (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول به همراه دو گرم در لیتر گلیسین) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش نشان داد که شرایط تنش خشکی هدایت روزنه‌ای، شدت تعرق، غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، محتوای نسبی آب برگ و شاخص کلروفیل را کاهش داد؛ در حالی که باعث افزایش محتوای پرولین، نشت الکترولیت‌ها، میزان آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها گردید. تیمار محلول پاشی متانول نیز بر تمامی صفات مورد بررسی به جز شدت تعرق و آنتوسیانین‌ها اثر معنی‌داری داشت و این تأثیر در محلول پاشی با ۳۰ درصد حجمی متانول به حداکثر خود رسید. در شرایط آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر، محلول پاشی با ۳۰ درصد حجمی متانول موجب افزایش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای (۸۹ درصد)، غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای (۲۰ درصد)، سرعت فتوسنتز (۶۷ درصد)، شاخص کلروفیل (۳۱ درصد) و میزان آنتوسیانین‌ها (۱۲ درصد) و کاهش ۲۷ درصدی در میزان نشت الکترولیت‌ها نسبت به تیمار عدم محلول پاشی (شاهد) در این شرایط گردید. بنابراین، می‌توان کاربرد ۳۰ درصد حجمی متانول را به عنوان یک سازوکار مؤثر بر مکانیسم‌های فیزیولوژیکی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی در تحمل تنش خشکی و تعدیل اثر منفی آن توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، پرولین، فتوسنتز، متانول، نشت الکترولیت

## مقدمه

روزنه‌ای فتوسنتز و یا به‌طور غیرمستقیم در نتیجه تنش اکسیداتیو ناشی شود (Nouriyani, 2023). در محدودیت روزنه‌ای فتوسنتز، بسته شدن روزنه در پاسخ به کاهش تورژسانس سلول‌های برگ رخ می‌دهد و منجر به کاهش CO<sub>2</sub> قابل دسترس در فضای بین سلولی برگ می‌شود. علاوه بر محدودیت روزنه‌ای فتوسنتز، محدودیت غیر روزنه‌ای با کاهش انتشار CO<sub>2</sub> از طریق مزوفیل برگ (کاهش هدایت مزوفیلی) یا تغییر در متابولیسم فتوسنتزی در تعیین ظرفیت فتوسنتز تحت تنش خشکی دخالت دارد (Yang et al., 2021). فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها از جمله بزرگ‌ترین زیرگروه‌های ترکیبات فنلی هستند که از مسیر فنیل پروپانوئید سنتز شده و به عنوان جاروب کننده گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) نقش مهمی در مقابله با تنش‌های محیطی ایفا می‌کنند (Agati et al., 2012). کنترل رفتار سلول محافظ روزنه و وضعیت آب برگ، نوسان عمل فتوسنتزی، تنظیم اسمزی از طریق سنتز اسمولیت‌هایی مانند پرولین و سنتز پروتئین‌های القایی در شرایط تنش

تنش‌های محیطی یک مانع بزرگ در دستیابی به عملکرد بالقوه محصولات کشاورزی در سراسر جهان است؛ در این میان، تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان می‌باشد که توانایی القای واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی را دارد (Carraro and Di Iorio, 2022). تنش خشکی منجر به انسداد روزنه‌ای و کاهش در میزان تعرق، پتانسیل آب بافت‌های گیاهی، فتوسنتز، ممانعت از رشد، تجمع اسید آسبیزیک (ABA)، پرولین، مانیتول، سوربیتول، ترکیبات پاک‌کننده رادیکال‌ها (آسکوربات، گلوتاتیون، آلفاتوکوفرول) و سنتز پروتئین‌ها و mRNA می‌گردد (Shukla et al., 2017).

از آنجا که بسته شدن روزنه‌ها از اولین فرایندهایی است که در پاسخ به تنش خشکی رخ می‌دهد و به دلیل این که میزان فتوسنتز با میزان هدایت روزنه مرتبط است، کاهش فتوسنتز تحت خشکی می‌تواند مستقیماً از محدودیت روزنه‌ای و غیر

(*et al.*, 2017)؛ افزایش تثبیت CO<sub>2</sub>، میزان کلروفیل a و b، محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین و CO<sub>2</sub> درون سلولی در نخود (*Hosseinzadeh et al.*, 2014) گردیده است. بنابراین، بررسی نتایج پژوهش‌ها نشان داد که محلول پاشی متانول می‌تواند تأثیرات مثبتی بر گیاهان در شرایط تنش خشکی داشته باشد؛ از این رو تحقیق حاضر باهدف بررسی اثر محلول پاشی متانول بر برخی واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی در مواجهه با تنش خشکی اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش بر اساس طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی تابستان سال ۱۴۰۰ به صورت مزرعه‌ای در منطقه دزفول، واقع در شمال استان خوزستان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۹ دقیقه شمالی با ارتفاع ۴۸ متر از سطح دریا مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق تنش خشکی به صورت دور آبیاری در چهار سطح (آبیاری پس از ۸۰، ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) به عنوان فاکتور اصلی و محلول پاشی متانول در چهار سطح (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول به همراه دو گرم در لیتر گلیسین) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد.

عملیات تهیه زمین توسط گاواهن برگردان دار و دو دیسک عمود برهم و ماله‌کشی (تسطیح زمین) صورت گرفت. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و توصیه‌های کودی، کودهای شیمیایی نیتروژن (از منبع اوره ۷۵ کیلو گرم)، پتاس (از منبع سولفات پتاسیم ۹۰ کیلو گرم) و فسفر (از منبع سوپر فسفات ۱۰۰ کیلو گرم) در هکتار استفاده شد.

در این پژوهش، کاشت بذر لوبیا چشم‌بلبلی رقم مشهد (تیپ بوته رونده، میان رس، رنگ هاله احاطه کننده ناف بذر سیاه، وزن صد دانه ۲۰ گرم) که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول تهیه شده بود، در تاریخ ۲۰ تیرماه به صورت دستی روی خطوط کشت ۷۵ سانتی‌متری، فاصله دو بوته ۲۰ سانتی‌متر (تراکم ۶۷۰۰۰ بوته در هکتار) و تعداد هشت خط کشت به طول هفت متر بود. فاصله هر کرت از کرت دیگر به صورت دو خط نکاشت و فاصله بین دو بلوک سه متر در نظر گرفته شد.

خشکی از جمله مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان در مواجهه با تنش است (*Rai et al.*, 2021).

لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna sinensis L.*) با داشتن حدود ۲۵ درصد پروتئین از جمله حبوبات مهم علفی و یک‌ساله با رشد سریع است که در مراحل پر شدن غلاف و گل‌دهی به تنش خشکی بسیار حساس است (*Kochaki and Khaje*, 2008). در سال‌های اخیر رویکردهای مختلفی جهت حفظ عملکرد و افزایش تحمل گیاهان زراعی از جمله لوبیا به تنش خشکی، مورد توجه محققان قرار گرفته است. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که افزایش غلظت CO<sub>2</sub> درون برگ‌ها منجر به کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی در گیاهان می‌شود (*Madanes et al.*, 2019; *Nonomura et al.*, 2000). یکی از راهکارهای افزایش غلظت CO<sub>2</sub> درون برگ‌ها استفاده از ترکیباتی نظیر متانول، اتانول، پروپانول و بوتانول می‌باشند که قابلیت تبدیل به CO<sub>2</sub> را دارند (*Machado et al.*, 2018). در بین این ترکیبات، متانول (CH<sub>3</sub>OH) به عنوان یک ترکیب الکلی سبک، ماده‌ای است که بر فیزیولوژی گیاهان تأثیر قابل توجهی داشته و به‌ویژه این که بر ظرفیت فتوسنتزی و افزایش عملکرد گیاهان زراعی با مسیر فتوسنتزی سه کربنه در شرایط تنش‌های محیطی نقش بسزایی دارد. علت افزایش عملکرد را به کاهش تنفس نوری و افزایش آماس سلولی بافت‌های گیاهی نسبت داده‌اند (*Nonomura et al.*, 2000). متانول پس از محلول پاشی از طریق آنزیم متانول اکسیداز تبدیل به فرمالدهید و سپس تبدیل به فرمات (متانوئیک اسید) می‌شود. فرمات در مرحله بعد توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز تبدیل به دی‌اکسید کربن شده و باعث افزایش CO<sub>2</sub> درون سلولی گیاه می‌شود (*Ramirez et al.*, 2006).

نتایج برخی از پژوهش‌ها حاکی از آن است که محلول پاشی متانول باعث افزایش میزان کلروفیل، کارتنوئیدها، فلاونوئید و آنتوسیانین در گیاه دارویی گل انگشتانه ارغوانی (*Rezaei*, 2024)؛ افزایش شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، عملکرد دانه و کاهش نشست الکترولیت‌ها در گندم (*Aghaei et al.*, 2021)؛ افزایش محتوای نسبی آب برگ، پرولین و کاهش تولید پراکسید هیدروژن در سویا (*Amraei et al.*, 2017)؛ افزایش میزان تجمع پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی و بهبود عملکرد دانه در کلزا (*Kalantar Ahmadi*

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil experimental field

عمق نمونه برداری Sampling depth (cm)	بافت خاک Soil texture	نیتروژن قابل جذب Nitrogen	فسفر قابل جذب Phosphorus	پتاسیم قابل جذب Potassium	ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته اشباع pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds/m)
0-30	Clay loam	45	6.7	109	0.8	7.4	0.99

استفاده از داده‌های هواشناسی گزارش شده توسط ایستگاه هواشناسی صفی‌آباد دزفول (جدول ۲) محاسبه و پس از رسیدن به حد میزان تبخیر تیمار موردنظر، در صبح روز بعد آبیاری آن انجام می‌گرفت.

آبیاری کرت‌های آزمایشی به صورت نشتی پس از عملیات کاشت تا استقرار کامل بوته (ظهور اولین برگ سه برگچه‌ای) یکسان و به‌طور نرمال انجام و سپس بر اساس تیمارهای تنش خشکی، آبیاری اعمال گردید. برای تعیین زمان دقیق آبیاری، در پایان هرروز مقدار تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A با

جدول ۲- برخی پارامترهای هواشناسی طی فصل رشد

Table 2- Some meteorological parameters during the growing season

ماه Month	میانگین دما Average temperature (°C)	بارندگی Rainfall (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	میزان تبخیر Evaporation rate (mm)
تیر Jun-Jul	37.3	0	23	422.0
مرداد Jul-Aug	37.2	0	24	424.8
شهریور Aug-Sep	34.7	0	27	330.4
مهر Sep-Oct	29.1	0	33	240.3
آبان Oct-Nov	21.9	28.2	53	108.3
آذر Nov-Dec	17.3	34.9	72	58.1

روزانه‌ای ( $\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) با استفاده از دستگاه آنالیزور گازی مادون قرمز IRGA (مدل LCA-4) در مرحله گلدهی و قبل از آبیاری، از ساعت ۹-۱۱ صبح در شدت تشعشع فعال فتوسنتزی ۱۸۰۰-۱۵۰۰ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه انجام شد (Afshari et al., 2012). برای این منظور، از هر واحد آزمایشی یک گیاه به‌طور تصادفی انتخاب و از برگچه وسطی برگ ماقبل آخر آن نمونه برداری به عمل آمد. سپس با قرار دادن نمونه برگ هر واحد آزمایشی به مدت یک دقیقه درون محفظه شیشه‌ای مخصوص دستگاه، اعداد دستگاه قرائت و مقدار آن برای هر صفت ثبت گردید (Liu et al., 2011).

جهت برآورد شاخص کلروفیل برگ از دستگاه کلروفیل متر

محلول پاشی متانول دو بار طی فصل رشد گیاه و با فواصل زمانی ۱۰ روز صورت گرفت. اولین محلول پاشی طی مرحله رویشی به فاصله چهار هفته پس از کاشت و محلول پاشی دوم، در اوایل گلدهی انجام شد. محلول پاشی تا زمان جاری شدن قطره‌های محلول از اندام‌های هوایی ادامه یافت. در مدت زمان اجرای آزمایش کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت گرفت.

لندازه‌گیری صفات مورد ارزیابی یک هفته پس از آخرین محلول پاشی انجام گرفت. برآورد سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )، غلظت  $\text{CO}_2$  اتاقتک زیر روزنه‌ای ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )، سرعت تعرق ( $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) و هدایت

۲۴ ساعت در دمای اتاق و نور کم در آب مقطر غوطه‌ور شدند. پس از آن، نمونه‌ها به سرعت و با دقت با دستمال کاغذی خشک و وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد. نهایتاً برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ قرار داده شد و پس از توزین، محتوای نسبی آب برگ از طریق رابطه (۲) محاسبه گردید (Ritchie et al., 1990):

$$RWC = [(FW - DW) \div (SW - DW)] \times 100 \quad (2)$$

که در این رابطه FW، DW و SW به ترتیب برابر وزن تر، وزن خشک و وزن اشباع است.

برای اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌ها، ابتدا ۰/۱ گرم از برگ ماقبل آخر گیاه وزن گردید و به قطعات هم‌اندازه خرد شد و قطعات برگی با آب مقطر شستشو و در ۱۰ میلی‌لیتر آب بدون یون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد شناور شدند. پس از ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی اولیه محلول ( $EC_1$ ) ثبت گردید. سپس قطعات برگ در بن ماری با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت قرار گرفتند و هدایت الکتریکی ثانویه آن‌ها ( $EC_2$ ) نیز ثبت شد. در نهایت میزان نشت الکترولیت‌ها از غشای سلول با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (Lutts et al., 1996):

$$A = (EC_1 \div EC_2) \times 100 \quad (3)$$

عملیات آماری و آنالیز واریانس با استفاده از نرم‌افزار (Ver. 9.3) SAS روی داده‌های آزمایش انجام گردید. مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی، بر اساس آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### هدایت روزنه‌ای

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ساده تیمار تنش خشکی و محلول پاشی متانول و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها بر صفت هدایت روزنه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی متانول نشان داد که کم‌ترین و بیشترین هدایت روزنه‌ای به میزان ۰/۶۲ و ۳/۹۵ مول  $CO_2$  بر مترمربع بر ثانیه به ترتیب به تیمار عدم محلول پاشی متانول در شرایط آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر و تیمار محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر (شاهد) تعلق داشت (جدول

دیجیتالی (SPAD-50 Minolta) کشور ژاپن استفاده گردید. بدین منظور در مرحله گلدهی از هر کرت پنج بوته به صورت تصادفی انتخاب و عدد SPAD برگچه‌های سه برگ از برگ‌های قسمت پایینی، میانی و انتهایی هر بوته قرائت گردید. میانگین عدد SPAD سه برگ مورد ارزیابی هر بوته به عنوان معیار شاخص کلروفیل بوته در نظر گرفته شد. در نهایت میانگین تمامی اعداد کلروفیل متر (SPAD) قرائت‌شده پنج بوته به عنوان میزان شاخص کلروفیل برای هر تیمار محاسبه گردید.

برای سنجش میزان آنتوسیانین برگ، ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاهی با چهار میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک و متانول یک درصد در یک هاون چینی ساییده شد. محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول رویی به دقت به ظرف دیگری منتقل شد و برای طیف‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت و جذب محلول‌ها در طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر قرائت گردید. در نهایت محتوای آنتوسیانین برای هر عصاره با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Mita et al., 1997)

$$A = A_{530} - (0.25A_{657}) \quad (1)$$

که در آن، A جذب نوری نمونه و اعداد اندیس نشانگر طول موج‌هایی است که جذب در آن‌ها اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میزان فلاونوئید برگ، ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاهی در سه میلی‌لیتر اتانول اسیدی به طور کامل ساییده و سانتریفیوژ گردید و در طول موج ۳۰۰ نانومتر جذب محلول خوانده شد (Krizek et al., 1998). اندازه‌گیری پرولین برگ با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) انجام گرفت. به این صورت که مقدار ۰/۱ گرم برگ در دو میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد ساییده شده و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ و از عصاره به دست آمده جهت برآورد محتوای پرولین استفاده شد. جذب در دستگاه طیف‌سنج با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید.

برای اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC) قطعات دو سانتی‌متری از قسمت میانی نمونه برگ ماقبل آخر تهیه و وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازوی دقیق ۰/۰۰۱ گرم مشخص گردید. سپس جهت تعیین وزن اشباع، نمونه‌ها به مدت

شد و در نهایت متانول با تأثیر بر دستگاه روزنه‌ای و باز و بستن روزنه‌ها، افزایش هدایت روزنه‌ای را در پی داشت. نتایج یافته‌های دیگر محققان در گندم نیز حاکی از افزایش هدایت روزنه‌ای در اثر کاربرد متانول می‌باشد (Aghaei et al., 2021).

(۵). کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی را می‌توان به کاهش پتانسیل آب برگ و بسته شدن روزنه‌ها نسبت داد (Nouriyani, 2021)؛ درحالی‌که به نظر می‌رسد استفاده از متانول باعث افزایش میزان کربوهیدرات تولیدشده در برگ و به دنبال آن جذب آب بیشتر و افزایش فشار تورژسانس در گیاه

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی لوبیا چشم‌بلبلی تحت تنش خشکی

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of physiological traits of Cowpea under drought stress

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	تعرق Transpiration	غلظت CO <sub>2</sub> زیر روزنه‌ای Sub stomatal CO <sub>2</sub>	فتوسنتز Photosynthesis	محتوای نسبی آب RWC
تکرار Replication	2	0.07995	0.02316	1964.77080	0.50521	85.56250
تنش خشکی Drought stress (a)	3	20.52823 **	82.84223 **	34552.85423 **	184.95695 **	1375.57639 **
خطای (a) Error (a)	6	0.02634	0.12589	75.18754	0.24798	25.36806
متانول Methanol	3	1.08508 **	0.07582 ns	1760.57640 **	6.52139 **	398.74305 **
متانول × تنش Stress × Methanol (b)	9	0.05009 *	0.04933 ns	133.87273 **	0.19454 *	15.87269 ns
خطای (b) Error (b)	24	0.01930	0.04841	22.2778	0.08313	12.27778
ضریب تغییرات CV (%)		6.30	6.38	2.65	4.42	5.35

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, \* and \*\* Non-Significant, Significant at 5% and 1% probability level, respectively

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی لوبیا چشم‌بلبلی تحت تنش خشکی

Continue the table 3- Analysis of variance (mean of squares) of physiological traits of Cowpea under drought stress

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	پرولین Proline	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	نشت الکترولیت‌ها Electrolytes leakage	آنتوسیانین Anthocyanin	فلاونوئید Flavonoid
تکرار Replication	2	3.64583	40.68750	17.77083	0.000003	0.00672
تنش خشکی Drought stress (a)	3	178.79862 **	985.58334 **	1461.18750 **	0.000401 **	3.34868 **
خطای (a) Error (a)	6	16.34028	5.68751	9.60417	0.000004	0.02679
متانول Methanol	3	33.24306 **	266.36112 **	491.35418 **	0.000053 ns	0.23963 **
متانول × تنش Stress × Methanol (b)	9	7.15046 ns	10.15741 **	14.09491 *	0.000045 *	0.04656 ns
خطای (b) Error (b)	24	4.19445	1.85417	4.78472	0.000019	0.02190
ضریب تغییرات CV (%)		6.88	3.23	4.54	11.83	7.40

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, \* and \*\* Non-Significant, Significant at 5% and 1% probability level, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر صفات فیزیولوژیکی لوبیا چشم بلبلی

Table 4- Meam comparison of the simple effect of drought stress and methanol foliar application on physiological traits of Cowpea

تیمارها Treatments	تعرق Transpiration (mmol H <sub>2</sub> O. m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	محتوای نسبی آب RWC (%)	پرولین Proline (mg.g <sup>-1</sup> fw)	فلاونوئید Flavonoid (mg.g <sup>-1</sup> fw)
سطوح تنش Stress levels				
آبیاری پس از ۸۰ میلی متر تبخیر Irrigation after 80 mm of evaporation	6.70 a	79.83 a	25.92 d	1.49 d
آبیاری پس از ۱۱۰ میلی متر تبخیر Irrigation after 110 mm of evaporation	4.25 b	70.25 b	c 28.00	1.68 c
آبیاری پس از ۱۴۰ میلی متر تبخیر Irrigation after 140 mm of evaporation	2.23 c	59.92 c	b 30.25	2.14 b
آبیاری پس از ۱۷۰ میلی متر تبخیر Irrigation after 170 mm of evaporation	0.62 d	51.75 d	a 34.93	2.69 a
سطوح متانول Methanol levels				
بدون محلول پاشی (شاهد) Without foliar spraying (Control)	3.37 a	59.00 d	27.58 c	1.87 c
محلول پاشی ۱۰ درصد حجمی Foliar spraying 10% volumetric	3.41 a	63.01 c	29.42 b	1.92 bc
محلول پاشی ۲۰ درصد حجمی Foliar spraying 20% volumetric	3.47 a	67.33 b	30.75 ab	2.02 b
محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی Foliar spraying 30% volumetric	3.55 a	72.41 a	31.35 a	2.19 a

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level, according to Duncan's test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر صفات فیزیولوژیکی لوبیا چشم بلبلی

Table 5- Comparison of the mean interaction of drought stress and methanol foliar application on physiological traits of Cowpea

تنش خشکی Drought stress	متانول Methanol	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (mol CO <sub>2</sub> . m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	غلظت CO <sub>2</sub> زیر روزنه‌ای Sub stomatal CO <sub>2</sub> (μmol. mol <sup>-1</sup> )	فتوسنتز Photosynthesis (μmol CO <sub>2</sub> . m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (SPAD)	نشت الکترولیت‌ها Electrolytes leakage (%)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg.g <sup>-1</sup> fw)
I <sub>1</sub>	M <sub>0</sub>	3.54 c	220.67 d	10.60 c	46.05 c	43.01 fg	0.030 l
	M <sub>1</sub>	3.63 bc	228.51 c	10.77 c	48.74 c	37.02 ij	0.031 l
	M <sub>2</sub>	3.79 ab	235.00 b	11.50 b	b 53.00	34.33 hi	0.033 kl
	M <sub>3</sub>	3.95 a	258.02 a	12.94 a	a 62.32	31.65 j	0.034 k
I <sub>2</sub>	M <sub>0</sub>	2.52 d	196.31 f	7.20 f	e 41.34	47.00 ef	0.037 j
	M <sub>1</sub>	2.58 d	202.63 f	7.47 f	d 44.00	43.66 fg	0.039 ij
	M <sub>2</sub>	2.62 d	214.35 e	8.14 e	49.05 c	40.34 gh	0.041 i
	M <sub>3</sub>	3.44 c	237.14 b	8.70 d	52.67 b	35.02 j <sup>i</sup>	0.043 <sup>h</sup>
I <sub>3</sub>	M <sub>0</sub>	1.30 fg	138.00 j	3.24 ij	34.00 hi	63.35 a	0.054 g
	M <sub>1</sub>	1.35 fg	145.01 i	3.60 i	36.02 gh	59.32 b	0.057 f
	M <sub>2</sub>	1.43 f	153.32 gh	4.20 h	39.00 f	52.41 c	0.060 ef
	M <sub>3</sub>	2.05 e	158.05 g	4.70 g	41.69 e	45.05 ef	0.062 e
I <sub>4</sub>	M <sub>0</sub>	0.62 h	110.66 l	2.14 l	28.34 k	67.00 a	0.070 d
	M <sub>1</sub>	0.66 h	117.03 l	2.71 k	30.66 j	64.31 a	0.073 c
	M <sub>2</sub>	0.69 h	126.72 k	3.04 jk	33.59 i	59.25 b	0.075 b
	M <sub>3</sub>	1.17 g	132.04 jk	3.57 i	37.04 fg	48.94 cd	0.078 a

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> و I<sub>4</sub>: به ترتیب آبیاری پس از ۸۰، ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A؛ M<sub>0</sub>، M<sub>1</sub>، M<sub>2</sub> و M<sub>3</sub>: به ترتیب محلول پاشی صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level, according to Duncan's test.

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> and I<sub>4</sub>: Irrigation after 80, 110, 140 and 170 mm evaporation from Class A evaporation pan, respectively; M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> and M<sub>3</sub>: 0, 10, 20 and 30 volume percent methanol spraying, respectively.

## شدت تعرق

هدایت روزنه‌ای باعث کاهش جذب  $\text{CO}_2$  و در نتیجه کاهش غلظت  $\text{CO}_2$  اتاقک زیر روزنه‌ای می‌گردد. در حالی که به نظر می‌رسد بالا بودن غلظت  $\text{CO}_2$  اتاقک زیر روزنه‌ای در تیمارهای محلول پاشی متانول، ناشی از جذب متانول از طریق روزنه‌های برگ که طی فرآیند اکسیداسیون به دی‌اکسید کربن تبدیل و باعث افزایش  $\text{CO}_2$  وارد شده به فضای زیر روزنه‌ها می‌شود (Patel et al., 2020). افزایش غلظت  $\text{CO}_2$  اتاقک زیر روزنه‌ای در تیمارهای محلول پاشی متانول با یافته‌های پژوهش‌گران دیگر مطابقت دارد (Hosseinzadeh et al., 2014).

## سرعت فتوسنتز

اثر ساده تیمارهای تنش خشکی و محلول پاشی متانول و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها بر سرعت فتوسنتز معنی‌دار بود (جدول ۳). در تمامی تیمارهای تنش خشکی با افزایش غلظت متانول، سرعت فتوسنتز افزایش یافت، به طوری که بیشترین و کم‌ترین مقادیر آن به ترتیب به تیمار محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر (۱۲/۹۴ میکرو مول  $\text{CO}_2$  بر مترمربع بر ثانیه) و تیمار عدم محلول پاشی متانول در شرایط آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر (۲/۱۴ میکرو مول  $\text{CO}_2$  بر مترمربع بر ثانیه) اختصاص داشت (جدول ۵). می‌توان بیان نمود که بسته شدن روزنه‌ها و کاهش غلظت  $\text{CO}_2$  زیر اتاقک روزنه در شرایط تنش خشکی، دلیلی بر کاهش فتوسنتز باشد (Jin et al., 2015). در مقابل، متابولیسم شدن متانول به دی‌اکسید کربن، سبب برتری  $\text{CO}_2$  در رقابت با  $\text{O}_2$  در اتصال به روبیسکو شده و در نتیجه بازدارندگی واکنش اکسیژنی شدن (کاهش تنفس نوری) و افزایش فتوسنتز را به همراه دارد (Gout et al., 2000). به نظر می‌رسد متانول با تبدیل شدن به  $\text{CO}_2$  سبب افزایش غلظت  $\text{CO}_2$  درون سلولی برگ‌ها شده و با بهبود انجام عمل فتوسنتز و ماده سازی بیشتر منجر به مصرف NADPH تولید شده در زنجیره انتقال الکترون می‌گردد (Patel et al., 2020) و در نتیجه از تجمع آن در کلروپلاست سلول‌های برگ‌ها و تشکیل سوپر اکسید هیدروژن جلوگیری می‌کند. بنابراین می‌توان گفت در حضور میزان بیشتر  $\text{CO}_2$  عمل کربوکسیلاسیون جایگزین اکسیژناسیون شده و فتوسنتز افزایش می‌یابد. بررسی‌های دیگر نیز نشان داد محلول پاشی متانول باعث افزایش فتوسنتز و بهبود رشد گیاه

اثر ساده تیمار تنش خشکی بر صفت شدت تعرق معنی‌دار بود، اما اثر ساده تیمار محلول پاشی متانول و همچنین اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر صفت مذکور معنی‌دار نگردید (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارهای تنش خشکی نشان داد که کم‌ترین و بیشترین میزان شدت تعرق به ترتیب به تیمار آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر (۰/۶۲ میلی مول  $\text{H}_2\text{O}$  بر مترمربع بر ثانیه) و تیمار آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر (۶/۷۰ میلی مول  $\text{H}_2\text{O}$  بر مترمربع بر ثانیه) اختصاص داشت (جدول ۴). پژوهش‌گران بیان داشتند کاهش شدت تعرق در تیمارهای تحت تنش خشکی به علت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای است که علاوه بر تولید اسید آبسزیک (ABA) در ریشه و ارسال آن به برگ‌ها، در اثر کاهش پتانسیل فشاری در برگ نیز تولید می‌شود و ABA تولید شده به‌عنوان یک سیگنال ارتباطی، سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌گردد (Yamori et al., 2013). همان‌گونه که در جدول (۴) مشاهده می‌گردد، مصرف متانول باعث افزایش میزان شدت تعرق گردید اما از نظر آماری معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد که محلول پاشی متانول از طریق تأثیر بر سیستم روزنه‌ای و کاهش مقاومت روزنه‌ای باعث افزایش شدت تعرق گردید؛ زیرا هدایت روزنه‌ای بیشتر (مقاومت روزنه‌ای کم‌تر) با شدت تعرق بالاتر ارتباط تنگاتنگی دارد (Nouriyani, 2021).

## غلظت $\text{CO}_2$ اتاقک زیر روزنه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر ساده تیمارهای تنش خشکی و محلول پاشی متانول و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها بر صفت غلظت  $\text{CO}_2$  اتاقک زیر روزنه معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر بدون محلول پاشی متانول (شاهد) و تیمار آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر به همراه محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول به ترتیب با ۱۱۰/۶۶ و ۲۵۸/۰۲ میکرو مول بر مول کمترین و بیشترین میزان غلظت  $\text{CO}_2$  اتاقک زیر روزنه‌ای را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). از آنجا که  $\text{CO}_2$  از طریق منفذ روزنه به درون فضای زیر روزنه‌ای انتشار یافته و وارد فضای بین سلولی و سپس سلول‌های مزوفیلی می‌شود؛ می‌توان اظهار داشت که در شرایط تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش

می‌شود (Xiao-Tang *et al.*, 2008).

### محتوای نسبی آب برگ

متانول میزان پرولین نیز افزایش یافت (جدول ۴). از آنجا که آنزیم پیرولین ۵-کربوکسیلات سنتتاز (P5CS) که نقش مهمی در سنتز اسیدآمینه پرولین ایفا می‌نماید در شرایط اسیدی بیشترین فعالیت را دارد (Yordanov *et al.*, 2003) گزارش شده است که متانول با کاهش اسیدیته (pH) در گیاه منجر به افزایش فعالیت آنزیم پیرولین ۵-کربوکسیلات سنتتاز شده و از این طریق باعث افزایش میزان پرولین در برگ می‌گردد (Ramroudi *et al.*; Hosseinzadeh *et al.*, 2014). (2016).

### شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشخص نمود که اثر ساده تیمار تنش خشکی و محلول پاشی متانول و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها بر صفت شاخص کلروفیل معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر بیشترین میزان (۶۲/۳۲) و تیمار عدم محلول پاشی متانول در شرایط آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر کمترین میزان (۲۸/۳۴) شاخص کلروفیل را به خود اختصاص داد (جدول ۵). تنش خشکی از فعال شدن آنزیم‌های کلیدی دخیل در سنتز کلروفیل جلوگیری می‌کند و یا باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در تخریب آن می‌گردد (Bhusal *et al.*, 2018) و به بیان دیگر، کاهش کلروفیل در اثر تنش خشکی ناشی از افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌ها موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگ‌دانه‌ها می‌گردند (Simova-Stoilova *et al.*, 2008). کاهش میزان کلروفیل در لوبیا ناشی از تنش خشکی در دیگر تحقیقات نیز گزارش شده است (Patel *et al.*; Davoodi *et al.*, 2018; Alillou *et al.*, 2024; 2022). افزایش میزان کلروفیل در شرایط محلول پاشی متانول با اکسیداسیون متانول در ارتباط است؛ زیرا هنگامی که گیاه در شرایط کمبود آب با تنش اکسیداتیو و بسته شدن روزنه‌ها و کاهش CO<sub>2</sub> درون سلولی برگ مواجه می‌شود، به نظر می‌رسد که در این شرایط محلول پاشی متانول منجر به افزایش غلظت CO<sub>2</sub> درون سلولی و کاهش تنفس نوری می‌شود. در نتیجه با کاهش تنفس نوری، پراکسید هیدروژن تولید شده در پراکسی زوم کاهش یافته و

محتوای نسبی آب برگ (RWC) تحت تأثیر معنی‌دار اثر ساده تیمارهای تنش خشکی و محلول پاشی متانول قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارهای تنش خشکی نشان داد که بیشترین و کمترین محتوای نسبی آب برگ به میزان ۷۹/۸۳ و ۵۱/۷۵ درصد به ترتیب به تیمار آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر و تیمار آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر مربوط بود (جدول ۴). کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی، ناشی از کاهش میزان جذب آب از خاک توسط ریشه‌ها و یا به علت تعرق بیشتر از روزه‌های برگ است (Ma *et al.*, 2017). گزارش شده است تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های لوبیا گردید (Dastneshan *et al.*, 2022). همان‌طور که در جدول (۴) ملاحظه می‌شود، کاربرد متانول سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ و بهبود شرایط آبی گیاه گردید. در این ارتباط می‌توان بیان داشت کاربرد متانول باعث بهبود فتوسنتز و در نتیجه افزایش تولید کربوهیدرات در برگ شد و به نظر می‌رسد افزایش مواد اسمزی درون بافت‌ها موجب جذب آب بیشتر با نیروی قوی‌تر از خاک شده و در نهایت سبب بهبود محتوای نسبی آب در شرایط تنش خشکی گردید.

### اسیدآمینه پرولین

نتایج آزمایش نشان داد که اثر ساده تیمارهای تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر میزان پرولین معنی‌دار بود، اما اثر متقابل بین آن‌ها بر صفت مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های تیمار تنش خشکی نشان داد کمترین و بیشترین مقادیر پرولین به ترتیب به تیمار آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر (۲۵/۹۲) میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) و تیمار آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر (۳۴/۹۳) میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) تعلق داشت (جدول ۴). از پاسخ‌های گیاهان به خشکی تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین است که منجر به سازگاری اسمزی گیاه می‌شود. افزایش پرولین در شرایط تنش را به افزایش فعالیت آنزیم پیرولین ۵-کربوکسیلات سنتتاز که در مسیر بیوسنتز پرولین نقش دارد، نسبت داده‌اند (Kamanga *et al.*, 2018). در این آزمایش با افزایش مصرف

آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر با میزان ۰/۰۷۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ و تیمار عدم محلول پاشی متانول در شرایط آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر با میزان ۰/۰۳۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر آنتوسیانین را به خود اختصاص داد (جدول ۵). در آزمایشی محلول پاشی متانول باعث افزایش تولید آنتوسیانین‌ها در گیاهان تحت تنش خشکی گردید (Rezaie Allolo et al., 2024). در شرایط خشکی، آنتوسیانین‌ها به‌عنوان جذب‌کننده‌های نور و محافظت‌کننده‌های سلولی عمل می‌کنند و این افزایش به علت نقش حفاظت نوری آن‌ها به‌وسیله حذف مستقیم رادیکال‌های آزاد اکسیژن در طول مدت تنش اکسیداتیو است (Madanes et al., 2019).

### فلاونوئیدها

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر ساده تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر صفت مورد ارزیابی فلاونوئید معنی‌دار بود، اما اثر متقابل بین آن‌ها بر صفت مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمار تنش خشکی نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فلاونوئیدها به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر (۲/۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) و تیمار آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر (۱/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) بود (جدول ۴). افزایش فلاونوئیدها در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک سیستم آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی می‌تواند از تنش‌های اکسیداتیو جلوگیری کند، به این معنی که توان حذف گونه‌های فعال اکسیژن را دارند (Sen et al., 2020). نتایج آزمایشی نشان داد که با افزایش شدت تنش رطوبتی میزان فنول و فلاونوئید کل نسبت به شاهد افزایش یافت (Afshari et al., 2024). مصرف متانول باعث افزایش معنی‌دار میزان فلاونوئیدها گردید؛ به‌طوری‌که محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول با مقدار ۲/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ باعث افزایش حدود ۱۸ درصدی میزان فلاونوئیدها نسبت به تیمار عدم محلول پاشی متانول گردید (جدول ۴). در این ارتباط می‌توان اظهار نمود که متانول به‌عنوان محرک سنتز بیش‌تر ترکیبات ثانویه مانند فلاونوئیدها در شرایط تنش بود. گزارش شده است، افزایش غلظت فلاونوئیدها سبب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، نشت

خسارت وارده بر کلروفیل نیز کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی از افزایش کلروفیل با به کار بردن متانول در گندم (Aghaei et al., 2023) و ذرت (Armin and Keyvanloo, 2015) تحت تنش خشکی گزارش شده است.

### نشت الکترولیت‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تیمارهای تنش خشکی و محلول پاشی متانول و همچنین اثر متقابل بین آن‌ها بر صفت نشت الکترولیت‌ها معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به اثر متقابل تیمار تنش خشکی و محلول پاشی متانول مشخص نمود که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان نشت الکترولیت‌ها به ترتیب مربوط به تیمار عدم محلول پاشی متانول در شرایط آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر (۶۷ درصد) و تیمار محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر (۳۱/۶۵ درصد) بود (جدول ۵). در این آزمایش تنش خشکی موجب افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها گردید؛ که در این ارتباط بیان شده است تنش خشکی به‌واسطه تولید مواد تخریب‌کننده غشاء از جمله پراکسید هیدروژن ناشی از تنش اکسیداتیو و پراکسیداسیون لیپیدی غشاء، سبب ناپایداری غشای سلولی شده و در نتیجه نشت الکترولیت‌ها افزایش می‌یابد (Chaves et al., 2003). در آزمایشی بر روی گیاه کینوا تنش خشکی باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها گردید (Mousavi Sardou et al., 2023). اما در تحقیق حاضر محلول پاشی متانول باعث کاهش میزان نشت الکترولیت‌ها از غشاء سلول شد. کاهش نشت الکترولیت‌ها و افزایش پایداری غشای سلولی با محلول پاشی متانول مربوط به خواص ضد تنشی آن است که به نظر می‌رسد متانول با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز و پراکسیداز، باعث تجزیه مواد تخریب‌کننده غشای سلولی از جمله پراکسید هیدروژن می‌گردد.

### آنتوسیانین

میزان آنتوسیانین تحت تأثیر معنی‌دار اثر ساده تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی متانول قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد که تیمار محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط

۳۰ درصد حجمی آن می‌تواند توانمندی گیاه را در افزایش تحمل تنش خشکی و تعدیل اثرات منفی آن در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی بهبود ببخشد.

### سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است که با همکاری و حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه پیام نور استان خوزستان انجام گردیده که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

### تعارض منافع

نویسنده اظهار می‌نماید که هیچ‌گونه تعارض منافی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

الکترولیت‌ها، غلظت پراکسید هیدروژن و کاهش اثرات مخرب تنش خشکی می‌شود (Boscaiu et al., 2010).

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، نتایج آزمایش نشان داد که تنش خشکی تأثیر منفی بر صفات فیزیولوژیکی نظیر هدایت روزنه‌ای، شدت تعرق، غلظت  $CO_2$  زیر روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، محتوای نسبی آب برگ و شاخص کلروفیل لوبیا چشم‌بلبلی داشت. اما، کاربرد متانول از طریق بهبود صفات فیزیولوژیکی مورد ارزیابی در این آزمایش باعث افزایش پایداری غشای سلولی، بهبود صفات فتوسنتزی و شرایط آبی گیاه، تقویت پاسخ دفاعی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی از طریق تشدید تولید متابولیت‌های ثانویه (فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها) و تجمع بیشتر اسیدآمینه پرولین گردید. بنابراین، به نظر می‌رسد کاربرد متانول به‌خصوص مصرف

## References

- Afshari, M., Rahimmalek, M. and Sabzalian, M.R., 2024. Evaluation of limited irrigation effects on essential oil constituents and antioxidant activities of the medicinal plant *S. abrotanoides*. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 6(1), pp.33-50. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.338848.1228>
- Afshari, M.A., Habibi, H., Shekari, F. and Fotokian, M.H., 2012. Effect of salicylic acid (SA) on the photosynthesis, dry weight and canopy temperature in the cowpea (*Vigna unguiculata*) vegetative growth stage. *Journal of Agronomy Sciences*, 4(6), pp.41-50. [In Persian].
- Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S. and Massimiliano, T., 2012. Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant Science*, 196, pp.67-76.
- Aghaei, F., Seyed Sharifi, R. and Narimani, H., 2023. Effect of methanol on yield, dry matter remobilization and grain filling process of wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigation withholding. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(1), pp.83-100. [In Persian]. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.07.014>
- Aghaei, F., Seyyed Sharifi, R., Khomari, S. and arimani, H., 2021. Effects of methanol on grain yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigation withholding conditions. *Crop Production*, 13(4), pp.151-172. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.18631.2382>
- Alillou, M.K., Roshdi, M., Rezadust, S. and Khalili Mahaleh, J., 2024. Evaluation of the biochemical characteristics of red beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) and seed protein under different levels of irrigation and growth stimulating compounds. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 6(2), pp.541-558. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.351363.1260>

- Amraei, B., Paknejad, F., Ebrahimi, M.A. and Sobhanian, H., 2017. Effects of methanol spraying on some biochemical and physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 12(45), pp.81-94. [In Persian].
- Armin, M. and Keyvanloo, A., 2015. Effects of methanol foliar application on some root and shoot morphological characteristics of Corn under drought stress conditions. *Journal of Crop Research*, 7, pp.27-40. [In Persian].
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, pp.205-207. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>
- Bhusal, N., Bhusal, S.J. and Yoon, T.M., 2018. Comparisons of physiological and anatomical characteristics between two cultivars in bi-leader apple trees (*Malus domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae*, 231, pp.73-81. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.006>
- Boscaiu, M., Sanchez, M., Bautista, I., Donat, P., Lidon, A., Llinares, J., Llul, C. Mayoral, O. and Vicente, O., 2010. Phenolic compounds as stress markers in plants from gypsum habitats. *Bulletin UASVM Horticulture*, 67, pp.44-49.
- Carraro, E. and Di Iorio, A., 2022. Eligible strategies of drought response to improve drought resistance in woody crops: a mini-review. *Plant Biotechnology Reports*, 16, pp.265-282. <https://doi.org/10.1007/s11816-021-00733-x>
- Chaves, M., Marco, J. and Pereira, J., 2003. Understanding plant response to drought from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), pp.239-264. <https://doi.org/10.1071/fp02076>
- Dastneshan, Sh., Bihamta, M.R., Alireza Abbasi, A.R. and Sabokdast, M., 2022. Biochemical and molecular evaluation of some beans genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(4), pp.1-14. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.280103.654606>
- Davoodi, S.H., Rahemi-karizaki, A., Nakhzari-moghadam, A. and Gholamalipour Alamdari, E., 2018. The effect of deficit irrigation on yield and physiological traits of Bean cultivars. *Plant Production Technology*, 10(1), pp.83-95. [In Persian]. <https://doi.org/10.22084/ppt.2018.9633.1537>
- Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A.R., Benson, A. and Douce, R., 2000. Plant metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology*, 123, pp.287-296. <https://doi.org/10.1104/pp.123.1.287>
- Hosseinzadeh, S.R., Cheniany, M. and Salimi, A., 2014. Effects of foliar application of methanol on physiological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, 5(2), pp.71-82. [In Persian].
- Jin, R., Shi, H., Han, C., Zhong, B., Wang, Q. and Chan, Z., 2015. Physiological changes of purslane (*Portulaca oleracea* L.) after progressive drought stress and rehydration. *Scientia Horticulture*, 194, pp.215-221. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.023>
- Kalantar Ahmadi, S.A., Ebadi, A., Daneshian, J., Siadat, S.A. and Jahanbakhsh, S., 2017. Effect of drought stress and foliar application of growth regulators on photosynthetic pigments and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L. cv. Hyola 401). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 18(3), pp.196-217. [In Persian].

- Kamanga, R.M., Mbega, E. and Ndakidemi, P., 2018. Drought tolerance mechanisms in plants: Physiological responses associated with water deficit stress in *Solanum lycopersicum*. *Advances in Crop Science and Technology*, 6(3), pp.1-8. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000362>
- Kochaki, A.R. and Khaje Hosseini, M.J., 2008. Modern agriculture: First Edition. Publications University of Mashhad, Iran, p.712. [In Persian].
- Krizek, D.T., Britz, S.J. and Mirecki, R.M., 1998. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. new red fire lettuce. *Physiologia Plantarum*, 103, pp.1-7. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1030101.x>
- Liu, Y., Subhash, C., Yan, J., Song, C. and Zhao, J., Li, J., 2011. Maize leaf temperature responses to drought: Thermal imaging and quantitative trait loci (QTL) mapping. *Environmental and Experimental Botany*, 71, pp.158-165. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.11.010>
- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J., 1996. NaCl- induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78, pp.389-398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>
- Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y. and Guo, T., 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 8, pp.860-867. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00860>
- Machado, C.F.R., Araújo, O.D.Q.F., de Medeiros, J.L. and de Brito Alves, R.M., 2018. Carbon dioxide and ethanol from sugarcane biorefinery as renewable feedstocks to environment-oriented integrated chemical plants. *Journal of Cleaner Production*, 172, pp.1232-1242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.234>
- Madanes, S., Hunsche, M. and Noga, G., 2019. Methanol as a potential resource for drought stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, pp.123-132.
- Mita, S., Murano, N., Akaike, M. and Nakamura, K., 1997. Mutants of *Arabidopsis thaliana* with pleiotropic effects on the expression of the gene for beta-amylase and on the accumulation of anthocyanin those are inducible by sugars. *Plant Journal*, 11, pp.841-851. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1997.11040841.x>
- Mousavi Sardou, S.F., Khammari, I., Mousavi Nick, S.M., Maghsoudi, A.A. and Allahdou, M., 2023. The effect of drought stress and potassium sulfate on seed yield and physiological traits of quinoa plant. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 5(1), pp.37-49. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/csrar.2023.356951.1277>
- Nonomura, A.R., Benson, A. and Douce, R., 2000. Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology*, 123, pp.287-296. <https://doi.org/10.1104/pp.123.1.287>
- Nouriyani, H., 2021. Response of leaf gas exchanges and grain yield of S.C. 704 Maize to salicylic acid foliar application under water deficit stress. *Crop Physiology Journal*, 13 (50), pp.131-163. [In Persian].
- Nouriyani, H., 2023. Environmental Stresses and Plants Production (Physiological, Biochemical and Molecular Approaches). Payame Noor University Press, Iran, 224p. [In Persian].

- Patel, P., Bhatt, S. and Trivedi, R., 2020. Effect of methanol foliar application on pigment content in plants under drought conditions. *Journal of Plant Stress Biology*, 6(2), pp.101-109.
- Rai, G.K., Kumar, R.R., Bagati, S., 2021. Abiotic stress tolerance mechanisms in plants. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003163831>
- Ramirez, I., Dorta, F., Espinoza, V., Jimenez, E., Mercado, A. and Pena-Cortes, H., 2006. Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of arabidopsis, tobacco and tomato plants. *Journal Plant Growth Regulation*, 25, pp.30-44. <https://doi.org/10.1007/s00344-005-0027-9>
- Ramroudi, M., Chezgi, M. and Galavi, M., 2016. Effect of methanol spraying on quantitative traits and osmotic adjustments in Moldavian (*Dracocephalum moldavica* L.) under low irrigation conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1), pp.149-158. [In Persian].
- Rezaie Allolo, A., Sanikhani, M., Kheiry, A. and Yaghoobi, M., 2024. Effect of ethanol and methanol foliar application on biochemical indices of *Digitalis purpurea* L. *Journal of Plant Process and Function*, 13(60), pp.367-382. [In Persian].
- 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, pp.105-111. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>
- Sen, S.K., Chouhan, D., Das, D., Ghosh, R. and Mandal, P., 2020. Improvisation of salinity stress response in mung bean through solid matrix priming with normal and nano-sized chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 145, pp.108-123. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.170>
- Shukla, V., Kumar, S. and Kumar, N., 2017. Plant Adaptation Strategies in Changing Environment. Published Springer, 386p. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6744-0>
- Simova-Stoilova, L., Demirevska, K., Petrova, T., Tsenov, N. and Feller, U., 2008. Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. *Plant Soil and Environment*, 54, pp.529-536. <https://doi.org/10.17221/427-pse>
- Xiao-Tang, J., Feng-Chun, C., Chun-Gian, L., Rong-Feng, J., Christie, P. and Fu-Suo, Z., 2008. Yield and nicotine content of flue cured tobacco as affected by soil nitrogen mineralization Pedosphere. *Field Crops Research*, 18(2), pp.227-235. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(08\)60011-9](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(08)60011-9)
- Yamori, M., Hikosaka, K. and Way, D.A., 2013. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research*, 13, pp.74-76. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z. and Chen, S., 2021. Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulture*, 7, pp.50-61. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>
- Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T., 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 2, pp.187-206.



# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 427-442

### Effect of seed priming and imazetapyr herbicide on chickpea (*Cicer arietinum* L.) weed management

Abdolreza Ahmadi <sup>\*a</sup>, Norollah Zeidetolabi <sup>a</sup>, Omidali Akbarpour <sup>a</sup>, Mojgan Beiranvandi <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

\*Corresponding Author: [Ahmadi.a@lu.ac.ir](mailto:Ahmadi.a@lu.ac.ir)

Received: 26 December 2024 Accepted: 4 February 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.495357.1460

#### How to cite this article:

Ahmadi, A., Zeidetolabi, N., Akbarpour, O., and Beiranvandi, M. 2025. Effect of seed priming and imazetapyr herbicide on chickpea (*Cicer arietinum* L.) weed management. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 427-442. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.495357.1460>

#### Abstract

**Introduction:** Pea cultivation is vital to the agricultural systems of the Mediterranean region. In addition to providing important nutrition for both humans and livestock, peas help maintain soil fertility, especially in arid areas worldwide. Weeds pose a significant challenge to agriculture because they compete with crops for essential resources like water, nutrients, light, and space. In developing countries, grass interference greatly reduces crop yields, leading to substantial losses. The herbicide Imazethapyr can be used either as a pre-sowing soil treatment or both before and after legume emergence to effectively control this problem. In Iran, which is characterized by arid and semi-arid climates with limited rainfall, careful planning and strategic resource management are crucial to minimize production losses during dry periods. To address these challenges, improving seed germination and early seedling establishment while optimizing soil moisture use is essential. Seed priming is an effective technique that enhances germination rates, ensures uniform emergence, supports seedling growth, and promotes key developmental stages such as vegetative growth, flowering, seed filling, and tillering in various crops.

**Materials and Methods:** A field experiment was conducted from 2014 to 2015 to examine the effects of chickpea seed priming and imazetapyr herbicide on weed control, yield, and its components in chickpeas, arranged factorially within a randomized complete block design with three replications. The main factor was seed priming (primed and non-primed), while the secondary factor involved applying imazetapyr herbicide at doses of 250, 500, 750, and 1000 cc, combined with two weeding treatments. Each plot measured 3 × 8 meters, with row spacing of 60 cm and a planting density of 45 seeds per square meter. To assess weed density and relative abundance across the entire field, each plot was split lengthwise into two sections: the upper section, serving as an unsprayed control, and the lower section, which received the treatment. Weed density and relative abundance were evaluated by placing two 5 cm × 5 cm squares in the unsprayed part of each plot. Spraying was done with a MATABI model backpack sprayer fitted with a calibrated nozzle, applying 300 liters of water per hectare. Pre-planting herbicides were incorporated into the soil using a sander, and pre-emergent treatments were applied immediately after planting Arman chickpeas. Weed density and dry weight were measured fifteen and thirty days after the last spraying by sampling from two 0.5 × 0.5-meter



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

boxes in each plot. The data were analyzed using SAS (9.1) software via analysis of variance. Means were compared using Duncan's multiple range test at a significance level of 5%.

**Results and Discussion:** The highest herbicide efficacy at 15 days after spraying (DAS) on weed dry weight (67.14%) and weed density (71.37%) was related to treatments (Imazethapyr 1000 cc + non-priming and Imazethapyr 250 cc non-priming). In addition, the highest herbicide efficacy at 30 DAS on weed dry weight (87.37%) and weed density (91.8%) belonged to treatments (Imazethapyr 500 cc + priming and Imazethapyr 750 cc + non-priming). The results indicated that the tallest (27.5 cm) and the shortest (12.9 cm) chickpea plant height were associated with the priming + weeding and non-priming +1000 cc herbicide treatments, respectively. The highest yield (873 kg. ha<sup>-1</sup>) and 100-seed weight (26.8 g) were attributed to the weeding priming treatment. In this experiment, Imazethapyr effectively controlled weeds; however, its adverse effects caused slow growth, severe phytotoxicity, and a reduction in chickpea seed yield. Therefore, it is recommended not to use this herbicide under rainfed conditions.

**Conclusion:** Studies have shown that the use of the herbicide imazethapyr is highly effective in controlling weeds in chickpea fields. Specifically, increasing the concentration of this herbicide leads to a significant reduction in weed density, especially 15 and 30 days after spraying. One of the notable findings of this research was the positive effect of seed priming combined with the application of 1000 cc of imazethapyr. This combination resulted in a 94% reduction of annual weeds. In terms of yield, the treatment of seed priming along with hand weeding produced the best results in seed production, and the highest 100-seed weight was also observed in this treatment. This indicates that hand weeding, as a complementary method, can help improve chickpea yield. However, the use of high doses of imazethapyr alone, due to phytotoxic effects, caused a decrease in yield and yield components of chickpea. Therefore, it is recommended to use a dose of 500 cc per hectare as the optimal dose for this herbicide.

**Keywords:** Arman cultivar, Dry weight of weeds, Plant toxicity, Rainfed farming, Yield chickpea

## تأثیر پرایمینگ بذر و علفکش ایمازتاپیر بر مدیریت علفهای هرز نخود (*Cicer arietinum* L.)

عبدالرضا احمدی\*<sup>۱</sup>، نوراله زیدی طولابی<sup>۱</sup>، امیدعلی اکبریپور<sup>۱</sup>، مژگان بیرانوندی<sup>۱</sup>

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

\* مسئول مکاتبه: [Ahmadi.a@lu.ac.ir](mailto:Ahmadi.a@lu.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.495357.1460

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۶

### چکیده

علفکش‌ها موفق‌ترین فناوری کنترل علفهای هرز هستند که تا به حال توسعه یافته‌اند. برای ارزیابی اثرات پرایمینگ و علفکش‌ها روی جمعیت علفهای هرز، عملکرد و اجزای عملکرد مطالعه‌ای با استفاده از ایمازتاپیر بر روی نخود رقم آرمان انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی پرایمینگ بذر (با پرایمینگ و بدون پرایمینگ) و عامل فرعی شامل کاربرد علفکش ایمازتاپیر در دوزهای ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ سی‌سی به همراه دو تیمار شاهد کنترل و تداخل بود. بیشترین کارایی علفکش ۱۵ روز پس از سمپاشی بر وزن خشک (۶۷/۱۴ درصد) و تراکم علفهای هرز (۷۱/۳۷ درصد) مربوط به تیمارهای (ایمازتاپیر ۱۰۰۰ سی‌سی + بدون پرایمینگ و ایمازتاپیر ۲۵۰ سی‌سی + بدون پرایمینگ) بود. همچنین بیشترین کارایی علفکش ۳۰ روز پس از سمپاشی بر وزن خشک (۸۷/۳۷ درصد) و تراکم علفهای هرز (۹۱/۸ درصد) متعلق به تیمارهای (ایمازتاپیر ۵۰۰ سی‌سی + پرایمینگ و ایمازتاپیر ۷۵۰ سی‌سی + بدون پرایمینگ) بود. نتایج نشان داد که بیشترین (۲۷/۵ سانتی‌متر) و کمترین (۱۲/۹ سانتی‌متر) ارتفاع بوته نخود به ترتیب مربوط به تیمار علفکش ۱۰۰۰ سی‌سی پرایمینگ + وجین و بدون پرایمینگ بود. بیشترین عملکرد (۸۷۳ کیلوگرم در هکتار) و وزن ۱۰۰ دانه (۲۶/۸ گرم) به تیمار وجین + پرایمینگ نسبت داده شد. در این آزمایش، علفکش ایمازتاپیر به طور موثر علفهای هرز را کنترل کرد ولی اثرات نامطلوب آن باعث رشد آهسته، سمیت گیاهی شدید و کاهش عملکرد دانه نخود شد. بنابراین توصیه می‌شود از این علفکش در شرایط دیم استفاده نشود.

واژه‌های کلیدی: دیم‌کاری، رقم آرمان، سمیت گیاهی، عملکرد نخود، وزن خشک علف‌هرز

### مقدمه

کشاورزی دارند و کنترل آنها یک چالش بزرگ برای بخش کشاورزی است (Kubiak et al., 2022). این گیاهان می‌توانند به سرعت منابع طبیعی محدودی مانند آب، نور، مواد مغذی خاک و فضا را جذب کنند. آنها به دلیل ویژگی‌هایی مانند سیستم ریشه عمیق، مقاومت در برابر خشکی و یخبندان و کارایی بالای استفاده از مواد مغذی می‌توانند سریع‌تر از گیاهان کشت شده تولیدمثل کنند. علاوه بر این، علفهای هرز می‌توانند مواد آلیپاتیک را در خاک آزاد کنند و از رشد آفات و پاتوژن‌های گیاهی حمایت کنند. این خواص آنها را با محصولات زراعی قابل رقابت می‌کند و اغلب منجر به کاهش عملکرد محصول و در عین حال افزایش هزینه‌های کشت می‌شود (Trognitz et al., 2016). در سطح جهان، تقریباً ۱۸۰۰ گونه علفهای هرز باعث کاهش ۳۱/۵ درصدی تولید گیاه می‌شوند که به معنای زیان اقتصادی ۳۲ میلیارد دلاری در سال است. رشد اولیه نخود آهسته است و همین امر گیاه را به شدت مستعد آلودگی

کشت نخود (*Cicer arietinum* L.) عملکردهای مختلفی را در سیستم‌های کشاورزی منطقه مدیترانه انجام می‌دهد. این محصول جدا از اهمیت تغذیه‌ای آن هم برای انسان و هم برای دام، نقش مهمی در حفظ باروری مناطق خشک در سراسر جهان دارد (Tas et al., 2022). بر اساس اطلاعات ارائه شده از سوی فائو، تولید جهانی نخود ۱۳/۹۸ میلیون هکتار و تولید کل آن ۱۳/۷۳ میلیون تن می‌باشد. تقریباً ۹۰ درصد از کشت گیاه نخود در سطح جهان بصورت دیم انجام می‌شود. در ایران نخود در بین حبوبات با مساحت معادل ۸/۶۲ درصد جایگاه نخست را به خود اختصاص داده است (FAO, 2023). علفهای هرز چالش مهمی را در سیستم‌های کشاورزی نشان می‌دهند، زیرا آنها برای رطوبت، مواد مغذی، نور و فضا با محصولات کشاورزی رقابت می‌کنند (Leguizamón, 2024). گونه‌های گیاهی علفهای هرز تأثیر منفی قابل توجهی بر بهره‌وری محصولات

از رطوبت خاک ضروری است (Gao and Yan, 2020). در بین رویکردهای زراعی، پرایمینگ بذر به عنوان استراتژی سریع، آسان، کم‌هزینه و مؤثر برای بهبود جوانه‌زنی، رشد گیاه و پارامترهای مربوط به عملکرد محسوب می‌شود. این تکنیک در افزایش عملکرد دلنه و تقویت دفاع کلی گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی در بسیاری از محصولات کشاورزی مؤثر است (Iqbal et al., 2020; Chakraborty and Dwivedi, 2021). پرایمینگ به عنوان تیمار بذر قبل از کاشت تعریف می‌شود که در آن بذرها به طور کامل در آب یا محلول عوامل شیمیایی متنوعی (نمک‌های معدنی، املاح آلی سازگار، آنتی‌اکسیدان‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، عصاره‌های طبیعی و غیره) غوطه‌ور شده و به رطوبت مناسب می‌رسند (Iqbal et al., 2020). هیدروپرایمینگ یا خیساندن بذر در آب، ساده‌ترین، دوست‌دار محیط‌زیست و مقرون به صرفه‌ترین روش پرایمینگ بذر محسوب می‌شود (Catiempo et al., 2021). این روش مزیت قبل توجهی در تسریع رشد گیاه دارد و موجب می‌شود گیاهچه‌ها تقریباً ۱۳ روز زودتر ظاهر شوند (Hussain et al., 2016). مطالعات متعددی پرایمینگ بذر را به عنوان تکنیک مؤثری برای ترویج جوانه‌زنی، بهبود خصوصیات مورفولوژیک و افزایش رشد گیاه در شرایط عادی و تنش معرفی کرده‌اند (Muhei et al., 2018; Rhaman et al., 2020). هیدروپرایمینگ به عنوان روشی مؤثر در بهبود عملکرد جوانه‌زنی شناخته می‌شود که باعث سبزشدن زودتر و رشد یکنواخت محصول می‌شود (Tamindzic et al., 2023). هدف از مطالعه حاضر، بررسی پتانسیل استفاده از پرایمینگ بذر برای افزایش جوانه‌زنی، تسریع استقرار و رشد گیاهچه و همچنین ارزیابی کاربرد علفکش ایمازتاپیر برای مدیریت علف‌های هرز بود.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر هیدروپرایمینگ بذر و علفکش ایمازتاپیر در کنترل علف‌های هرز، آزمایش مزرعه‌ای روی نخود (*C. arietinum* L.) رقم آرمان در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد (۴۶ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی، ۳۲ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی، با ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه ۴۶۱ میلی‌متر) در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ انجام شد. مجموع بارندگی در طول فصل زراعی سال

علف‌های هرز می‌کند که نتیجه آن کاهش قابل توجه ۷۵ درصدی در عملکرد نخود است (Merga and Alemu, 2019). با توجه به اینکه نخود عمدتاً در شرایط خشک پاییز کشت می‌شود و ذاتاً رقیب ضعیفی در برابر علف‌های هرز است، مدیریت مؤثر علف‌های هرز برای تولید موفق ضروری می‌شود (Kanatats et al., 2022). به طور سنتی، کشاورزان به وجین دستی به عنوان وسیله‌ای برای کنترل علف‌های هرز متوسل می‌شوند. با این حال، افزایش هزینه‌های نیروی کار و کمبود کارگران چالش‌هایی را برای این روش ایجاد کرده است (Tiwari et al., 2022). محققان تاکید کرده‌اند که وقتی کنترل دستی علف‌های هرز امکان‌پذیر نباشد، استفاده از علفکش‌ها به عنوان یک جایگزین مناسب توصیه می‌شود (Tiwari et al., 2022). معرفی علفکش‌ها را می‌توان یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها در کشاورزی دانست. امروزه در بیشتر کشورهای جهان، سیستم‌های کشاورزی پیشرفته استفاده از علفکش‌ها را برای افزایش تولید در اولویت قرار می‌دهند (Gaines et al., 2020). علفکش‌های بازدارنده ALS دارای طیف گسترده‌ای کارآمد در گونه‌های علف‌هرز و علف‌های هرز پهن برگ، سمیت کم پستانداران هستند و در محصولات عمده در جهان انتخابی هستند (Powles and yu, 2010). بنابراین، علفکش‌های بازدارنده ALS در بسیاری از مناطق به شدت در مناطق وسیعی استفاده می‌شوند این علفکش‌ها دارای قابلیت فعال ماندن در خاک برای مدت طولانی هستند و به طور مؤثر علف‌های هرزی را که در طول فصل رشد از طریق جذب توسط سیستم ریشه و برگ ظاهر می‌شوند هدف قرار داده و از بین می‌برند (Widianto et al., 2022). علفکش ایمازتاپیر می‌تواند به صورت قبل از کاشت و یا به عنوان یک تیمار قبل و بعد از سبزشدن برای حبوبات استفاده شود (Baucom, 2019). در ترکیه، علفکش ایمازتاپیر با موفقیت برای مدیریت علف‌های هرز نخود استفاده شده است (Prakash et al., 2017). ایران با توجه به قرار گرفتن در مناطق خشک و نیمه خشک بارندگی محدودی را تجربه می‌کند. با این حال، برنامه‌ریزی فعال و استفاده استراتژیک از منابع موجود می‌تواند به کاهش تلفات تولید در طول سال‌ها با حداقل بارندگی کمک کند (Ahmadi et al., 2024). در این زمینه، راه حلی برای افزایش جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه در عین بهینه‌سازی استفاده

۱۳۹۳ (از اکتبر تا ژوئیه) برابر با ۲۰۵ میلی‌متر و میانگین حداقل و حداکثر دما در این فصل به ترتیب ۵/۸ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱).

جدول ۱- داده‌های هواشناسی در فصل زراعی ۹۴-۱۳۹۳ (۹۴/۳/۳۱ تا ۹۳/۷/۱)

ماه	حداکثر دما	حداقل دما	بارندگی
Months	Maximum temperature(°C)	Minimum temperature(°C)	Total precipitation(mm)
مهر سال ۱۳۹۳	28.9	10.9	70.3
2014-September			
آبان سال ۱۳۹۳	18.7	4.3	27.2
2014-October			
آذر سال ۱۳۹۳	14.4	2.6	9.6
2014-November			
دی سال ۱۳۹۳	12.2	-0.5	9.6
2014-December			
بهمن سال ۱۳۹۳	15.6	2.7	33.6
2015-January			
اسفند سال ۱۳۹۳	16.4	2.4	52.9
2015-February			
فروردین سال ۱۳۹۴	21.2	6.1	51.4
2015-March			
اردیبهشت سال ۱۳۹۴	29.6	10.5	12.6
2015-April			
خرداد سال ۱۳۹۴	37.3	15.6	0.2
2015-May			
میانگین در فصل زراعی	21.6	5.8	22.7
کل بارندگی در فصل زراعی			204.4

شده نخود، رقم آرمان بود که از طریق شرکت تعاونی کشاورزی فنی کیمیاگستر خرم‌آباد لرستان تهیه و در مورخ ۹۳/۱۲/۱۷ به مدت ۸ ساعت در آب مقطر پرایمینگ (خیسانده) شد و بعد از خشک شدن کشت گردید. با توجه به اینکه فسفر خاک مزرعه مورد مطالعه معادل ۱۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم (وضعیتی کمتر از حد بحرانی) بود (جدول ۲)، بر این اساس ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل به خاک مزرعه قبل از کاشت اضافه و با دیسک مخلوط گردید، و مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به عنوان استراترا استفاده شد.

میانگین حداقل و حداکثر دما در طول فصل زراعی اصلی ۵/۸ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار انجام شد. عامل اول عملیات پرایمینگ در دوسطح [پرایمینگ بذر به مدت ۸ ساعت (P<sub>1</sub>) و تیمار بدون پرایم (P<sub>2</sub>)] بود. عامل دوم استفاده از علف‌کش ایمازتاپیر در غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ سی‌سی به همراه تیمارهای وجین دستی در تمام فصل و عدم وجین علف‌های هرز بود. ضد عفونی بذر توسط قارچ‌کش کاپتان به نسبت یک در هزار انجام گردید. بذر انتخاب

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی متر)

بافت خاک					درصد ترکیبات آلی				هدایت الکتریکی ECe
(ppm)					T.D.S		OM (%)		اسیدیته
					(Mg Li <sup>-1</sup> )	نیتروژن	کربن	(PH)	(dS.m <sup>-1</sup> )
Sand	Silt	Clay	Potassium	Phosphorus		Nitrogen	Carbon		
18	44	39	355	10.8	231	0.059	0.61	8	0.57

از معادله ۱ محاسبه شد (Somanni, 1992):

$$WCE = \left( \frac{A - B}{A} \right) \times 100 \quad (1)$$

در این معادله WCE نشان‌دهنده اثربخشی کنترل علف‌های هرز بر اساس تراکم یا وزن خشک، A نشان‌دهنده تراکم یا وزن خشک علف‌های هرز در تیمار تداخلی، و B تراکم یا وزن خشک علف‌های هرز در تیمار شاهد است. مطابق این معادله جهت محاسبه کارایی کنترل علف‌های هرز توسط علف‌کش‌ها، ابتدا در نیم‌کرت سم‌پاشی شده و نیم‌کرت‌های شاهد بدون سم‌پاشی، تراکم و وزن خشک علف‌های هرز اندازه‌گیری شد. سپس میزان تراکم علف‌های هرز در نیم‌کرت سم‌پاشی شده از میزان آن در نیم‌کرت شاهد بدون سم‌پاشی کسر گردید و در ادامه، این مقدار بر میزان تراکم علف‌های هرز در نیم‌کرت شاهد، تقسیم گردید و در نهایت در ۱۰۰ ضرب شد. برای وزن خشک نیز به همین ترتیب عمل شد (Somanni, 1992).

تعیین صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد نیز بر مبنای ۱۰ بوته با انتخاب تصادفی از هر کرت در طول فصل رشد صورت گرفت. صفات مورد اندازه‌گیری شامل ارتفاع بوته، عملکرد دانه، تعداد غلاف در هر بوته و وزن خشک تک بوته بود. در انتهای فصل رشد، بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی محصول، عملکرد نخود با برداشت ۵ ردیف میانی هر کرت نیمه سم‌پاشی شده و نشده، با در نظر گرفتن اثر حاشیه (۰/۵ متر از هر طرف) به مساحت ۶ مترمربع اندازه‌گیری شد. سپس درصد عملکرد نخود نسبت به شاهد محاسبه گردید (معادله ۲).

$$\%Yield = 100 \left( \frac{Yield_{spray} - Yield_{nospray}}{Yield_{nospray}} \right) \quad (2)$$

تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش از طریق آنالیز واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.1) صورت گرفت. برای مقایسه میانگین بین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

### نتایج و بحث

با توجه به ارزیابی‌های انجام‌شده در این آزمایش، مشاهدات مزرعه‌ای نشان داد که مزرعه نخود آلوده به علف‌های هرز فهرست شده در جدول ۳ است که بر اساس سطح غالبیت آنها رتبه‌بندی شده‌اند.

بدین منظور در پاییز ۱۳۹۳ زمینی دارای سابقه آلودگی کافی به علف‌های هرز برای مطالعه انتخاب شد. پس از انجام عملیات تهیه زمین و بستر بذر در اسفندماه، کرت‌های آماده شده با استفاده از بذرکار پنوماتیک کشت گردید. ابعاد هر کرت آزمایش ۱/۵ × ۶ متر در نظر گرفته شد. فواصل بین ردیف‌های کشت ۲۵ و بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر، و تراکم کاشت ۴۰ بوته در مترمربع بود. برای ارزیابی تراکم علف‌های هرز و فراوانی نسبی در کل مزرعه، هر کرت آزمایشی از نظر طولی به دو قسمت تقسیم گردید، بطوری که قسمت بالایی هر کرت سمپاشی نشده و به عنوان شاهد آن کرت در نظر گرفته شد و قسمت پایین آن اعمال تیمار گردید.

### نحوه اندازه‌گیری صفات و شاخص‌های فیزیولوژیک مورد آزمایش

در این آزمایش نمونه‌گیری به منظور اندازه‌گیری صفات و محاسبه شاخص‌های رشد در ۶ مرحله انجام گردید که اولین نمونه‌گیری در فاصله ۳۵ روز پس از کاشت در تاریخ ۹۴/۱/۲۲ انجام شد. فواصل نمونه‌برداری ۱۲ روز در نظر گرفته شد. آخرین مرحله نمونه‌گیری در تاریخ ۱۳۹۴/۳/۲۰ انجام شد. در تاریخ ۹۴/۱/۱ سم‌پاشی در تیمارهای مختلف بعد از کالیبره کردن سم‌پاش صورت پذیرفت. نمونه‌برداری در فواصل ۱۵ و ۳۰ روز پس از سم‌پاشی به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۹۴/۲/۳۰ انجام و میزان تراکم علف هرز و وزن خشک زیست‌توده علف‌هرز، همچنین کارایی علف‌کش هم در تیمارهای مختلف محاسبه گردید. تراکم علف‌های هرز و فراوانی نسبی با انداختن کوادرات (۰/۵ × ۰/۵ متر) در نیمه سمپاشی نشده هر کرت آزمایشی تعیین شد (Ahmadi et al., 2019). سم‌پاشی با استفاده از دستگاه سم‌پاش پشتی مدل MATABI با نازل شره‌ای کالیبره شده با پاشش ۳۰۰ لیتر آب در هکتار انجام شد. اختلاط علف‌کش‌های پیش‌کاشت با خاک توسط شن‌کش در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۲۹ انجام شد. نخود آلمان در تاریخ سوم اسفندماه ۱۳۹۴ کاشته شد و بلافاصله پس از کاشت نخود از تیمارهای پیش‌رویشی استفاده شد. ۱۵ و ۳۰ روز پس از آخرین سمپاشی، تراکم و وزن خشک علف‌های هرز با نمونه‌برداری از دو کوادرات (۰/۲۵ × ۰/۲۵ متر) در هر کرت ارزیابی شد. اثربخشی علف‌کش در تیمارهای مختلف در این مقاطع زمانی با استفاده

جدول ۳- علف‌های هرز بر اساس غالبیت در مزرعه نخود

Table 3- Weeds based on dominance in chickpea field

نام علمی Scientific name	نام فارسی Persian name	خانواده Family	تراکم بوته Density (Plant. m <sup>2</sup> )	فراوانی Frequency	فراوانی نسبی Relative Frequency (%)
<i>Galium tricoratum</i> Dandy.	شیرینیر	Rubiaceae	28.53	0.19	19.08
<i>Carthamus oxycantha</i> M.B.	گلرنگ وحشی	Asteraceae	26.82	0.18	17.93
<i>Vicia villosa</i> Boiss.	ماشک گل خوشه ایی	Fabaceae	18.29	0.12	12.23
<i>Vicia dasycarpa</i> L.	ماشک معمولی	Fabaceae	13.94	0.09	9.32
<i>Conringia perfoliata</i> L.	گوش خرگوش	Brassicaceae	13.41	0.09	8.97
<i>Goldbachia laevigata</i> L.	سینه کفتری	Brassicaceae	12.47	0.08	8.34
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	پیچک صحرایی	Convolvulaceae	10.29	0.07	6.88
<i>Cephalaria juncia</i> (L.)	سرشکافته	Dipsaceae	9.41	0.06	6.29
<i>Sinapis arvensis</i> L.	خردل وحشی	Brassicaceae	6.76	0.05	4.52
<i>Polygonum avicular</i> L.	هفت بند	Polygonaceae	5.23	0.03	3.50
<i>Avena fatua</i> L.	یولاف	Poaceae	3.02	0.02	2.02
<i>Hordeum spontaneum</i>	جودره	Poaceae	0.59	0.00	0.39
<i>Chenopodium album</i> L.	سلمه تره	Chenopodiaceae	0.41	0.00	0.27
<i>Anthemis lorestanica</i> L.	بابونه لرستانی	Asteraceae	0.39	0.00	0.26

اثر ساده علفکش ایمازتاپیر بر تراکم علف‌های هرز در هر دو سطح ۱۵ و ۳۰ روز پس از سمپاشی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. علاوه بر این، اثر متقابل ایمازتاپیر و پرایمینگ بر تراکم علف‌های هرز در ۱۵ روز پس از سمپاشی نیز معنی‌دار بود (جدول ۴).

تراکم علف‌های هرز در ۱۵ و ۳۰ روز پس از سمپاشی نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار تیمارهای مختلف بر تراکم علف‌های هرز در نمونه‌برداری دوم با سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). به طور کلی، اثرات ساده پرایمینگ بر تراکم علف‌های هرز در ۱۵ روز پس از سمپاشی و

جدول ۴- تجزیه واریانس کارایی پرایمینگ و غلظت‌های مختلف علفکش ایمازتاپیر بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز بر اساس نمونه‌برداری ۱۵ و ۳۰ روز پس از سمپاشی

Table 4- Variance analysis of priming efficiency and different concentrations of Imazethapyr herbicide on density and dry weight of weeds based on sampling 15 and 30 DAS

منبع تغییرات S.O. V	درجه آزادی Df	تراکم علف هرز weed density		وزن خشک علف هرز Weed dry weight	
		۱۵ روز پس از سمپاشی 15 DAS	۳۰ روز پس از سمپاشی 30 DAS	۱۵ روز پس از سمپاشی 15 DAS	۳۰ روز پس از سمپاشی 30 DAS
		تکرار Rep	2	0.732 <sup>ns</sup>	3.222 <sup>ns</sup>
پرایمینگ Priming	1	186.505 <sup>**</sup>	1.044 <sup>ns</sup>	17.447 <sup>**</sup>	2.460 <sup>ns</sup>
علفکش Herbicide	5	7238.267 <sup>**</sup>	13331.414 <sup>**</sup>	9486.423 <sup>**</sup>	11027.444 <sup>**</sup>
پرایمینگ × علفکش Priming × Herbicide	5	27.437 <sup>**</sup>	0.754 <sup>ns</sup>	36.077 <sup>**</sup>	1.815 <sup>ns</sup>
خطا Error	22	1.786	1.456	2.309	1.53
ضریب پراکندگی Coefficient of Variation (%)	-	3.14	1.98	2.99	2.18

\*\*\*, \* و ns: به ترتیب بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

\*\*\*, \* and ns: respectively, indicating a statistically significant difference at the level of 1%, 5% and no significant difference

Abbreviations: S.O.V: Sources of variance; DF: Degrees of freedom; DAS: Day after spraying herbicide.

بود ( $P < 0.01$ ) و اثر ساده علف‌کش ایمازتاپیر بر وزن خشک علف‌های هرز نیز در هر دو تیمار ۱۵ و ۳۰ روز پس از سمپاشی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارها نشان‌دهنده معنی‌داری اثر ایمازتاپیر بر وزن خشک علف‌های هرز در ۱۵ روز پس از سمپاشی بود ( $P < 0.01$ ). بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها، تیمار بدون پرایمینگ + ۱۰۰۰ سی‌سی علف‌کش بیشترین کارایی (۸۵/۶ درصد) را در ۱۵ روز پس از سمپاشی بر وزن خشک علف‌های هرز نشان داد، در حالی که کمترین (۶۴/۷ درصد) در تیمار بدون پرایمینگ + ۲۵۰ سی‌سی علف‌کش مشاهده شد. به همین ترتیب، در ۳۰ روز پس از سمپاشی، پرایمینگ + ۱۰۰۰ سی‌سی علف‌کش بیشترین (۸۶/۴۷ درصد) و تیمار پرایمینگ + ۲۵۰ سی‌سی علف‌کش کمترین (۷۹ درصد) اثربخشی را داشتند (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که اثربخشی علف‌کش در غلظت ۱۰۰۰ سی‌سی برای هر دو تیمار پرایمینگ و بدون پرایمینگ به بالاترین مقدار خود رسیده است. علاوه بر این، کاهش غلظت علف‌کش در هر دو سناریو منجر به کاهش کارایی علف‌کش شد. با توجه به اثربخشی وزن خشک علف‌های هرز لوبیا در ۱۵ و ۳۰ روز پس از سمپاشی ایمازتاپیر، محققان تفاوت‌های قابل‌توجهی را بین تیمارهای آزمایش شده مشاهده کردند. آنها کمترین اثربخشی را استفاده از علف‌کش ایمازتاپیر به میزان ۵۰ و ۷۵ گرم در هکتار گزارش کردند که منجر به اثربخشی به ترتیب ۴۰٪ و ۴۵٪ در ۱۵ روز پس از سمپاشی گردید (Ahmadi et al., 2019). در مقابل، آنها بیان کردند که بیشترین بازده در ۳۰ روز پس از سمپاشی ایمازتاپیر به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار به دست آمد (Ahmadi et al., 2019). مطالعه دیگری، کاربرد دوزهای بالای علف‌کش ایمازتاپیر به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار بر نخودفرنگی، اثربخشی ۷۵/۸ درصد را بر زیست‌توده علف‌های هرز نشان داد (Prakash et al., 2017). مشخص شد که میزان مصرف کاهش‌یافته علف‌کش ایمازتاپیر در کنترل علف‌های هرز در مواجهه با زیست‌توده بالای علف‌های هرز اثر کمی دارد (Sharma et al., 2018). بر اساس این یافته‌ها، افزایش غلظت علف‌کش ایمازتاپیر منجر به کارایی بالاتر علف‌کش شد. در نتیجه، اثرات مثبت علف‌کش ایمازتاپیر گزارش‌شده توسط محققان در خصوص کاهش زیست‌توده علف‌های هرز، با نتایج آزمایش حاضر همخوانی دارد و حمایت و اعتبار بیشتری را ارائه می‌دهد.

بیشترین تاثیر علف‌کش (۱۸/۲۱ درصد) بر تراکم علف‌های هرز در ۱۵ روز پس از سمپاشی در تیمار پرایمینگ و ۱۰۰۰ سی‌سی ایمازتاپیر و کمترین تاثیر (۳۹/۹۵ درصد) مربوط به تیمار بدون پرایمینگ + ۲۵۰ سی‌سی علف‌کش بود (جدول ۵). همچنین از نظر اثربخشی در ۳۰ روز پس از سمپاشی، تیمار پرایمینگ + ۱۰۰۰ سی‌سی علف‌کش با بیشترین کارایی (۹۳/۹۰ درصد)، در حالی که تیمار پرایمینگ + ۲۵۰ سی‌سی علف‌کش، کمترین کارایی (۸۹/۱۲ درصد) را داشت (جدول ۴). این نتایج نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین غلظت علف‌کش و کارایی است. به طور مشخص تراکم علف‌های هرز در تیمار ۲۵۰ سی‌سی بیشتر از تیمار ۱۰۰۰ سی‌سی در مرحله اول و دوم سمپاشی بود (جدول ۵). مطالعات قبلی نشان داد که کاربرد پس از سبز شدن ایمازتاپیر در مزارع نخود منجر به کاهش ۸۳ درصدی علف‌های هرز یک ساله شد. قابل ذکر است که ایمازتاپیر کاهش معنی‌داری (۹۶/۵ و ۹۹ درصد) در تراکم علف‌های هرز خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) نشان داد. با این حال، محققان همچنین اثرات منفی این علف‌کش را بر روی گیاهان نخود در ۱۵ روز پس از سمپاشی گزارش کردند (Liu et al., 2019). با توجه به تراکم علف‌های هرز مزرعه نخود در ۱۵ و ۳۰ روز پس از سمپاشی، محققان دریافتند که غلظت‌های بالاتر ایمازتاپیر منجر به کاهش بیشتر تراکم علف‌های هرز می‌شود. به دنبال کاهش تراکم علف‌های هرز در ۱۵ روز پس از سمپاشی، محصول به دلیل رقابت افزایش یافته با علف‌های هرز باقیمانده، کارایی کنترل بهبود یافته را در ۳۰ روز پس از سمپاشی نشان داد. شایان ذکر است که استفاده از علف‌کش ایمازتاپیر در دوزهای پایین با تراکم بالای علف‌های هرز نامطلوب بود. محققان همچنین کمترین کارایی علف‌کش (۵۵ درصد) را در کاهش تراکم علف‌های هرز در ۳۰ روز پس از سمپاشی با استفاده از دوز ۵۰ گرم در هکتار ایمازتاپیر گزارش کردند (Ahmadi et al., 2019). این یافته‌ها با نتایج آزمایش حاضر همخوانی دارد.

### وزن خشک علف‌های هرز در ۱۵ و ۳۰ روز پس از سمپاشی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده پرایمینگ بر وزن خشک علف‌های هرز در ۱۵ روز پس از سمپاشی معنی‌دار

جدول ۵- مقایسه میانگین راندمان پرایمینگ و غلظت‌های مختلف علفکش ایمازتاپیر بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز

Table 5- Comparison of the average efficiency of priming and different concentrations of Imazethapyr herbicide, weed density, and dry weight

تیمارها Treatments	درصد کاهش تراکم Density reduction (%)		درصد کاهش وزن خشک Dry weight reduction (%)	
	۱۵ روز پس از سمپاشی 15 DAS	۳۰ روز پس از سمپاشی 30 DAS	۱۵ روز پس از سمپاشی 15 DAS	۳۰ روز پس از سمپاشی 30 DAS
	پرایمینگ × ۱۰۰۰ سی‌سی علفکش P <sub>1</sub> × H(1000 <sup>cc</sup> )	81.21a	93.90a	83.80a
پرایمینگ × ۷۵۰ سی‌سی علفکش P <sub>1</sub> × H(750 <sup>cc</sup> )	71.83b	92.14ab	78.29b	83.22bc
پرایمینگ × ۵۰۰ سی‌سی علفکش P <sub>1</sub> × H(500 <sup>cc</sup> )	67.44c	90.85bcd	73.90c	81.36cd
پرایمینگ × ۲۵۰ سی‌سی علفکش P <sub>1</sub> × H(250 <sup>cc</sup> )	48.27e	89.12d	72.82c	79.05e
پرایمینگ × وجین P <sub>1</sub> + weeding	0g	0e	0e	0f
پرایمینگ × عدم وجین P <sub>1</sub> + weedy	0g	0e	0e	0f
عدم پرایمینگ P <sub>2</sub> +H(1000 <sup>cc</sup> )				
عدم پرایمینگ × ۱۰۰۰ سی‌سی علفکش P <sub>2</sub> +H(1000 <sup>cc</sup> )	72.7b	92.3ab	85.6a	85.4ab
عدم پرایمینگ × ۷۵۰ سی‌سی علفکش P <sub>2</sub> +H(750 <sup>cc</sup> )	69.7bc	91.8abc	82.7a	85.1ab
عدم پرایمینگ × ۵۰۰ سی‌سی علفکش P <sub>2</sub> +H(500 <sup>cc</sup> )	59.1d	90.4bcd	67.3d	82.7c
عدم پرایمینگ × ۲۵۰ سی‌سی علفکش P <sub>2</sub> +H(250 <sup>cc</sup> )	39.1f	89.6cd	64.7d	80.1de
عدم پرایمینگ × وجین P <sub>2</sub> + weeding	0g	0e	0e	0f
عدم پرایمینگ × عدم وجین P <sub>2</sub> + weedy	0g	0e	0e	0f

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

In each column, means with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level based on the LSD test.

Abbreviations: P1 and P2: Priming and Non-priming, respectively; H: Herbicide at (250, 500, 750, and 1000cc), respectively; DAS: Day after spraying.

### عملکرد و اجزاء عملکرد نخود

مشاهده گردید (جدول ۶). در خصوص ارتفاع بوته، بیشترین مقدار (۲۷.۵ سانتی‌متر) در تیمار پرایمینگ + وجین دستی و کمترین مقدار (۱۲.۹ سانتی‌متر) در تیمار بدون پرایمینگ + ۱۰۰۰ سی‌سی علفکش به دست آمد. شایان ذکر است که در تیمار کنترل علف‌های هرز، اعم از داشتن یا نداشتن پرایمینگ،

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر پرایمینگ بر هر دو صفت ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های اصلی گیاه نخود در سطح یک درصد معنی‌دار بود ( $P < 0.01$ ). همچنین اثر متقابل معنی‌داری میان کاربرد علفکش و پرایمینگ برای این دو صفت

تیمار پرایمینگ همراه با ۱۰۰۰ سی سی علف کش در آزمایش ما مشاهده شد، می توان استنباط کرد که ایماز تاپیر احتمالاً در افزایش تعداد شاخه ها نقش داشته است. در نتیجه، نتایج مطالعه ما با یافته های محققان قبلی در این زمینه همخوانی دارد.

### تعداد غلاف در واحد سطح

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶)، مشخص می شود که اثر متقابل پرایمینگ و کاربرد علف کش به طور معنی داری ( $P < 0.01$ ) بر تعداد غلاف در مترمربع تأثیر گذاشته است. بیشترین تعداد غلاف در مترمربع به میزان ۳۲۱/۸ در تیمار پرایمینگ + وجین علف هرز و کمترین تعداد غلاف ۴۲/۲ در تیمار پرایمینگ + ۷۵۰ سی سی علف کش مشاهده شد (جدول ۷). این آزمایش نشان داد که روش هیدروپرایمینگ نقش مثبتی در تولید غلاف دارد. می توان نتیجه گرفت که در شرایط وجین همراه با پرایمینگ، بوته های نخود به دلیل عدم وجود علف های هرز توانستند غلاف بیشتری تولید کنند. در همین راستا، تحقیقات قبلی توسط (Arafa et al., 2021; Mansoori and Abutalebian, 2013) از این ایده حمایت کردند که پرایمینگ به طور قابل توجهی تعداد غلاف در هر مترمربع را در نخود افزایش می دهد.

ارتفاع بوته ها به طور ثابت به حداکثر ۲۷ سانتی متر رسید که این امر تأثیر منفی علف کش ایماز تاپیر بر رشد طولی گیاه را آشکار می سازد (جدول ۶). قبلاً اشاره شد که علف کش های ALS منجر به توقف سریع رشد گیاه پس از کاربرد می شود که در نهایت منجر به کوتاه تر شدن طول میانگره ها می شود (Sharma et al., 2018). بررسی ها نشان داد که علف کش ایماز تاپیر به میزان ۵۳ گرم در هکتار در هر دو شرایط مرطوب و خشک ارتفاع گیاه نخود را کاهش داد (Rathod et al., 2017). از نظر تعداد شاخه، بیشترین تعداد (۵/۳) از تیمار پرایمینگ همراه با ۱۰۰۰ سی سی علف کش به دست آمد. به طور کلی، تعداد شاخه های اصلی و فرعی در گیاهان یک صفت تحت تأثیر ژنتیکی است، اگرچه تا حدودی تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار دارد، محققان پیشنهاد کرده اند که نفوذ نور کافی، کاهش رقابت برای منابعی مانند غذا، و در دسترس بودن آب و مواد مغذی می تواند تعداد شاخه های ثانویه را افزایش دهد (Rathod et al., 2017; Postma et al., 2021). با توجه به افزایش قابل توجه تعداد شاخه ها، قابل قبول است که علف کش ایماز تاپیر به عنوان یک مهار کننده هورمون اکسین عمل کرده و گیاه را وادار به تولید شاخه های ثانویه متعدد در این شرایط می کند. با توجه به اینکه بیشترین تعداد شاخه در

جدول ۶- تجزیه واریانس اثرات پرایمینگ و علف کش بر ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف، تعداد دانه، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه در بوته نخود

Table 6- Variance analysis the effects of Priming and herbicide on the pod number, number of seeds, harvest index, biological yield, seed yield, and weight of 100 seeds per chickpea plant

منبع تغییرات S.O. V	درجه آزادی DF	ارتفاع PH	تعداد شاخه در بوته NBP	تعداد غلاف در بوته NPP	تعداد دانه در بوته NSPP	شاخص برداشت HI	عملکرد بیولوژیک BY	عملکرد دانه GY	وزن صد دانه 100GW
تکرار Replication	2	0.912 <sup>ns</sup>	0.514 <sup>**</sup>	3202.564 <sup>*</sup>	2.977 <sup>**</sup>	16.485 <sup>ns</sup>	31.456.799 <sup>*</sup>	4098.135 <sup>ns</sup>	0.371 <sup>ns</sup>
پرایمینگ Priming	1	15.734 <sup>**</sup>	0.467 <sup>*</sup>	2166.902 <sup>ns</sup>	0.899 <sup>ns</sup>	12.733 <sup>ns</sup>	15.231.674 <sup>ns</sup>	4777.115 <sup>ns</sup>	0.014 <sup>ns</sup>
علف کش Herbicide	5	154.217 <sup>**</sup>	8.310 <sup>**</sup>	39671.830 <sup>**</sup>	24.372 <sup>**</sup>	1377.114 <sup>**</sup>	39668.485 <sup>**</sup>	345069.637 <sup>**</sup>	77.769 <sup>**</sup>
پرایمینگ × علف کش Priming × Herbicide	5	0.942 <sup>*</sup>	0.403 <sup>**</sup>	6845.979 <sup>**</sup>	4.282 <sup>**</sup>	90.159 <sup>**</sup>	341625.827 <sup>**</sup>	49458.772 <sup>**</sup>	2.224 <sup>ns</sup>
خطای کل Total Error	22	1.082	0.072	685.136	0.255	5.373	68.19.215	1796.125	4.426
ضریب پراکندگی CV%	-	4.95	7.38	18.56	15.22	8.20	8.17	13.79	9.83

Abbreviations: S.O. V: Sources of variance; DF: Degrees of freedom; PH: Plant height; NBP: Number of branches plant-1; NPP: Number of pods plant-1; NSPP: Number. of seeds of plant-1; HI: harvest index; BY: Biological yield; GY: Grain yield; 100W: 100-grain weight; Ns: Non-significant, \* Significant at  $P \leq 0.05$ , and \*\* Significant at  $P \leq 0.01$ .

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ بذر نخود در غلظت‌های مختلف علفکش ایمازتاپایر بر ارتفاع، تعدادشاخه فرعی، تعداد غلاف، تعداد دانه، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه در بوته نخود

Table 7- Comparison of the average interaction effect of pea seed priming in different concentrations of Imazethapyr herbicide on PH, NBP, NPP, NSPP, HI, BY, GY, and W100S per chickpea plant

تیمارها Treatments	ارتفاع PH (cm)	تعداد دانه در تعداد غلاف در تعداد شاخه			شاخص برداشت HI (%)	عملکرد بیولوژیک BY (kg. ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه GY (kg. ha <sup>-1</sup> )	وزن صد دانه W100S(gr)
		در بوته NBP	بوته NPP(m <sup>-2</sup> )	در بوته NSPP				
پرایمینگ × ۱۰۰۰ سی‌سی علفکش P <sub>1</sub> × H(1000 <sup>cc</sup> )	14.1g	5.3a	80.23cde	1.85efg	17.86e	683.7d	98.33fg	17.01de
پرایمینگ × ۷۵۰ سی‌سی علفکش P <sub>1</sub> × H(750cc)	17.4f	4.7ab	42.23e	0.763g	6.38f	926.6c	121.3fg	19.53cd
پرایمینگ × ۵۰۰ سی‌سی علفکش P <sub>1</sub> × H(500cc)	22d	4.3ab	179.6b	4.43b	28.89d	1285b	372.1c	19.59cd
پرایمینگ × ۲۵۰ سی‌سی علفکش P <sub>1</sub> × H(250cc)	24.1bc	4.13ab	125.6bcd	3.11cde	23.71d	688.4d	163.7ef	22.68abc
پرایمینگ × وجین P <sub>1</sub> + weeding	27.5a	1.8d	321.8a	7.45a	57.34a	1524a	873a	26.08a
پرایمینگ × عدم وجین P <sub>1</sub> + weedy	25.1b	2.23d	143.1bc	3.24bcd	38.99c	831.8cd	323.7cd	23.4abc
عدم پرایمینگ × ۱۰۰۰ سی‌سی P <sub>2</sub> +H(1000cc)	12.9g	4.7ab	100.5cde	2.66cde	10.55f	929.8c	58.9g	14.7e
عدم پرایمینگ × ۷۵۰ سی‌سی P <sub>2</sub> +H(750cc)	16.4f	4.2ab	102.2cde	2.25def	17.96e	997.8c	179.6ef	20.09bcd
عدم پرایمینگ × ۵۰۰ سی‌سی P <sub>2</sub> +H(500cc)	20.1e	3.9b	63.1de	1.27fg	25.56d	721.3d	184.6ef	20.72bcd
عدم پرایمینگ × ۲۵۰ سی‌سی P <sub>2</sub> +H(250cc)	23.1cd	3.6bc	167.8b	3.73bc	27.34d	1527a	417.9c	22.98abc
عدم پرایمینگ × وجین P <sub>2</sub> + weeding	27.2a	2.6cd	275a	6.98a	47.7b	1382ab	660.8b	24.3b
عدم پرایمینگ × عدم وجین P <sub>2</sub> + weedy	22.6cd	2.13d	90.87 cde	2.04def	36.92c	628.5d	233.3de	23.78ab

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level based on the LSD test. Abbreviations: P<sub>1</sub> and P<sub>2</sub>: Priming and Non-priming, respectively; H: Herbicide at (250, 500, 750, and 1000<sup>cc</sup>), respectively; PH: Plant height; NBP: Number of branches plant-1; NPP: Number of pods per plant; NSPP: Number of seeds per plant; HI: Harvest index; BY: Biological yield; GY: Grain yield; W100S: 100-seed.

### تعداد دانه در بوته

عمدتاً توسط عوامل ژنتیکی تعیین می‌شود و تأثیرات محیطی نقشی جزئی دارند (Gediya et al., 2019). رطوبت ناکافی در طول دوره گلدهی، غلاف و پر شدن بذر منجر به کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه چروک شدن دانه‌ها می‌شود (Yousefi et al., 2023). در مقابل، مطالعات روی نخود نشان داده است که وقتی مواد فتوسنتزی محدود می‌شود، دانه‌ها در مراحل اولیه تشکیل ممکن است سقط شوند و منجر به کاهش تعداد دانه غلاف شود و در موارد شدید، ممکن است غلاف خالی

بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل پرایمینگ × علفکش به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.01$ ) بر تعداد دانه در بوته تأثیر گذاشت (جدول ۶). بیشترین تعداد دانه در بوته با رسیدن به ۷/۵ دانه در تیمار پرایمینگ + وجین علف‌هرز مشاهده شد، در حالی که کمترین تعداد، فقط ۰/۸ دانه، در تیمار پرایمینگ + ۷۵۰ سی‌سی علفکش مشاهده شد (جدول ۷). تحقیقات نشان داده است که تعداد بذر در غلاف در ارقام مختلف نخود مزرعه

ممکن است به شرایط آب و هوایی منطقه، به ویژه بارندگی ناکافی بهاره، علاوه بر حضور علف‌کش ایمازتاپیر نسبت داده شود (Tas et al., 2022). در این مطالعه، علف‌کش ایمازتاپیر، عمدتاً به دلیل اثرات منفی آن بر کاهش سطح برگ، اختلال در تشکیل گل و غلاف و در نتیجه کاهش عملکرد بیولوژیکی، تأثیر نامطلوبی بر عملکرد بیولوژیکی داشت. بر اساس یافته‌های محققین نامبرده، به نظر می‌رسد ترکیبی از عوامل از جمله تنش رطوبتی، تأثیرات محیطی (ملنند کاربرد علف‌کش ایمازتاپیر) و به ویژه تداخل علف‌های هرز در مزرعه مورد مطالعه، در کاهش عملکرد بیولوژیکی مؤثر بوده است.

### عملکرد دانه

بر اساس مقایسه میانگین‌ها، تیمار پرایمینگ + وجین علف‌های هرز با ۸۷۳ کیلوگرم بیشترین تولید دانه در هکتار را داشت. در حالی که کمترین عملکرد در تیمار بدون پرایمینگ + ۱۰۰۰ سی‌سی علف‌کش با ۵۸/۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۷). این یافته‌ها نشان می‌دهد که کاربرد غلظت‌های مختلف علف‌کش ایمازتاپیر، هم با و هم بدون پرایمینگ، بر عملکرد دانه تأثیر منفی می‌گذارد. قابل ذکر است که تیمار وجین بالاترین عملکرد دانه را تولید کرد که بر اثرات مثبت کنترل علف‌های هرز تأکید می‌شود. لازم به ذکر است که در غلظت‌های بالاتر علف‌کش ۷۵۰ و ۱۰۰۰ سی‌سی کاهش عملکرد کاملاً معنی‌دار بود، در حالی که در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ سی‌سی همچنان کاهش قابل توجهی در عملکرد نسبت به تیمار وجین وجود داشت. این نشان دهنده تداخل علف‌کش با رشد گیاه نخود و فرآیندهای فیزیولوژیکی است که منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (جدول ۷).

تحقیقات قبلی عملکرد کمتر دانه نخود را با کاربردهای پس‌رویشی ایمازتاپیر، حتی کمتر از تیمار شاهد بدون کنترل علف‌های هرز (Shambhavi, 2023) گزارش کرده است. برعکس، تیمار وجین دستی علف‌های هرز منجر به افزایش ۸۷ درصد عملکرد دانه نخود در مقایسه با تیمار شاهد تداخل می‌شود (Shambhavi, 2023). نکته اینک، افزایش ۱۱ درصدی در عملکرد دانه نخود با پرایمینگ مشاهده شد (Mansoori and Abutalebian, 2013). بررسی‌های بیشتر نشان داده است که پرایمینگ در مزرعه باعث افزایش تعداد دانه

بماند. در نتیجه تنش خشکی در مرحله رشد زایشی می‌تواند میانگین تعداد دانه در غلاف را کاهش دهد (Yousefi et al., 2023). با توجه به اینکه عملکرد گیاه تحت تأثیر تعداد دانه و غلاف است، هر گونه تغییر در این عوامل می‌تواند بر عملکرد کلی گیاه تأثیر بگذارد (Ahmadi et al., 2019). بر این اساس، بیشترین تعداد بذر در تیمار وجین‌های هرز مشاهده شد که نشان می‌دهد حذف علف‌های هرز از طریق وجین باعث افزایش تعداد بذر در گیاهان شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که علف‌کش ایمازتاپیر بر تعداد بذر در تمام غلظت‌های علف‌کش تأثیر منفی گذاشته است. این ممکن است یک عامل کلیدی کمک‌کننده اثرات نامطلوب این علف‌کش بر گلدهی و ساختار تشکیل بذر باشد (Yousefi et al., 2023).

### شاخص برداشت

با توجه به یافته‌های جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل (پرایمینگ + علف‌کش) به‌طور معنی‌داری بر شاخص برداشت تأثیر می‌گذارد ( $P < 0.01$ )، (جدول ۶). در مقایسه میانگین‌ها، بیشترین شاخص برداشت با ۵۷/۳۴ درصد در تیمار پرایمینگ + وجین هرز مشاهده شد، در حالی که کمترین شاخص برداشت، تنها ۶/۴ درصد در تیمار پرایمینگ با غلظت ۷۵۰ سی‌سی علف‌کش ایمازتاپیر مشاهده شد (جدول ۶). پیشنهاد شده، که هرگونه تنش رطوبتی در مرحله تشکیل غلاف منجر به عقیمی گل‌ها می‌شود و از رشد بذر جلوگیری می‌کند و در نهایت منجر به کاهش شاخص برداشت می‌شود (Mohammadi et al., 2023). قابل قبول است که افزایش شاخص برداشت در تیمار پرایمینگ و علف‌های هرز را می‌توان نه تنها به تغییرات در عملکرد بیولوژیکی، بلکه به استفاده کارآمدتر از عوامل محیطی نسبت داد.

### عملکرد بیولوژیکی

جدول تجزیه واریانس اثر متقابل معنی‌داری (پرایمینگ + علف‌کش) را بر عملکرد بیولوژیکی در سطح ( $P < 0.01$ ) نشان داد (جدول ۶). بالاترین عملکرد بیولوژیکی به میزان ۱۵۲۷ کیلوگرم در هکتار از تیمار پرایمینگ + وجین و کمترین عملکرد با ۶۲۸/۵ کیلوگرم هکتار در تیمار بدون پرایمینگ و با تداخل علف‌های هرز ثبت شد (جدول ۷). کاهش عملکرد بیولوژیکی

(*al., 2022*) در این آزمایش خاص، به نظر می‌رسد که علف‌کش مذکور تأثیر قابل توجهی در کاهش سطح برگ داشته و به‌طور غیرمستقیم بر فتوسنتز و متعاقباً بر وزن صد دانه و سایر اجزای عملکرد تأثیر گذاشته است. اجرای تیمار پرایمینگ در مزرعه نه تنها سرعت جوانه‌زنی در ارقام نخود را تقریباً ۳۱ درصد تسریع کرد، بلکه وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد اقتصادی را نیز به طور قابل توجهی افزایش داد (*Mansoori and Abutalebian, 2013*).

### نتیجه‌گیری کلی

مطالعات نشان داده است که استفاده از علف‌کش ایمازتاپیر در کنترل علف‌های هرز مزارع نخود بسیار مؤثر است. به ویژه، افزایش غلظت این علف‌کش، منجر به کاهش چشمگیر تراکم علف‌های هرز به خصوص ۱۵ و ۳۰ روز پس از سمپاشی می‌شود. یکی از یافته‌های جالب این تحقیق، تأثیر مثبت ترکیب پرایمینگ بذر با استفاده از ۱۰۰۰ سی‌سی علف‌کش ایمازتاپیر بود. این ترکیب منجر به کاهش ۹۴ درصدی علف‌های هرز یک‌ساله شد. از نظر عملکرد، تیمار پرایمینگ به همراه وجین دستی بهترین نتیجه را در تولید دانه به همراه داشت و بیشترین وزن صد دانه نیز در این تیمار مشاهده شد. این نشان می‌دهد که وجین دستی به عنوان روشی مکمل، می‌تواند به بهبود عملکرد نخود کمک کند. با این حال، استفاده از دوزهای بالای ایمازتاپیر به تنهایی، به دلیل اثرات گیاه‌سوزی، منجر به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد نخود شد. بنابراین، توصیه می‌شود از دوز ۵۰۰ سی‌سی در هکتار به عنوان بهترین دوز برای این علف‌کش استفاده شود.

### تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچگونه تعارض منافی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

در غلاف، تعداد غلاف در مترمربع و عملکرد اقتصادی کلی نخود می‌شود (*Mansoori and Abutalebian, 2013*). علاوه بر این، مطالعات روی نخود در شرایط آبیاری نشان داد که هیدروپرایمینگ عملکرد را از ۲۶۰۲ به ۳۵۳۳ کیلوگرم در هکتار افزایش داد (*Mohammadi et al., 2023*). تحقیقات انجام شده در مناطق خشک و نیمه خشک و همچنین بینش کشاورزان، استقرار ضعیف بذر را به عنوان یک عامل مشترک در کاهش عملکرد محصول برجسته می‌کند (*Golla et al., 2021*). محققان خاطر نشان کرده‌اند که هیدروپرایمینگ بنیه اولیه را در برنج، ذرت و نخود بهبود می‌بخشد و در نتیجه رشد سریع، گلدهی و بلوغ زودتر را به همراه دارد و در نهایت منجر به افزایش عملکرد گندم و جو می‌شود (*Golla et al., 2021*). یافته‌های مطالعات فوق شواهدی را برای نتایج آزمایش حاضر ارائه می‌دهد.

### وزن ۱۰۰ دانه

جدول مقایسه میانگین‌ها نشان دهنده تفاوت قابل توجه ( $P < 0.01$ ) بین تیمارهای مختلف در مورد وزن صد دانه است (جدول ۶). به طور مشخص بیشترین وزن صد دانه به ۲۶/۳ گرم در تیمار پرایمینگ + وجین علف هرز و کمترین با ۱۴/۷ گرم در تیمار بدون پرایمینگ + ۱۰۰۰ سی‌سی علف‌کش مشاهده شد (جدول ۶). در راستای این یافته‌ها، تحقیقات قبلی اشاره شد که وزن صد دانه نخود در شرایط عاری از علف‌های هرز در مقایسه با تداخل علف‌های هرز بیشتر است (*Shambhavi, 2023*). علاوه بر این، مطالعات تأثیر مثبت پرایمینگ بر افزایش وزن صد دانه نخود را برجسته کرده است (*Mansoori and Abutalebian, 2013*). یکی از دلایل احتمالی کاهش وزن صد دانه نخود را می‌توان به توزیع غیریکنواخت گیاه و کاهش سطح برگ نسبت داد که منجر به کاهش فتوسنتز یا در دسترس بودن و انتقال مواد جذب شده به اندام‌های ذخیره می‌شود (*Tas et*

## References

- Ahmadi, A., Veisi, M., Aghaei Haji Abadi, M. and Mousavi, S.K., 2019. Studying integrated weed management in rainfed chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Iranian Journal of Pulses Research*, 10, pp.195-208. [In Persian].  
<https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.61733>

- Ahmadi, A., Shahbazi, S. and Filizadeh, Y., 2024. Evaluating the effectiveness of various herbicides for managing broadleaf weeds in faba bean (*Vicia faba* L.). *Iran Agricultural Research*, 43(1), pp.72-79. [In Persian]. <https://doi.org/10.22099/iar.2024.49839.1580>
- Arafa, S.A., Attia, K.A., Niedbała, G., Piekutowska, M., Alamery, S., Abdelaal, K., Alateeq, T.K., AM Ali, M., Elkelish, A. and Attallah, S.Y., 2021. Seed priming boost adaptation in pea plants under drought stress. *Plants*, 10(10), p.2201. <https://doi.org/10.3390/plants10102201>
- Baucom, R.S., 2019. Evolutionary and ecological insights from herbicide-resistant weeds: what have we learned about plant adaptation, and what is left to uncover? *New Phytologist*, 223(1), pp.68-82.
- Catiempo, R.L., Photchanachai, S., Bayogan, E.R.V. and Wongs-Aree, C., 2021. Impact of hydropriming on germination and seedling establishment of sunflower seeds at elevated temperature. *Plant, Soil & Environment*, 67(9), pp.491-498. <https://doi.org/10.17221/163/2021-pse>
- Chakraborty, P. and Dwivedi, P., 2021. Seed priming and its role in mitigating heat stress responses in crop plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, pp.1718-1734. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00474-4>
- FAO, 2023. Statistical Database of the United Nations Food and Agriculture Organization. Available at: [www.fao.org/faostat/en/#data/qc](http://www.fao.org/faostat/en/#data/qc) available at: [www.fao.org/faostat/en/#data/qc](http://www.fao.org/faostat/en/#data/qc)
- Gaines, T.A., Duke, S.O., Morran, S., Rigon, C.A., Tranel, P.J., Küpper, A. and Dayan, F.E., 2020. Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295, pp.10307-10330.
- Gao, L. and Yan, M., 2020. Calcium chloride priming increases chilling tolerance in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80, pp.219-226.
- Gediya, L.N., Patel, D.A., Kumar, S., Kumar, D., Parmar, D.J. and Patel, S.S., 2019. Phenotypic variability, path analysis, and molecular diversity analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Vegetos*, 32, pp.167-180. <https://doi.org/10.1007/s42535-019-00020-9>
- Golla, B., 2021. Agricultural production system in arid and semi-arid regions. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 7, pp.234-244.
- Hussain, S., Khan, F., Hussain, H.A. and Nie, L., 2016. Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 7, PP, 116. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00116>
- Iqbal, H., Yaning, C., Waqas, M., Ahmed, Z., Raza, S.T. and Shareef, M., 2020. Improving heat stress tolerance in late-planted spring maize by using different exogenous elicitors. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80, pp.30-40.
- Kanatas, P.J. and Gazoulis, I., 2022. The integration of increased seeding rates, mechanical weed control and herbicide application for weed management in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Phytoparasitica*, 50, pp.255-267. <https://doi.org/10.1007/s12600-021-00955-3>

- Kubiak, A., Wolna-Maruwka, A., Niewiadomska, A. and Pilarska, A.A., 2022. The problem of weed infestation of agricultural plantations vs. the assumptions of the European biodiversity strategy. *Agronomy*, 12(8), 1808. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081808>
- Leguizamón, E.S., 2024. The Unsung Champions of Evolution: Weeds and Their Management in Agricultural Systems. *Agriculture*, 14(12), 2368.
- Liu, X., Xiang, S., Zong, T., Ma, G., Wu, L., Liu, K., Zhou, X. and Bai, L., 2019. Herbicide resistance in China: a quantitative review. *Weed Science*, 67(6), pp.605-612. <https://doi.org/10.1017/wsc.2019.46>
- Mansoori, B. and Abutalebian, M.A., 2013. Effect of on-farm seed priming and supplementary irrigation on emergence rate, yield, and yield components of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Plant Production Research*, 20, pp.179-196. <https://doi.org/20.1001.1.23222050.1392.20.2.9.4>
- Merga, B. and Alemu, N., 2019. Integrated weed management in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), pp.1620152.
- Mohammadi, M., Tavakol Afshari, R., Nabati, J. and Oskoueian, E., 2023. Evaluating the possibility of increasing freezing tolerance in chickpeas (*Cicer arietinum* L.) by seed priming. *Iranian Journal of Seed Research*, 9, pp.77-98. [In Persian]. <https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.77>
- Muhei, S.H., 2018. Seed priming with phytohormones to improve germination under dormant and abiotic stress conditions. *Advances in Crop Science and Technology*, 6, pp.403-409. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000403>
- Postma, J.A., Hecht, V.L., Hikosaka, K., Nord, E.A., Pons, T.L. and Poorter, H., 2021. Dividing the pie: A quantitative review on plant density responses. *Plant, Cell & Environment*, 44, pp.1072-1094.
- Powles, S.B. and Yu, Q., 2010. Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology*, 61, pp.317-347. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112119>
- Prakash, N.R., Singh, R.K., Chauhan, S.K., Sharma, M.K., Bharadwaj, C., Hegde, V.S., ... and Tripathi, S., 2017. Tolerance to post-emergence herbicide Imazethapyr in chickpea. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 77, pp.401-408. <https://doi.org/10.5958/0975-6906.2017.00054.2>
- Rathod, P.S., Patil, D.H. and Dodamani, B.M., 2017. Evaluation of time and dose of imazethapyr in controlling weeds of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Legume Research-An International Journal*, 40, pp.906-910. <https://doi.org/10.18805/Ir.v0i0.7293>
- Rhaman, M.S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C.C., Murata, Y. and Hasanuzzaman, M., 2020. Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*, 10, pp.37. <https://doi.org/10.3390/plants10010037>
- Shambhavi, Jaswal A. 2023. Effect of Weed Management Practices on Growth, Yield and Quality Parameters of Field Pea (*Pisum sativum* var. arvense). *Journal of Food Chemistry & Nanotechnology*, 9(S1): S461-S467. <https://doi.org/10.17756/jfcn.2023-s1-058>

- Sharma, S.R., Singh, S., Aggarwal, N., Kaur, J., Gill, R.K., Kushwah, A., Patil, S. and Kumar, S., 2018. Genetic variation for tolerance to post-emergence herbicide, imazethapyr, in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64, pp.1818–1830. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1463519>
- Somanni, L., 1992. Dictionary of weed science. *Argotic Publishing Academy* (India).
- Tamindžić, G., Ignjatov, M., Miljaković, D., Červenski, J., Milošević, D., Nikolić, Z. and Vasiljević, S., 2023. Seed priming treatments to improve heat stress tolerance of garden pea (*Pisum sativum* L.). *Agriculture*, 13, pp.439. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020439>
- Tas, O., Ertugrul, U., Grunin, L. and Oztop, M.H., 2022. An investigation of functional quality characteristics and water interactions of navy bean, chickpea, pea, and lentil flours. *Legume Science*, 4, pp.e136. <https://doi.org/10.1002/leg3.136>
- Tiwari, S., Sindel, B.M., Smart, N., Coleman, M.J., Fyfe, C., Lawlor, C., ... and Kristiansen, P., 2022. Hand weeding tools in vegetable production systems: an agronomic, ergonomic, and economic evaluation. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 20, pp.659-674. <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1964789>
- Trognitz, F., Hackl, E., Widhalm, S. and Sessitsch, A., 2016. The role of plant–microbiome interactions in weed establishment and control. *FEMS Microbiology Ecology*, 92, pp.fiw138. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw138>
- Widianto, R., Kurniadie, D., Widayat, D., Umiyati, U., Nasahi, C., Sari, S., ... and Kato-Noguchi, H., 2022. Acetolactate synthase-inhibitor resistance in *Monochoria vaginalis* (Burm. f.) C. Presl from Indonesia. *Plants*, 11, pp.400. <https://doi.org/10.3390/plants11030400>
- Yousefi, V., Ahmadi, J., Sadeghzadeh-Ahar, D. and Esfandiari, E., 2023. Principal component and path analysis of agro-morphological traits of Kabuli chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under dryland spring-planting and autumn-planting. *Iranian Journal of Pulses Research*, 14, pp.48-62. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v14i1.89295>

## The effect of organic fertilizers and their integration on the yield of (*Lippia citrodora* L.) leaves and some physical and chemical characteristics of the soil in response to irrigation methods

Marziyeh Habibi <sup>a</sup>, Issa Khammari <sup>\*b</sup>, Seyed Ahmad Ghanbari <sup>b</sup>, Mehdi Dahmardeh <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ph.D Student of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>b</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

\*Corresponding Author: [ikhammari@gmail.com](mailto:ikhammari@gmail.com)

Received: 21 August 2023 Accepted: 26 September 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.349505.1253

### How to cite this article:

Habibi, M., Khammari, I., Ghanbari, S.A. and Dahmardeh, M., 2025. The effect of organic fertilizers and their integration on the yield of (*Lippia citrodora* L.) leaves and some physical and chemical characteristics of the soil in response to irrigation methods. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 443-461. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2024.349505.1253>

### Abstract

**Introduction:** One of the increasing methods of water consumption efficiency, is evaluation of irrigation systems especially surface irrigation systems as the most widely uses irrigation method. Organic materials also because of their beneficial effects that have on physical, chemical, biological and fertility traits of soil, are considered one of the important aspects of soil fertility. In order to evaluate the consumption of organic fertilizers and their integration on economic yield (leaf) of lemon verbena and some combination on leaf yield to lemon verbena (*Lippia citrodora* L.) and some physical and chemical characteristics of soil under different irrigation methods,

**Materials and Methods:** an experiment was performed as split plots based on a randomized complete block design was carried out at the Agricultural Research Institute of Zabol University (Chah Nimeh) with three replications in two cropping years 2017 and 2018. The main factor included three irrigation methods: flood irrigation, furrow irrigation and drip irrigation and the secondary factor included the use of organic fertilizers and their combination in 5 levels: no Consumption of fertilizer (control), cattle manure (30 tons per hectare), poultry manure (5 tons per hectare), vermicompost (5 tons per hectare), combination (15 tons per hectare of cattle manure + 2.5 tons per hectare of poultry manure). data related to evaluated traits were analyzed using SAS software (version 9.1). tables were drawn using word and excel software. Comparison of means treatment was done using Duncan's multiple range test at the 5% Probability level.

**Results and Discussion:** result showed that the highest economic yield (leaf) to lemon verbena was obtained by flooding irrigation method and lowest by drip irrigation method. In other words leaf yield decreased in the dripping method by 12.1% compared to the flooding method that this reduction can be attributed to soil salinity and high air temperature during the plant growth period and lack of sufficient leaching of saline solutions in the drip irrigation method, among organic fertilizers treatments the highest economic yield was obtained from 30 tons per hectare of cow manure treatment, and the lowest by control treatment. cow manure improves plant growth and yield by increasing the water holding capacity of the soil, increasing soil microbial diversity, improving part of the nutrients



needed by plant. using organic fertilizer was increased soil nitrogen, potassium and sodium content and decreased soil bulk density. The highest amount of soil organic matter, soil phosphorous were obtained from interaction drip irrigation treatment and consumption of 30 tons of cow manure. There was no statistically significant difference between drip irrigation and half cow manure +half poultry manure treatment. Increasing amount of soil organic matter in these treatments can be because of increasing carbon input from cow manure. interaction between effect of cow manure and drip irrigation increases soil organic matter by increasing the availability of soil nutrients along with ability to hold soil moisture because of creating a favourable environment for activity of soil microorganisms.

**Conclusion:** Therefore, it can be said to substitute organic fertilizers instead of chemical fertilizers in lemon verbena improves physical and chemical properties of soil and reduces environmental effects of chemical fertilizer, also use of drip irrigation greatly reduces water consumption in lemon cultivation compared to traditional irrigation methods.

**Keywords:** Drip irrigation, Economic yield, High consumption elements, Organic matter percentage

## تأثیر کودهای آلی و تلفیق آن‌ها بر عملکرد برگ به لیمو و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در پاسخ به روش‌های آبیاری

مرضیه حبیبی<sup>۱</sup>، عیسی خمیری<sup>۲\*</sup>، سید احمد قنبری<sup>۲</sup>، مهدی دهمرده<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

\* مسئول مکاتبه: ikhammari@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.349505.1253

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۳۰

### چکیده

به منظور ارزیابی مصرف کودهای آلی بر عملکرد اقتصادی به لیمو (*Lippia citrodora* L.) و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت روش‌های مختلف آبیاری، آزمایشی بصورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در پژوهشکده کشاورزی اجرا گردید. عامل اصلی: آبیاری غرقابی، آبیاری جوی و پشته، آبیاری قطره‌ای و عامل فرعی کودهای آلی: شاهد، کود گاوی (۳۰ تن در هکتار)، کود مرغی (۵ تن در هکتار)، ورمی کمپوست (۵ تن در هکتار) و تلفیق ۱۵ تن در هکتار کود گاوی + ۲/۵ تن در هکتار کود مرغی بود. نتایج نشان داد که بالاترین میزان عملکرد اقتصادی به لیمو از روش آبیاری غرقابی و کمترین آن از روش آبیاری قطره‌ای بدست آمد. همچنین بالاترین عملکرد اقتصادی به لیمو از تیمار ۳۰ تن در هکتار کود گاوی و کمترین آن از تیمار شاهد بدست آمد. با کاربرد کودهای آلی میزان نیتروژن، پتاسیم و سدیم خاک افزایش و وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش یافت و بالاترین مقدار ماده آلی خاک و فسفر خاک از تیمار ترکیبی آبیاری قطره‌ای و مصرف ۳۰ تن کود گاوی بدست آمد. برهمکنش اثرات کود گاوی از طریق افزایش دسترسی به عناصر غذایی خاک همراه با توانایی ظرفیت نگهداری رطوبت خاک در نتیجه آبیاری قطره‌ای باعث ایجاد محیطی مطلوب جهت فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود که باعث افزایش ماده آلی خاک می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت جایگزینی کودهای آلی بجای کودهای شیمیایی در گیاه به لیمو باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش اثرات زیست-محیطی کودهای شیمیایی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، درصد ماده آلی خاک، عناصر پرمصرف، عملکرد اقتصادی

### مقدمه

بطوریکه تمامی سطح زمین با لایه‌ای از آب پوشیده شود آب ضمن جاری شدن روی سطح خاک به درون آن نفوذ و خاک را تا عمق مورد نظر خیس می‌کند (Alizadeh, 2010).

آبیاری جوی و پشته‌ای از قدیمی‌ترین روش‌های آبیاری سطحی است که حتی با انجام هزینه‌های گزاف و تسطیح اراضی، بازده آبیاری از ۵۰ درصد تجاوز نمی‌کند و در وضعیت سنتی، که اکثر اراضی کشور ما به همین ترتیب آبیاری می‌شوند، این میزان حتی کمتر از ۳۵ درصد می‌باشد (Moradzadeh et al., 2013).

یکی دیگر از روش‌های تأمین آب و مواد غذایی برای گیاه، استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار مانند آبیاری قطره‌ای است که علاوه بر کاهش آب مصرفی و افزایش بازدهی آبیاری، موجب توزیع یکنواخت‌تری از آب در سطح مزرعه می‌شود. همچنین در این روش نفوذ عمقی آب کمتر می‌باشد

آب یکی از مهم‌ترین نهاده‌های کشاورزی است. چنانچه حفاظت و مدیریت آن به دقت صورت نگیرد، می‌تواند رشد تولیدات کشاورزی را به طور قابل توجهی محدود نماید (Tiwari et al., 2003). با عنایت به این مسئله که بخش کشاورزی با این واقعیت روبرو است که در آینده نزدیک می‌بایست علاوه بر مصرف آب کمتر، تولید بیشتری را عرضه نماید، در نتیجه پژوهش و مطالعه در مورد راهبردهای افزایش بهره‌وری آب نقش مهمی در نیل به کشاورزی پایدار خواهد داشت (Zheng et al., 2013).

یکی از روش‌های افزایش کارایی و بهره‌وری مصرف آب ارزیابی سیستم‌های آبیاری و بویژه سیستم‌های آبیاری سطحی به عنوان پرکاربردترین روش آبیاری است (Ansari, 2011). در روش آبیاری غرقابی آب را در سطح خاک جاری می‌سازند

آنتی‌اکسیدانی، ضد باکتریایی و ضد التهابی استفاده می‌گردد (Martinez-Rodriguez *et al.*, 2015; Carrera-Quintanar *et al.*, 2012).

تغذیه گیاه بر عملکرد، میزان و کیفیت ترکیبات مواد مؤثره گیاهان دارویی تأثیر بسزایی دارد (Azeez *et al.*, 2010). مصرف روز افزون کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی منجر به بروز مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی فراوانی گردیده است. علاوه، هزینه بالای تولید این نهاده‌ها باعث توجه به استفاده از منابع جایگزین از قبیل کودهای آلی شده است (Haj Seyed Hadi and Rezaee Ghale, 2016). مواد آلی به علت اثرات مفیدی که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک دارند یکی از ارکان مهم باروری خاک محسوب می‌شوند. کودهای آلی باعث افزایش ماده آلی خاک شده و از طریق بهبود خصوصیات شیمیایی خاک مثل pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش فعالیت میکرو ارگانیسم‌های خاک و میزان دسترسی به مواد غذایی، باعث افزایش باروری خاک می‌شوند. کودهای دامی علاوه بر تأمین مواد غذایی خاک، در اصلاح ساختمان خاک نیز نقش مهمی دارند.

کود گاوی یکی از انواع کودهای دامی است که با افزایش ظرفیت نگهداری آب توسط خاک، افزایش تنوع میکروبی خاک، بهبود ساختمان خاکدانه‌ها به همراه تأمین قسمتی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه، رشد و عملکرد گیاه را بهبود می‌دهد (Maguire *et al.*, 2011). خاک‌هایی که با کود دامی تغذیه می‌شوند، علاوه بر جمعیت میکروبی فعال تر و غنی تر، مقادیر فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نیترات قابل استفاده بیشتری نسبت به خاک‌های کشاورزی رایج دارند (Azeez *et al.*, 2010).

کود مرغی یکی دیگر از انواع کودهای دامی و منبع ماده آلی برای تقویت انواع خاک‌ها می‌باشد که علاوه برداشتن مواد مغذی، یکی از کودهای ارزان قیمت و مناسب در مقایسه با کودهای متداول می‌باشد (Lawrence *et al.*, 2008). کود مرغی دارای خواصی مانند آزادسازی تدریجی نیتروژن، کاهش آبشویی نیترات، ترکیبات و ماده آلی، افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی می‌باشد (Ghosh *et al.*, 2004).  
ورمی کمپوست یک کود آلی بیولوژیک می‌باشد که از

(Hosseinpour *et al.*, 2006). آبیاری قطره‌ای یک روش آبیاری کم مصرف است که به طور گسترده در مناطق خشک جهان استفاده می‌شود (Aydinsakir, 2018).

در بررسی به منظور مطالعه اثر روش‌های غرقابی، جوی و پشته‌ای و آبیاری بارانی بر آبشویی نیترات و عملکرد آفتابگردان مشخص گردید که عملکرد دلنه در گیاهان آبیاری شده با روش بارانی بیشتر و آبشویی نیترات کمتر از دو روش دیگر بود و در مقایسه روش آبیاری جوی و پشته‌ای و کرتی، روش آبیاری جوی و پشته‌ای بهتر از کرتی می‌باشد (Rana *et al.*, 2006).

در بررسی روش‌های کاشت جوی و پشته‌ای و کرتی بر دو رقم لوبیا طی سه تاریخ کاشت مختلف مشخص گردید که عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا در کشت جوی و پشته‌ای به دلیل بستر مناسب و عدم ارتباط مستقیم آب با اندام‌های لوبیا، عملکرد بهتری نسبت به روش کرتی تولید نمود (Mehrpooyan *et al.*, 2011). در مقایسه با آبیاری غرقابی و جوی و پشته‌ای، آبیاری قطره‌ای آب را به طور یکنواخت در طول فصول زراعی توزیع نموده و از نفوذ عمیق آن جلوگیری بعمل می‌آورد (Wang *et al.*, 2020). در پژوهشی در طی سه سال، در مطالعه واکنش پنبه به دو روش آبیاری نشتی و قطره‌ای نتایج حاکی از آن بود که رشد و عملکرد پنبه‌های رشد یافته در آبیاری نشتی بسیار ضعیف‌تر از آبیاری قطره‌ای بود (Rajak *et al.*, 2006). در آزمایش دیگری محققین اثر سه روش آبیاری نشتی، بارانی و قطره‌ای را بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه ارزیابی کردند، عملکرد پنبه در روش قطره‌ای ۲۱ درصد بیشتر از نشتی و ۳۰ درصد بیشتر از روش بارانی بود (Cetin and Bilgel, 2008).

به لیمو (*Lippia citrodora* L.) گیاهی دارویی، درختچه‌ای چند ساله، متعلق به خانواده شاهپسند و بومی آمریکای جنوبی است (Portmann *et al.*, 2012). برگ‌های این گیاه حاوی اسانس است. اسانس به لیمو یکی از گران‌ترین و نایاب‌ترین اسانس‌ها در بازار بشمار می‌رود (Severin *et al.*, 2006). عمده‌ترین ترکیبات اسانس در برگ به لیمو، لیمون، ۱ و ۸ سینئول، ژرانیال، نرال و بتاگوانین گزارش شده است (Lira *et al.*, 2008). در طب سنتی از به لیمو به عنوان ضد اسپاسم، هضم کننده و بعنوان یک گیاه آرامبخش با خواص

موقعیت جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا اجرا شد. بر اساس طبقه‌بندی کوپن آب و هوای منطقه در اقلیم خشک و بسیار گرم با میانگین بارندگی سالیانه ۴۹ میلی‌متر قرار دارد.

آزمایش مورد استفاده بصورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در دو سال زراعی ۹۶ و ۹۷ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل روش‌های آبیاری به عنوان عامل اصلی در سه سطح (آبیاری کرتی، آبیاری جوی و پشته، آبیاری قطره‌ای با استفاده از نوار تیپ) و کودهای آلی و تلفیق آن‌ها بعنوان عامل فرعی در پنج سطح عدم مصرف کود (شاهد)، کود گاوی به میزان ۳۰ تن در هکتار، کود مرغی به میزان ۵ تن در هکتار، ورمی کمپوست به میزان ۵ تن در هکتار و تلفیق کود گاوی و کود مرغی (۱۵ تن در هکتار کود گاوی + ۲/۵ تن در هکتار کود مرغی) در نظر گرفته شد. قبل از تهیه بستر کاشت در اوایل بهار ابتدا با تهیه نمونه مرکب از پنج تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

طریق تبدیل پسماندهای آلی طی یک فرایند غیرگرم دوست توسط فعالیت مشترک کرم‌های خاکی و ریزجنداران خاک تولید می‌شود (Joshi et al., 2015). این ماده دارای تخلخل زیاد، افزایش توانایی نگهداری آب در خاک، بهبود ظرفیت نگهداری عناصر غذایی، بهبود ساختمان خاک و افزایش فعالیت میکروبی خاک می‌گردد (Munroe, 2005).

با توجه به نوپا بودن کشت گیاه دارویی به لیمو و لزوم مطالعه روش‌های آبیاری مناسب منطقه در جهت مدیریت و صرفه جویی مصرف آب و حصول عملکرد مطلوب و همچنین کاهش اثرات زیست‌محیطی استفاده از کودهای شیمیایی در نتیجه مصرف کودهای آلی، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف کود آلی و تلفیق آن‌ها بر عملکرد اقتصادی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گیاه به لیمو انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کودهای آلی و تلفیق آن‌ها بر عملکرد برگ به لیمو و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در پاسخ به روش‌های آبیاری، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل واقع در شهرستان زهک (چاه نیمه) واقع در ۲۵ کیلومتری شهرستان زابل در

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح قبل از کاشت

Table 1- Physical and chemical properties of the soil at the site of the project before planting

بافت خاک Soil Texture	پتاسیم K (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	نیتروژن N (%)	اسیدیته Acidity (%)	کربن آلی OC (%)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	سدیم Na (meq/lit)
Sandy loam لوم شنی	93.1	7.5	0.051	8.1	0.59	1.92	12.33

نقشه طرح آزمایشی به کرت‌های مورد نظر اضافه و تا عمق ۲۵ سانتی‌متری با خاک مخلوط گردید.

کاشت در هر دو سال مطالعه در دهه اول فروردین‌ماه انجام گرفت. کشت قلمه‌های ریشه‌دار به لیمو با دست بر روی چهار ردیف کاشت به طول ۴ متر و با فاصله بین ردیف ۶۵ سانتی‌متر و روی ردیف ۶۰ سانتی‌متر (۲/۵۶ بوته در متر مربع) انجام گرفت. ویژگی‌های کود گاوی، کود مرغی و ورمی کمپوست استفاده شده در جدول ۲ آمده است.

پس از آماده شدن زمین، کرت‌بندی در تیمارهای آبیاری غرقابی و ایجاد جوی و پشته در تیمارهای جوی و پشته‌ای و همچنین ایجاد فارو در تیمارهای مربوط به آبیاری قطره‌ای انجام گردید. کود گاوی و ورمی کمپوست از پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل تهیه و جهت اعمال تیمار کود مرغی از کود مرغی تهیه شده از پژوهشکده دام‌های خاص دانشگاه زابل استفاده گردید که بصورت کاملاً پوسیده و بعد از احتساب درصد رطوبت برای هر کرت فرعی بطور دقیق محاسبه و با توجه به

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده

Table 2- Chemical properties of organic fertilizers

نوع کود آلی Type of organic fertilizer	سدیم Na (meq/litre)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	کربن آلی OC (%)	کلسیم Ca (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)
کود گاوی Cow manure	0.24	7.9	20.8	2.33	0.33	0.08	0.25
کود مرغی Poultry manure	0.32	9.5	40.2	5.43	0.98	1.12	1.13
ورمی کمپوست Vermicompost	0.16	8.6	20.4	3.6	1.94	1.11	1.71

کرت جمع آوری و سپس عملکرد اقتصادی (برگ) محاسبه شد. پس از برداشت محصول در سال اول و دوم نمونه خاک‌ها از کرت‌های مربوط به هر کدام از تیمارها از عمق ۵-۳۰ سانتی متری در سه تکرار تهیه و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شد.

درصد نیتروژن کل با دستگاه کج‌دال (Bremner and Mulvaney, 1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن و سومرس (Olsen and Sommers, 1982)، پتاسیم قابل جذب و سدیم با محلول استات آمونیوم و با استفاده از روش فلیم فتومتری توسط دستگاه فلیم فتومتر (JEN WAY-model pf7) در pH در گل اشباع به وسیله pH متر، مقدار ماده آلی خاک با روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1982)، و وزن مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه و غوطه وری در پارافین مذاب (Blake and Hartge, 1986) اندازه‌گیری شد. در سال دوم تیمارها دقیقاً در کرت‌های سال اول قرار گرفتند و کلیه عملیات مربوط به سال اول، در سال دوم نیز تکرار گردید.

داده‌های مربوط به ویژگی‌های ارزیابی شده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه مرکب شد. رسم نمودارها و جداول با استفاده از Word و Excel انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

## نتایج و بحث

### عملکرد برگ

نتایج حاصل از تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، آبیاری، کود و برهمکنش کود × سال بر عملکرد به لیمو در

نوارهای آبیاری تیپ مورد استفاده در این تحقیق از نوار آبدی آبیاری قطره‌ای با قطره چکان‌هایی به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و آبدی هشت لیتر در ساعت در هر متر از طول نوار استفاده شد. اندازه‌گیری آب مصرفی در تیمارهای روش آبیاری غرقابی و جوی و پشته نیز با استفاده از کنتورهای حجمی انجام گردید. حجم آب مصرفی در آبیاری غرقابی ۸۱۵۰ متر مکعب، در آبیاری جوی و پشته ۶۲۳۰ متر مکعب و در سیستم آبیاری قطره‌ای ۳۹۶۰ متر مکعب در هکتار اندازه‌گیری شد. EC آب آبیاری ۱۲۵۴ میلی موس بر متر بود. نیاز آبیاری براساس اطلاعات روزانه تشتک تبخیر کلاس A در ایستگاه مجاور مزرعه براساس روابط ۱ و ۲ محاسبه شد.

$$ET_0 = k_p \times ET_p \quad (1)$$

$$ET_c = k_c \times ET_0 \quad (2)$$

که در این روابط  $ET_0$  میزان تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر)،  $k_p$  و  $k_c$  بترتیب ضریب تشتک تبخیر و ضریب گیاهی،  $ET_p$  میزان تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A (میلی‌متر)،  $ET_c$  تبخیر و تعرق واقعی گیاه به لیمو (میلی‌متر) برای ضریب گیاهی به لیمو در این مزارع از داده‌های لایسیمیتری اندازه‌گیری شده در دوره‌های کاشت قبلی استفاده شد. برای محاسبه  $ET_0$  روزانه از ضریب تشتک تبخیر و مقدار  $k_c$  با استفاده از لایسیمتر در مجاورت مزرعه مورد مطالعه محاسبه گردید.

برداشت گیاهان در هر سال، دو مرحله و در مرحله توسعه یافتگی برگ صورت پذیرفت که فاصله دو برداشت از یکدیگر حدود سه ماه بود. گیاهان برداشت شده برای خشک شدن به سایه و دمای معمولی منتقل شدند. بمنظور تعیین عملکرد برگ پس از رسیدگی و حذف حاشیه‌ها، برگ‌ها از دو متر مربع سطح

روش غرقابی و جوی و پشته بترتیب به میزان ۱۱۱۷/۵۰ و ۹۸۱/۸۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن با میانگین ۱۰۷۰/۰۷ کیلوگرم در هکتار در روش آبیاری قطره‌ای بدست آمد (جدول ۴). عبارتی عملکرد برگ در روش قطره‌ای نسبت به روش غرقابی به میزان ۱۲/۱ درصد کاهش یافته است که این کاهش را می‌توان به شوری خاک و دمای بالای هوا در طول دوره رشد این گیاه و عدم آبشویی کافی املاح نمکی در روش آبیاری قطره‌ای نسبت داد. نتایج فوق با نتایج سایر محققین همخوانی دارد (Alva et al., 2012).

سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به سال نشان می‌دهد که عملکرد برگ در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول ۲۰/۱ درصد افزایش داشته است (جدول ۴). این مسئله را می‌توان به افزایش شاخ و برگ گیاه به لیمو نسبت داد زیرا این گیاه چند ساله بوده و در سال دوم حجم شاخ و برگ و همچنین میزان برگ تولیدی آن افزایش یافته است.

مقایسه میانگین عملکرد برگ در روش‌های مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین میزان عملکرد برگ از تیمار آبیاری به

جدول ۳- تجربه واریانس مرکب اثر روش‌های آبیاری و سطوح کودهای آلی و تلفیق آن‌ها بر عملکرد اقتصادی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 3- Combined analysis of variance of the effect of irrigation methods and levels of organic fertilizers and their combination on economic performance and some physical and chemical properties of soil

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		عملکرد اقتصادی EY (Kg.hec)	نیتروژن N (%)	پتاسیم K (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	وزن مخصوص ظاهری Bulk density g/cm <sup>3</sup>	ماده آلی خاک SOM (%)	سدیم خاک Na (meq/litre)
Year سال	1	8421.4**	0.0005**	310.95**	7.71 <sup>ns</sup>	0.1284**	0.0040 <sup>ns</sup>	1.65**
خطای Error a	4	1051.67	0.000001	4.82	0.096	0.00002	0	0.073
روش آبیاری Irrigation method	2	1422.43**	0.0003**	132.69*	10.18**	0.0045*	0.0004 <sup>ns</sup>	2.84**
سال × روش آبیاری Year × Irrigation method	2	1032.03 <sup>ns</sup>	0.000001 <sup>ns</sup>	0.0799 <sup>ns</sup>	0.0315 <sup>ns</sup>	0.0013 <sup>ns</sup>	0.0013 <sup>ns</sup>	0.0059 <sup>ns</sup>
خطای Error b	8	13032.8	0.00001	16.49	0.32	0.0009	0.0024	0.301
کود آلی Organic fertilizer	4	1093.07**	0.0006**	535.64**	7.78**	0.0050**	0.0114**	2.79**
روش آبیاری × کود Irrigation method × Organic fertilizer	8	1484.7 <sup>ns</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	0.8639 <sup>ns</sup>	1.044**	0.0005 <sup>ns</sup>	0.0001**	0.102 <sup>ns</sup>
کود آلی × سال Organic fertilizer × year	4	7385.7**	0.00004**	16.67*	1.81**	0.0020*	0.0013**	0.172 <sup>ns</sup>
روش آبیاری × کود آلی × سال Irrigation method × Organic fertilizer × year	8	1031.71 <sup>ns</sup>	0.0000009 <sup>ns</sup>	0.2611 <sup>ns</sup>	0.3131**	0.00038 <sup>ns</sup>	0.00006**	0.179 <sup>ns</sup>
خطای Error c	48	1229.5	0.000006	6.075	0.054	0.0005	0.000011	0.1993
ضریب تغییرات (%) CV		10.49	4.1	2.40	2.79	1.79	0.41	3.49

\*\*\*، \*\*، ns بترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری

\*\*\*, \*\*, ns are significant at the level of one percent, five percent and no significance respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد اقتصادی، نیتروژن، پتاسیم، سدیم و وزن مخصوص ظاهری خاک کشت به لیمو تحت تأثیر سطوح مختلف کودهای آلی و تلفیق آن‌ها و روش‌های آبیاری

Table 4- Mean Comparison of economic yield, nitrogen, potassium, sodium and bulk density of soil to lemon verbena under the influence of different levels of organic fertilizers and their combination and irrigation methods

تیمار Treatment	عملکرد اقتصادی EY (Kg/hect)	نیتروژن N (%)	پتاسیم K (mg/kg)	سدیم Na (meq/lit)	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
سال زراعی Crop year					
۱۳۹۶	959.73b	0.058 b	100.5 b	12.64 b	1.37a
2017					
۱۳۹۷	1153.2a	0.063a	104.2a	12.92a	1.29b
2018					
روش آبیاری Irrigation method					
آبیاری غرقابی Flood irrigation	1117.5 a		100.3b	12.47 b	1.34 a
آبیاری جوی و پشته Furrow irrigation	1070.07a	0.057c	102.3b	12.79 b	1.33 a
آبیاری قطره‌ای Drip irrigation	981.8 b	0.060b	104.5a	13.a08	1.32 b
نوع کود آلی Type of organic fertilizer					
عدم مصرف کود (شاهد) Control	671.7d	0.051d	94.7 d	12.55b	1.36a
کود گاوی Cow manure	1345.2a	0.066 a	109.5a	13.32a	1.31c
کود مرغی Poultry manure	1069c	0.062 b	100.9c	12.46b	1.33b
ورمی کمپوست vermicompost	1034.4c	0.060 c	101.8c	12.49 b	1.32bc
تلفیق نصف کود گاوی + نصف کود مرغی Combinaton half of cow manure+ half of poultry manure	116.8b	0.064a	105b	13.09 a	1.32bc

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5% level based on Duncan's multiple range test.

دیگری با افزایش میزان آب مصرفی عملکرد محصول سیب زمینی افزایش پیدا کرد و تیمار شاهد دارای بیشترین عملکرد بود (Ghamarnia and Sepehri, 2009).

همچنین مقایسه میانگین داده‌های مربوط به تیمارهای کودی نشان می‌دهد که بالاترین عملکرد برگ ۱۳۴۵/۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار مصرف کود گاوی به میزان ۳۰ تن در هکتار و پایین‌ترین میزان عملکرد برگ ۶۷۱/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار عدم مصرف کود (شاهد) می‌باشد که تیمار کود گاوی افزایش ۱۰/۲ درصدی را نسبت به تیمار عدم

نتایج یک تحقیق در بررسی ارقام مختلف غده سیب زمینی تحت تأثیر روش‌های مختلف آبیاری کرتی، بارانی و قطره‌ای حاکی از آن بود که میزان عملکرد غده به میزان ۳۶/۸۴ تن در هکتار در آبیاری کرتی به طور معنی‌داری بیشتر از دو روش بارانی و قطره‌ای بود. بالا بودن عملکرد غده سیب زمینی در روش آبیاری کرتی احتمالاً به این دلیل است که با توجه به حجم آب بیشتر استفاده شده خاک همیشه دارای وضعیت رطوبتی مناسب بوده و گیاه انرژی کمتری را صرف جذب آب از خاک نموده است (Mastalizadeh et al., 2020). در مطالعه

رطوبت مناسبی را در حد ظرفیت زراعی مزرعه فراهم می‌کند که باعث افزایش جذب عناصر درشت مغذی و همچنین ریز مغذی‌ها و متعاقباً افزایش رشد گیاه شده و در نهایت منجر به بهبود عملکرد گیاه می‌گردد (Franco et al., 1999).

نیترژن عنصری است که اثر متقابل با آب نشان می‌دهد وقتی که نیترژن عامل محدود کننده است آبیاری در بعضی اوقات موجب افزایش عکس العمل گیاه به مصرف متوسط نیترژن می‌شود (Last et al., 1984). تغییر از روش آبیاری غرقاب به روش قطره‌ای به نفع تبدیل  $\text{NH}_4$  به  $\text{NO}_3$  از طریق نیتروفیکاسیون است محتوی اکسیژن خاک و پتانسیل ردکس خاک بالاتر در آبیاری به روش قطره‌ای در محیط ریزوسفر ریشه نسبت به تیمار آبیاری غرقاب عامل این موضوع شده است (Zhou et al., 2013).

طبق مقایسه میانگین سطوح مختلف کود آلی (جدول ۴) بیشترین مقدار نیترژن خاک (۰/۰۶۶ درصد) از مصرف ۳۰ تن کود گاوی و کمترین درصد نیترژن خاک (۰/۰۵۱ درصد) از تیمار عدم مصرف کود (شاهد) حاصل شد که تیمار کود گاوی افزایش ۲۹/۴ درصدی را نسبت به تیمار عدم مصرف کود (شاهد) نشان داد. اساساً نیترژن خاک با مصرف کودهای آلی افزایش می‌یابد (Drinkwater et al., 1995). کودهای آلی بخصوص کودهای دامی در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند و می‌توانند به عنوان منابعی از عناصر غذایی به ویژه نیترژن، فسفر و پتاسیم به شمار آیند و سبب جذب بهتر آن‌ها توسط ریشه گیاهان شوند (Alizadeh et al., 2012).

#### پتاسیم

بر اساس نتایج (جدول ۳) اثر سال و سطوح مختلف کود آلی و تلفیق آن‌ها در سطح احتمال یک درصد، روش‌های آبیاری و برهمکنش کودهای آلی × در سال، در سطح احتمال پنج درصد بر مقدار پتاسیم قابل جذب خاک بعد از برداشت محصول تأثیر معنی‌داری داشت. طبق مقایسه میانگین داده‌های مربوط به سال‌های انجام آزمایش (جدول ۴) مقدار پتاسیم قابل جذب خاک در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول ۳/۶ درصد افزایش داشت.

بر طبق مقایسه میانگین تیمار روش‌های آبیاری بیشترین

مصرف کود (شاهد) نشان می‌دهد (جدول ۴).

اثرات مثبت کودهای حیوانی بر باروری خاک، افزایش ماده آلی و غنی‌سازی خاک و در نهایت بهبود عملکرد گیاه توسط محققین مختلف مورد تأیید قرار گرفته است (Jahan et al., 2011). کود گاوی با افزایش ظرفیت نگهداری آب توسط خاک، افزایش تنوع میکروبی خاک، بهبود ساختمان خاکدانه‌ها به همراه تأمین قسمتی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه، رشد و عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Maguire et al., 2011). محققین گزارش نمودند که کاربرد زیر سطحی ۲۷ و ۴۰ تن در هکتار و تیمار پخش سطحی ۵۰ تن در هکتار کود گاوی بالاترین میزان عملکرد اقتصادی سیر را موجب شد (Amin et al., 2018).

#### ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

##### نیترژن

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که میان اثر سال، روش‌های آبیاری، کود و بر همکنش کود × سال از لحاظ میزان درصد نیترژن خاک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۳). طبق مقایسه میانگین داده‌های مربوط به سال‌های انجام آزمایش درصد نیترژن خاک در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول ۸/۶ درصد افزایش داشت. بر طبق مقایسه میانگین روش‌های آبیاری بیشترین مقدار درصد نیترژن خاک (۰/۰۶۴ درصد) بعد از برداشت محصول از روش آبیاری قطره‌ای و کمترین آن به میزان (۰/۰۵۷ درصد) از روش آبیاری غرقابی بدست آمد (جدول ۴).

نتایج پژوهش حاکی از کاهش درصد نیترژن خاک در روش آبیاری غرقابی نسبت به روش آبیاری قطره‌ای است. کاهش درصد نیترژن خاک در روش آبیاری غرقابی نسبت به روش آبیاری جوی و پشته‌ای و قطره‌ای احتمالاً بدلیل آبشویی بالای نیترژن در روش آبیاری غرقابی نسبت به روش آبیاری جوی و پشته‌ای و همچنین بیشتر بودن آبشویی در روش آبیاری جوی و پشته‌ای نسبت به روش قطره‌ای است. رطوبت مناسب خاک باعث افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی شده و از طرفی مصرف بیش از حد آب باعث شستشوی عناصر غذایی بخصوص نیترژن شده و از دسترس ریشه خارج می‌کند. آبیاری قطره‌ای

تیمار کودی و همچنین کاهش pH خاک در نتیجه استفاده از کودهای آلی، غلظت پتاسیم قابل جذب در عصاره اشباع خاک افزایش یافته است (Mahmoudi et al., 2015). همچنین طبق نتایج برگرفته از یک آزمایش کاربرد ۲۱ تن در هکتار کود گاوی کاملاً پوسیده به ترتیب در ارقام هاشمی و گیلانه باعث افزایش حلالیت و فراهمی پتاسیم بمیزان (۲۸۷/۱۲) و افزایش (۲۸۵/۷۸) پی پی ام در ریزوسفر گیاه برنج شد (Shahdi-Kumleh et al., 2018).

#### سدیم

اثر سال، روش‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کود آلی و تلفیق آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر مقدار سدیم خاک معنی‌دار بود (جدول ۳). طبق مقایسه میانگین داده‌های مربوط به سال‌های انجام آزمایش مقدار سدیم خاک در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول ۲/۲۱ درصد افزایش داشت (جدول ۴).

بر طبق مقایسه میانگین تیمار روش‌های آبیاری بیشترین مقدار سدیم خاک (۱۳/۰۸ میلی اکوی والان بر لیتر) بعد از برداشت محصول از روش آبیاری قطره‌ای و کمترین آن (۱۲/۴۷ میلی اکوی والان بر لیتر) از روش آبیاری غرقابی بدست آمد (جدول ۴). مقایسه میانگین مقدار سدیم خاک در روش‌های مختلف آبیاری بیانگر کاهش محتوی سدیم خاک در روش غرقابی و جوی و پشته نسبت به روش آبیاری قطره‌ای است. بنابراین تیمار آبیاری غرقابی و جوی و پشته نقش مؤثرتری در کاهش محتوی سدیم خاک داشته‌اند.

آبیاری غرقاب و جوی و پشته بدلیل حجم آب مصرفی بیشتر در طول دوره رشد سبب شستشوی سدیم خاک شده و با آبخوبی سدیم از شوری خاک در مقایسه با روش آبیاری قطره‌ای کاسته شده است (Emadi, 2017). محققان در بررسی طرح ۵۵۰ هزار هکتاری اراضی کشاورزی خوزستان نشان دادند عملکرد آبخوبی خاک با وجود تمایل بیشتر کشاورزان به روش‌های نوین آبیاری، در روش‌های آبیاری سطحی مناسب‌تر از آبیاری بارانی است (Absalan and Dehghani Sanji, 2016).

همچنین بر طبق مقایسه میانگین داده‌های مربوط به تیمارهای سطوح مختلف کود آلی بیشترین مقدار محتوی سدیم

مقدار پتاسیم قابل جذب خاک (۱۰۴/۵ میلی گرم بر کیلوگرم) بعد از برداشت محصول از تیمار روش آبیاری قطره‌ای و کمترین آن (۱۰۰/۳ میلی گرم بر کیلوگرم) از روش آبیاری غرقابی و جوی و پشته (۱۰۲/۳ میلی گرم بر کیلوگرم) بدست آمد (جدول ۴). نتایج پژوهش حاکی از افزایش میزان پتاسیم خاک در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش آبیاری غرقابی و جوی و پشته است. عبارتی مقدار پتاسیم قابل جذب خاک در روش آبیاری غرقابی نسبت به روش آبیاری قطره‌ای ۴/۱۸ درصد کاهش داشته است. کاهش مقدار پتاسیم قابل جذب خاک در روش آبیاری غرقابی و آبیاری جوی و پشته احتمالاً بدلیل آبخوبی بالای پتاسیم در روش آبیاری غرقابی و جوی و پشته نسبت به روش آبیاری قطره‌ای است.

محققان دلیل افزایش در دسترس بودن عنصر پتاسیم را در سیستم آبیاری قطره‌ای نسبت روش آبیاری غرقابی، آبخوبی پتاسیم در تیمار آبیاری غرقابی بیان کردند (Zhou et al., 2013). در تحقیق دیگری نتایج نشان داد که آبیاری غرقابی پتاسیم موجود را از خاک لوم شنی با غلظت بالای پتاسیم آبخوبی می‌کند (Askegaard and Eriksen, 2000). در آزمایشی جهت بررسی کارایی آبیاری قطره‌ای در کشت گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) مشخص گردید که در آبیاری قطره‌ای حرکت افقی و عمودی املاح مغذی از جمله پتاسیم با شدت توسعه ریشه دوانی گیاه مطابقت دارد (Sezen et al., 2011).

همچنین طبق جدول مقایسه میانگین سطوح مختلف کود آلی (جدول ۴) بیشترین مقدار پتاسیم خاک (۱۰۹/۵ میلی گرم بر کیلوگرم) از مصرف ۳۰ تن کود گاوی و کمترین میزان پتاسیم خاک (۹۴/۷ میلی گرم بر کیلوگرم) از تیمار عدم مصرف کود (شاهد) حاصل شد. تیمار ۳۰ تن کود گاوی بیشتر از تیمارهای دیگر بر غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک اثر گذاشت. در یک گزارش تحقیقی با افزایش pH خاک به بیش از وضعیت خنثی، بار منفی اکسید و هیدروکسید افزایش یافته و موجب افزایش جذب سطحی یون پتاسیم و در نتیجه کاهش پتاسیم محلول خاک در گشت گیاه یونجه (*Medicago sativa*) گردید.

با توجه به حجم بالای تیمار کود گاوی نسبت به سایر سطوح کود آلی مورد استفاده و عرضه بیشتر پتاسیم در این

ترکیبی روش آبیاری غرقابی و مصرف ورمی کمپوست به میزان ۵ تن در هکتار و آبیاری غرقابی و تیمار تلفیقی ۱۵ تن کود گاوی و ۲/۵ تن کود مرغی در هکتار، تیمار ترکیبی روش آبیاری جوی و پشته و عدم مصرف کود (شاهد)، آبیاری جوی و پشته‌ای و مصرف کود مرغی به میزان ۵ تن در هکتار و روش آبیاری قطره‌ای همراه با مصرف کود مرغی به میزان ۵ تن در هکتار از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند.

افزایش مقدار فسفر خاک در طی استفاده از کود گاوی در روش آبیاری قطره‌ای به تأثیر کود دامی در افزایش عناصر غذایی خاک، بهبود خلل و فرج خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری رطوبت فراهم شده همراه با کاهش آبشویی فسفر در روش آبیاری قطره‌ای مربوط باشد. یکنواختی بالای توزیع آب در سطح مزرعه و کاهش تلفات مواد غذایی خاک در اثر کاهش نفوذ عمقی آب در آبیاری قطره‌ای، را می‌توان از دلایل کاهش آبشویی فسفر موجود در خاک بیان کرد (Al-Baji, 2010). مشخص شده است که کودهای آلی تحرک و در دسترس بودن مواد مغذی را تحت شرایط مختلف آب خاک بهبود می‌بخشند (Dimkpa et al., 2020).

نتایج آزمایشی با اعمال روش‌های مختلف آبیاری حاکی از آن بود که توزیع مواد مغذی درغده سبب زمینی به روش آبیاری قطره‌ای مطابق با نیازهای زمانی گیاه به مواد مغذی از جمله فسفر بوده و نسبت به روش‌های دیگر آبیاری از بازده بالایی برخوردار است و میزان آبشویی فسفر را به پایین‌ترین حد کاهش داده است (Selim et al., 2009). گزارش شده است که قابلیت جذب فسفر در کودهای حیوانی نسبت به سایر منابع کود آلی بیشتر است (Six et al., 1998). کاربرد کودهای دامی در گیاهان دارویی، سبب بهبود خواص فیزیکی، حفظ رطوبت خاک، افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه و متعاقباً افزایش تعادل نیتروژنی و کارایی جذب فسفر می‌شود (Sharma, 2002). در گزارشی مشخص گردید که مصرف کودهای دامی سبب افزایش جذب فسفر توسط گیاه باقلا شده است (Hellal et al., 2014).

### وزن مخصوص ظاهری

نتایج حاصل از تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، سطوح مختلف کود آلی، برهمکنش سال × کودهای آلی در

خاک از تیمار مصرف ۳۰ تن کود گاوی و تیمار تلفیقی ۱۵ تن کود گاوی و ۲/۵ تن کود مرغی در هکتار و کمترین مقدار سدیم خاک از تیمارهای عدم مصرف کود (شاهد)، تیمار کود مرغی و تیمار ورمی کمپوست حاصل شد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. تیمار مصرف ۳۰ تن کود گاوی افزایش ۶/۱ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. محققان به این نتیجه رسیده‌اند که استفاده از مقادیر زیاد و مکرر کود دامی بدلیل محتوی نمک زیاد در خاک در دراز مدت پایدار نیست زیرا منجر به شور شدن خاک می‌شود (Hao and Chang, 2003). بسیاری از ویژگی‌های خاک در اثر استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی بهبود می‌یابند (Chaney and Swift, 1986).

با توجه به اینکه بسیاری از خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک آهکی بوده و از آنجا که میزان حلالیت آهک پایین است، می‌توان با افزودن ماده آلی، فشار گاز دی اکسیدکربن را در خاک افزایش داد و باعث افزایش حلالیت آهک و از طرفی کاهش واکنش خاک شد از اینرو، شدت جایگزینی کلسیم محلول به جای سدیم تبدلی افزایش می‌یابد (Wong et al., 2009). در گزارش دیگری اثر ورمی کمپوست بر غلظت فسفر، مشابه و گاهی بهتر از کود دامی و مرغی مصرفی رایج در منطقه شناخته شده و لذا جایگزین کردن آن با کودهای پرمصرف دامی و مرغی به دلیل اثر مطلوب در فرایم فسفر و داشتن اسیدیته خنثی و شوری کمتر توصیه می‌شود (Bagvand et al., 2019).

### فسفر خاک

بررسی نتایج تجزیه مرکب نشان داد که تأثیر روش‌های مختلف آبیاری، کودهای آلی و تلفیق آن‌ها، کود آلی × روش‌های آبیاری، کود × سال و روش‌های آبیاری × کودهای آلی و تلفیق آن‌ها × سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). برطبق مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۵)، بیشترین مقدار فسفر خاک (۱۰/۳۳ گرم بر کیلوگرم) در روش آبیاری قطره‌ای همراه با مصرف ۳۰ تن کود گاوی در هکتار و کمترین آن مربوط به تیمار ترکیبی آبیاری غرقابی و عدم مصرف کود (شاهد) و همچنین تیمار آبیاری غرقابی و مصرف کود مرغی به میزان ۵ تن در هکتار می‌باشد. البته این تیمارها با تیمارهای

مخصوص ظاهری خاک بین سال‌های مختلف انجام آزمایش داشت بطوری‌که وزن مخصوص ظاهری در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول ۵/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

سطح احتمال یک درصد و روش‌های آبیاری در سطح احتمال پنج درصد بر وزن مخصوص ظاهری خاک معنی‌دار بوده است (جدول ۳). نتایج اثر سال حاکی از تفاوت معنی‌دار میانگین وزن

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش روش‌های آبیاری در کودهای آلی و تلفیق آن‌ها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 5- Mean Comparison of interaction of irrigation methods in organic fertilizers and their combination on some physical and chemical properties of soil

روش‌های آبیاری Irrigation methods	نوع کود آلی Type of organic fertilizer	ماده آلی خاک (%)SOM	فسفر P(mg/kg)
آبیاری غرقایی Flood irrigation	شاهد Control	0.77h	7.64h
	کود گاوی Cow manure	0.82b	8.32d
	کود مرغی Poultry manure	0.78g	7.64e
	ورمی کمپوست vermicompost	0.78g	7.70e
	تلفیق نصف کود گاوی + نصف کود مرغی Combination half of cow manure+half of poultry manure	0.81d	7.77e
	شاهد Control	0.76i	7.67e
آبیای جوی و پشته Furrow irrigation	کود گاوی Cow manure	0.83b	9.34bc
	کود مرغی Poultry manure	0.79f	7.79e
	ورمی کمپوست vermicompost	0.78g	8.34d
	تلفیق نصف کود گاوی + نصف کود مرغی Combination half of cow manure+half of poultry manure	0.82c	8.58d
	شاهد Control	0.76h	7.92e
	کود گاوی Cow manure	0.83a	10.33a
آبیاری قطره‌ای Drip irrigation	کود مرغی Poultry manure	0.80e	7.92e
	ورمی کمپوست vermicompost	0.79f	9.19c
	تلفیق نصف کود گاوی + نصف کود مرغی Combination half of cow manure+half of poultry manure	0.82c	9.54b

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5% level based on Duncan's multiple range test.

سانتی‌متر مکعب) از تیمار آبیاری قطره‌ای حاصل شد. عبارت دیگر وزن مخصوص ظاهری در تیمار روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش غرقایی ۱/۴ درصد کاهش داشته است. ساختار

بر طبق مقایسه میانگین روش‌های آبیاری (جدول ۴) بیشترین وزن مخصوص ظاهری (۱/۳۴) گرم بر سانتی‌متر مکعب) از تیمار آبیاری غرقایی و کمترین آن (۱/۳۲) گرم بر

(جدول ۳).

برطبق مقایسه میانگین برهمکنش اثر روش‌های آبیاری × کودهای آلی و تلفیق آن‌ها (جدول ۵) بالاترین درصد ماده آلی خاک (۰/۸۳ درصد) از تیمار روش آبیاری قطره‌ای و مصرف ۳۰ تن کود گاوی در هکتار و کمترین آن (۰/۷۶ درصد) از تیمار روش آبیاری جوی و پشته و تیمار عدم مصرف کود (شاهد) بدست آمد.

مقادیر ماده آلی خاک یک روند افزایش تدریجی را با افزایش سطوح کودی در هر ۴ تیمار کودی نشان می‌دهد. برهمکنش اثرات کود گاوی از طریق افزایش دسترسی به عناصر غذایی خاک همراه با طولانی‌تر شدن ظرفیت نگهداری رطوبت خاک در نتیجه آبیاری قطره‌ای باعث ایجاد محیط مطلوب برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک شده که در اثر آن ماده آلی خاک افزایش می‌یابد ولی در تیمار برهمکنش عدم مصرف کود (شاهد) و آبیاری جوی و پشته به علت کاهش ورود مواد آلی و آبشویی عناصر غذایی و به تبع آن کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های دخیل در چرخه کربن، میزان ماده آلی خاک کاهش یافته است.

راندمان مصرف آب بالا اغلب با آبیاری قطره‌ای امکان‌پذیر است زیرا تبخیر و رولاب سطحی کاهش یافته و همچنین حداقل نفوذ عمیق وجود دارد (Shaymaa et al., 2009). نتایج فوق با نتایج سایر محققین که افزایش درصد ماده آلی خاک را در اثر مصرف کود دامی گزارش کردند مطابقت دارد (Kanchikerimath and Singh, 2001). مصرف کود دامی در طولانی مدت میزان ماده آلی خاک را در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره، ۶۹ درصد افزایش داد (Behera and Panda, 2009). در تحقیقات دیگری نیز افزایش محتوی ماده آلی خاک در اثر کاربرد کودهای آلی گزارش شده است (Uz and Tavali, 2014).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج بدست آمده نشان داد که بالاترین میزان عملکرد اقتصادی به لیمو (برگ) از روش‌های آبیاری غرقابی و جوی و پشته‌ای بدست آمد که نسبت به آبیاری قطره‌ای بترتیب ۱۳/۸ و ۸/۹ درصد افزایش عملکرد نشان داد. البته میزان آب مصرفی در آبیاری غرقابی و جوی پشته‌ای و قطره‌ای بترتیب ۸۱/۵۰،

خاک توسط فرایندهای مختلفی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. احتمالاً افزایش صورت گرفته در وزن مخصوص ظاهری در اثر آبیاری غرقابی و جوی و پشته‌ای بدلیل تخریب صورت گرفته در خاکدانه‌ها طی خیس شدن، نشست و تخریب ایجاد شده بعد از آبیاری غرقابی و قرار گرفتن ذرات ریز در خلل و فرج درشت مرتبط می‌باشد. درحالی‌که در تیمار آبیاری قطره‌ای سطح خاک خشک مانده و تخریبی در آن صورت نمی‌گیرد. نتایج حاضر با نتایج (Hamza et al., 2011; Alaoui et al., 2018) مطابقت دارد. آبیاری مکرر و خاک‌ورزی از شکل‌گیری مناسب ساختمان خاک جلوگیری کرده و منجر به افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک و کاهش تخلخل آن می‌گردد (Afonso et al., 2021).

همچنین طبق مقایسه میانگین سطوح مختلف کودهای آلی (جدول ۴) تمامی تیمارهای کودهای آلی موجب کاهش معنی‌دار وزن مخصوص ظاهری خاک نسبت به تیمار عدم مصرف کود (شاهد) شدند. نتایج یک تحقیق نشان داد که مصرف کمپوست، کود دامی و مایکوریزا در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، باعث شد تا وزن مخصوص ظاهری خاک به ترتیب ۱۲،۱۹ و ۱۱ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کند (Celik et al., 2010).

مطالعات دیگری نیز نشان داد مصرف کودهای دامی از طریق افزایش کربن آلی خاک باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود (bandyopadhyay et al., 2010). این امر می‌تواند ناشی از رقیق شدن ذرات خاک به دلیل افزایش مواد آلی خاک باشد البته افزایش ابعاد خاکدانه‌ها، بهبود ساختمان خاک، پایداری آن‌ها و تخلخل حاصل از مصرف کود دامی تأثیر بیشتری در کاهش وزن مخصوص ظاهری دارد (Agbede, 2008). در گزارش دیگری بکارگیری کودهای آلی در خاک با افزایش درصد منافذ خاک باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک گردید (Mirzaei et al., 2009).

### ماده آلی خاک

مقدار ماده آلی خاک بطور مؤثری تحت تأثیر کودهای آلی و تلفیق آن‌ها، روش‌های آبیاری × کودهای آلی و تلفیق آن‌ها، کودهای آلی و تلفیق آن‌ها × سال و روش‌های آبیاری × کودهای آلی × سال قرار گرفت. روش‌های آبیاری و سال × روش‌های آبیاری تأثیر معنی‌داری بر درصد ماده آلی خاک نداشتند

برگ قرار گرفتند. با کاربرد کودهای آلی میزان نیتروژن، پتاسیم و سدیم خاک افزایش و وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش یافت که نشان‌دهنده پوکی بیشتر خاک در شرایط مصرف کودهای آلی است. بالاترین میزان ماده آلی و فسفر خاک از تیمار ترکیبی آبیاری قطره‌ای و مصرف ۳۰ تن در هکتار کود گاوی بدست آمد که با تیمار ترکیبی آبیاری قطره‌ای و تیمار نصف کود گاوی + نصف کود مرغی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت.

۶۲۳۰ و ۳۹۶۰ متر مکعب در هکتار بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین حاصل از مصرف کودهای آلی حاکی از آن است که بالاترین عملکرد اقتصادی به لیمو (برگ) از تیمار مصرف ۳۰ تن در هکتار کود گاوی و کمترین عملکرد برگ از تیمار شاهد (عدم مصرف کود) حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش عملکرد ۱۰۰/۲ درصدی تیمار کود گاوی نسبت به شاهد بود. همچنین تیمارهای نصف کود گاوی + نصف کود مرغی، کود مرغی و ورمی کمپوست در رده‌های بعدی از نظر عملکرد

## References

- Absalan, S. and Dehghani Sanij, H., 2015. Changes in soil salinity under sprinkler irrigation system in Azadegan plain region of Khuzestan. *The first national conference to study the dimensions of the implementation of the 550,000-hectare agricultural development plan*, 17–18 Nov., Ahvaz, Iran. [In Persian].
- Afonso, S., Arrobas, M. and Rodrigues, M., 2021. Twenty-years of hop irrigation by flooding the inter-row did not cause a gradient along the row in soil properties, plant elemental composition and dry matter yield. *Horticulturae*, 7(7). <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070194>
- Agbede, T.M., Ojeniyi, S.O. and Adeyemo, A.J., 2008. Effect of poultry manure on soil physical and chemical properties, growth and grain yield of sorghum in southwest Nigeria. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 2(1), pp.72–77.
- Alaoui, A., Rogger, M., Peth, S. and Blöschl, G., 2018. Does soil compaction increase floods? A review. *Journal of Hydrology*, 557, pp.631–642. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.052>
- Al-Baji, M., 2010. Effect of conventional irrigation methods, regulated irrigation and local drought irrigation on yield, components of yield, water productivity and efficiency of sunflower water consumption. Doctoral dissertation, Shahid Chamran University of Ahvaz.
- Alizadeh, A., 2010. *Designing pressure irrigation systems* (Vol. II, 4th ed.). Mashhad Ferdowsi University. [In Persian].
- Alizadeh, P., Fallah, S. and Raiesi, F., 2012. Potential N mineralization and availability to irrigated maize in a calcareous soil amended with organic manures and urea under field conditions. *International Journal of Plant Production*, 6(4), pp.493–512. [In Persian].
- Alva, A.K., Ren, H. and Moore, A.D., 2012. Water and nitrogen management effects on biomass accumulation and partitioning in two potato cultivars. *American Journal of Plant Sciences*, 3, pp.164–170. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.31019>
- Amin, Z., Fallah, S. and Abbasi Surki, A., 2018. Effect of application method and different levels of cattle manure on performance and concentration of some nutrients of garlic (*Allium sativum*). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(3), pp.107–120. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2017.11481.1661>
- Ansari, H., 2011. *Surface irrigation evaluation, design and simulation*. Mashhad University Press. [In Persian].

- Askegaard, M. and Eriksen, J., 2000. Potassium retention and leaching in an organic crop rotation on loamy sand as affected by contrasting potassium budgets. *Soil Use and Management*, 16, pp.200–205. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2000.tb00193.x>
- Aydinsakir, K., 2018. Yield and quality characteristics of drip-irrigated soybean under different irrigation levels. *Agronomy Journal*, 110(4), pp.1473–1481. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0748>
- Azeez, J.O., Van Averbeke, W. and Okorogbona, A.O.M., 2010. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun) to the application of three animal manures. *Bioresource Technology*, 101, pp.2499–2505. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.095>
- Bagvand, F., Zarabi, M., Mahdavi, S. and Asariha, M., 2019. Effect of vermicompost on phosphorus adsorption in calcareous soils compared to other organic amendments. *Journal of Water and Resources Conservation*, 9(1), pp.1–16. [In Persian].
- Bandyopadhyay, K.K., Misra, A.K., Ghosh, P.K. and Hati, K.M., 2010. Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and productivity of soybean. *Soil and Tillage Research*, 110, pp.115–125. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.007>
- Behera, S.K. and Panda, R.K., 2009. Effect of fertilization and irrigation schedule on water and fertilizer solute transport for wheat crop in a sub-humid sub-tropical region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 130, pp.141–155. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.12.009>
- Blake, G.R. and Hartge, K.H., 1986. Bulk density. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 1 – Physical and mineralogical methods* (pp.363–375). ASA-SSSA. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>
- Bremner, D.C. and Mulvaney, J.M., 1982. Total nitrogen. In A.L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 2 – Chemical and microbiological properties* (pp.595–624). ASA-SSSA. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31>
- Carrera-Quintanar, L., Funes, L., Viudes, E., Tur, J., Micol, V., Roche, E. and Pons, A., 2012. Antioxidant effect of lemon verbena extracts in lymphocytes of university students performing aerobic training program. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22(4), pp.454–461. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01244.x>
- Celik, I., Gunal, H., Budak, M. and Akpınar, C., 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160(2), pp.236–243. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.028>
- Cetin, O. and Bilgel, L., 2002. Effects of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. *Agricultural Water Management*, 54, pp.1–15. [https://doi.org/10.1016/s0378-3774\(01\)00138-x](https://doi.org/10.1016/s0378-3774(01)00138-x)
- Chaney, K. and Swift, R.S., 1986. Studies on aggregate stability of reformed soil aggregates. *Journal of Soil Science*, 37, pp.337–343. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1986.tb00036.x>
- Dimkpa, C.O., Fugice, J., Singh, U. and Lewis, T.D., 2020. Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency: Trends and perspectives. *Science of the Total Environment*, 731, 139113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139113>

- Drinkwater, L.E., Letourneau, D.K. and Shennan, C., 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications*, 5(4), pp.1098–1112. <https://doi.org/10.2307/2269357>
- Emadi, S.K. (2017). Study the effect of sprinkler irrigation systems on some physical and chemical characteristics of the soil of Semnan. M.Sc. Dissertation in Irrigation and Drainage, Faculty of Agricultural Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran [In Persian].
- Franco, J.A., Perez-Saura, P.J., Fernandez, J.A., Parra, M. and Garcia, A.L., 1999. Effect of two irrigation rates on yield, incidence of blossom end rot, mineral content and free amino acid levels in tomato cultivated under drip irrigation using saline water. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(4), pp.430–435. <https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511132>
- Ghamarnia, H. and Sepehri, S., 2009. Water stress management and its effects on water use efficiency and other yield parameters of potato in Kermanshah province in the west of Iran. *60th International Executive Council Meeting & 5th Asian Regional Conference*, New Delhi, India. [In Persian].
- Ghosh, P.K., Ramesh, P., Bandyopadhyay, K.K., Tripathi, A.K., Hati, K.M., Misra, A.K. and Acharya, C.L., 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. I. Crop yields and system performance. *Bioresource Technology*, 95, pp.77–83. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.011>
- Haj Seyed Hadi, M.R. and Rezaee Ghale, H., 2016. Effects of vermicompost and foliar application of amino acids and urea on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(6), pp.1058–1070. [In Persian].
- Hamza, M.A., Al-Adawi, S.S. and Al-Hinai, K.A., 2011. Effect of combined soil water and external load on soil compaction. *Soil Research*, 49, pp.135–142. <https://doi.org/10.1071/sr09144>
- Hao, X. and Chang, C., 2003. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 94, pp.89–103. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(02\)00008-7](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(02)00008-7)
- Hellal, F.A., Zewainy, R.M., Khalil, A.A. and Ragab, A.A.M., 2014. Effect of organic and bio-fertilizer management practices on nutrient availability and uptake by faba bean–maize sequence. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 8(5), pp.35–42.
- Hosseinpour, M., Sorooshzadeh, A., Aghaalikhani, M., Khoramian, M. and Taleghani, D.F., 2006. Evaluation of quantity and quality of sugar beet under drip and furrow irrigation methods in north of Khuzestan. *Sugar Beet Magazine Pages*, 2, pp.39–57. [In Persian].
- Jahan, M., Nariri Mahalati, M., Amiri, M.B. and Tahami, K., 2011. Effects of biological fertilizers on oil production and yield of basil (*Ocimum basilicum* L.) in the winter cover crops. *National Conference on Sustainable Agriculture*, Islamic Azad University of Varamin-Pishva, 1 December, pp.1747–1758.

- Joshi, R., Singh, J. and Vig, A.P., 2015. Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: Effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 14, pp.137–159. <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9347-1>
- Kanchikerimath, M. and Singh, D., 2001. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize–wheat–cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a combisol, India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 86, pp.155–162. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(00\)00280-2](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(00)00280-2)
- Last, P.J., Draycott, A., Messem, A.B. and Webb, D.J., 1983. Effects of nitrogen fertilizer and irrigation on sugar beet at Broom's Barn 1973–8. *The Journal of Agricultural Science*, 101(1), pp.185–205. <https://doi.org/10.1017/s0021859600036509>
- Lawrence, J.R., Ketterings, Q.M. and Cherney, J.H., 2008. Effect of nitrogen application on yield and quality of silage corn after forage legume–grass. *Agronomy Journal*, 100(1), pp.73–79. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0071>
- Lira, P.D.L., Van Baren, C.M., Retta, D., Bandoni, A.L., Gil, A., Gattuso, M. and Gattuso, S., 2008. Characterization of lemon verbena (*Aloysia citriodora* Palau) from Argentina by the essential oil. *Journal of Essential Oil Research*, 20, pp.350–353. <https://doi.org/10.1080/10412905.2008.9700028>
- Maguire, R.O., Peter, J.A., Kleinman, P.J. and Beegle, D.B., 2011. Novel manure management technologies in no-till and forage systems: Introduction to the Special Series. *Journal of Environmental Quality*, 40(2), pp.287–291. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0396>
- Mahmoudi, S., Najafi, N. and Reyhanitbar, A., 2015. Effect of soil moisture and application of sewage sludge compost on some soil chemical properties and concentration of high consumption elements of alfalfa forage in greenhouse conditions. *Science and Technology of Greenhouse Crops*, 22(2), pp.37–54. [In Persian]. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.6.2.37>
- Martinez-Rodriguez, A., Moya, M., Vicente-Salar, N., Brouzet, T., Carrera-Quintanar, L., Cervello, E., Micol, V. and Roche, E., 2015. Biochemical and psychological changes in university students performing aerobic exercise and consuming lemon verbena extracts. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 13(2), pp.95–102.
- Mastalizadeh, B., Khajoei-Nejad, G. and Moradi, R., 2020. Assessing physico-chemical properties of potato as affected by different irrigation methods. *Journal of Plant Process and Function*, 9(36), pp.33–48. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.23222727.1399.9.36.3.6>
- Mehrpooyan, M., Normohamadi, Q., Mirhadi, M.J., Heydari Sharifabad, H. and Shirani Rad, A.H., 2011. Effect of some inoculants containing *Rhizobium leguminosarum* bv. *Phaseoli* on nutrient uptake in three cultivars of common bean. *Iranian Journal of Pulses Research*, 1(2), pp.1–10. [In Persian].
- Mirzaei, R., Kambozia, H., Sabahi, H. and Mahdavi, A., 2009. Effect of different organic fertilizers on soil physicochemical properties, production and biomass yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(1), pp.257–268. [In Persian].

- Moradzadeh, M., Boroumandesab, S., Lalehzari, R. and Bahrami, M., 2020. Performance evaluation and sensitivity analysis of various models of SIRMODO software in furrow irrigation design. *Journal of Management System*, 6(18), pp.63–74. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.20086377.1392.6.18.5.5>
- Munroe, G., 2005. *Manual of on-farm vermicomposting and vermiculture*. Organic Agriculture Centre of Canada, pp.1–40.
- Nelson, B.W. and Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties* (pp.539–577). American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>
- Olsen, S.R. and Sammers, L.E., 1982. Phosphorus. In A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties* (pp.403–427). American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c24>
- Portmann, E., Lopez Nigro, M.M., Reides, C.G., Liesuy, S., Ricco, R.A., Wagner, M.L., Gurni, A.A. and Carballo, M.A., 2012. Aqueous extracts of *Lippia turbinata* and *Aloysia citriodora* (Verbenaceae): Assessment of antioxidant capacity and DNA damage. *International Journal of Toxicology*, 31(2), pp.1–11. <https://doi.org/10.1177/1091581812436726>
- Rajak, D., Manjunatha, M.V., Rajkumar, G.R., Hebbara, M. and Minhas, P.S., 2006. Comparative effects of drip and furrow irrigation on the yield and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in a saline and waterlogged vertisol. *Agricultural Water Management*, 83, pp.30–36. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.11.005>
- Rana, M.A., Arshad, M. and Masud, J., 2006. Effect of basin, furrow and raingun sprinkler irrigation systems on irrigation efficiencies, nitrate-nitrogen leaching and yield of sunflower. *Pakistan Journal of Water Resources*, 10(2), pp.2–6.
- Selim, E.M., Mosa, A.A. and El-Ghamry, A.M., 2009. Evaluation of humic substances fertigation through surface and subsurface drip irrigation systems on potato grown under Egyptian sandy soil conditions. *Agricultural Water Management*, 96, pp.1218–1222. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.018>
- Severin, C., Bruzzese, D., Di Sapio, O., Gattuso, M. and Gattuso, S., 2006. Evaluation of *in vitro* behaviour of *Aloysia citriodora* Palau: Histological and chemical study. *Molecular Medicinal Chemistry*, 11, pp.19–20.
- Sezen, S.M., Yazar, A., Kapur, B. and Tekin, S., 2011. Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climate conditions. *Agricultural Water Management*, 98, pp.1153–1161. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.02.005>
- Shahdi-Kumleh, A., Seyedi, S.R., Rabiee, M. and Foroughi, M., 2018. Effect of remaining nitrogen and phosphorus fertilizers on chemical properties of soil in faba bean–rice cropping system. *Journal of Water and Soil Resource Protection*, 7(4), pp.103–115. [In Persian].
- Sharma, A.K., 2002. *A handbook of organic farming*. Agrobios.
- Shaymaa, I.S., Zaghoul, S.M. and Yassen, A.A., 2009. Effect of method and rate of fertilizer application under drip irrigation on yield and nutrient uptake by tomato. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 2(2), pp.139–147.

- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K. and Doran, J.W., 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 62, pp.1367–1377. <https://doi.org/10.2136/sssaj1998.03615995006200050032x>
- Tiwari, K.N., Singh, A. and Mal, P.K., 2003. Effect of drip irrigation on yield of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) under mulch and no-mulch condition. *Agricultural Water Management*, 58, pp.19–28. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00084-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00084-7)
- Uz, I. and Tavali, I.E., 2014. Short-term effect of vermicompost application on biological properties of an alkaline soil with high lime content from Mediterranean region of Turkey. *The Scientific World Journal*, 6, pp.1–12. <https://doi.org/10.1155/2014/395282>
- Wang, Y., Li, S., Liang, H., Hu, K., Qin, S. and Guo, H., 2020. Comparison of water- and nitrogen-use efficiency over drip irrigation with border irrigation based on a model approach. *Agronomy*, 10, 1890. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121890>
- Wong, V.N., Dalal, R.C. and Greene, R.S., 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: A laboratory incubation. *Applied Soil Ecology*, 41(1), pp.29-40. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.08.006>
- Zheng, J., Huang, G., Jiaa, D., Wang, J., Mota, M., Pereira, L.S., Huang, Q., Xua, X. and Liu, H., 2013. Responses of drip irrigated tomato yield, quality and water productivity to various soil matric potential thresholds in an arid region of Northwest China. *Agricultural Water Management*, 129, pp.181–193. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.001>
- Zhou, B., Yunkai, L. and Yaoze, L., 2013. Quantitative relationship between biofilms components and emitter clogging under reclaimed water drip irrigation. *Irrigation Science*, 31(6), pp.1251-1263.

# Crop Science Research in Arid Regions

Vol. 7, No. 2, Summer 2025

**Publisher:** University of Zabol

**Editor-in-Chief:** Dr. Mohammad Reza Asgharipour, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

**Managing Editor:** Dr. Esmaeel Seyedabadi, Associate Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

## Editorial Board:

**Dr. Seyyed Jalal Tabatabaei**, Professor, Department of Horticultural, University of Shahed

**Dr. Naser Majnoon Hoseini**, Professor, Department of Agricultural Science, University of Tehran

**Dr. Mohammad Reza Shakiba**, Professor, Department of Plant Ecophysiology, University of Tabriz

**Dr. Seyyed Mohsen Mousavi Nik**, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

**Dr. Mohammad Sedghi**, Professor, Department of Agronomy, University of Ardabil

**Dr. Khosro Azizi**, Professor, Department of Agronomy, Lorestan University

**Dr. Abdol Ali Ghafari**, Associate Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI)

**Dr. Mohammad Reza Asgharipour**, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

**Dr. Behnam Kamkar**, Professor, Department of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad

**Dr. Reza Sadrabadi Haghighi**, Professor, Department of Agronomy Islamic Azad University of Mashhad

**Dr. Mahmoud Ramroodi**, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

**Dr. Mehdi Dahmardeh**, Associate Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

## International Advisory Board:

**Dr. Aria Dolatabadian**, Assistant Professor, University of Western Australia, Australia

**Dr. Howard Charles Lee**, University of Hadlow College, England

**Dr. Amit Kesarwani**, Assistant Professor, University of Pantnagar, India

**Dr. Shahzad maqsood Ahmed Basra**, Professor, University of Agricultural, Faisalabad, Pakistan

**Dr. Murat Tunçtürk**, Professor, University of Van Yüzüncü Yıl, Turkey

**Assistant Editors:** Dr. Esmaeel Seyedabadi, Dr. Abbas Nasiri Dehsorkhi

**Typesetting:** Fatemeh Fathi

**Address:** Journals office, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Bonjar Road, Zabol, Iran, 9861335856.

**Tel:** +98(54)31232102, **Fax:** +98(54)31232100

**Email:** csraa@uoz.ac.ir, csraa.uoz1@gmail.com

**URL:** www.cropsscience.uoz.ac.ir

**Effect of seed priming and imazetapyr herbicide on chickpea (*Cicer arietinum* L.) weed management** 427

Abdolreza Ahmadi, Norollah Zeiditoolabi, Omidali Akbarpour, Mojgan Beiranvandi

**The effect of organic fertilizers and their integration on the yield of (*Lippia citrodora* L.) leaves and some physical and chemical characteristics of the soil in response to irrigation methods** 443

Marziyeh Habibi, Issa Khammari, Seyed Ahmad Ghanbari, Mehdi Dahmardeh



- Impact assessment of zinc and iron micronutrients on sesame yield traits and weed interference under somar climatic conditions** 235  
Saadollah Gohari, Ali Hatami, Ehsan Zeidali
- Effect of row orientation, crop density, and row distance on growth and yield of corn (*Zea mays* L.) single cross 704 cultivar** 255  
Bahareh Tahmsbi, Seyed Vahid Eslami, Majid Jami Al Ahmadi, Sohrab Mahmoodi
- Improving biomass production and nutrient uptake in Thyme (*Thymus vulgaris* L.) by integrated nutrition management** 275  
Zahra Tohidi nejad, Gholamreza Khajoie nejad, Enayatollah Tohidi nejad, Jalal Ghanbari
- Effect of biochar and zeolite on some morphophysiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in response to drought stress** 295  
Somayeh Mansoori, Mahmoud Ramroudi, Zeynab Mohkami, Mohammad Reza Asgharipour, Esmaeel Seyedabadi
- The effect of putrescine and spermidine on the quantitative and qualitative traits, and concentration of leaf mineral elements of sugar beet in different irrigation regimes (Case study: Torbat-Heydarieh)** 315  
Mahdi Abbaszadeh, Reza Sadrabadi Haghighi, Ali Bagerzadeh chaharjooi, Amir Salari, Seyed Mostapha Hosaeini Mazinani
- Analysis of gnotype-by-environmental interaction in genotypes of chickpea using AMMI and BLUP- based indices** 337  
Payam Pezeshkpour, Davood Fallahi, Rahmatollah Karimizadeh, Amir Mirzaei, Mohhamad Barzali
- Evaluation of some indicators of tolerance to drought stress in four potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars** 363  
Amir Hooshang Jalali, Ahmad Mousapour Gorji
- Investigation of some physiological indicators affecting the growth of wheat plant (*Triticum aestivum*) under the influence of foliar application of growth regulators under salt and water stress conditions** 375  
Hamid reza Tajdari, Ali Soleymani, nosratolah montajabi, Mohammadreza Naderi darbaghshahi, Hamidreza Javanmard
- Effects of planting method, deficit irrigation, mulching and nitrogen on weed populations and root impurities of sugar beet** 397  
Karim Rahmani, Masoomeh Delbari, Peyman Afrasiab, Fariborz Abbasi, Vali allah Yusufabadi
- The effect of methanol foliar application on some physiological reactions of cowpea plant under drought stress** 411  
Hassan Nouriyani

The list is continued on the back cover.....