



# تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک



شاپا چاپی: X ۲۴۲۳-۶۱۱  
شاپا الکترونیکی: ۴۶۰۳ - ۲۵۸۸

جلد هفتم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۴

- ۶۸۵ اثر محلول پاشی تعدیل کننده های تنش بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز در شرایط تنش خشکی  
حبیب نوری، سید غلامرضا موسوی، محمدجواد ثقه الاسلامی، منصور فاضلی رستم پور
- ۷۰۵ ارزیابی و گروه بندی ارقام زمستانه کلزا از نظر خصوصیات زراعی و درصد روغن دانه  
بیژن کهراریان، رقیه فاطمی
- ۷۲۳ بررسی عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا در الگوهای مختلف کشت با گلرنگ در شرایط کنترل و عدم کنترل  
علف های هرز  
جلیل شفق کلوانق، فریبرز شکاری، عبدالله جوانمرد، مینا امانی، زهره سائلی اشان
- ۷۳۹ تاثیر تنش خشکی و تعدیل کننده های تنش بر صفات مورفوفیزیولوژیک نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)  
سیما قیاسی، زهرا موحدی، مجید رستمی
- ۷۵۹ ارزیابی پارامترهای ژنتیکی صفات زراعی و تغذیه ای در جو تحت شرایط آبیاری و تنش خشکی آخر فصل  
عمار احمد عبید سلطانی، لیلا زارعی، صحبت بهرامی نژاد، کیانوش چقامیرزا، علی حسین جاسم
- ۷۷۷ اثر سناریوهای مدیریت کشاورزی بر آبشویی علف کش نیکلوسولفورون (کروز) از خاک با پوشش گیاه ذرت  
لیدا انصاری، عبدالرضا احمدی، مسعود شاکرمی
- ۷۹۳ گزینه های ژنوتیپ های متحمل به شوری از طریق ارزیابی ژرم پلاسما جو با منشأ ایکاردا در شرایط شور  
شیرعلی کوهکن، هادی پیراسته انوشه، ابوالقاسم مرادقلی، محمدرضا کشتگر
- ۸۰۷ ارزیابی تأثیر توزیع لکه ای علف هرز سلمه تره بر عملکرد گندم: مطالعه زمین آماری  
عباس نصیری دهرسخی، سید احمد قنبری، حسن مکاریان، محمدرضا اصغری پور
- ۸۲۷ بررسی استفاده از کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و برخی صفات زراعی کنجد (*Sesamum indicum*)  
(L) در شرایط تنش خشکی  
ناصر نورزاده، اصغر رحیمی، امیر دادرسی
- ۸۴۷ بررسی پاسخ رشدی و فیزیولوژیکی مرزنجوش به کاربرد میکوریزا و سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش  
خشکی  
بابک مدارا، محمد مهدی رحیمی، مسلم عبدی پور، مهدی حسینی فرهی

ادامه فهرست در پشت جلد .....



۸۶۷ اثر کشت زیر پلاستیک و کاربرد نیتروژن بر عملکرد دانه و خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی کاملینا (*Camelina sativa* L.)

۸۸۷ علی نوری، حسن حیدری، فرزاد مندنی  
تأثیر پیش تیمار با اسید هیومیک بر مولفه‌های جوانه‌زنی بذر پنبه در تاریخ کاشت‌های مختلف

امیرعباس رستمی اجیرلو

# نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

جلد هفتم، شماره چهارم، زمستان 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://cropscience.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 685-703

### Effect of foliar application of stress modifiers on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) at different levels of drought stress

Habib Noori <sup>a</sup>, Seyyed Gholamreza Mousavi <sup>\*b</sup>, Mohammadjavad Seghatoleslami <sup>b</sup>, Mansour Fazeli Rostampour <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Ph.D. Student, Department of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

<sup>b</sup> Department of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

<sup>c</sup> Horticultural Crops Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran

\*Corresponding Author: [Moosavi@iaubir.ac.ir](mailto:Moosavi@iaubir.ac.ir)

Received: 16 July 2025

Accepted: 9 September 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.534625.1503

#### How to cite this article:

Noori, H., Mousavi, S.M., Seghatoleslami, M. and Fazeli Rostampour, M., 2025. Effect of foliar application of stress modifiers on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) at different levels of drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 685-703. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.534625.1503>

#### Abstract

**Introduction:** Drought stress is one of the most important challenges in agriculture, causing significant economic losses by reducing plant growth, yield loss, and changes in effective compounds. Reducing the adverse effects of water deficit stress on plants is one of the most important challenges in agriculture in arid and semi-arid regions, which requires scientific, managerial, and technological solutions. Cumin (*Cuminum cyminum* L.), as a valuable medicinal plant, is highly sensitive to water deficit, and drought stress can affect both the quantity and quality of its essential oil. Therefore, finding effective solutions to reduce the negative effects of drought through the use of stress modifiers (such as jasmonic acid, paclobutrazol, salicylic acid, chitosan, abscisic acid micronutrients such as silica and selenium, root growth-promoting bacteria (PGPR), mycorrhizal fungi and organic compounds such as seaweed extract and humic acid) is of great importance. Stress modulators in crop plants are substances that help plants to resist environmental stresses such as drought, salinity, extreme temperatures and diseases. These modulators maintain plant performance and health under stress conditions by strengthening the plant's defense system, improving water and nutrient absorption and reducing oxidative damage.

**Materials and Methods:** In order to investigate the effect of foliar spraying of stress modifiers on yield and yield components as well as water use efficiency of cumin, an experiment was conducted in the 2019-2020 crop year at the Birjand Islamic Azad University Research Farm. The experiment was conducted in split plots in a randomized complete block design with three replications. Drought stress at three levels (40, 70 and 100% of plant water requirement in terms of the percentage of



©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/).

evapotranspiration of the reference plant defined as control, moderate water deficit and severe water deficit) was considered as the main factor and foliar spraying at five levels (control "no foliar spraying", foliar spraying with salicylic acid (300 mg/L), jasmonic acid (60  $\mu\text{mol/L}$ ), paclobutrazol (100 mg/L) and chitosan (50 mg/L) was considered as the secondary factor. Due to the possibility of leaching, the amount of nitrogen fertilizer was added to the soil in two stages (half of the fertilizer at planting and the other half after planting as a slurry at the four-leaf stage from the urea fertilizer source), and phosphorus fertilizer (pure  $\text{P}_2\text{O}_5$  from the triple superphosphate source) and potash fertilizer (from the potassium sulfate source) based on soil tests and the recommended rates of  $\text{P}=60$ ,  $\text{N}=30$ , and  $\text{K}=60$  pure kg/ha. The green cumin seeds required for the experiment were obtained from the native seed mass of Birjand, at a rate of 20 kg/ha from Sistan Bazr Zabol Company (registration number 1974). To implement irrigation regimes at three levels of 100, 70, and 40 percent of plant water requirement, first the reference evapotranspiration rate ( $\text{ET}_0$ ) was calculated using the standard Penman-Monteit equation based on FAO-56 guidelines and daily meteorological data (including temperature, relative humidity, solar radiation, and wind speed). Then, by multiplying  $\text{ET}_0$  by the cumin plant coefficient ( $\text{K}_c$ ), the actual plant water requirement ( $\text{ET}_c$ ) was determined. For foliar spraying, the compounds used were mixed with appropriate solvents and applied as foliar sprays twice during the growing season, the first time after one irrigation before stress application and the second time at the beginning of the reproductive stage of the plants according to the design plan. Cumin was harvested in the first half of May 2020, when the plants turned yellow and the umbels turned brown. Water use efficiency was determined by dividing the seed yield obtained to the irrigation water applied. Data analysis was performed using SAS software (ver. 9.4) and tables and charts were drawn using Word and Excel software. Mean data was compared with Duncan multiple range test method.

**Results and Discussion:** The results indicated that drought stress significantly reduced growth traits such as plant height (52.3%) and the number of umbels per plant (29.4%). The greatest number of lateral branches was recorded under non-stress conditions with paclobutrazol foliar application. Drought stress also decreased the number of seeds per umbel (34.02%) and water use efficiency (22.2%). The maximum seed yield (533 kg ha<sup>-1</sup>) was obtained under non-stress conditions with paclobutrazol foliar application. Under severe drought stress, jasmonic acid and paclobutrazol resulted in the highest seed yields. Although the essential oil percentage increased under severe drought stress, foliar application of jasmonic acid reduced it. The highest essential oil yield and water use efficiency were observed under moderate drought stress with jasmonic acid foliar application

**Conclusion:** In general, the use of growth modifiers, especially jasmonic acid and salicylic acid, can help reduce the negative effects of drought stress and improve the yield of cumin.

**Keywords:** Cumin, Essential oil, Growth regulator, Medicinal plants, Water use efficiency

## اثر محلول‌پاشی تعدیل‌کننده‌های تنش بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز در شرایط تنش خشکی

حبیب نوری<sup>۱</sup>، سیدغلامرضا موسوی<sup>۲\*</sup>، محمدجواد ثقه‌الاسلامی<sup>۲</sup>، منصور فاضلی رستم‌پور<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

۲- گروه کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

۳- بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران

\* مسئول مکاتبه: [Moosavi@iaubir.ac.ir](mailto:Moosavi@iaubir.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.534625.1503

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵

### چکیده

با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی تعدیل‌کننده‌های تنش بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز در شرایط تنش خشکی، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل سه سطح تنش خشکی (۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی) و عامل فرعی شامل پنج سطح محلول‌پاشی (عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، جاسمونیک‌اسید (۶۰ میکرومول در لیتر)، پاکلوبوترازول (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و کیتوزان (۵۰ میلی‌گرم در لیتر)) بود. نتایج نشان داد تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار در صفات رشدی مانند ارتفاع (۵۲/۳٪) و چتر در بوته (۲۹/۴٪) شد. بیشترین شاخه جانبی در شرایط بدون تنش و با محلول‌پاشی پاکلوبوترازول حاصل شد. تنش خشکی باعث کاهش تعداد دانه در چتر (۳۴/۰۲٪) و کارایی مصرف آب (۲۲/۲٪) شد. بیشترین عملکرد دانه (۵۳۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش و با محلول‌پاشی پاکلوبوترازول به دست آمد. در شرایط تنش شدید، جاسمونیک‌اسید و پاکلوبوترازول بهترین عملکرد دانه را نشان دادند. اگرچه درصد اسانس در تنش شدید افزایش یافت، ولی محلول‌پاشی با جاسمونیک‌اسید آن را کاهش داد. بالاترین عملکرد اسانس و کارایی مصرف آب نیز با محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید در تنش متوسط مشاهده شد. در مجموع، استفاده از تعدیل‌کننده‌های رشد به ویژه جاسمونیک‌اسید و سالیسیلیک‌اسید می‌توانند به کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود عملکرد زیره سبز کمک کنند.

واژه‌های کلیدی: اسانس، زیره سبز، تنظیم‌کننده رشد، کارایی مصرف آب، گیاهان دارویی

### مقدمه

بسیاری از نقاط جهان از جمله ایران، به‌عنوان یک گیاه دارویی کشت می‌شود. این گیاه به‌دلیل ویژگی‌های رشدی خاص خود مانند دوره رشد کوتاه، برگ‌های سوزنی‌شکل، تکمیل چرخه رشدی پیش از آغاز فصل گرما و هم‌زمانی رشد با بارندگی‌های بهاری، توانسته است عملکرد خوبی حتی در شرایط دیم از خود نشان دهد (Armin and Miri, 2014). در سال‌هایی که بارندگی کافی وجود دارد، زیره سبز در کشت دیم عملکردی مشابه با کشت آبی خواهد داشت (Bahrami et al., 2024). این گیاه به‌دلیل نیاز آبی کم، دوره رشدی کوتاه و سازگاری با اقلیم‌های خشک در استان‌های خراسان‌رضوی، خراسان‌جنوبی، سمنان، یزد، اصفهان و کرمان کشت می‌شود. در ایران سطح زیرکشت زیره سبز ۳۳۱۹۰ هزار هکتار گزارش شده است، که بخش قابل‌توجهی از این میزان در استان خراسان‌رضوی قرار دارد. این استان با ۱۵۴۹۰ هکتار سطح زیر کشت، بزرگ‌ترین

کمبود آب در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، مهم‌ترین عامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود. در این مناطق، وقوع تنش خشکی به‌طور متوسط موجب کاهش عملکرد محصولات زراعی در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد می‌شود. به‌منظور مقابله با این پدیده و کاهش آثار نامطلوب آن بر تولید، راهبردهای گوناگونی در حوزه‌های به‌زراعی و به‌نژادی مورد توجه قرار گرفته است. این اقدامات با هدف ارتقای کارایی مصرف آب و افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی انجام می‌شوند. در میان رویکردهای موجود، استفاده از ارقام و گونه‌های گیاهی بومی یا سازگار با شرایط اقلیمی این مناطق، یکی از مؤثرترین و در عین حال کم‌هزینه‌ترین راهکارها محسوب می‌شود (Bahrami et al., 2023). یکی از گیاهان سازگار با شرایط خشک و نیمه‌خشک، زیره سبز است که در

کاروتنوئید، محتوی نسبی آب برگ و عملکرد دانه کاهش یافت و بر غلظت پرولین، قندهای محلول و اسانس درصد افزوده شد (Kazemi et al., 2018). در بررسی واکنش اجزای عملکرد، ترکیب اسیدهای چرب، ترکیبات اسانس و میزان فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس زیره سبز (Cuminum) فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس زیره سبز (Cuminum L. cyminum) به تنش خشکی نشان داده شد، که تنش متوسط آبی در مقایسه با شرایط شاهد موجب افزایش تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر و عملکرد بذر شد، در حالی که این صفات در تنش شدید آبی کاهش یافتند. آنالیز ترکیب اسیدهای چرب نشان داد که اسیدپتروسولینیک با ۵۵/۹٪ بیشترین درصد را دارا بود و پس از آن اسیدپالمیتیک (۲۳/۸۲٪) و اسیدلینولئیک (۱۲/۴۰٪) در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. تنش آبی منجر به افزایش درصد اسیدپالمیتیک شد. عملکرد اسانس بر اساس وزن خشک ۱/۶۴٪ بود و در شرایط تنش متوسط آبی به میزان ۱/۴ برابر افزایش یافت. با این حال تحت تنش شدید آبی، عملکرد اسانس به میزان ۱۹/۳۷ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش یافت. همچنین، ترکیب شیمیایی اسانس در اثر تنش تغییر یافت، به گونه‌ای که از ۷- ترپینن/ فنیل - ۱،۲- اتان‌دی‌ال در بذره‌های شاهد به ۷- ترپینن/ کومین‌آلدئید در بذره‌های تحت تنش تغییر یافت (Rebey et al., 2012).

کاهش اثرات نامطلوب تنش کمبود آب بر گیاهان یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که نیازمند راهکارهای علمی، مدیریتی و فناورانه است. کاربرد تعدیل‌کننده‌ای تنش، به‌ویژه در شرایط تنش رطوبتی به‌عنوان یک راهبرد مؤثر جهت افزایش مقاومت و پایداری عملکرد گیاهان زراعی توصیه شده است. تعدیل‌کنندگان تنش خشکی موادی هستند که با کاهش اثرات منفی ناشی از کمبود آب در گیاهان به افزایش مقاومت آن‌ها در برابر خشکی کمک می‌کنند (Timachi et al., 2020; Borzouyi et al., 2021; Tiamchi et al., 2023). این ترکیبات شامل هورمون‌های گیاهی مانند آبیسیک‌اسید، سالیسیلیک‌اسید، جیبرلیک‌اسید و اتیلن، همراه با میکروارگانیزم‌های محرک رشد گیاه (PGPR) مانند باکتری‌های جنس *Pseudomonas* و *Bacillus* هستند (Travaglia et al., 2010; Timachi et al., 2023; Lamlom et al., 2025; Nazir et al., 2024; Kazemi

تولیدکننده زیره در کشور محسوب می‌شود؛ به طوری که از این مقدار، بیش از ۱۳ هزار هکتار به‌صورت آبی و ۲۲۳۲ هکتار به‌صورت دیم کشت می‌شود (Ministry of Agriculture, Jihad, 2025).

با وجود مقاومت نسبی زیره سبز به تنش خشکی، بالاترین عملکرد این گیاه در شرایط عدم وجود تنش خشکی گزارش شده است. در ارزیابی عملکرد ۱۵ اکتیپ مختلف زیره سبز در شرایط آزمایش نرمال و تنش خشکی نشان داده شده است، که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش عملکرد دانه و اجزای عملکرد آن در اکتیپ‌های زیره سبز گردید و علاوه بر این، تنش خشکی موجب افزایش درصد اسانس و کاهش عملکرد کلی اسانس زیره سبز نسبت به شرایط آبیاری نرمال شد (Bazr Afshan et al., 2025). مطالعات نشان داده‌اند که تنش خشکی تأثیر قابل‌توجهی بر صفات رویشی، عملکرد بذر، درصد و عملکرد اسانس زیره سبز داشته است، به‌گونه‌ای که با افزایش شدت تنش خشکی، این صفات به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند (Bahrami et al., 2024). در بررسی تأثیر تنش خشکی بر صفات زراعی ۴۹ اکتیپ زیره از مناطق مختلف ایران در شرایط تنش و بدون تنش گزارش شده است، تنش آبی پس از گلدھی (با رطوبت ۳۰٪ ظرفیت زراعی) باعث کاهش معنی‌دار در اکثر صفات به‌ویژه عملکرد دانه (با کاهش میانگین ۳۳/۶٪) می‌گردد و وزن هزار دانه (با کاهش میانگین ۳/۸ درصدی) کمترین تأثیر را از تنش خشکی می‌بیند. در بین اکتیپ‌ها، بانه از خراسان شمالی بیشترین عملکرد را در شرایط بدون تنش و اسفراین کمترین عملکرد را در شرایط تنش نشان دادند (Safari et al., 2015). نتایج بررسی شده در گیاه زیره سبز نشان داد که تنش کمبود آب، سبب کاهش میزان رنگیزه کلروفیل a گردید (Sartip and Sirousmehr, 2017). در حالی که میزان پرولین و کربوهیدرات را افزایش داد، و نیز در آزمایش دیگری تأثیر تنش کم‌آبی بر برخی از صفات فیزیولوژی، با استفاده از ارقام زیره سبز تحت شرایط تنش کم‌آبی و نرمال را مورد آزمون قرار دادند و اظهار داشتند که اثر تنش کم‌آبی بر کلیه صفات مورد بررسی شامل غلظت اسیدآمینه پرولین، محتوای قندهای محلول، اسانس، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، محتوی نسبی آب برگ و عملکرد دانه معنی‌دار بود. آن‌ها اظهار داشتند با اعمال تنش، غلظت کلروفیل a، b.

(Oskuei et al., 2024).

این عوامل از طریق القاء پاسخ های دفاعی، بهبود جذب آب و مواد معدنی، تعدیل فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و تنظیم اسموتیک سلولی، به حفظ تورگور سلولی و پایداری غشای سلولی در شرایط تنش کمک می کنند (Singh et al., 2015). استفاده از این تعدیل کنندگان در مدیریت تنش خشکی به عنوان راهکاری پایدار و مؤثر در کشاورزی مدرن مطرح است. در بررسی تأثیر اسیدسالیسیلیک و سولفات روی بر صفات کمی و محتوای اسانس گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum L.*) تحت شرایط مختلف رژیم های آبیاری (آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی متر تبخیر جمعی از تشت تبخیر کلاس A (به ترتیب معادل شرایط بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید)) نشان داده شده است که با افزایش شدت تنش آبی، عملکرد دانه و اجزای عملکرد کاهش یافته، اما درصد اسانس در اندام های گیاه افزایش یافت. کاربرد اسیدسالیسیلیک و سولفات روی در تمامی سطوح رطوبتی منجر به بهبود عملکرد دانه و اجزای عملکرد شد. اگرچه تنش ملایم نسبت به شرایط بدون تنش باعث کاهش ۶ درصدی عملکرد دانه گردید، اما استفاده توأمان از ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسیدسالیسیلیک توانست اثرات منفی تنش را تعدیل کرده و عملکرد اسانس را به میزان ۶/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش دهد (Jalalzadeh et al., 2024). محققان در پژوهشی نشان دادند، در زیره سبز اگرچه تنش خشکی منجر به کاهش محتوای کلروفیل a شده، در حالی که مقادیر پرولین و کربوهیدرات های محلول افزایش می گردد اما محلول پاشی اسیدسالیسیلیک به ویژه در غلظت ۱ میلی مولار، موجب افزایش رنگیزه های فتوسنتزی و هیدرات های کربن شد (Sartip and Sirousmehr, 2017). بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۵۰ میلی متر تبخیر جمعی همراه با محلول پاشی ۱ میلی مولار اسیدسالیسیلیک به دست آمد. در مطالعه تأثیر رژیم های مختلف آبیاری و تنظیم کننده های رشد گیاهی بر عملکرد، اجزای آن و میزان اسانس رازیانه گزارش شده است، کمبود آب منجر به کاهش قابل توجه تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد میوه در چترک، وزن هزار میوه، عملکرد بیولوژیکی و در نهایت عملکرد میوه شد. متیل جاسمونات، یونیکونازول و پرولین به طور قابل توجهی این پارامترهای اندازه گیری شده در گیاهان رازیانه را در مقایسه با

شاهد افزایش دادند. اثرات بهبود یافته تنظیم کننده های رشد گیاهی در گیاهان تحت تنش خشکی بیشتر بود، زیرا باعث افزایش عملکرد اجزای آن و میزان اسانس میوه در مقایسه با شاهد شد. محلول پاشی برگی، به ویژه متیل جاسمونات و یونیکونازول محتوای آنتول را تحت تنش خشکی افزایش داد (Peymaei et al., 2024). در زمینه تأثیر پاکلوبوترازول بر گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum L.*)، مطالعات محدودی انجام شده است. در یک مطالعه، تأثیر پاکلوبوترازول بر عملکرد و کیفیت اسانس در زیره سیاه بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد پاکلوبوترازول با غلظت ۵۰ ppm بیشترین میزان اسانس ثابت (۷۴/۳۸٪) را در مقایسه با سایر تیمارها تولید کرد. این افزایش به نقش پاکلوبوترازول در فعال سازی مسیرهای بیوسنتز ترکیبات ثانویه نسبت داده شد (Anil Kumar et al., 2021). در آزمایشی که به منظور بررسی تأثیر کاربرد کیتوزان بر روی ویژگی های رشد و نمو گیاه ریحان نشان داد، سطوح مختلف کیتوزان باعث افزایش وزن تر ریشه و ساقه، قندهای محلول، پرولین، فنل و فلاونوئید گیاهان در شرایط تنش و غیرتنش گردید (Malekpoor et al., 2016).

با وجود مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر تنظیم کننده های رشد مختلف بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان دارویی، سازوکارهای بیوشیمیایی پاسخ گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum L.*) به کاربرد تعدیل کننده های تنش تحت شرایط تنش خشکی به طور سیستماتیک و جامع بررسی نشده است. اگرچه شواهدی از تأثیر مثبت این ترکیبات بر افزایش تولید متابولیت های ثانویه در گونه های مشابه مانند زیره سیاه گزارش شده، اما فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی (مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) و تجمع متابولیت های محافظت کننده اسمولیتی (نظیر پرولین و گلیسین بتائین) در گیاه زیره سبز به طور هم زمان و در تعامل با سطوح مختلف تنش آبی، به عنوان یک خلأ تحقیقاتی قابل توجه باقی مانده است. پر کردن این شکاف دانش می تواند به تدوین راهکارهای دقیق و مبتنی بر مکانیسم برای بهبود پایدار عملکرد و کیفیت متابولیتی این گیاه ارزشمند در شرایط محدودیت منابع آب کمک شایانی نماید. با توجه به اهمیت زیره سبز و مواجهه این گیاه با تنش خشکی در طی دوره رشد، یافتن مناسب ترین تعدیل کننده تنش در بهبود عملکرد کمی و کیفی این گیاه می تواند مفید واقع

شدند. برای کاشت ابتدا شیاری به عمق ۲-۱/۵ سانتی‌متر در روی خطوط کاشت ایجاد و سپس بذرهای زیره سبز با دست به‌صورت نواری در درون شیاری قرار داده شد. پس از قرار دادن بذرها در شیاری ایجاد شده، روی بذرها با لایه‌ای از ماسه‌بادی به‌منظور تسهیل در جوانه‌زنی پوشانده شد و نخستین آبیاری بی‌درنگ پس از کاشت و پس از آن آبیاری تا استقرار کامل گیاه به‌طور مرتب در همه واحدهای آزمایشی و بدون اعمال تیمارهای تنش، هر هفت روز یک‌بار به‌روش غرقابی انجام گرفت. تیمارهای تنش آبیاری از مرحله سه تا چهار برگی بر اساس نوع تیمار تنش خشکی اعمال شد.

به‌منظور اجرای این آزمایش پس از برنامه‌ریزی و انتخاب زمین مناسبی که در سال قبل آیش بود، در اواسط مهرماه سال ۱۳۹۸ عملیات شخم و تسطیح زمین انجام و سپس در اواخر آبان‌ماه برای نرم‌کردن خاک و کلوخه‌ها دو بار دیسک زده شد و مرزبندی کرت‌ها به‌وسیله نیروی کارگری انجام و نقشه طرح پیاده شد. مقدار مصرف کود شیمیایی نیتروژن به‌دلیل امکان وقوع آبشویی، در دو مرحله (نیمی از کود در هنگام کاشت و نیمی دیگر پس از کاشت به‌صورت سرک در مرحله چهار برگی از منبع کود اوره) و کود شیمیایی فسفر ( $P_2O_5$ ) خالص از منبع سوپر فسفات تریپل) و کود شیمیایی پتاس (از منبع سولفات پتاسیم) بر اساس آزمایش خاک و میزان توصیه شده به خاک اضافه شد. بذر زیره سبز مورد نیاز آزمایش از توده بذری بومی بیرجند، از شرکت سیستان بذر زابل (به شماره ثبت ۱۹۷۴) تهیه گردید.

شود؛ بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی واکنش کمی و کیفی زیره سبز به محلول‌پاشی تعدیل‌کننده‌های تنش در شرایط تنش خشکی بود.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند واقع در ۵ کیلومتر ۵ جاده بیرجند به زاهدان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. در این تحقیق رژیم آبیاری در سه سطح (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بر حسب درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع) به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی در ۵ سطح (شاهد (عدم محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، جاسمونیک‌اسید (۶۰ میکرومول در لیتر)، پاکلوبوترازول (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و کیتوزان (۵۰ میلی‌گرم در لیتر)) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

هر کرت فرعی شامل شش ردیف کاشت به طول ۳ متر، فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۵ سانتی‌متر بود. به‌منظور جلوگیری از اختلاط آب کرت‌های مجاور، فاصله بین هر تکرار ۳ متر و فاصله بین هر دو کرت اصلی ۱ متر در نظر گرفته شد. کشت بذور بر روی خطوط کاشت به‌صورت ردیفی در عمق ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر در خطوطی با فاصله ۲۰ سانتی‌متر به‌صورت ردیفی در تاریخ ۲۰ آذر ۱۳۹۸ انجام شد. بذور حدود ۱۲ ساعت قبل از کاشت در آب خیسانده

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش

Table 1- Chemical and physical properties of the soil at the research site

عمق	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	شن	رس	سیلت	هدایت	
Depth	P	K	N	Sand	Clay	Silt	الکتريکی	pH
(cm)	ppm	(mg/kg)	%		%		EC(dS m <sup>-1</sup> )	
0-30	6.41	219.4	0.029	56.4	17.6	26	1.20	7.94

واقعی گیاه ( $ET_c$ ) تعیین گردید. بر این اساس، تیمار ۱۰۰ درصد به‌منزله تأمین کامل نیاز آبی ( $ET_c$ )، تیمار ۷۰ درصد معادل ۷۰ درصد  $ET_c$  و تیمار ۴۰ درصد معادل ۴۰ درصد  $ET_c$  آبیاری شد. حجم آب مورد نیاز هر کرت با در نظر گرفتن مساحت کرت‌ها و عمق مؤثر ریشه، محاسبه و از طریق سیستم آبیاری سطحی به‌طور جداگانه اعمال شد. نحوه آبیاری به‌گونه‌ای

جهت اجرای رژیم‌های آبیاری در سه سطح ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، ابتدا میزان تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) با استفاده از معادله استاندارد پنمن-مانتیت بر اساس دستورالعمل FAO-56 و داده‌های هواشناسی روزانه (شامل دما، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و سرعت باد) محاسبه شد. سپس با ضرب  $ET_0$  در ضریب گیاهی ( $K_c$ ) زیره سبز، نیاز آبی

و دانه‌ها از چتر جدا شد. پس از توزین گیاهان و دانه‌های جدا شده، داده‌های مذکور برای محاسبه عملکردهای دلنه و زیست توده استفاده شد. جهت استخراج اسانس از دانه‌های زیره سبز در آزمایشگاه پژوهشکده شیمی تهران توسط دستگاه اسانس گیر، ابتدا ۵۰ گرم دانه گیاه آسیاب شده و سپس به مدت دو ساعت با روش تقطیر با آب اسانس گیری شدند. بازده اسانس (درصد اسانس) پس از رطوبت زدایی آب آن توسط سولفات سدیم خشک با توزین مجدد، درصد اسانس (بازده اسانس) محاسبه شد. عملکرد اسانس از حاصل ضرب عملکرد بذر و درصد اسانس بر حسب کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری (Ver 9.4) SAS انجام شد. مقایسات میانگین بر اساس چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تنش خشکی بر اکثر صفات مورد مطالعه از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد چتر در بوته، تعداد دلنه در چتر، وزن هزار دلنه، عملکرد اقتصادی، درصد اسانس، عملکرد اسانس و کارایی مصرف تأثیر معنی داری داشت. همچنین نوع تعدیل کننده تنش به جز ارتفاع بوته، سایر صفات مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داد. برهمکنش تنش و نوع تعدیل کننده بر تعداد شاخه جانبی، وزن هزار دانه، عملکرد اقتصادی، درصد اسانس و عملکرد اسانس تأثیر معنی داری داشت و سایر صفات مورد بررسی را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۲).

### ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که افزایش شدت تنش موجب کاهش قابل توجه ارتفاع بوته شد. در مقایسه با شرایط شاهد (۳۴/۶۴ سانتی متر)، تنش متوسط منجر به کاهش ۱۸/۷ درصدی و تنش شدید منجر به کاهش ۵۲/۳ درصدی در ارتفاع بوته شد. کاهش ارتفاع بوته تحت شرایط تنش را می توان به مجموعه‌ای از عوامل فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نسبت داد. تنش‌های محیطی به ویژه تنش آبی، منجر به کاهش پتانسیل آب در گیاه شده و جذب آب و مواد معدنی را مختل می کنند. این وضعیت باعث کاهش فشار تورژسانس در سلول‌ها می شود که برای کشیدگی و رشد

بود که مقدار آب خروجی از شیلنگ در هر کرت با استفاده از کنتور حجمی نصب شده در محل خروج آب قابل کنترل بود، بنابراین در هر نوبت آبیاری با توجه به سطوح آبیاری مقدار لازم آب در هر کرت وارد گردید. برای محلول پاشی، ترکیبات مورد استفاده پس از ترکیب با حلال‌های مناسب و به صورت محلول پاشی برگی دو بار در فصل رشد، اولی به فاصله یک آبیاری قبل از اعمال تنش و دیگری آغاز مرحله زایشی گیاهان بر اساس نقشه طرح به کرت‌های در حال تنش اعمال گردید. برای تهیه غلظت‌های مشخص از ترکیب جاسمونیک اسید، ابتدا مقدار مورد نیاز از این ماده در ۱۰ میلی لیتر اتانول حل شده و سپس محلول با آب مقطر استریل به حجم مورد نظر رسانده شد. برای تهیه محلول‌های سالیسیلیک اسید از اتانول و آب گرم استفاده شد. به منظور بهبود جذب برگی کیتوزان، از تریتون X100 با میزان ۰/۰۱ درصد به عنوان کاتالیزور استفاده شد. محلول پاشی با افشانه دستی پس از پشت سر گذاشتن گرمای روزانه و در هنگام غروب آفتاب در ساعت ۵ بعد از ظهر، در هوای ملایم و صاف انجام شد. محلول پاشی به نحوی صورت گرفت که تمام سطح برگ با محلول مورد نظر کاملاً خیس شد. گیاهان شاهد با آب مقطر محلول پاشی شدند.

کارایی مصرف آب از تقسیم عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار) به آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) طبق رابطه ۱ محاسبه گردید

$$WUE = D / Wp + Wi \quad (1)$$

در این رابطه D عملکرد اقتصادی، Wp آب بارندگی و Wi آب آبیاری است.

جهت تعیین اجزای عملکرد شامل ارتفاع نهایی، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر اندازه گیری شد. عملیات برداشت زیره سبز در نیمه اول اردیبهشت ۱۳۹۹، زمانی انجام گرفت که بوته‌ها زرد شدند و چترها به رنگ قهوه‌ای درآمدند. در انتهای فصل رشد پس از رسیدگی فیزیولوژیکی و قبل از رسیدگی کامل پس از حذف دو ردیف کناری و نیز نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه، مابقی سطح کرت برداشت

شاخه جانبی زیره سبزی در شرایط بدون تنش و محلول پاشی پاکلوبوترازول با میانگین ۶/۲۳ عدد در هر بوته به دست آمد، که نسبت به عدم محلول پاشی در همین شدت تنش (۵/۴۷ شاخه) افزایش قابل توجهی داشته است.

پس از آن، محلول پاشی با سالیسیلیک اسید با میانگین ۵/۹۳ عدد در هر بوته و کیتوزان با ۵/۵۷ عدد در هر بوته تعداد شاخه جانبی بیشتری داشتند. در تنش متوسط، تعداد شاخه‌های جانبی در تمام تعدیل کننده رشد کاهش یافت و بیشترین تعداد شاخه جانبی با محلول پاشی پاکلوبوترازول با میانگین ۴/۵۳ عدد در هر بوته بود. کمترین تعداد شاخه جانبی در شرایط عدم محلول پاشی با میانگین ۴/۰۷ عدد در هر بوته تعلق داشت.

در شرایط تنش شدید آبی، تعداد شاخه‌های جانبی به طور کلی کاهش چشمگیری داشت؛ کمترین مقدار مربوط به شرایط عدم محلول پاشی با میانگین ۲/۱۰ عدد در هر بوته بود. بیشترین مقدار در این شرایط با محلول پاشی سالیسیلیک اسید با ۳/۱۰ عدد در هر بوته بود (شکل ۱).

سلولی ضروری است. از سوی دیگر، تنش باعث افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد که به غشای سلولی، پروتئین‌ها و آنزیم‌های دخیل در رشد آسیب می‌زنند. همچنین کاهش در فتوسنتز به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سنتز کلروفیل، موجب کاهش تولید انرژی و مواد فتوسنتزی لازم برای رشد می‌شود.

در مجموع، این اختلالات رشد و تقسیم سلولی را محدود کرده و در نهایت منجر به کاهش ارتفاع بوته می‌شوند. این یافته با نتایج حاصل از پژوهش‌های دیگر محققان در گیاه زیره سبزی، مطابقت دارد (Sartip and Sirousmehr, 2017; Timachi *et al.*, 2020; Bahrami *et al.*, 2024).

### تعداد شاخه جانبی

اثر متقابل شدت تنش × نوع تعدیل کننده رشد نشان داد، هرچه شدت تنش افزایش پیدا کرد، تعداد شاخه‌های جانبی کاهش می‌یابد، اما استفاده از تعدیل کننده‌های رشد به ویژه پاکلوبوترازول و سالیسیلیک اسید توانست تا حدی این کاهش را جبران کند و رشد شاخه‌زایی را بهبود بخشد. بیشترین تعداد

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

Table 2- Analysis of variance of the studied traits

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	شاخه جانبی	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	وزن هزار دانه	تعداد دانه عملکرد	درصد اسانس عملکرد	عملکرد اسانس	کارایی مصرف آب
Source of variation	df	Plant height	Lateral branches	Umbels per plant	Seeds per umbel	1000 seed weight	Grain yield	Essential oil content	Essential oil yield	Water use efficiency
تکرار Replication	2	114 <sup>ns</sup>	0.7636 <sup>ns</sup>	22.8*	29.92 <sup>ns</sup>	0.447*	24512*	0.266 <sup>ns</sup>	19.7**	0.003**
تنش خشکی Drought stress (A)	2	1265**	25.5**	153**	168**	5.8**	316154**	19.1**	16.9**	0.002**
خطای a خطای Ea	4	71.5	0.57	2.13	6.45	0.09	2588	0.174	0.238	0.0001
تعدیل کننده تنش Stress modulator(B)	4	19.4 <sup>ns</sup>	1.05**	14.2*	27.1**	0.602**	32497**	0.333**	8.4**	0.003**
A×B	8	2.83 <sup>ns</sup>	0.428*	7.2 <sup>ns</sup>	3.35 <sup>ns</sup>	0.083*	6335**	0.321**	3.42*	0.0002 <sup>ns</sup>
خطای b خطای Eb	24	10.5	0.209	3.44	1.69	0.031	1234	0.0231	1.32	0.0001
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		12.28	10.49	10	7.9	4.76	13.5	6.39	22.5	15.4

ns: غیر معنی دار، \* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns: not significant; \* and \*\*: significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

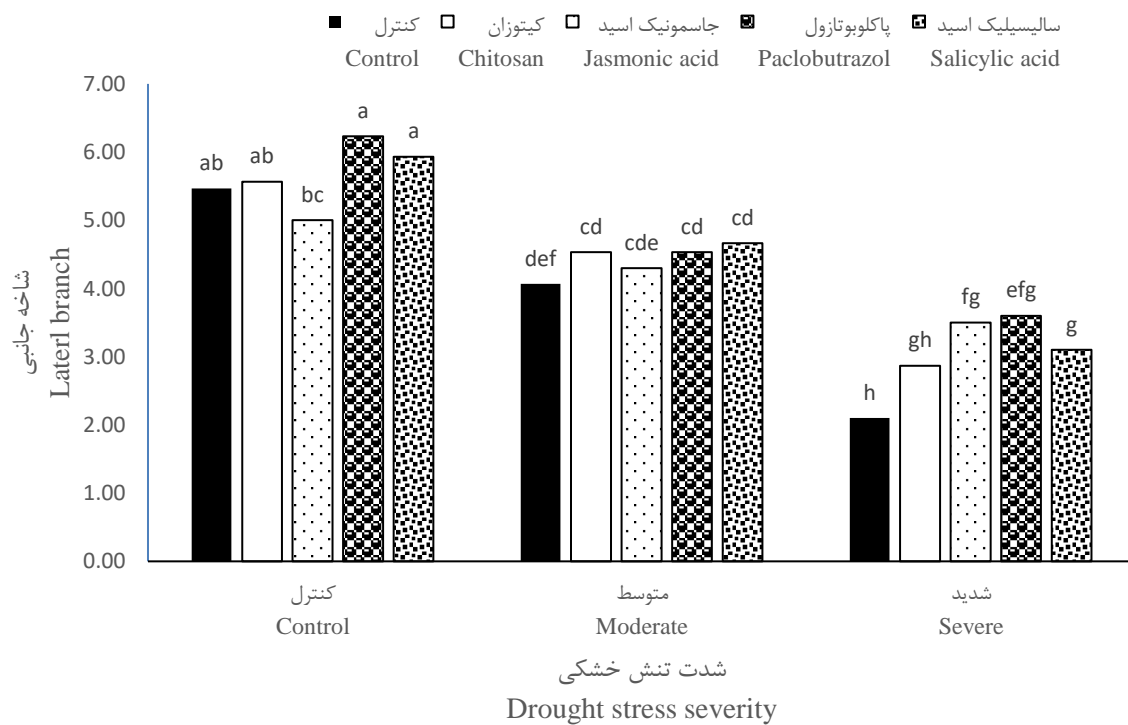
جدول ۳- اثر تنش خشکی و نوع تعدیل کننده تنش بر صفات ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و کارایی مصرف آب

Table 3- Effect of drought stress and type of stress moderator on plant height, umbels per plant, seed grain per umbels and water use efficiency

فاکتورهای آزمایشی Experimental factors	ارتفاع بوته Plant height (Cm)	تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	تعداد دانه در چتر Number of seeds per umbel	کارایی مصرف آب water use efficiency (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>تنش خشکی Drought stress</b>				
شاهد Control	34.64 a	21.79 a	19.4 a	0.09 a
متوسط Moderate	28.17 b	18.50 b	17.2 a	0.08 b
شدید Severe	16.51 b	15.38 c	12.8 b	0.07 c
<b>نوع تعدیل کننده تنش Stress modulator type</b>				
عدم محلول پاشی Control	--	16.54 b	13.9 c	0.05 c
کیتوزان Chitosan	---	18.56 a	16.1 b	0.08 b
جاسمونیک اسید Jasmonic acid	---	19.99 a	18.6 a	0.10 a
پاکلوبوتازول Pacllobutrazol	---	19.04 a	16.5 b	0.08 b
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	---	18.64 a	17.1 b	0.09 b

در هر ستون میانگین های با حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ تفاوت معنی داری ندارند

Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on Duncan test at 0.05 Probability level.



شکل ۱- برهمکنش شدت تنش و نوع تعدیل کننده تنش بر تعداد شاخه جانبی

Figure 1- Interaction of stress intensity and type of stress modifier on the number of lateral branches

افزایش نشان داد. پس از آن، محلول پاشی با پاکلوبوتازول با ۱۹/۰۴ چتر (۱۵/۱۳٪ افزایش)، سالیسیلیک اسید با ۱۸/۶۴ چتر (۱۲/۷٪ افزایش) و کیتوزان با ۱۸/۵۶ چتر (۱۲/۲۱٪ افزایش) قرار داشتند (جدول ۳). این یافته‌ها بیانگر نقش مؤثر تنظیم‌کننده‌های رشد در بهبود ویژگی‌های زایشی گیاه از جمله افزایش تعداد چتر در بوته هستند. نتایج گزارش شده متعددی توسط پژوهشگران نیز نشان‌دهنده تأثیر افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد بر تحت تأثیر قرار دادن تعداد چتر در بوته است. در بررسی برهمکنش تنش کمبود آب و سالیسیلیک‌اسید بر تعداد چتر در بوته رازیانه معنی‌دار شد. بدین صورت که تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل بیش‌ترین تعداد چتر در بوته را به خود اختصاص داد (Salarpour and Farahbakhsh, 2016).

### تعداد دانه در چتر

بررسی اثر تنش بر تعداد دانه در چتر نشان داد که این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف تنش کاهش یافت. در شرایط شاهد، میانگین تعداد دانه در چتر برابر ۱۹/۴ عدد بود، درحالی‌که در تنش متوسط این مقدار با کاهش معادل ۱۱/۳۴ درصد به ۱۷/۲ عدد رسید و در تنش شدید با کاهش ۳۴/۰۲ درصدی به ۱۲/۸ عدد کاهش یافت (جدول ۳). این کاهش می‌تواند ناشی از اختلال در فرآیند گرده‌افشانی، لقاح، یا رشد بذر تحت تنش باشد. تنش‌های محیطی معمولاً با کاهش فعالیت فتوسنتزی، افزایش تنفس و اختلال در تعادل تنظیم‌کننده‌های رشدی همراه هستند که همگی منجر به کاهش توان تولیدمثلی گیاه و در نتیجه کاهش تعداد دانه در چتر می‌شوند. احتمالاً علت افزایش تعداد دانه در چتر تحت تیمار، دور آبیاری کامل می‌تواند در نتیجه بهبود رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و به تبع آن افزایش فتوسنتز و تولید مواد پرورده و تسهیم بهتر مواد در مخازن در این تیمار باشد. در اثر تنش کم‌آبی به‌علت کمبود آب مورد نیاز جهت فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه، رشد گیاه و همچنین رشد برگ‌ها کاهش می‌یابد که با کاهش سطح فتوسنتزکننده، میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد و گیاه جهت حفظ حیات خود به حالت نیمه‌فعال درآمده و انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های دیگر از جمله چترها و بذرها کاهش یافته و در نتیجه تجمع مواد فتوسنتزی

با توجه به تأثیر مثبت تعدیل‌کننده‌های تنش بر تعداد شاخه جانبی در این آزمایش، به‌نظر می‌رسد تعدیل‌کننده‌های رشد توانسته‌اند با تأمین به موقع عناصر مورد نیاز گیاه در طی فصل رشد برای شکل‌گیری ساختار رویشی و زایشی گیاه می‌توانند شرایط بهینه‌ای را برای افزایش تعداد ساقه اصلی گیاه فراهم آورند و در شرایط یکسان محیطی فراهم آوردن عناصر غذایی برای گیاه و تولید حجم سبزینه‌ای بالا می‌تواند باعث افزایش رشد گیاه و متعاقباً تعداد شاخه فرعی گیاه شود. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققین، و تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر خصوصیات زراعی گیاهان دارویی ماریتغال حاصل گردید و نتایج مشخص کرد که محلول پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشد موجب حصول بالاترین تعداد شاخه جانبی در شرایط تنش کم‌آبی شد (Timachi et al., 2023; Mousavoey et al., 2021).

### تعداد چتر در بوته

افزایش شدت تنش منجر به کاهش معنی‌دار در تعداد چتر در بوته شد. به‌طوری‌که شرایط عدم تنش (شاهد) بیشترین تعداد چتر (۲۱/۹) را داشت که از نظر آماری در سطح ۵ درصد با شرایط تنش متوسط و تنش شدید اختلاف معنی‌داری داشت. تنش متوسط و تنش شدید، به‌ترتیب موجب کاهش ۱۵/۱ و ۲۹/۴ درصدی در تعداد چترها نسبت به آبیاری کامل گردید (جدول ۳). احتمالاً علت افزایش تعداد چتر در بوته تحت تیمار آبیاری کامل می‌تواند در نتیجه بهبود رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و به تبع آن افزایش فتوسنتز و تولید مواد پرورده و تسهیم بهتر مواد در مخازن در این تیمار باشد. در گزارش‌های متعددی کاهش معنی‌دار تعداد چتر در بوته در زیره سبز تحت تاثیر تنش بیان شده است، که در این گزارش‌ها با اعمال تنش کمبود آب تعداد چتر زیره سبز کاهش می‌یابد، این کاهش به‌دلیل ریزش گل و سقط دانه‌های تازه تشکیل شده است که باعث کاهش تعداد چتر و دانه می‌شود (Rebey et al., 2012). نتایج حاصل از بررسی اثر تعدیل‌کننده‌های رشد گیاهی بر تعداد چتر در بوته نشان داد که استفاده از این مواد منجر به افزایش معنی‌دار تعداد چترها نسبت به عدم محلول پاشی شد. بیشترین افزایش با محلول پاشی جاسمونیک‌اسید با میانگین ۱۹/۹۹ چتر بود که نسبت به عدم محلول پاشی، ۲۰/۸۵٪

درصدی در تنش شدید را موجب شد (شکل ۲). کاهش معنی دار وزن هزار دانه با افزایش شدت تنش این گونه توجیه شود که در اثر کم آبی رشد رویشی گیاه به حداقل رسیده و از این رو منبع قوی برای پر شدن مخازن فیزیولوژیکی (دانه زیره سبز) در گیاه وجود نداشته و این امر باعث شده است که نه تنها تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر کاهش یابد، بلکه وزن هزار دانه نیز به طور معنی داری با افزایش تنش کم آبی کاهش یابد. دلیل کاهش وزن هزار دانه با افزایش تنش، احتمالاً می تواند ناشی از کاهش فتوسنتز و متابولیسم گیاهی و اختلال در پر شدن دانه باشد.

در کل در این بررسی به نظر می رسد به علت فراهمی بیشتر رطوبت در تیمار کنترل برای گیاه و نیز نقش رطوبت در رشد سبزینه ای گیاه و اهمیت آن در پایداری اندام های فتوسنتز کننده سبب گردید که در حین پر شدن دانه ها نیز فتوسنتز در سطح مناسبی حفظ گردد و در نتیجه، پر شدن دانه ها با شدت بیشتری ادامه یابد که متعاقب آن بیشترین وزن دانه در این تیمار مشاهده گردید و به عبارت دیگر محدودیت رطوبت در طی رشد موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه چروک شدن دانه می شود و عدم تنش باعث می شود دوره پر شدن دانه طولانی تر شود و مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه ها اختصاص یابد. کاهش وزن هزار دانه تحت تأثیر تنش کمبود آب توسط سایر محققین از جمله در زیره سبز، در سیاه دانه و در کینوا تأیید گردیده است (Jami et al., 2015; Gültekin et al., 2025; Zamani et al., 2023).

از طرفی به نظر می رسد تعدیل کننده های تنش با تأثیر بر انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی از برگ ها به دانه ها وزن هزار دانه را در گیاه زراعی افزایش می دهد (Singh et al., 2015). در آغاز پر شدن دانه ها که اکثر آنها در مرحله پر شدن هستند، ادامه ارسال آسیمیلات کافی به این دانه ها با افزایش سقط دانه های دیگر مقدور نیست. در این زمان، فتوسنتز برگ و انتقال مواد فتوسنتزی نیز توسط کمبود آب کاهش یافته است. از طرفی در غیاب فتوسنتز جاری، نمو دانه متکی به آسیمیلات های ذخیره ای در گیاه است. نتایج بررسی در گیاه زیره سبز، نشان داد که تیمار محلول پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش وزن هزار دانه گردید (Esfini Farahani et al., 2012).

در بذرها کم و تعداد دانه در چتر نیز کاهش می یابد (Zlatev and Lidon, 2012).

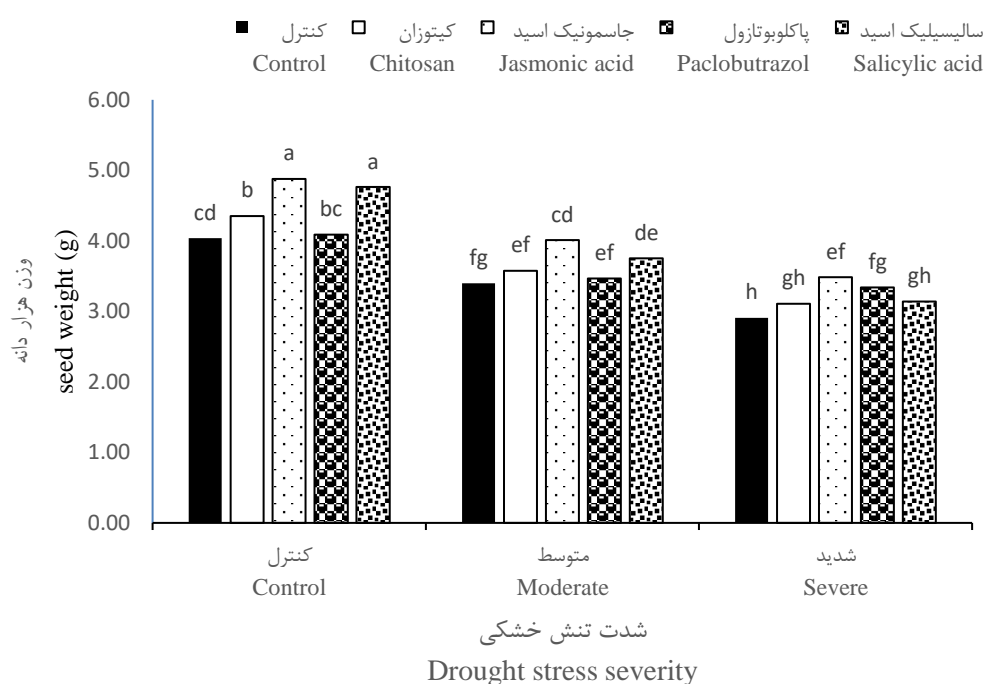
از دیگر دلایل کاهش تعداد دانه در چتر به هنگام تنش کم آبی می توان به کاهش تعداد گل ها و کم شدن تعداد گل هایی که به دانه تبدیل می شوند، اشاره نمود. کاهش تعداد دانه در چتر با اعمال تنش کم آبی در زیره سبز نیز گزارش شده است (Safari et al., 2015; Timachi et al., 2023).

استفاده از تعدیل کننده های مختلف موجب افزایش تعداد دانه در چتر نسبت به شرایط عدم محلول پاشی شد. در میان تعدیل کننده های مختلف، محلول پاشی با جاسمونیک اسید با ۳۴/۳۴ درصد افزایش نسبت به عدم محلول پاشی، بیشترین تأثیر مثبت را بر افزایش تعداد دانه داشت. پس از آن، محلول پاشی با سالیسیلیک اسید، پاکلوبوتازول و کیتوزان نیز به ترتیب موجب افزایش ۲۳/۴۵، ۱۹/۳۵ و ۱۵/۹۰ درصدی نسبت به عدم محلول پاشی شدند (جدول ۳).

این افزایش احتمالاً به دلیل نقش تعدیل کننده ها در بهبود تحمل گیاه به تنش، تحریک رشد زایشی، بهبود فتوسنتز و افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی است که منجر به تقویت تشکیل دانه و کاهش خسارت ناشی از شرایط نامساعد محیطی می شود. نتایج بیانگر اثر بخشی این ترکیبات در افزایش عملکرد گیاه و بهبود شاخص های زایشی است. نتایج بررسی در گیاه زیره سبز، نشان داد که تیمار محلول پاشی سالیسیلیک اسید دارای اثر بهتری می باشد. در گیاهان محلول پاشی شده با سالیسیلیک اسید صفاتی از قبیل تعداد دانه در چتر و تعداد دانه در بوته وزن هزار دانه و عملکرد دانه تفاوت معنی داری داشتند (Rahimi et al., 2013).

## وزن هزار دانه

استفاده از تعدیل کننده های مختلف سبب افزایش وزن هزار دانه در هر سه سطح تنش (کنترل، متوسط و شدید) نسبت به تیمار شاهد در شرایط عدم محلول پاشی شد. در میان تعدیل کننده های مختلف، محلول پاشی با جاسمونیک اسید بیشترین اثر افزایشی را نشان داد، به طوری که وزن هزار دانه را در شرایط تنش شدید تا ۲۰/۷۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. محلول پاشی با سالیسیلیک اسید نیز افزایش قابل توجهی در وزن هزار دانه داشت به نحوی که سبب افزایش بیش از ۱۷



شکل ۲- برهمکنش شدت تنش و نوع تعدیل کننده تنش بر وزن هزار دانه

Figure 2- Interaction of stress intensity and type of stress modifier on 1000 seed weight

## عملکرد دانه

طریق تقلیل فتوسنتز باعث کاهش عملکرد دانه می شود؛ بنابراین نیاز مقصد برای پر شدن دانه از طریق انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده تأمین می گردد. از طرف دیگر، کاربرد تعدیل کننده های تنش مقاومت گیاه را در برابر کمبود آب افزایش داده و در نتیجه عملکرد را بهبود می دهد. تعدیل کننده های تنش گیاه به طور گسترده ای به صورت طبیعی و سنتزی در محصولات کشاورزی به عنوان عاملی در جهت بهبود گیاهان زراعی استفاده می شوند (Pospíšilová *et al.*, 2000).

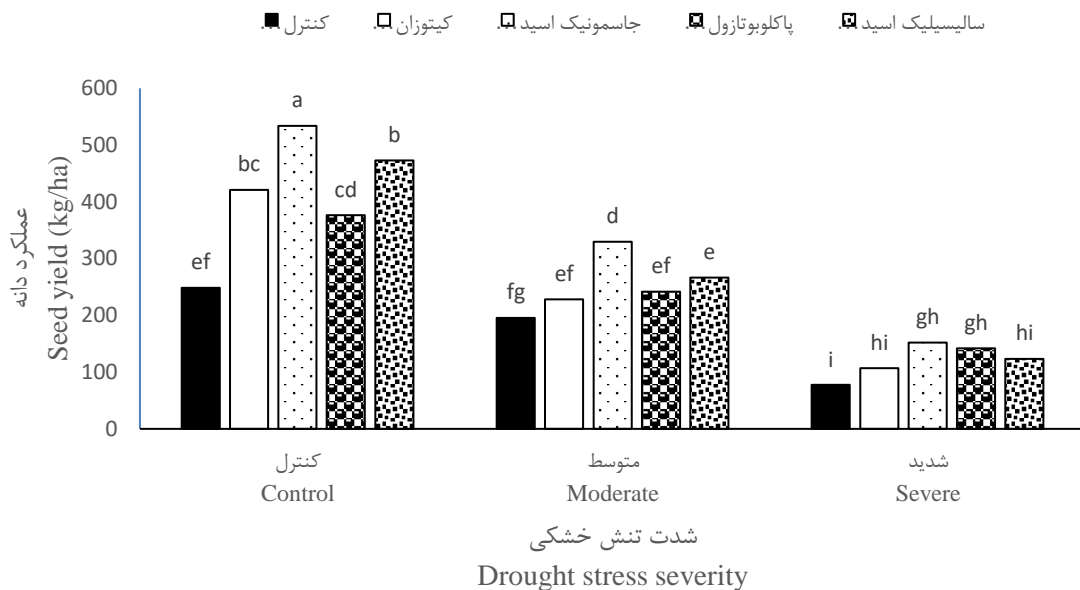
## درصد اسانس

اثر متقابل رژیم آبیاری و تعدیل کننده های رشد بر درصد اسانس نشان داد که درصد اسانس در شرایط تنش شدید (۴۰ درصد آبیاری) به طور معنی داری افزایش یافت و تیمارهای مختلف نیز واکنش متفاوتی نشان دادند. در شرایط آبیاری کامل (۱۰۰٪ تیخیر و تعرق)، بالاترین درصد اسانس مربوط به عدم محلول پاشی بود (۱/۵۷ درصد) اما کاربرد سایر تنظیم کننده ها مانند جاسمونیک اسید (۰/۹۷ درصد) و پاکلوبوترازول (۱/۱۶ درصد) موجب کاهش قابل توجه درصد اسانس نسبت به عدم

بالاترین عملکرد دانه مربوط به شرایط عدم تنش (شاهد) و محلول پاشی با پاکلوبوترازول بود که به ۵۳۳ کیلوگرم در هکتار رسید، این مقدار به طور قابل ملاحظه ای از سایر تیمارها بالاتر بود. پس از آن، محلول پاشی با سالیسیک اسید (۴۷۲) و کیتوزان (۴۲۱ کیلوگرم در هکتار) عملکرد بالاتری نسبت به شاهد داشتند. در شرایط تنش متوسط محلول پاشی با جاسمونیک اسید در مقایسه با سایر تعدیل کننده های عملکرد دانه بیشتری را تولید کرد. در حالی که محلول پاشی با پاکلوبوترازول، سالیسیک اسید و کیتوزان اگرچه در مقایسه با عدم محلول پاشی عملکرد دانه بیشتری را تولید کردند، اما از نظر آماری اختلاف آماری معنی داری نداشتند. در شرایط تنش شدید هم روندی مشابه با تنش متوسط مشاهده شد اما اختلاف آماری معنی دار بین تعدیل کننده های مختلف مشاهده نشد (شکل ۳). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبی می تواند ناشی از کاهش اجزای عملکرد شامل تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و کاهش وزن هزار دانه زیره سبز باشد. بی تردید نقش مهم و اساسی آب در ساختار کلروفیل و نقش آن در افزایش رشد گیاه در این تفسیر موثر است. در زمان پر شدن دانه، تنش کم آبی از

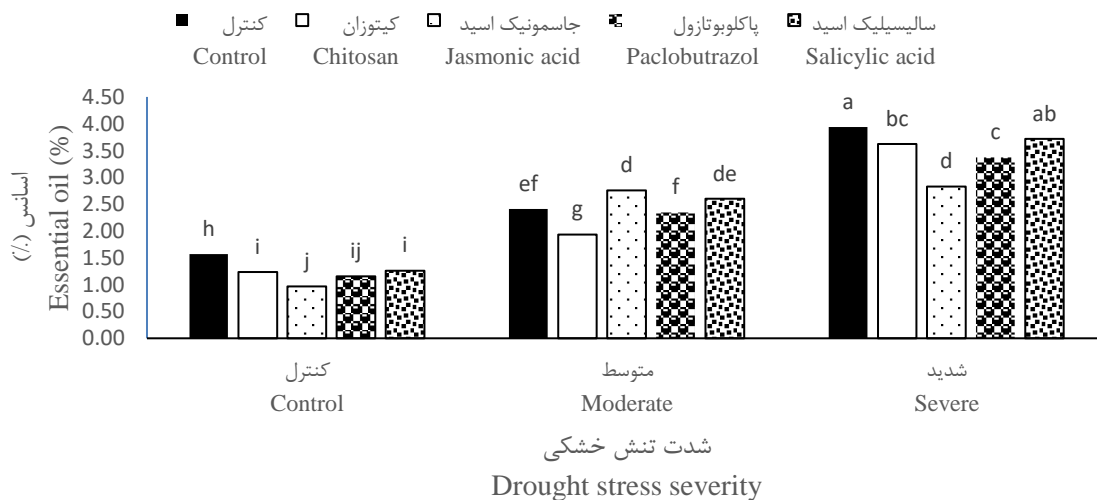
حدود ۲۸ درصد نسبت به عدم محلول پاشی همراه بود (شکل ۴). در بررسی بر روی گیاه زیره سبز اظهار داشتند که بیشترین درصد اسانس در آبیاری مطلوب حاصل شد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد (Mohammadi et al., 2018). پژوهشگران دیگری نیز تأثیر مثبت تنش کم آبی را بر افزایش درصد اسانس زیره سبز، رازیانه و آنیسون گزارش کردند (Armin and Miri, 2014; Bahrami et al., 2024; Peymaei et al., 2024; Heidari et al., 2012).

محلول پاشی شد. در تنش متوسط، درصد اسانس با محلول پاشی جاسمونیک اسید (۲/۷۶ درصد) و سالیسیلیک اسید (۲/۲۶۰ درصد) نسبت به عدم محلول پاشی (۲/۲۴۱ درصد) به ترتیب حدود ۱۴/۵ و ۷/۹ درصد افزایش نشان دادند. در شرایط تنش شدید بیشترین درصد اسانس در عدم محلول پاشی (۳/۹۴ درصد) به دست آمد، اما محلول پاشی با سالیسیلیک اسید (۳/۷۲ درصد) و کیتوزان (۳/۶۲ درصد)، درصد اسانس خوبی داشتند. در مقابل، جاسمونیک اسید در این سطح از آبیاری با کاهش



شکل ۳- برهمکنش شدت تنش و نوع تعدیل کننده تنش بر عملکرد دانه

Figure 3- Interaction of stress intensity and type of stress modifier on seed yield



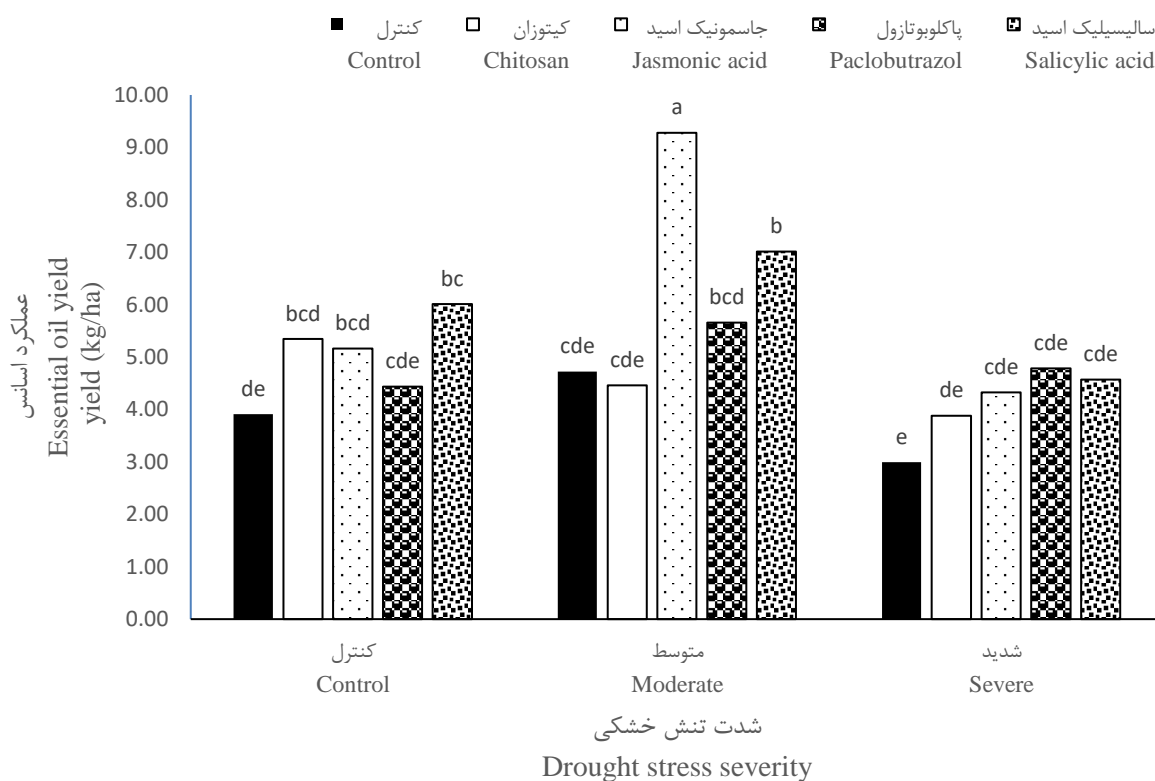
شکل ۴- برهمکنش شدت تنش و نوع تعدیل کننده تنش بر درصد اسانس

Figure 4- Interaction of stress intensity and type of stress modifier on essential percent

## عملکرد اسانس

بررسی برهمکنش شدت تنش و نوع تعدیل کننده تنش نشان داد که کاربرد تعدیل کننده های رشد گیاهی در شرایط مختلف تنش، تأثیر قابل توجهی بر افزایش عملکرد اسانس نسبت به شاهد داشته است. تحت شرایط تنش متوسط، محلول پاشی با جاسمونیک اسید با عملکرد ۹/۲۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین اثر را داشته و افزایش بیش از دو برابری (تقریباً ۹۶/۶۱٪) نسبت به عدم محلول پاشی (۴/۷۲ کیلوگرم در هکتار) نشان داد. در شرایط شاهد (بدون تنش)، بالاترین عملکرد اسانس مربوط به محلول پاشی با سالیسیلیک اسید با مقدار ۶/۰۱ کیلوگرم در هکتار (افزایش ۵۳/۷٪ نسبت به عدم محلول پاشی) و پس از آن محلول پاشی با کیتوزان با ۵/۳۴

کیلوگرم در هکتار (افزایش ۳۶/۵٪) بود. در شرایط تنش شدید نیز، محلول پاشی با پاکلوبوتازول با تولید عملکرد اسانس معادل ۴/۷۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین اثر را داشت که نسبت به عدم محلول پاشی معادل ۵۹/۳۳٪ افزایش داشت و پس از آن سالیسیلیک اسید با ۴/۵۷ کیلوگرم در هکتار و جاسمونیک اسید با ۴/۳۳ کیلوگرم در هکتار قرار داشتند (شکل ۵). این کاهش احتمالاً به دلیل افت شدید عملکرد دانه در شرایط تنش آبی، به رغم کاهش مصرف آب بوده است؛ چرا که بهره‌وری آب زمانی بهینه می‌شود که کاهش عملکرد کمتر از میزان کاهش در آب مصرفی باشد؛ بنابراین، مدیریت صحیح آبیاری برای حفظ عملکرد و افزایش بهره‌وری آب امری کلیدی محسوب می‌شود.



شکل ۵- برهمکنش شدت تنش و نوع تعدیل کننده تنش بر عملکرد اسانس

Figure 5- Interaction of stress intensity and type of stress modifier on essential yield

که بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. با اعمال تنش در سطح متوسط، این شاخص به ۰/۰۸ کیلوگرم بر متر مکعب کاهش یافت (کاهش حدود ۱۱/۱٪) و در شرایط تنش شدید به ۰/۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب رسید (کاهش ۲۲/۲٪ نسبت به شاهد).

## کارایی مصرف آب

تنش آبی اثر منفی قابل توجهی بر کارایی مصرف آب داشت و با افزایش شدت تنش، این شاخص کاهش یافت. در شرایط شاهد، کارایی مصرف آب برابر ۰/۰۹ کیلوگرم بر متر مکعب بوده

همچنین، افزایش سننتر پروتئین های محافظ و تنظیم اسمزی سلولی تحت تأثیر این مواد، موجب حفظ ساختار سلولی و عملکرد فتوسنتزی در شرایط کم آبی می شود (Timachi et al., 2020).

در مورد کیتوزان و سالیسیلیک اسید، این ترکیبات نیز با تحریک تولید متابولیت های ثانویه، افزایش توانایی دفاعی و بهبود جذب عناصر غذایی باعث افزایش بهره وری مصرف آب می شوند (Elshamly and Nassar, 2023).

پاکلوبوترازول نیز از طریق مهار بیوسنتز جیبرلین ها و کاهش رشد رویشی بیش از حد، آب بیشتری را به سمت تولید ماده خشک و دانه هدایت می کند (Desta and Amare, 2021).

مشابه با نتایج این پژوهش نیز عنوان شده که محلول پاشی با اسید سالیسیلیک تحت تنش کمبود آب کارایی مصرف آب گشنیز را بهبود بخشید (Afshari et al., 2023). دلیل آن را می توان به نقش تنظیم کننده های رشد در افزایش وزن خشک نسبت داد که موجب افزایش کارایی مصرف آب برای تولید عملکرد شدند.

### نتیجه گیری کلی

در مجموع، نتایج نشان داد که افزایش شدت تنش آبی موجب کاهش معنی دار صفات رشدی مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه های جانبی و چتر در بوته شد. بیشترین تعداد شاخه جانبی در شرایط بدون تنش و با کاربرد پاکلوبوترازول به دست آمد. همچنین، استفاده از تعدیل کننده ها به ویژه سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول، توانست تا حدی کاهش ناشی از تنش را جبران کند. تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه نیز تحت تأثیر منفی تنش قرار گرفتند، اما کاربرد تمامی تعدیل کننده ها منجر به افزایش این صفات نسبت به شاهد شد. بالاترین عملکرد دانه در شرایط عدم تنش و محلول پاشی با پاکلوبوترازول (۵۳۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد.

در شرایط تنش شدید، محلول پاشی با جاسمونیک اسید و پاکلوبوترازول به ترتیب با ۱۵۲ و ۱۴۲ کیلوگرم در هکتار بهترین عملکرد را داشتند. درصد اسانس در شرایط تنش شدید افزایش یافت، اما کاربرد جاسمونیک اسید باعث کاهش آن شد. بیشترین عملکرد اسانس در تنش متوسط با محلول پاشی جاسمونیک اسید

این کاهش تدریجی بیانگر آن است که تنش خشکی موجب کاهش توان گیاه در استفاده مؤثر از آب برای تولید محصول می شود. کاهش WUE تحت تنش، می تواند ناشی از بسته شدن روزنه ها، کاهش فتوسنتز، افزایش تنفس نوری و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی باشد. در نتیجه، تولید ماده خشک یا عملکرد کاهش می یابد، در حالی که مصرف آب ممکن است به همان میزان کاهش نیافته باشد که منجر به افت کارایی می شود (Liu et al., 2016). همچنین پژوهشگران پس از بررسی تأثیر آبیاری مطلوب و کم آبیاری بر کارایی مصرف آب گشنیز اظهار داشتند که آبیاری بر این صفت در سطح ۱٪ معنی دار شد. بیشترین کارایی مصرف آب با میانگین ۰/۴۵ کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب در تیمار اعمال کم آبیاری به دست آمد (Farahani et al., 2008).

در نتایج تحقیق دیگری روی زیره سبز گزارش شده است که بالاترین کارایی مصرف آب (۲/۴ کیلوگرم در هکتار در هر میلی متر) در تیمار ۷۵ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل به دست آمد (Yaghi et al., 2024). نتایج مشابهی توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Ghalibaf et al., 2020).

در میان تعدیل کننده های رشد، محلول پاشی با جاسمونیک اسید با مقدار ۰/۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب، بالاترین کارایی مصرف آب را نشان داد که به طور معنی داری بیشتر از تیمار عدم محلول پاشی (۰/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. محلول پاشی با سالیسیلیک اسید، پاکلوبوترازول و کیتوزان نیز موجب بهبود کارایی مصرف آب نسبت به عدم محلول پاشی شد (جدول ۳).

افزایش کارایی مصرف آب در نتیجه مصرف تعدیل کننده های رشد مانند جاسمونیک اسید، سالیسیلیک اسید، پاکلوبوترازول و کیتوزان را می توان از نظر فیزیولوژیکی به نقش این ترکیبات در افزایش مقاومت گیاه به تنش های خشکی و بهبود استفاده گیاه از منلیع آب و مواد غذایی نسبت داد. به طور خاص، جاسمونیک اسید به عنوان یک فیتوهورمون در تنظیم پاسخ های گیاه به تنش های زیستی و غیر زیستی نقش دارد. این ماده با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان، تنظیم باز و بسته شدن روزنه ها و کاهش تبخیر بی رویه آب از برگ ها باعث می شود که گیاه با آب کمتری به عملکرد مطلوب تری دست یابد (Nazim et al., 2021).

به‌ویژه جاسمونیک‌اسید و سالیسیلیک‌اسید می‌تواند به کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود عملکرد زیره سبز کمک کند.

حاصل گردید. محلول‌پاشی با جاسمونیک‌اسید بالاترین کارایی مصرف آب (۰/۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب) را در مقایسه با سایر تیمارها نشان داد. در مجموع، استفاده از تعدیل‌کننده‌های رشد

## References

- Afshari, M., Pazoki, A. and Sadeghipour, O., 2023. Biochemical changes of coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants under drought stress and foliar application of salicylic acid and silicon nanoparticles. *Journal of Medicinal plants and By-products*, 12(3), pp.197-207.
- Anil Kumar, G., Umesha, K., Vishnuvardhana, S.M. and Shankarappa, T., 2021. Influence of elicitors in enhancing the fixed oil content and yield of black cumin (*Nigella Sativa* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 10(1), pp.559-562.
- Armin, M. and Miri, H.R., 2014. Effects of glycine betaine application on quantitative and qualitative yield of cumin under irrigated and rain-fed cultivation. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17(4), pp.708-716. <https://doi.org/10.1080/0972060x.2014.884949>
- Bahrani, H., Armin, M., Jamimoeini, M. and Abhari, A., 2023. The effect of different irrigation cut-off times on yield and yield components of cumin in weed interference conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2), pp.291-304. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/csrar.2022.291654.1098>
- Bahrani, H., Armin, M., Jamimoeini, M. and Abhari, A., 2024. Yield and essential oil quality of cumin (*Cuminum cyminum* L.) in relation to irrigation regimes under conventional and organic conditions. *National Academy Science Letters*, 47(3), pp.323-327. <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01276-1>
- Bazr Afshan, V., Paknejad, F., Fanay, H.R., Habibi, D. and Siavoshi, M., 2025. Exploring the impact of drought stress on the yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. *Journal of Agroecology*, 16(3), pp.493-511. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/agry.2024.85108.1172>
- Borzouyi, Z., Armin, M. and Marvi, H., 2021. The effect of time and type of stress moderators on yield and yield components of cotton on conventional and double-cropping systems under saline conditions. *Journal of Cotton Research*, 4(1), No.28. <https://doi.org/10.1186/s42397-021-00103-6>
- Desta, B. and Amare, G., 2021. Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), No.1. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00199-z>
- Elshamly, A. M. and Nassar, S.M., 2023. The impacts of applying cobalt and chitosan with various water irrigation schemes at different growth stages of corn on macronutrient uptake, yield, and water use efficiency. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), pp.2770-2785. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01233-3>
- Esfini Farahani, M., Paknejad, F., Bakhtiari Moghadam, M., Alavi, S. and Hasibi, A., 2012. Effect of different application methods and rates of salicylic acid on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(3), pp.69-72. [In Persian].
- Farahani, A., Lebaschi, H., Hussein, M., Hussein, S. A., Reza, V.A. and Jahanfar, D., 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water

- content and proline accumulation rate of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 2(6), pp.125-131.
- Ghalibaf, K., Bannayan Aval, M., Rashed Mohasel, M.H., Valaie, N., Yaghoubi, F. and Rashidi, Z., 2020. Effects of planting date and deficit irrigation on water use efficiency of cumin (*Cuminum cyminum* L.) at two different densities in mashhad conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18(2), pp.213-224. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v18i2.83813>
- Gültekin, R., Ertek, A., Görgişen, C., Yeter, T., Avağ, K. and Yıldırım, Y.E., 2025. Impact of intermittent and deficit irrigation practices in subsurface drip systems on yield and morphological traits of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Paddy and Water Environment*, 23(3), pp.373-388. <https://doi.org/10.1007/s10333-025-01021-y>
- Heidari, N., Pouryousef, M., Tavakkoli, A. and Saba, J., 2012. Effect of drought stress and harvesting date on yield and essential oil production of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28(1), pp.121-130. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.4019>
- Jalalzadeh, A., Jafar zadeh, M., Dehghanzadeh, H. and Zeinali, H., 2024. Effect of salicylic acid and zinc sulfate on quality and quantity characters of green cumin (*Cuminum cyminum*) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(6), pp.903-924. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.372957.669668>
- Jami, F., Mehraban, A. and Ganjali, H.R., 2015. The effect of water shortage and foliar application of salicylic acid on quantitative and qualitative performance of cumin herb. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(27), pp.1-8. <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i27/71751>
- Kazemi Oskuei, B., Bandehagh, A., Farajzadeh, D., Asgari Lajayer, B., Shu, W. and Astatkie, T., 2024. Effects of pseudomonas fluorescens fy32 on canola (*Brassica Napus* L) cultivars under drought stress induced by polyethylene glycol. *Journal of Crop Health*, 76(1), pp.251-260. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05879-8>
- Kazemi, H., Mortazaviyan, S.M.M. and Javid, M.G., 2018. Physiological responses of cumin (*Cuminum cyminum*) to water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(4), pp.1099-1113. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.211455.654151>
- Lamlom, S.F., Abdelghany, A.M., Farouk, A.S., Alwakel, E.S., Makled, K.M., Bukhari, N.A., Hatamleh, A.A., Ren, H., El-Sorady, G.A. and Shehab, A.A., 2025. Biochemical and yield response of spring wheat to drought stress through gibberellic and abscisic acids. *BMC Plant Biology*, 25(1), No.5. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05879-8>
- Liu, E., Mei, X., Yan, C., Gong, D. and Zhang, Y., 2016. Effects of water stress on photosynthetic characteristics, dry matter translocation and WUE in two winter wheat genotypes. *Agricultural Water Management*, 167, pp.75-85. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.026>
- Malekpoor, F., Pirbalouti, A.G. and Salimi, A., 2016. Effect of foliar application of chitosan on morphological and physiological characteristics of basil under reduced irrigation. *Research on Crops*, 17(2), pp.354-359.

- Ministry of Agriculture Jihad., 2025. Agricultural Statistics Yearbook 2023-24, Vol. 3: Report on Horticultural Products, Mushrooms, and Greenhouse Products. Statistics, Information and Communication Technology Center. [In Persian]. <https://get.agrodl.ir/statistics/horti/402.pdf>
- Mohammadi, A., Amini Dehaghi, M. and Fotokian, M.H., 2018. Effects of humic acid foliar application on the quantitative and qualitative characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 34(1), pp.101-114. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.115451.2149>
- Mousavoey, M., Jahanbakhsh, S., Modaresi, M., Parmoon, G., Ebadi, A. and Kohan Mo, M.A., 2021. Effect of salicylic and Jasmonic acid on yield and yield components of Milk thistle (*Silybum marianum* L.) under heat stress conditions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 34(4), pp.1061-1075. [In Persian].
- Nazim, M., Ali, M., Shahzad, K., Ahmad, F., Nawaz, F., Amin, M., Anjum, S., Nasif, O., Alharbi, S.A. and Fahad, S., 2021. Kaolin and Jasmonic acid improved cotton productivity under water stress conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(11), pp.6606-6614. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.043>
- Nazir, F., Peter, P., Gupta, R., Kumari, S., Nawaz, K. and Khan, M.I.R., 2024. Plant hormone ethylene: A leading edge in conferring drought stress tolerance. *Physiologia Plantarum*, 176(1), e14151. <https://doi.org/10.1111/ppl.14151>
- Peymaei, M., Sarabi, V. and Hashempour, H., 2024. Improvement of the yield and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) using external proline, uniconazole and methyl jasmonate under drought stress conditions. *Scientia Horticulturae*, 323, e112488. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112488>
- Pospíšilová, J., Synková, H. and Rulcová, J., 2000. Cytokinins and water stress. *Biologia plantarum*, 43(3), pp.321-328. <https://doi.org/10.1023/a:1026754404857>
- Rahimi, A.R., Rokhzadi, A., Amini, S. and Karami, E., 2013. Effect of salicylic acid and methyl jasmonate on growth and secondary metabolites in *Cuminum cyminum* L. *Journal of Biodiversity and Environmental sciences*, 3(12), pp.140-149.
- Rebey, I.B., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B., 2012. Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*, 36(1), pp.238-245. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.09.013>
- Safari, B., Mahdi Mortazavian, S.M., Sadat-Noori, S.A. and Foghi, B., 2015. Effect of water stress on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 5(2), pp.51-61. [In Persian].
- Salarpour, F. and Farahbakhsh, H., 2016. Effects of salicylic acid on some physiological traits, yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32(2), pp.216-230. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.106557>
- Sartip, H. and Sirousmehr, A.R., 2017. Evaluation of salicylic acid effects on growth, yield and some biochemical characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under three irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(4), pp.547-558. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.21.1007>

- Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V.P. and Prasad, S.M., 2015. Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(3), pp.407-426. <https://doi.org/10.1007/s11157-015-9372-8>
- Tiamchi, F., Armin, M., Jamimoeini, M. and Abhari, A., 2023. The effect of stress modulator application on seed and essential oil yield of cumin in dryland and irrigated conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2), pp.421-435. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/csrar.2022.298527.1116>
- Timachi, F., Armin, M., Jamimoeini, M. and Abhari, A., 2020. Physiological response of cumin to times and type of stress modulator in rain-fed and irrigated conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67(6), pp.1163-1172. <https://doi.org/10.1134/s1021443720060175>
- Timachi, F., Armin, M., Jamimoeini, M. and Abhari, A., 2023. The effect of times and type of stress modulator on quantitative and qualitative yield of cumin under rainfed and irrigated conditions. *Journal of Medicinal plants and By-products*, 12(2), pp.145-157.
- Travaglia, C., Reinoso, H., Cohen, A., Luna, C., Tommasino, E., Castillo, C. and Bottini, R., 2010. Exogenous ABA increases yield in field-grown wheat with moderate water restriction. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29(3), pp.366-374. <https://doi.org/10.1007/s00344-010-9147-y>
- Yaghi, T., Arslan, A. and Saeed, H., 2024. Effect of deficit irrigation technique on black cumin (*Nigella sativa* L.) water use efficiency. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 26(2), pp.449-461. <https://doi.org/10.22034/jast.26.2.449>
- Zamani, Z., Zeidali, E., Alizadeh, H.A. and Fathi, A., 2023. Effect of drought stress and nitrogen chemical fertilizer on root properties and yield in three quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd). *Crop Science Research in Arid Regions*, 5(2), pp.487-500. [In Persian].
- Zlatev, Z. and Lidon, F.C., 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)*, 24(1), 57-72. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v24i1.10599>



# Crop Science Research in Arid Regions

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

## Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 705-721

## Evaluation and grouping of winter canola cultivars in terms of agronomic characteristics and oil percentage

Bijan Kahrarian <sup>\*a</sup>, Roghaya Fatemi <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Agriculture and Plant Breeding, Miandoab Branch, Islamic Azad University, Miandoab, Iran

\*Corresponding Author: [Bijan.Kahrarian@iau.ac.ir](mailto:Bijan.Kahrarian@iau.ac.ir)

Received: 26 June 2025

Accepted: 10 November 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.531392.1500

### How to cite this article:

Kahrarian, B. and Fatemi, R., 2025. Evaluation and grouping of winter canola cultivars in terms of agronomic characteristics and oil percentage. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 705-721. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.531392.1500>

### Abstract

**Introduction:** Canola (*Brassica napus* L.) is one of the most important oilseed crops worldwide, valued for its high oil content and nutritional quality. Cultivating canola in cold regions poses challenges due to environmental stresses such as low temperatures and short growing seasons. Identifying high-yielding and cold-tolerant canola cultivars is essential for optimizing production in these areas. This study aimed to evaluate 24 canola cultivars under cold climatic conditions over two crop years (2021–2023) to determine the most suitable genotypes based on agronomic traits, yield components, and oil content. The findings will assist farmers and breeders in selecting superior cultivars for cold regions, ultimately enhancing canola productivity and oil quality.

**Materials and Methods:** The experiment was conducted using a completely randomized block design (CRBD) with four replications over two growing seasons. Twenty-four canola cultivars were assessed for key traits, including flowering period, length of growing season, plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000-seed weight, oil content, and seed yield. Data were analyzed using ANOVA, with mean comparisons conducted through LSD tests. To explore relationships between grain yield and other traits, correlation analysis was performed. Cluster analysis, utilizing the heatmap method, grouped genotypes and characteristics. Additionally, principal component analysis (PCA) and biplot visualization were employed to identify superior cultivars based on multiple traits. Data analysis from the experiment was conducted using SAS 9.4 software. Additionally, cluster analysis with Ward's method, factor analysis, and a biplot based on principal component analysis were performed using R software.

**Results and Discussion:** The results of the combined data analysis showed that the difference between the two experimental years was significant only in terms of grain yield. There was a significant difference between the studied varieties in terms of length of growing season, plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000-seed weight, and oil content. The interaction of year with variety was also significant, but only in terms of grain yield. The results indicated that the Parade



cultivar demonstrated exceptional performance in several areas, including growth period length, plant height, seeds per plant, seeds per pod, and 1000-kernel weight. Among the cultivars tested, Coctall, Cwc, Alice, Parade, and VDH8003-98 produced the highest grain yields in both years. Additionally, Regent \* Cobra recorded the highest seed oil percentage, making it a promising candidate for oil production. A positive and significant correlation was found between seed yield and two critical yield components: the number of pods per plant and the number of seeds per pod. This indicates that selecting cultivars with a higher number of pods and seeds can improve overall yield potential. The heatmap clustering analysis divided the 24 genotypes into three distinct categories and grouped the traits into four categories: Group 1 (High-yielding genotypes): Parade, Cwc, Eurol, Orient, DP.948, PF.7045/91, and Regent \* Cobra. These cultivars exhibited exceptional yield and yield-related characteristics. Groups 2 and 3 consisted of genotypes that exhibited moderate to low performance in the examined traits. PCA identified two primary factors accounting for 54.7% of the overall variance. The biplot analysis demonstrated that Parade, Olara, DP.948, Alice, VDH8003-98, Coctall, and Cwc were situated in the most advantageous area, signifying their well-rounded performance in terms of yield and its components.

**Conclusion:** This study identified Parade and Cwc as the top-performing canola cultivars based on yield and yield-related traits, making them suitable for cultivation in cold regions. Additionally, Regent \* Cobra was noted for its high oil content, which is essential for oil production. The findings highlight the importance of selecting cold-adapted canola cultivars to maximize both productivity and oil quality in challenging environments. It is recommended to cultivate the Parade and Cwc varieties in the cold regions of the northwest of the country to achieve high yields, and the Regent\*Cobra variety for oil production.

**Keywords:** Correlation, Cultivar, Grain yield components, Grouping, Yield



عاملی و آنالیز کلاستر جهت گروه‌بندی صفات و ژنوتیپ‌ها در مطالعات دیگری نیز استفاده شده است (Hamze et al., 2025). هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی جامع و گروه‌بندی ۲۴ رقم زمستانه کلزا از نظر صفات مهم زراعی و درصد روغن دانه بود. این مطالعه با طراحی آزمایشی دو ساله در شرایط آب‌وهوایی مناطق سرد ایران انجام شد تا با دقت بالا، ارقام برتر را از نظر معیارهای کلیدی چون عملکرد دانه، اجزای عملکرد (مانند تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه) و کیفیت روغن شناسایی کند. در نهایت، هدف این تحقیق تعیین ارقام پربازده و پایدار، گزینه‌های بهینه و عملی برای کشاورزان و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی در جهت افزایش بهره‌وری و تدام تولید در مناطق سردسیر شمال غرب کشور بود.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه در دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی میان‌دوآب اجرا شد. مزرعه مذکور در ۵ کیلومتری شمال غربی شهر در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۹۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۱۳۱۴ متری از سطح دریای آزاد واقع شده است (جدول ۱). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در (جدول ۲) آورده شده است. در این تحقیق ۲۴ رقم کلزا (جدول ۳) مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق و تسطیح زمین در تابستان هر سال انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف ۶ متری به فواصل ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. براساس نتایج حاصل از آزمون خاک در زمان تهیه بستر، مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (از منبع کود اوره) و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اکسیدپتاس و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اکسیدفسفر به ترتیب از منابع کودی سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل به زمین داده شد و با دیسک با خاک مخلوط گردید. در اوایل گلدهی نیز مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (از منبع کود اوره) به صورت سرک به محصول داده شد. کاشت بذر کلزای ضد عفونی شده با دست و به صورت خشکه کاری و با تراکم ۷۵ هزار بوته در هکتار انجام شد. کشت در تاریخ ۵ مهر هر دو سال انجام شد. اولین نوبت آبیاری (خاک آب) با فاصله دو روز از کاشت و آبیاری‌های بعدی با فواصل یک

به‌نژادگران بسیار با ارزش هستند (Abdollahi Hesar et al., 2020). ارزیابی ارتباط بین صفات در فعالیت‌های به‌نژادی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است، چرا که گزینش براساس یک یا چند صفت، بر صفات دیگر تأثیر داشته باشد، بنابراین برآورد ضریب همبستگی بین صفات می‌تواند به‌نژادگران را در انجام گزینش غیرمستقیم برای صفاتی مانند عملکرد دانه یاری نماید (Majidi and Mirlohi, 2009). در مطالعات مختلفی ارتباط و همبستگی بین صفات زراعی و عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفته است (Morsi et al., 2023; Majidi et al., 2016; Tariq et al., 2020). در تجزیه عامل‌ها، هدف اصلی بیان وجود روابط کوواریانس میان بسیاری از متغیرها براساس چند کمیت تصادفی غیرقابل مشاهده است که عامل‌ها نامیده می‌شود. به عبارت دیگر، از تجزیه به عامل‌ها به منظور پیدا کردن علت وجود همبستگی و توصیف رابطه بین صفات و ژنوتیپ‌ها برحسب تعداد کمتری شاخص که روی این صفات تأثیرگذارند، استفاده می‌شود (Hamze et al., 2025). در تحقیقی با استفاده از تجزیه به عامل‌ها در ارقام کلزا شش عامل را شناسایی شد که در مجموع ۸۲ درصد از کل واریانس داده‌ها را تبیین کردند (Majidi et al., 2016). همچنین در مطالعه‌ای دیگر برای ۱۰ صفت مورد بررسی در کلزا سه عامل معنی‌دار شناسایی شد (Rameeh, 2012). گزارش شده است که صفات تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه در کلزای بهار به بیشترین همبستگی را با مؤلفه اول و صفات تعداد روز تا رسیدگی، تعداد روز تا گلدهی و طول دوره گلدهی بیشترین همبستگی را با مؤلفه دوم داشتند (Moradi et al., 2017). این سه مؤلفه در مجموع ۸۸ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. در مقایسه با روش‌هایی که براساس گروه‌هایی از افراد استوار هستند، در تجزیه خوشه‌ای، هر فرد با وزن مساوی در تجزیه شرکت می‌کند، بنابراین هم از صفات کمی و هم از صفات کیفی می‌توان استفاده نمود و تمام اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hamze et al., 2019). ایده‌آل‌ترین نتیجه، از تجزیه خوشه‌ای وقتی به دست می‌آید که واریانس داخل گروه‌ها حداقل و واریانس بین گروه‌ها حداکثر باشد (Jobson, 2012). در منطقه گرگان استان گلستان، ۶۶ ژنوتیپ مختلف کلزا با استفاده از آنالیز خوشه‌ای به چهار گروه مجزا دسته‌بندی شدند (Norouzi et al., 2023). استفاده از تحلیل

گرم دانه به وسیله آسیاب خرد و در دستگاه سوکسله قرار داده شد، سپس ۳۰۰ سی سی به آن بنزن اضافه شد، فرآیند روغن گیری به مدت ۲ تا ۳ ساعت طول کشید، سپس به منظور جدا نمودن حلال از روغن استخراج شده، مخلوط هر دو به مدت ۳۰ دقیقه بر روی روتاری (Rotary Evaporator) قرار داده شد. در مرحله بعد ظرف حاوی روغن به مدت ۴۸ ساعت در محیطی تاریک و خنک زیر هود شیمیایی جهت خارج شدن بقایای حلال هگزان قرار گرفت.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت اطمینان از تجانس واریانس‌ها بر روی داده‌های دو سال، آزمون یکنواختی واریانس‌های آزمایشی از طریق آزمون بارتلت انجام شد. آزمون نشان داد که برای کلیه صفات مورد بررسی واریانس‌ها یکنواخت بود، لذا تجزیه واریانس مرکب براساس تصادفی بودن سال انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS.9.4 انجام گرفت. همچنین تجزیه کلاستر به روش Ward و تجزیه به عامل‌ها و بای پلات براساس تجزیه به مولفه‌های اصلی به کمک نرم افزار R انجام شد. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار و ترسیم نمودارها به کمک نرم افزار Excel صورت گرفت.

هفته انجام شد. از اواخر آبان، بارش قابل توجه نزولات جوی در طی ماه‌های پائیز و زمستان باعث شد که دیگر نیاز به آبیاری نباشد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه، آبیاری حدود دو هفته قبل از برداشت قطع شد تا ضمن کاهش رطوبت برای رسیدگی یکنواخت، محصول برای برداشت آماده شود.

### اندازه‌گیری صفات زراعی

در این تحقیق زمانی که ۱۰ درصد بوته‌های هر کرت بر روی ساقه اصلی حداقل ۵ گل باز شده داشتند به عنوان شروع گلدهی و زمانی که ۹۰ درصد بوته‌ها بر روی ساقه اصلی گل باز شده داشتند، به عنوان زمان خاتمه گلدهی در نظر گرفته شد. همچنین زمانی که ۵۰-۴۵ درصد از دانه‌ها در خورجین کل بوته‌ها به رنگ قهوه‌ای روشن در آمده بود، به عنوان زمان رسیدگی برداشت هر کرت در نظر گرفته شد (Moradi et al., 2017). در مرحله رسیدگی برداشت، از هر کرت به صورت تصادفی ۱۰ بوته انتخاب و ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه در آنها اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد دانه دو ردیف میانی برداشت (بعد از حذف دو ردیف کناری و یک متر از ابتدا و انتهای هر ردیف به عنوان حاشیه) و پس از جدا کردن غلاف‌ها، دانه‌ها از غلاف خارج و به وسیله استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ وزن شده و به عنوان عملکرد دانه ثبت شدند. جهت استخراج روغن دانه، ۱۰

جدول ۱- خصوصیات آب و هوایی محل مورد آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Table 1- Meteorological information in the experimental site in 2021-2022 growing seasons

ماه	میانگین درجه حرارت		میانگین تبخیر		میانگین بارندگی	
Months	Average Temperature (C°)		Total Evaporation (mm)		Total Precipitation (mm)	
	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۴۰۱
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
اسفند March	9.1	10.20	0	1	20	21
فروردین April	14.2	15.3	113	115	2.2	5.3
اردیبهشت May	17	15.1	190	193	9.3	7.2
خرداد June	20	22.3	283	298	2	3
تیر July	24.6	25.1	276	280	4	1
مرداد August	23.4	24.2	271	275	0	0
شهریور September	21	20.0	213	210	5.6	3.8
مهر October	14.3	12.7	146	12.1	0.1	2
آبان November	12.1	11.5	90	88	53	60

جدول ۲- مشخصات فیزیکی-شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Physico-chemical properties of soil

عمق	بافت	هدایت الکتریکی	ظرفیت نگهداری آب اسیدیته	درصد مواد خنثی شونده	سلیت رس	شن	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	
Depth	Texture	$Ec \times 10^3$	pH	T.N.V	clay	silt	C	N	P	K	
cm		$ds m^{-1}$	WHC				%			ppm	
0-30	لوم	1.1	8	43	26	35	39	0.6	0.06	10.4	250

جدول ۳- اسامی ژنوتیپ های کلزا مورد مطالعه در این تحقیق

Table 3- List of canola genotypes investigated in the experiment

ردیف	ژنوتیپ	ردیف	ژنوتیپ	ردیف	ژنوتیپ
Row	Genotype	Row	Genotype	Row	Genotype
1	DP.948	9	Orcan	17	VDH8003-98
2	Symbol	10	PF.7045/91	18	Akamar
3	Eurol	11	Cwc	19	Consul
4	Orient	12	Fornax	20	Okapi
5	Hansen	13	Licord	21	L-1
6	Colver	14	ALice	22	Olara
7	Mobican	15	Parade	23	Regent * Cobra
8	Coctall	16	Syn-1	24	SLM 046

## نتایج و بحث

### طول دوره رشد

اختلاف بین رقم مذکور با دو رقم Consul و Coctall از نظر آماری معنی دار نبود، کمترین ارتفاع بوته نیز با متوسط ۱۲۲/۱ سانتی متر برای رقم PF.7045/91 ثبت شد (جدول ۵)، اختلاف بین بلندترین و کوتاستمترین رقم از نظر ارتفاع بوته ۳۷/۷ سانتی متر بود. وجود تنوع ژنتیکی از نظر ارتفاع بوته یک مزیت برای برنامه های به نژادی محسوب می شود، چرا که به انتخاب ارقام با ارتفاع مطلوب برای اهداف خاص (مانند مقاومت به ورس، عملکرد بیولوژیک بالاتر یا سهولت در برداشت) امکان پذیر می سازد. عدم اختلاف معنادار آماری بین رقم Symbol و ارقام Consul و Coctall می تواند نشان دهنده شباهت ژنتیکی یا وجود ژن های مشترک کنترل کننده این صفت در این ارقام باشد. وجود تنوع ژنتیکی در بین ارقام مختلف شامل دو رگ حاصل از تلاقی سه ژنوتیپ کلزای بهار پر محصول به عنوان آزمون گر<sup>۱</sup> تستر، با پنج ژنوتیپ کلزای بهار با عملکرد متوسط به عنوان ژنوتیپ های سازگار منطقه صفی آباد دزفول از نظر ارتفاع بوته در مطالعات دیگری نیز به اثبات رسیده است (Tariq et al., 2020). براساس نتایج جدول همبستگی بین صفات ارتفاع بوته با طول دوره رشد همبستگی مثبت و معنی دار داشت (جدول ۵)، این رابطه مثبت کاملاً منطقی و مبتنی بر اصول فیزیولوژیک گیاهی است. دوره رشد طولانی تر، فرصت

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد اختلاف بین ارقام از نظر طول دوره رشد در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). در این بررسی ارقام VDH8003-98 و Fornax با متوسط ۲۶۳ روز بالاترین تعداد روز تا رسیدگی را به خود اختصاص دادند، اختلاف بین ارقام مذکور با ارقام Okapi، Licord، Coctall، Hansen، Consul، Syn-1، Orcan و Symbol از نظر تعداد روز تا رسیدگی معنی دار نبود. کمترین تعداد روز تا رسیدگی با متوسط ۲۵۳ روز به ارقام PF.7045/91 و Regent\* Cobra اختصاص یافت (جدول ۵). در تحقیقی بر روی ژنوتیپ های مختلف کلزا ژنوتیپ T1 حداکثر تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی را به خود اختصاص داد (Morsi et al., 2023).

### ارتفاع بوته

نتایج نشان داد، بین ارقام مورد بررسی از نظر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی دار وجود دارد (جدول ۴). در این مطالعه اگرچه رقم Symbol با متوسط ۱۵۹/۸ سانتی متر بالاترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد، اما

<sup>1</sup> Tester

بیشتری برای تجمع بیوماس و طولی شدن میانگرها دارند. این یافته با نتایج مطالعات دیگر بر روی کلزا و سایر غلات نیز همخوانی دارد (Slafer et al., 2014; Poorter et al., 2012).

بیشتری برای انجام فرآیندهای نموی و رشد رویشی در اختیار گیاه قرار می‌دهد که به‌طور مستقیم بر افزایش ارتفاع بوته تأثیر می‌گذارد. به‌عبارت دیگر، گیاهان با فصل رشد طولانی‌تر زمان

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه گیری شده در کلزا

Table 4- Combined analysis of variance of traits measured in canola

میانگین مربعات									
Mean of Square									
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول دوره گلدهی	طول دوره رشد	ارتفاع بوته	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	درصد روغن	عملکرد دانه
S.O.V	Df	Flowering period	Length of growing	Plant height	No. of Pod per plant	No. of Seed per pod	1000 Seed weight	Oil content	Seed yield
سال (Y)	1	37.63 <sup>ns</sup>	18.13 <sup>ns</sup>	441.04 <sup>ns</sup>	405.42 <sup>ns</sup>	399.63 <sup>ns</sup>	0.71 <sup>ns</sup>	67.04 <sup>ns</sup>	19417716.47*
تکرار × سال	6	36.98	7.28	108.93	88.92	146.630	0.26	8.24	1595369.99
Repeat × Y									
واریته (V)	23	21.38 <sup>ns</sup>	56.80**	737.67**	1263.21**	10.938**	0.17**	11.22**	197570.13 <sup>ns</sup>
سال × واریته	23	18.57 <sup>ns</sup>	4.40 <sup>ns</sup>	133.56 <sup>ns</sup>	147.96 <sup>ns</sup>	2.77 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	9.76 <sup>ns</sup>	913807.94**
V × Y									
خطا	138	21.91	3.89	85.23	86.66	2.34	0.06	2.08	409218.02
Error									
درصد ضریب تغییرات		16.14	0.76	6.40	6.81	7.00	7.01	3.02	15.55
Cv %									

ns, \* و \*\* به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد آماری

ns, \* and \*\* not significant and significant at the level of five and one percent statistical probability, respectively

کردن دانه دارد و به‌طورمستقیم می‌تواند به عملکرد بالاتر منجر شود، مشروط بر اینکه مواد فتوسنتزی کافی برای پر کردن این غلاف‌ها وجود داشته باشد. در مطالعه وجود تفاوت‌های ژنتیکی معنادار در صفات مؤثر بر عملکرد، به‌ویژه تعداد خورجین در بوته، در مطالعات قبلی به‌وضوح به‌ثبت رسید (Rout et al., 2018). این پژوهش نشان داد که ارقامی با توانایی تولید تعداد غلاف بیشتر، به‌طور معمول به عملکرد نهایی دانه بالاتری دست یافتند که این موضوع بر اهمیت کلیدی این صفت در برنامه‌های به‌نژادی کلزا تأکید دارد. همچنین، در پژوهش دیگر وجود اختلاف معنادار بین ارقام کلزا را از نظر تعداد خورجین گزارش شده است که این تنوع را عمدتاً مرتبط با تفاوت در ظرفیت شاخه‌زایی و همچنین توانایی حفظ گل و غلاف در ژنوتیپ‌های مختلف مربوط دانسته‌اند (Tariq et al., 2020). این یافته‌ها حاکی از آن بود که این تنوع ژنتیکی، بستری مناسب برای انتخاب والدین برتر و استفاده در برنامه‌های هیبریداسیون و

### تعداد خورجین در بوته

در این بررسی بین ارقام مورد بررسی از نظر تعداد خورجین در بوته اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین تیمارها از نظر تعداد خورجین در بوته نشان داد، رقم Parade با متوسط ۱۶۳/۱ حداکثر تعداد خورجین در بوته را تولید کرد که اختلاف بین رقم مذکور با ارقام Orient، DP.948، Olara و Cwc از نظر آماری معنی‌دار نبود. در این بررسی کمترین تعداد خورجین در بوته با متوسط ۱۲۱/۵ و ۱۲۲/۶ به ارقام Syn-1 و Mobican اختصاص یافت. دامنه تغییرات برای تعداد خورجین در بوته در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی برابر ۴۱/۶ خورجین بود (جدول ۵). با توجه به اینکه تعداد خورجین در بوته یکی از اجزای اصلی و تعیین‌کننده در عملکرد نهایی دانه محسوب می‌شود، انتخاب ارقام با این صفت برتر، راهکاری کارآمد در جهت افزایش پتانسیل عملکرد است. یک بوته با تعداد غلاف بیشتر، سطح بیشتری برای پر

اصلاح نژاد فراهم می‌آورد.

### تعداد دانه در خورجین

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین ارقام از نظر تعداد دانه در خورجین بود (جدول ۴)، نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد رقم Parade با متوسط ۲۴/۷ حداکثر تعداد دانه در خورجین را به خود اختصاص داد، بین رقم مذکور و ارقام Cwc، Orient، Olara اختلاف از نظر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار نبود. حداقل تعداد دانه در خورجین با متوسط ۱۹/۵ و ۱۹/۷ دانه به ترتیب به دو رقم Syn-1 و Licord اختصاص یافت (جدول ۴). در تحقیقاتی جداگانه تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی در بین ژنوتیپ‌های مختلف کلزا از نظر تعداد دانه در غلاف اعلام شده است (Hassan et al., 2014; Nasim et al., 2013). در این آزمایش همبستگی تعداد دانه در خورجین با طول دوره گلدهی مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۶). وجود چنین ارتباطی نشانگر این موضوع است که با افزایش طول دوره گلدهی امکان باروری و تشکیل دانه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد (Kuppler et al., 2016). افزایش طول دوره گلدهی می‌تواند به تخصیص کارتر مواد فتوسنتزی به غلاف‌های در حال توسعه منجر شود، که در نهایت ظرفیت پر شدن دانه (تعداد دانه در غلاف) را افزایش می‌دهد (Gilani et al., 2018). بنابراین، انتخاب برای ارقام با دوره گلدهی طولانی‌تر، به شرط عدم تداخل با طول کلی چرخه رشد، می‌تواند یک راهکار مؤثر برای بهبود این جزء کلیدی از عملکرد باشد.

### وزن هزار دانه

در این مطالعه وزن هزار دانه به صورت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر ژنوتیپ بود (جدول ۴)، نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد رقم Orient با متوسط ۳/۹ گرم حداکثر وزن هزار دانه را تولید کرد، درحالی‌که کمترین وزن هزار دانه با متوسط ۳/۳ گرم برای ارقام EuroI و Mobican ثبت شد (جدول ۵). وجود اختلاف معنادار بین ارقام از نظر وزن هزار دانه، نشان‌دهنده تأثیر قوی اثرات ژنتیکی بر کنترل این صفت است. برتری رقم Orient می‌تواند ناشی از کارایی بالاتر در جذب و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها،

مدت زمان طولانی‌تر دوره پر شدن دانه، و یا ظرفیت ژنتیکی بالاتر برای ذخیره مواد در دانه باشد. از سوی دیگر، عملکرد پایین‌تر ارقامی مانند EuroI و Mobican ممکن است به دوره پر شدن دانه کوتاه‌تر، یا اختلال در انتقال مواد پرورده به دانه‌ها مرتبط باشد (Zhang et al., 2017). وجود تنوع ژنتیکی معنی‌دار برای صفت وزن هزار دانه در کلزا توسط مطالعات متعدد تأیید شده است. دامنه وسیعی (۲/۸ تا ۴/۵ گرم) بین ژنوتیپ‌های مختلف کلزا از نظر وزن هزار دانه گزارش شده است (Meena et al., 2017). این تنوع در وزن هزار دانه در مطالعات قبلی نیز تأیید و بر نقش کلیدی این صفت در عملکرد تأکید شده است (Sabaghnia et al., 2010; Tariq et al., 2020).

### درصد روغن

نتایج نشان داد اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر درصد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴)، در بین ارقام مورد بررسی بالاترین درصد روغن دانه با متوسط ۵۱/۶ درصد برای رقم Regent\*Cobra ثبت شد، کمترین درصد روغن نیز با میانگین ۴۶/۰ درصد برای دو رقم Symbol و Fornax ثبت شد (جدول ۵). وجود اختلاف معنی‌دار بین ارقام از نظر درصد روغن، نشان‌دهنده کنترل قوی ژنتیکی بر متابولیسم و ذخیره روغن در دانه‌های کلزا است. برتری رقم Regent\*Cobra احتمالاً ناشی از کارایی بالاتر در مسیرهای بیوسنتز اسیدهای چرب، تجمع بهتر ذخایر لیپیدی و تخصیص کارآمدتر کربن به سمت سنتز روغن به جای پروتئین است (Goffman and Becker, 2002). از سوی دیگر، همبستگی مثبت بین درصد روغن و تعداد دانه در خورجین می‌تواند نشان‌دهنده هماهنگی فیزیولوژیک بین توسعه غلاف و پر شدن دانه باشد. ممکن است ژنوتیپ‌هایی که شرایط بهتری برای تشکیل دانه‌های بیشتر فراهم می‌کنند، منابع کربنی بیشتری نیز برای سنتز روغن در اختیار داشته باشند (Weselake et al., 2009). این یافته که دامنه تغییرات درصد روغن به ۵/۶ درصد می‌رسد، از اهمیت اقتصادی و کاربردی بالایی برخوردار است. اظهار شده است که درصد روغن از وراثت‌پذیری مناسبی برخوردار است و می‌توان از آن به‌عنوان معیاری مطمئن در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود کیفیت دانه کلزا استفاده شود (Khayat et al., 2010; Tariq et al., 2020; Morsi et al., )

همبستگی مثبت بین تعداد دانه در خورجین و درصد روغن کلزا عمدتاً ناشی از ایجاد یک مقصد قوی (Strong Sink) است. یک خورجین با دانه‌های بیشتر، سیگنال قوی‌تری برای جذب کربوهیدرات‌ها و سایر مواد فتوسنتزی ارسال می‌کند که این امر سنتز و ذخیره‌سازی روغن را در هر دانه بهبود می‌بخشد (Fortescue and Turner, 2007).

(2023). همچنین، پایداری عملکرد روغن در ژنوتیپ برتر تحت شرایط مختلف آبیاری به اثبات رسیده است که نشان‌دهنده پتانسیل انتخاب برای ارقام پایدار با درصد روغن بالا در شرایط محیطی متغیر است (Morsi et al., 2023). در این مطالعه همبستگی درصد روغن دانه کلزا با تعداد دانه در خورجین مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۶). طبق مطالعات،

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های ژنوتیپ‌های کلزا زمستانه از نظر صفات مورد بررسی

Table 5- Mean comparison of winter canola genotypes in terms of investigated traits

ژنوتیپ Genotype	طول دوره گلدهی Flowering (day)period	طول دوره رشد Length of growing (day)	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	تعداد خورجین در بوته No. of Pod per plant	تعداد دانه در خورجین No. of Seed per pod	وزن هزار دانه 1000 Seed weight	درصد روغن Oil percentage
DP.948	30.2a	258bc	149.1a-d	154.8ab	22.7a-d	3.8a	48.2bcd
Symbol	27.3a	261ab	1159.8a	124fgh	21.8a-f	3.6ab	46.0d
Eurol	31a	256cd	145.9a-d	145b-e	22.8a-d	3.3b	48.9b
Orient	30.8a	256cd	142.1bcd	158.1ab	23.3ab	3.9a	48.5bc
Hansen	27.3a	262a	144.6a-d	129.5efg	22.6a-d	3.6ab	47.6bcd
Colver	27.6a	260ab	139.5cd	133.1efg	21.5a-f	3.7ab	46.7bcd
Mobican	28.7a	260ab	142.4bcd	122.6fgh	20.7b-f	3.3b	47.7bcd
Coctall	27.6a	262a	156.6ab	144.1b-e	21b-f	3.8a	46.8bcd
Orcan	28.2a	261ab	149.3a-d	133.5efg	23.1abc	3.5ab	48.4bcd
PF.7045/91	29a	253f	122.1e	131.3efg	20.6d-f	3.7ab	47.1bcd
Cwc	27.3a	260ab	147.1a-d	151.6a-d	23.7a	3.5ab	46.1cd
Fornax	31.7a	263a	146.8a-d	128fg	22.2a-e	3.8a	46.0d
Licord	29.1a	262a	153abc	137.3d-g	19.7f	3.7ab	46.4bcd
ALice	30.3a	259ab	150.9a-d	131efg	22.4a-e	3.7ab	48.6b
Parade	28.1a	259ab	150.3a-d	163.1a	24.7a	3.6ab	48.2bcd
Syn-1	32.6a	261ab	141.9bcd	121.5h	19.5f	3.6ab	48.2bcd
VDH8003-98	29.8a	263a	145.8a-d	143b-e	22.8a-d	3.7ab	47.9bcd
Akamar	26.8a	260ab	139.5cd	133.8efg	21.2a-f	3.7ab	47.4bcd
Consul	26.8a	261ab	157.6ab	127.5fgh	21.7a-f	3.4ab	47.4bcd
Okapi	29.1a	262a	136d	139.8c-f	22.7a-d	3.8a	48.2bcd
L-1	28.5a	260ab	149.3e	132efg	21b-f	3.7ab	48.0bcd
Olara	27.5a	260ab	137.4cd	153.1abc	23.3ab	3.8a	47.8bcd
Regent * Cobra	26.5a	253df	138.9cd	143.9b-e	22.3a-d	3.7ab	51.6a
SLM 046	30.3a	260ab	146.8a-d	126.4fgh	20.3def	3.6ab	47.1bcd

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند

In each column, averages with common characters do not have a significant difference at the 5% level.

## عملکرد دانه

عملکرد دانه یکسان نبوده است، نتایج نشان داد در مجموع ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سال اول از عملکرد دانه بالاتری در مقایسه با سال دوم برخوردار بودند. به نظر می‌رسد شرایط جوی در سال اول آزمایش شرایط مطلوب‌تری را برای رشد، تلقیح و همچنین افزایش اجزای مؤثر بر عملکرد دانه فراهم ساخته است. نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد در سال اول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر سال و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثر متقابل سال و رقم قرار داشت (جدول ۴). وجود اثر متقابل معنی‌دار بین سال با رقم از نظر عملکرد دانه بیانگر این است که واکنش ارقام در دو سال آزمایش از نظر

تجزیه واریانس سه گروه ژنوتیپ از نظر صفات مورد بررسی نشان داد، اختلاف بین گروه‌ها از نظر طول دوره رشد و تعداد خورجین در بوته در سطح احتمال یک درصد و از نظر ارتفاع بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین سه گروه نشان داد، گروه اول که در برگیرنده ارقام Cwc, Parade, Regent\*Cobra و PF.7045/91, DP.948, Orient, Euro1 بودند، از مقادیر تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل گروه‌ها و از نظر دوره رویشی و ارتفاع بوته کمتر از میانگین کل گروه‌ها برخوردار بود. این گروه که از عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه بالاتری در مقایسه با دو گروه دیگر برخوردار بودند، به‌عنوان برترین کلاستر شناسایی شدند. گروه دوم نیز که شامل ارقام Akamar, Olara, Colver, Okapi و VDH8003-98 بود، از نظر طول دوره رشد، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین از مقادیر بالاتر و از نظر ارتفاع بوته از مقادیر پایین‌تر از میانگین کلیه گروه‌ها برخوردار بود، لازم به ذکر است اگر گروه دوم از مقادیر عملکرد دانه پایین‌تر از میانگین سه گروه برخوردار بود اما اختلاف عملکرد دانه در گروه اول و دوم معنی‌دار نبود، قسمت اعظم ارقام مورد بررسی (۵۰ درصد کل ارقام) در گروه سوم قرار می‌گرفتند. این ارقام که شامل SLM 046, Symbol, Licord, Fornax, Orcan, Coctall, Mobican, Hansen, Syn-1, Consul و L-1 بودند. از مقادیر طول دوره رشد و ارتفاع بوته بالاتر از میانگین کل گروه‌ها و از تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه کمتر از میانگین کل کلاسترها برخوردار بودند. گروه‌بندی صفات به‌روش هیت‌مپ حاکی از آن بود که صفات ارتفاع بوته و طول دوره رشد در یک گروه (گروه ۱) قرار داشتند، درصد روغن دانه، عملکرد دانه، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین نیز با یکدیگر در یک گروه مجزای دیگر (گروه ۲) قرار گرفتند، صفات وزن هزار دانه و طول دوره گلدهی نیز هر یک به تنهایی در یک خوشه (گروه ۳ و ۴) قرار گرفتند. نتایج آنالیز کلاستر نشان داد که ارقام کلزا از نظر سازگاری با شرایط مناطق سرد شمال غرب کشور به سه گروه متمایز تقسیم می‌شوند. گروه برتر (شامل ارقامی مانند Parade و Cwc) با دارا بودن دوره رشد کوتاه‌تر و ارتفاع بوته کمتر، منابع را به‌طور کارآمد به سمت

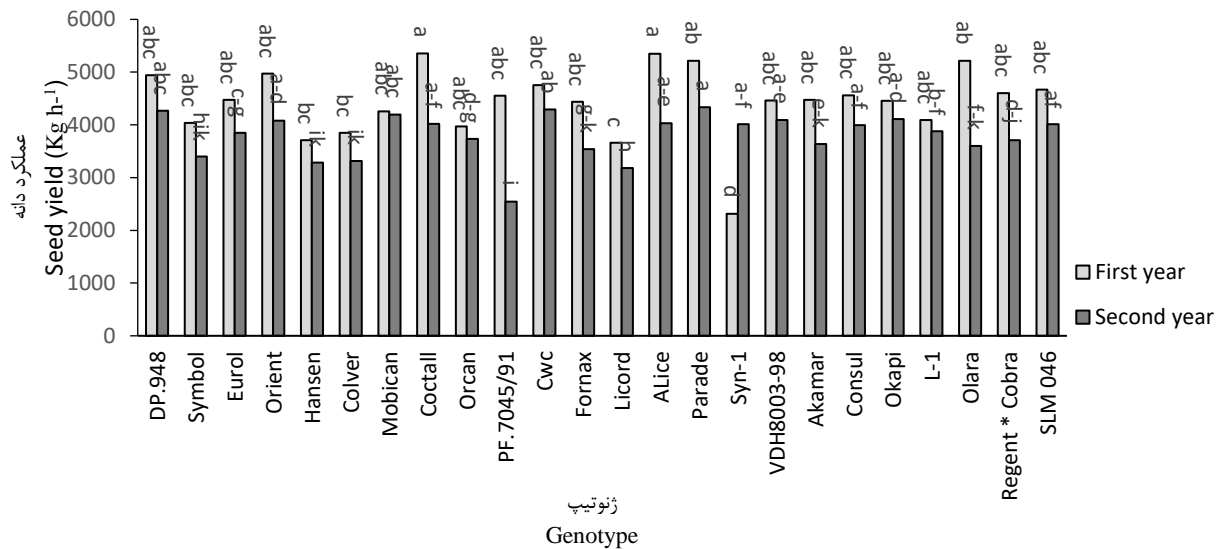
ارقام Coctall, Alice, Olara, Parade و Cwc به‌ترتیب با متوسط ۵۳۵۵، ۵۳۴۹، ۵۲۱۶، ۵۲۱۶ و ۴۷۵۵ کیلوگرم در هکتار حداکثر عملکرد دانه را به‌خود اختصاص دادند، کمترین عملکرد دانه در سال اول با متوسط ۲۳۱۵ کیلوگرم در هکتار به رقم Syn-1 اختصاص یافت. در سال دوم اگر چه رقم Parade با متوسط ۴۳۳۲ کیلوگرم در هکتار حداکثر عملکرد دانه را تولید کرد اما اختلاف بین این رقم با ارقام Cwc, DP.948, Mobican, Okapi, VDH8003-98, Orient, Alice, Coctall و Syn-1 SLM 046 معنی‌دار نبود. کمترین عملکرد دانه در سال دوم با متوسط ۲۵۴۵ کیلوگرم در هکتار برای رقم PF.7045/91 ثبت شد. همان‌طوری که مشاهده می‌شود ارقام Coctall, Alice, Parade و Cwc در هر دو سال زراعی از عملکرد دانه بالایی در مقایسه با دیگر ارقام برخوردار بودند (شکل ۱)، می‌توان اظهار داشت که پتانسیل ژنتیکی عملکرد دانه در این ارقام بالاست و عملکرد دانه در این ارقام کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. همچنین دلیل بالا بودن عملکرد دانه در این ارقام را می‌توان به بالا بودن اجزای عملکرد دانه به‌خصوص تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین نسبت داد. نشان داده شده است که سه ژنوتیپ کلزای T1، T2 و T3 حداکثر عملکرد دانه را در بین ۱۰ ژنوتیپ کلزا به‌خود اختصاص داده‌اند (Morsi et al., 2023). در مطالعات جداگانه وجود تنوع ژنتیکی در عملکرد دانه‌ی ارقام جدید کلزای بهاره شامل Serw 4, Pactol, Serw 10 و Line 51 بود (Kandil et al., 2017). Serw-4, Pactol, Siberian, S1, S2, S3, Torpe, T1، T2 و T3 تحت شرایط تنش کم‌آبی به اثبات رسیده است (Morsi et al., 2023). براساس نتایج جدول همبستگی بین صفات، در این مطالعه عملکرد دانه به‌صورت مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین قرار داشت (جدول ۵). بر این اساس با افزایش تعداد خورجین و دانه در خورجین عملکرد دانه افزایش خواهد یافت، با توجه به اینکه صفات مذکور از اجزای عملکرد دانه در کلزا است، وجود چنین ارتباطی قابل پیش‌بینی بود.

### تجزیه کلاستر

نتایج آنالیز کلاستر به‌روش هیت‌مپ ژنوتیپ‌ها را به سه گروه و صفات را به چهار گروه تقسیم کرد (شکل ۲)، نتایج

گروه سوم که اکثریت ارقام را شامل می‌شد، با تأکید بر رشد رویشی (قد بلند و دوره رشد طولانی) و تخصیص ناکارآمد منابع، عملکرد پایینی را نشان دادند.

تولید اجزای عملکرد کلیدی (تعداد خورجین و دانه بیشتر) هدایت کرده و بالاترین عملکرد دانه را ایجاد کردند. گروه دوم با وجود بر خورداری از صفات مطلوب، به دلیل احتمالاً پایداری کمتر در پر کردن دانه، به عملکرد پایین تری رسیدند. در مقابل،



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه ارقام کلزا در دو سال آزمایش

Figure 1- Mean comparison of canola cultivars in terms of grain yield in two experimental years

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در کلزا در دو سال آزمایش

Table 6- Correlation coefficient between the studied traits in rapeseed in two years of experiment

طول دوره گلدهی	طول دوره رشد	ارتفاع بوته	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	درصد روغن	عملکرد دانه
Flowering period	Length of growing	Plant Height	No. of Pod per plant	No. of Seed per pod	1000 Seed weight	Oil content	Seed yield
طول دوره گلدهی	1						
طول دوره رشد	0.01 <sup>ns</sup>	1					
ارتفاع بوته	-0.08 <sup>ns</sup>	0.50 <sup>**</sup>	1				
تعداد خورجین در بوته	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.17 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	1			
تعداد دانه در خورجین	0.42 <sup>**</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	1		
وزن هزار دانه	0.03 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	-0.13 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	1	
درصد روغن	0.01 <sup>ns</sup>	-0.05 <sup>ns</sup>	-0.24 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>*</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	1
عملکرد دانه	-0.08 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	0.53 <sup>**</sup>	0.33 <sup>**</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>

ns, \* and \*\* به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد آماری

ns, \* and \*\* not significant and significant at the level of five and one percent statistical probability, respectively

کمبود آب به چهار گروه دسته‌بندی شدند (Morsi *et al.*, 2023). گروه‌بندی صفات و ژنوتیپ‌ها به روش هیت‌مپ نیز در محصول چغندر قند صورت گرفته است (Hamze *et al.*, 2023). به طوری که در آن صفات مرتبط با بیمار ژنوتیپ‌های متحمل به بیماری در کلاسترهای مجزا قرار گرفتند.

همبستگی قوی بین صفات عملکردی و درصد روغن در یک خوشه مجزا، امکان انتخاب همزمان برای عملکرد و کیفیت را در برنامه‌های به‌نژادی نشان می‌دهد. در آزمایشی مشاهده شد ۶۶ ژنوتیپ مختلف کلزا با استفاده از آنالیز خوشه‌ای به چهار گروه مجزا دسته‌بندی شدند (Norouzi *et al.*, 2023). در تحقیقی دیگر ۱۰ ژنوتیپ کلزا براساس شاخص‌های مقاومت به تنش

جدول ۷- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین گروه‌های حاصل از آنالیز کلاستر در مجموع دو سال

Table 7- Analysis of variance and mean comparison of group resulting from cluster analysis in two years

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی Df	طول دوره گلدهی Flowering period	طول دوره رشد Length of growing	ارتفاع بوته Plant height	تعداد خورجین در بوته No. of Pod per plant	تعداد دانه در خورجین No. of Seed per pod	وزن هزار دانه 1000 Seed weight	درصد روغن Oil content	عملکرد دانه Seed yield
بین گروه‌ها B.G	2	1.45 <sup>ns</sup>	51.80 <sup>**</sup>	240.66 <sup>*</sup>	899.07 <sup>**</sup>	5.35 <sup>*</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	2.33 <sup>ns</sup>	286486 <sup>*</sup>
درون گروه‌ها W.G	21	2.95	3.22	47.75	66.40	1.33	0.02	1.32	191363
کلاستر ۱ CL1	-	28.98a	256.43b	142.21b	149.69a	22.87a	3.64a	48.37a	4327.7a
کلاستر ۲ CL2	-	28.16a	261.00a	139.64b	140.56a	22.26ab	3.72a	47.60a	4120.6ab
کلاستر ۳ CL3	-	29.03a	261.02a	149.92a	129.78b	21.35b	3.61a	47.35a	3987.2b
میانگین Mean	-	28.72	259.48	143.92	140.01	22.16	3.65	47.73	4145.16

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند

In each column, averages with common characters do not have a significant difference at the 5% level.

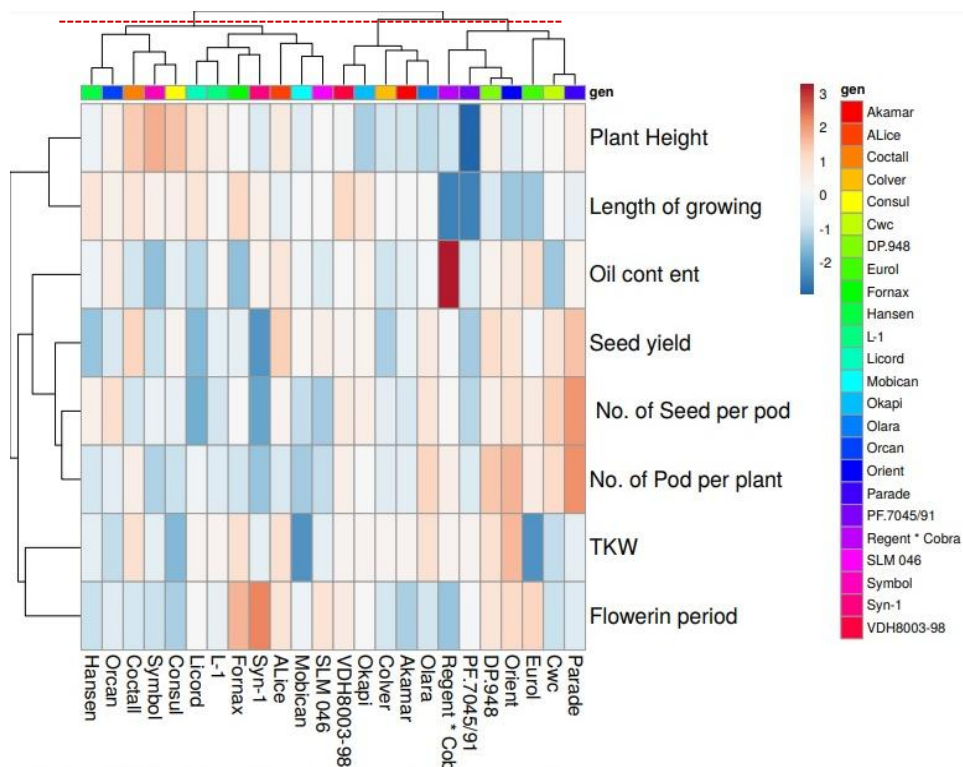
بردارهای صفات عملکردی و دو جزء آن نشان‌دهنده مطلوب بودن ارقام ذکر شده از لحاظ تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه است. لازم به ذکر است که ژنوتیپ‌های ناحیه اول در جهت متضاد بردار طول دوره گلدهی بودند که نشان‌دهنده پایین بودن طول دوره گلدهی در این ارقام است. در ناحیه دوم (بالا سمت راست) ارقام Orcan، Hansen، Licord، Symbol، Fornax و Consul در مجاورت بردار صفات ارتفاع بوته و طول دوره رشد قرار گرفتند، مؤلفه دوم که با صفات رویشی (ارتفاع بوته و طول دوره رشد) همبستگی قوی نشان داد، به‌عنوان مؤلفه رشد رویشی شناخته می‌شود. قرار گرفتن صفات و ژنوتیپ‌های مذکور در کنار یکدیگر بیانگر بالا بودن ارتفاع و طول دوره رشد در ارقام Orcan، Hansen، Licord، Symbol، Fornax و Consul در مقایسه با دیگر ارقام است، همچنین ارقام مذکور

### تجزیه به عامل‌ها و بای پلات

در این بررسی دو عامل اصلی شناسایی شدند که در مجموع ۵۴/۷ درصد از کل واریانس داده‌ها را تبیین کردند، می‌توان اظهار داشت هشت صفت مورد بررسی به دو عامل مجزا از یکدیگر خلاصه شدند (شکل ۳). در ناحیه اول (بالا سمت چپ) ارقام Parade، Olara، DP.948، Alice، VDH8003-98، Coctall و Cwc قرار گرفتند، این ارقام در کنار صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه قرار داشتند. مؤلفه اول که عمدتاً با صفات عملکردی (تعداد خورجین، تعداد دانه و عملکرد دانه) همبستگی مثبت داشت، به‌عنوان مؤلفه کارایی زایشی تفسیر می‌شود. این مؤلفه نشان‌دهنده توانایی ژنوتیپ در انتقال موثر مواد فتوسنتزی به بخش‌های زایشی است. قرارگیری ژنوتیپ‌های مذکور در کنار

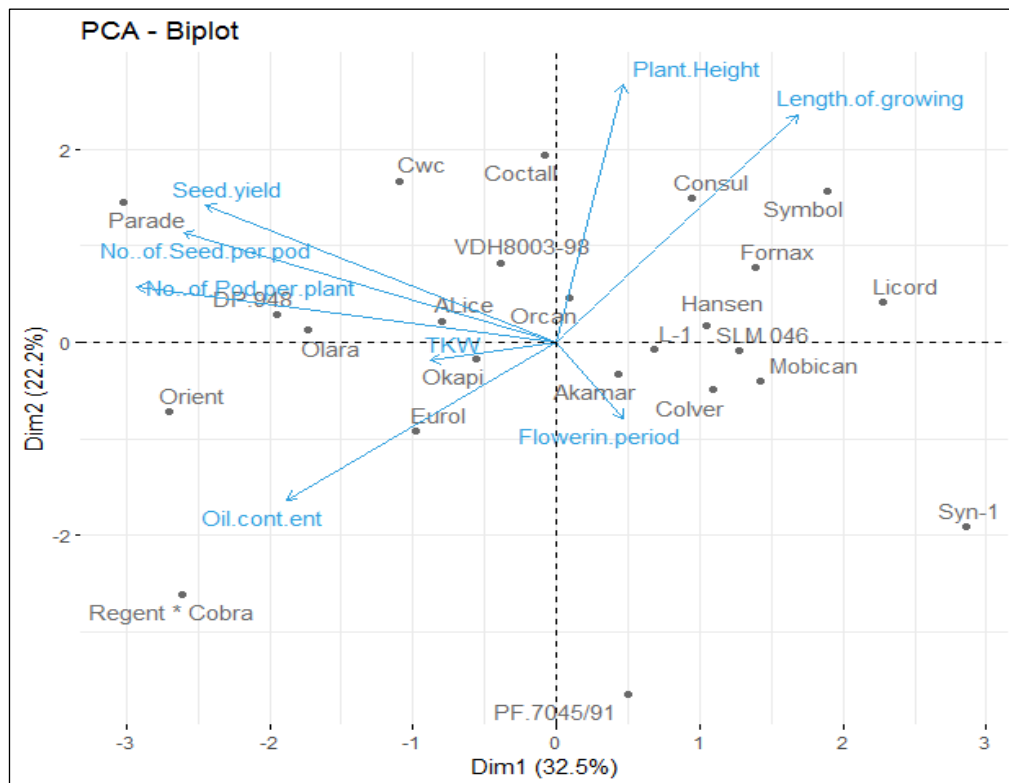
مطلوب، از ارتفاع کوتاه تر و دوره رشد فشرده تر برخوردارند که بیانگر کارایی بالای فتوسنتزی و تخصیص بهینه منابع به دانه به جای توسعه بیوماس رویشی است. در مطالعه‌ای بر روی ارقام کلزا شش عامل شناسایی شدند که در مجموع ۸۲ درصد از کل واریانس داده‌ها را تبیین کردند. همچنین نتایج تجزیه به عامل‌ها در مطالعه دیگر برای ۱۰ صفت مورد بررسی در کلزا موجب شناسایی سه عامل شد (Rameeh, 2012). در مطالعه دیگر بر روی ۱۵ رقم کلزا شش مؤلفه اول شناسایی شد که در مجموع ۸۹/۲۰ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد (Arshadi Bidgoli et al., 2018). با استفاده از آنالیز بای پلات در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا نشان داده شد ۷۸/۳۶ درصد از کل واریانس داده‌ها توسط دو مؤلفه اول تبیین شدند (Morsi et al., 2023). استفاده از روش بای پلات برای گروه‌بندی صفات و تیمارها در مطالعات دیگری نیز بر روی محصول چغندر قند انجام شده است (Hamze et al., 2025). در این آزمایش خصوصیات مرتبط با عملکرد ریشه در مجاورت تیمارهای محلول‌پاشی با جاسمونیک‌اسید قرار گرفتند، که بیانگر ارتباط نزدیک صفات با تیمارهای اعمال شده بود.

در جهت متضاد بردارهای وزن هزار دانه و درصد روغن بودند که نشان‌دهنده مقادیر پایین وزن هزار دانه و درصد روغن در این ارقام است. ارقام L-Syn-1, Mobican, Colver, Akamar, PF.7045/91 و SLM 046 در ناحیه سه بای پلات (پایین سمت راست) و در نزدیکی بردار صفت طول دوره گلدهی قرار داشتند. همچنین این ارقام در ناحیه‌ای واقع بودند که در جهت مخالف بردارهای تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه بود، قرار گرفتن این ارقام در این ناحیه نشان‌دهنده این است که ژنوتیپ‌های مذکور دارای دوره گلدهی طولانی‌تر اما عملکرد زایشی پایین‌تر هستند. به نظر می‌رسد این ارقام انرژی بیشتری را به توسعه رویشی اختصاص داده و در تبدیل این پتانسیل به عملکرد دانه ناکام هستند. در ناحیه چهارم بای پلات (پایین سمت چپ) ارقام Orient, Euro1, Okapi و Regent \*Cobra قرار گرفتند که با صفات وزن هزار دانه و درصد روغن دانه همسو و با صفات ارتفاع بوته و طول دوره رشد غیر همسو بودند. این ارتباط نشان‌دهنده بالا بودن وزن هزار دانه و درصد روغن و پایین بودن مقادیر ارتفاع بوته و طول دوره رشد در این ارقام است. این جایگاه نشان می‌دهد که این ارقام با وجود برخورداری از وزن هزار دانه بالا و درصد روغن



شکل ۲- دندروگرام هیت‌مپ گروه‌بندی ارقام کلزا و صفات مورد بررسی در مجموع دو سال آزمایش

Figure 2- Dendrogram heatmap grouping of rapeseed cultivars and traits studied in a total of two years of experimentation



شکل ۳- نمودار بای پلات گروه بندی ارقام کلزا و صفات مورد بررسی در مجموع دو سال آزمایش

Figure 3- Biplot diagram of grouping of rapeseed cultivars and investigated traits in a total of two years of experiment.

داشتند، نسبت داد. همچنین دو رقم مذکور در خوشه‌ای از دندروگرام و در ناحیه‌ای از بای پلات قرار داشتند که از نظر عملکرد و اجزای عملکرد نسبت به دیگر خوشه‌ها و ناحیه‌ها برتر بود. بنابراین با توجه به نتایج، کشت دو رقم Parade و Cwc در منطقه مورد آزمایش می‌تواند به حصول حداکثر عملکرد دانه کمک نماید. این مطالعه نشان می‌دهد که با انتخاب ارقام سازگار و پربازده، می‌توان به بهبود عملکرد و کیفیت محصول کلزا در شرایط آب‌وهوایی سرد شمال غرب کشور کمک کرد.

### نتیجه گیری کلی

در این مطالعه تنوع ژنتیکی مناسبی از نظر صفات مورد بررسی یافت شد، بنابراین از این تنوع ژنتیکی می‌توان در گزینش ارقام مناسب جهت کشت پاییزه استفاده کرد. در بین ارقام مورد بررسی، دو ژنوتیپ Parade و Cwc از عملکرد دانه بالایی برخوردار بودند، بالا بودن عملکرد دانه در این دو رقم را می‌توان به بالا بودن تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین که همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه

### References

- Abdollahi Hesar, A., Sofalian, O., Alizade, B., Asghari, A. and Zali, H., 2020. Evaluation of some autumn rapeseed genotypes based on morphological traits and SIIG index. *Journal of Crop Breeding*, 12(34), pp.151-159. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.12.34.151>
- Arshadi Bidgoli, M., Amiri Oghan, H., Fotokian, M.H. and Alizadeh, B., 2018. Evaluation of diversity and relationship among yield and yield components of rapeseed genotypes (*Brassica napus* L.). *Journal of Crop Breeding*, 10(27), pp.115-124. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.10.27.115>
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Database. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed on 17 January 2022).

- Fortescue, J.A. and Turner, D.W., 2007. Changes in seed size and oil accumulation in *Brassica napus* L. by manipulating the source–sink ratio and excluding light from the developing siliques. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(5), pp.413-424. <https://doi.org/10.1071/ar06249>
- Gilani, A., Siadat, S.A., Jalali, S. and Limouchi, K., 2018. Study of assimilate remobilization as affected by heat stress in rice cultivars in north of Khuzestan. *Journal of Plant production Sciences*, 8(1), pp.49-57.
- Goffman, F.D. and Becker, H.C., 2002. Genetic analysis of tocopherol content and composition in winter rapeseed. *Plant Breeding*, 121(4), pp.349-351.
- Hamze, H., Asghri, A., Mohammadi, S.A., Sofalian, O. and Mohammadi, S., 2019. Grouping of spring wheat recombinant inbred lines in term of phenological and partitioning of assimilates in normal and water deficit conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(4), pp.989-1002. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1429.1311>
- Hamze, H., Khalili, M., Mir-Shafiee, Z. and Nasiri, J., 2025. Integrated biomarker response version 2 (IBRv2)-assisted examination to scrutinize foliar application of Jasmonic acid (JA) and Zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) toward mitigating drought stress in sugar beet. *Journal of Plant Growth Regulation*, 44, pp.316–334. [In Persian]. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11475-9>
- Hamze, H., Mansouri, H., Hassani, M. and Sadeghzadeh Hemayati, S., 2023. Evaluation of new O-type lines of sugar beet resistant to root and crown rhizoctonia rot in the conditions of microplot artificial contamination. *Journal of Sugar Beet*, 39(2), pp.125-138. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/jsb.2024.365029.1347>
- Hamzei, J. and Soltani, J., 2012. Deficit irrigation of rapeseed for water-saving: Effects on biomass accumulation, light interception and radiation use efficiency under different N rates. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 155, pp.153–160. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.010>
- Hassan, E.U., Mustafa, H.S.B., Bibi, T. and Mehmood, T., 2014. Genetic variability, correlation and path analysis in advance lines of rapeseed (*Brassica napus*) for yield components. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 47(1), pp.71-79. <https://doi.org/10.2478/cerce-2014-0008>
- Jobson, J., 2012. Applied Multivariate Data Analysis: Volume II: Categorical and Multivariate Methods. Springer Science & Business Media, 732 pp.
- Kandil, A., Sharief, A., El-Mohandes, S.I. and Keshta, M., 2017. Performance of canola (*Brassica napus* L.) genotypes under drought stress. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2, pp.653–661. <https://doi.org/10.22161/ijeab/2.2.12>
- Khayat, M., Lack, Sh. and Karami, H., 2012. Correlation and path analysis of traits affecting grain yield of canola (*Brassica napus* L.) varieties. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(6), pp.5555-5562.
- Kuppler, J., Hofers, M.K., Wiesmann, L. and Junker, R.R., 2016. Time-invariant differences between plant individuals in interactions with arthropods correlate with intraspecific variation in plant phenology, morphology and floral scent. *New Phytologist*, 210(4), pp.1357-1368. <https://doi.org/10.1111/nph.13858>

- Majidi, M.M. and Mirlohi, A.F., 2009. Genetic variation, heritability and correlations of agro-morphological traits in tall fescue (*Festuca arundinacea*). *Euphytica*, 167, pp.323-331. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-9887-6>
- Majidi, M.M., Ghahdarjani, M.J., Rashidi, F. and Mirlohi, A., 2016. Relationship of different traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under normal and drought conditions. *Journal of Crop Breeding*, 8(17), pp.50-65. [In Persian]. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jcb.8.17.65>
- Meena, H.S., Kumar, A., Singh, V.V., Meena, P.D., Ram, B. and Kulshrestha, S., 2017. Genetic variability and inter-relation of seed yield with contributing traits in Indian mustard (*Brassica juncea*). *Journal of Oilseed Brassica*, 8(2), pp.131-137.
- Moradi, M., Soltani Hoveize, M. and Shahbazi, E., 2017. Study the relations between grain yield and related traits in canola by multivariate analysis. *Journal of Crop Breeding*, 9(23), pp.187-194. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.9.23.187>
- Morsi, N.A.A., Hashem, O.S.M., El-Hady, M.A.A., Abd-Elkrem, Y.M., El-temsah, M.E., Galal, E.G., Gad, K.I., Boudiar, R., Silvar, C. and El-Hendawy, S., 2023. Assessing drought tolerance of newly developed tissue-cultured canola genotypes under varying irrigation regimes. *Agronomy*, 13, No.836. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030836>
- Nasim, A., Farhatullah, S., Iqbal, S., Shah, S.M. and Azam, A., 2013. Genetic variability and correlation studies for morpho-physiological traits in *Brassica napus* L. *Pakistan Journal of Botany*, 45(4), pp.1229-1234.
- Norouzi, M.A., Ahangar, L., Payghamzadeh, K., Sabouri, H. and Sajadi, S.J., 2023. Investigating the relationship between grain yield and yield components in spring rapeseed cultivars using multivariate analysis. *Journal of Plant Production Research*, 30(3), pp.85-100. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/jopp.2023.20680.2971>
- Onacik-Gür, S. and Żbikowska, A., 2020. Effect of high-oleic rapeseed oil oleogels on the quality of short-dough biscuits and fat migration. *Journal of Food Science and Technology*, 57, pp.1609–1618. [In Persian]. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04193-8>
- Poorter, H., Niklas, K.J., Reich, P.B., Oleksyn, J., Poot, P. and Mommer, L., 2012. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193(1), pp.30-50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>
- Rameeh, V., 2012. Correlation and factor analyses of quantitative traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 1(1), pp.2319-1473.
- Rout, S., Kerkhi, S.A. and Chauhan, C., 2018. Character association and path analysis among yield components in Indian mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern and Coss). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), pp.50-55. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.007>
- Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B. and Mohghaddam, M., 2010. Interrelationships between seed yield and 20 related traits of 49 canola (*Brassica napus* L.) genotypes in non-stressed and water-stressed environments. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(2), pp.356-370. <https://doi.org/10.5424/sjar/2010082-1195>
- Slafer, G.A., Savin, R. and Sadras, V.O., 2014. Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research*, 157, pp.71-83. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.004>

- Tariq, H., Tanveer, S.K., Qamar, M., Javaid, R.A., Vaseer, S.G., Jhanzab, H.M., Hassan, M.J. and Iqbal, H., 2020. Correlation and path analysis of *Brassica napus* genotypes for yield related traits. *Life Science Journal*, 17(8), pp.22-34. [In Persian]. <https://doi.org/10.7537/marslsj170820.05>
- Weselake, R.J., *et al.*, 2009. Increasing the flow of carbon into seed oil. *Biotechnology Advances*, 27(6), pp.866-878. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.07.001>
- Wu, W., Ma, B. and Whalen, J.K., 2018. Enhancing rapeseed tolerance to heat and drought stresses in a changing climate: Perspectives for stress adaptation from root system architecture. *Advances in Agronomy*, 151, pp.87–157. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.04.002>
- Zhang, H., Berger, J.D. and Herrmann, C., 2017. Yield stability and adaptability of canola (*Brassica napus* L.) in multiple environment trials. *Euphytica*, 213(7), p.155. <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1948-7>



## Investigating the yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.) in different patterns of intercropping with safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under weed control and non-control conditions

Jalil Shafagh- kolvanagh <sup>a</sup>, Fariborz Shekari <sup>b</sup>, Abdullah Jawanmard <sup>c</sup>, Mina Amani <sup>d</sup>, Zohreh Saeli-Ashan <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Department of Plant Ecophysiology, Department of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>b</sup> Department of Plant Genetics and Production Engineering, Crop Physiology Department, Maragheh University of Basic Sciences, Maragheh, Iran

<sup>c</sup> Department of Production Engineering and Plant Genetics, Crop Ecology, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

<sup>d</sup> Ph.D. Student, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>e</sup> M. Sc. Graduate, Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

\*Corresponding Author: [shafagh.jalil@gmail.com](mailto:shafagh.jalil@gmail.com)

Received: 10 December 2024 Accepted: 29 February 2025 DOI: 10.22034/CSRAR.2025.493200.1456

### How to cite this article:

Shafagh- kolvanagh, J., Shekari, F., Jawanmard, A., Amani, M. and Saeli-Ashan, Z., 2025. Investigating the yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.) in different patterns of intercropping with safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under weed control and non-control conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 723-737. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.493200.1456>

### Abstract

**Introduction:** One of the most important factors reducing the yield of agricultural products is the competition from weeds. Weeds are considered as one of the complementary components of agricultural ecosystems and an integral part of agricultural systems. Due to the destructive effects caused by competition on the yield of crops, weeds are known as an undesirable part of agricultural ecosystems and are considered one of the most important factors that reduce crop yields. Weed control is usually listed as one of the advantages of intercropping. In mixed cultivation, due to various reasons such as increased vegetation cover, increased competition, and higher initial growth rate, the amount and invasion of weeds is significantly reduced. Therefore, mixed cropping can significantly reduce the amount of herbicides used, and this, in addition to the economic value, is of great environmental importance. In studies, mixed cropping system has been mentioned as an option for integrated management of weeds, especially in low-input farming systems. The most important damage caused by weeds to agricultural plants is the reduction of their yield through competition in the absorption of nutrients and growth inputs. One of the important measures in controlling weeds from the point of



view of sustainable agriculture is the use of mixed crops of different crops. Therefore, according to the importance of intercropping in sustainable agriculture of crops and garden plants, this research aims to investigate the yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.) in intercropping with safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under control and non-control conditions.

**Materials and methods:** For this purpose, a factorial experiment was carried out in the form of a randomized complete block design with three replications in Maragheh city. The first factor includes weed control at two levels (control and non-control weed) and the second factor includes different patterns of mixed cropping at 4 levels, including mixed cropping replacing safflower and canola, respectively, with ratios of 1:1 and 2:1 and mixed cultivation of safflower and canola 100:50, 100:75 and pure cultivation of safflower and canola were considered.

**Results and Discussion:** In canola, the highest biological yield (7990 kg/ha) and seed (2786 kg/ha) related to pure canola treatment with complete weed control was observed. The lowest biological yield was related to the 100:50 mixed cropping treatment (safflower-canola) with 3865 kg. The lowest grain yield related to the treatment combination of 100:50 (safflower-canola) mixed cropping with non-control weed was obtained with an average of 654.6 kg/ha. The highest amount of 1000-seed weight was obtained in the treatment combination of 1:1 replacement mixed crop (safflower-canola) with complete weed control with an average of 2.7 gr. Also, the lowest amount of 1,000-seed weight was related to the treatment combination of 2:1 (safflower- canola) mixed cultivation with no weed control with 1.6 gr. The highest number of weeds was obtained in the main branches (33.4) and secondary branches (25.3) related to the treatment combination of 2:1 replacement mixed crop (safflower-canola) with complete weed control. Also, the lowest number of weeds in the main branch was related to the treatment combination of 100:75 (safflower-canola) with non-control weed with an average of 17.3, and the lowest number of weeds in the sub-branch was related to the 100:50 (safflower-canola) mixed cultivation with non-control weed with an average of 10 pods. According to the results of the average data comparison, the highest number of seeds in pod of the main branch was related to the treatment combination of 100:50 incremental mixed cultivation (safflower-canola) with full weed control, and the lowest number of seeds in pod of the main branch was related to the treatment combination of pure canola cultivation with non-control weed was obtained with an average of 15.4. Also, the highest number of seeds in the pod of the sub-branch of canola was obtained in the treatment combination of pure canola cultivation with complete weed control with an average of 22.3, and the lowest amount of seed number in the pod of the sub-branch related to the treatment combination of pure canola cultivation with non-control weed with an average of 15.

**Conclusion:** Among the different patterns of safflower and canola cultivation, the highest seed yield was obtained in pure cultivation and complete weed control. The yield and yield components in canola were affected by different patterns of mixed cropping and weed control treatment, so that the 2:1 planting pattern (safflower-canola) had more seeds and 1000-seed weight.

**Keywords:** Biological yield, Grain yield, Pure cropping, Replacement mixed cropping, Sustainable agriculture

## بررسی عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا در الگوهای مختلف کشت با گلرنگ در شرایط کنترل و عدم کنترل علف‌های هرز

جلیل شفق کلوانق<sup>۱\*</sup>، فریبرز شکاری<sup>۲</sup>، عبدالله جوانمرد<sup>۳</sup>، مینا امانی<sup>۴</sup>، زهره سائلی‌اشان<sup>۵</sup>

- ۱- گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
- ۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه علوم پایه مراغه، مراغه، ایران
- ۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
- ۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
- ۵- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

\* مسئول مکاتبه: shafagh.jalil@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.493200.1456

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا (*Brassica napus* L.) در الگوهای مختلف کشت مخلوط با گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط کنترل و عدم کنترل علف‌های هرز به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در گیاه کلزا، بیشترین عملکرد بیولوژیکی (۷۹۹۰ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (۲۷۸۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار کشت خالص کلزا با کنترل کامل علف‌های هرز بود. کمترین عملکرد بیولوژیکی مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ- کلزا) با ۳۸۶۵ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین عملکرد دانه مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ- کلزا) با عدم کنترل علف‌های هرز با میانگین ۶۵۴/۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. بیشترین وزن هزار دانه در ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ- کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز با میانگین ۲/۷ گرم به دست آمد. بیشترین تعداد خورجین در شاخه‌های اصلی (۳۳/۴) و فرعی (۲۵/۳) مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (گلرنگ- کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز به دست آمد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین تعداد دانه در خورجین شاخه اصلی مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ- کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز بود. بیشترین تعداد دانه در خورجین شاخه فرعی کلزا در ترکیب تیماری کشت خالص کلزا با کنترل کامل علف‌های هرز با میانگین ۲۲/۳ به دست آمد. به طور کلی، این تحقیق تأکید می‌کند که انتخاب الگوی کشت مناسب و مدیریت مؤثر علف‌های هرز می‌تواند به بهبود عملکرد و کیفیت دانه در گیاهان کمک کند.

**واژه‌های کلیدی:** عملکرد بیولوژیکی، کشاورزی پایدار، کشت خالص، کشت مخلوط جایگزینی

### مقدمه

بعد از چند دهه مصرف علف‌کش به این نتیجه رسیدند که تولید محصولات کشاورزی با اتکا به این مواد، به دلیل آلودگی‌های زیست‌محیطی و اثرات مخرب اکولوژیکی از پایداری لازم برخوردار نیست (Yilmaz et al., 2015). همچنین با توجه به بروز مقاومت علف‌های هرز به علف‌کش‌ها، لزوم گرایش به سمت کنترل غیرشیمیایی علف‌های هرز بیش از همیشه احساس می‌شود (Kaur et al., 2016).

یکی از تمهیدات مهم در کنترل علف‌های هرز از دیدگاه کشاورزی پایدار، کشت مخلوط گیاهان زراعی است (Lowry and Smith, 2018). کشت مخلوط شامل کشت دو یا چند گونه گیاهی یا گونه‌های متفاوت از هم، به صورت همزمان یا در

یکی از مهمترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات کشاورزی، رقابت حاصل از علف‌های هرز می‌باشد. علف‌های هرز به‌عنوان یکی از اجزای مکمل بوم‌نظام‌های کشاورزی و جزء جدایی‌ناپذیر در سامانه‌های کشاورزی محسوب می‌شوند (Hong et al., 2019). عملکرد گیاه زراعی غالباً به تراکم، اندازه و هم‌جواری علف‌های هرز موجود پس از سبز شدن گیاه زراعی بستگی دارد (Maitra et al., 2018 Maitra et al., 2021).

مبارزه شیمیایی یکی از روش‌های رایج برای کنترل علف‌های هرز در کشاورزی مدرن محسوب می‌شود. محققین

است. کشت مخلوط به طور قابل توجهی کاربرد علف کش را کاهش می دهد و این امر علاوه بر ارزش اقتصادی از اهمیت زیست محیطی به سزایی برخوردار است (Miao et al., 2016). با توجه به اهمیت کشت مخلوط در تولید پایدار محصولات زراعی و کنترل علف های هرز، این تحقیق با هدف بررسی اثر کشت مخلوط کلزا- گلرنگ بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه زراعی کلزا انجام شد.

## مواد و روش ها

### مشخصات محل و زمان اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۱۳۹۴ در مزرعه ای در شهرستان مراغه اجرا شد. این منطقه در ارتفاع ۱۲۹۰ متری از سطح دریا با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و چهار دقیقه شرقی قرار گرفته و میزان بارندگی سالانه آن ۲۴۳ میلی متر می باشد. میانگین دمای سالانه ۱۴/۴ درجه سانتی گراد، میانگین بیشینه دمای سالانه ۲۰/۷ درجه سانتی گراد، میانگین کمینه دمای سالانه هشت درجه سانتی گراد می باشد. همچنین ویژگی های خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Soil characteristics at the test site

بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی	سیلت	رس	شن	ماده آلی	آهک	ازت کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
Soil texture	pH	EC (dS/m)	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	Organic matter (%)	Lime (%)	Total nitrogen (%)	Available phosphorus (ppm)	Available potassium (ppm)
لومی- شنی Loamy- sandy	7.7	1.12	22	18	63	1.1	11.2	0.1	58	295

بذر در مترمربع) و تراکم بهینه گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع)، کشت مخلوط جایگزینی کلزا و گلرنگ با نسبت ۱:۱ و کشت مخلوط جایگزینی کلزا و گلرنگ با نسبت (۲:۱) بود. در این آزمایش صفات مربوط به کلزا اندازه گیری شد.

### عملیات تهیه زمین و کاشت

مراحل آماده سازی زمین، شامل شخم اولیه در اواخر مهرماه و تسطیح زمین و کرت بندی در فروردین ماه بود. کاشت گلرنگ و کلزا، همزمان در اردیبهشت ماه با دست انجام شد. رقم مورد

زمان های متفاوت از هم در یک قطعه زمین است (Strickland et al., 2015). اگر در کشت مخلوط، گیاهان درست انتخاب شوند، عملکرد بیشتر از کشت خالص آن ها در واحد سطح زمین به دست می آید (Franco et al., 2015). در کشت مخلوط، سطح زمین توسط تاج پوشش گیاهان انتخاب شده بیشتر پوشانده می شود، تعرق توسط گیاهان زراعی بیشتر می شود (Aziz et al., 2015). از دیگر مزایای کشت مخلوط کاهش خسارت آفات، بیماری و علف های هرز، بهبود حاصلخیزی خاک از طریق تثبیت نیتروژن اتمسفر در صورت حضور گیاه زراعی لگوم به عنوان یکی از اجزای کشت مخلوط، افزایش عملکرد در واحد سطح زمین نسبت به تک کشتی، استفاده بهتر از عوامل محیطی مثل نور و رطوبت اشاره کرد (Maitra et al., 2019). کشت مخلوط گیاهان مختلف زراعی به دلیل ایجاد یک خرد بوم نظام رقابتی شدید، شرایطی را فراهم می کند که خسارت علف های هرز در این شرایط به حداقل ممکن می رسد (Lowry and Smith, 2018). در کشت مخلوط، استفاده از منابع توسط گیاهان زراعی نسبت به تک کشتی افزایش می یابد، به همین دلیل مواد قابل دسترس برای علف های هرز کاهش می یابد (Maitra et al., 2019).

کنترل علف های هرز، یکی از مزایای مهم کشت مخلوط

### طرح آزمایشی و بذور مورد استفاده

کشت مخلوط براساس سری های افزایشی و جایگزینی انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار انجام شد. فاکتور اول، کنترل علف های هرز در دو سطح کنترل کامل علف های هرز و عدم کنترل علف های هرز و فاکتور دوم، الگوهای مختلف کشت (کشت خالص کلزا و کشت خالص گلرنگ) بود. همچنین کشت مخلوط افزایشی با نسبت های ۵۰ درصد کلزا و تراکم بهینه گلرنگ، کشت مخلوط افزایشی با نسبت های ۷۵ درصد کلزا (۶۰

به‌منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، برداشت نمونه‌های کلزا در اواخر پاییز به ابعاد یک مترمربع در هر کرت صورت گرفت. بدین صورت که در هر کرت پس از حذف ردیف‌های کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای کرت به‌عنوان حاشیه، یک مترمربع به‌عنوان سطح نمونه‌برداری برای صفات عملکردی در واحد سطح در نظر گرفته شدند. صفات اندازه‌گیری شده در کلزا شامل تعداد خورجین در شاخه اصلی، فرعی، تعداد دانه در خورجین اصلی و فرعی، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در واحد سطح بود.

### تجزیه آماری

یکنواختی واریانس‌ها و نرمال بودن داده‌های به‌دست آمده، تست شدند و تجزیه واریانس داده‌ها به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. مقایسات میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. از نرم‌افزارهای SPSS، MSTAT-C و Excel برای انجام آزمون‌های آماری و رسم نمودارها استفاده شد.

### نتایج و بحث

براساس نتایج جدول (۲) تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ساده کنترل علف‌های هرز بر تمامی صفات مورد بررسی در این پژوهش، در سطوح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. این نشان‌دهنده اهمیت کنترل علف‌های هرز در بهبود عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی است و تأکید می‌کند که مدیریت مؤثر علف‌های هرز می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های زراعی داشته باشد. از سوی دیگر، اثر ساده الگوی کاشت بر صفات تعداد دانه در خورجین شاخه فرعی و وزن هزاردانه غیر معنی‌دار بود. این موضوع می‌تواند به این معنا باشد که تغییر در الگوی کاشت، تأثیر چندانی بر این دو صفت نداشت. با این حال، اثر الگوی کاشت بر صفت تعداد دانه در خورجین شاخه اصلی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و این نشان می‌دهد که انتخاب الگوی مناسب کاشت می‌تواند بر این صفت تأثیر بگذارد. همچنین، در سایر صفات، اثر الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان‌دهنده اهمیت آن در بهبود عملکرد کلی گیاهان زراعی است. علاوه‌براین، اثر متقابل کنترل علف‌های هرز و الگوی کاشت در صفات تعداد دانه در خورجین

استفاده برای گلرنگ، «رقم گلستان» بود و برای کلزا، «رقم شیرعلی» (تهیه شده از شرکت فردین کشت) بود. روش مورد استفاده در کشت مخلوط از نوع افزایشی و جایگزینی بود. کاشت به‌صورت کرتی با چهار ردیف کاشت و با فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بذور در روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر برای گلرنگ و برای کلزا با ۸ ردیف کاشت و با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بذور در روی ردیف دو سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت کاشت به ابعاد ۲×۲/۴ متر و مساحت ۴/۸ مترمربع بود. بذور گلرنگ در عمق حدود کمتر از سه سانتی‌متر و کلزا در عمق حدود کمتر از ۱/۵ سانتی‌متر از سطح خاک کاشته شدند. روی بذرهای کلزا با توجه به ریزبودن بذرها با مقدار مناسب ماسه‌بادی پوشانده شد تا جوانه‌زنی آن‌ها به‌طور یکنواخت انجام گیرد. گلرنگ در کشت خالص با تراکم ۶۰ بوته در مترمربع و کلزا در کشت خالص با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع کشت شد، که البته کلزا بسته به نسبت‌های کشت با تراکم بهینه و در کشت مخلوط افزایشی ۵۰:۱۰۰ (گلرنگ-کلزا) ۴۰ بذر در مترمربع با فاصله روی ردیف چهار سانتی‌متر، و گلرنگ با تراکم بهینه و در کشت مخلوط افزایشی ۷۵:۱۰۰ (گلرنگ-کلزا) ۶۰ بذر در مترمربع با فاصله روی ردیف سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Shokati and Zehtab-salmasi, 2014).

برای کشت مخلوط جایگزینی در نسبت (۱:۱) یک ردیف گلرنگ و یک ردیف کلزا و در نسبت (۲:۱) دو ردیف گلرنگ و یک ردیف کلزا در نظر گرفته شد.

### عملیات داشت

پس از کاشت به‌منظور جلوگیری از خشک‌شدن خاک و اختلال در جوانه‌زنی، آبیاری اولیه هر چهار روز یکبار و پس از آن، آبیاری با دور هفت روز تا پایان فصل رشد انجام گرفت. در مرحله پنج برگی هر دو گیاه تنک شدند تا تراکم مورد نظر حاصل گردد. در طول دوره رشد در خرداد ماه کود ازت خالص در مرحله به ساقه رفتن گیاهان به‌صورت سرک افزوده شد (۷۵ کیلوگرم در هکتار). کنترل علف‌های هرز در تیمارهای کنترل علف‌های هرز با دست، از تیر ماه به بعد هر هفته در طول فصل رشد ادامه یافت.

### عملیات برداشت و اندازه‌گیری صفات

شاخه فرعی و وزن هزاردانه در سطح احتمال پنج درصد و همچنین بر عملکرد بیولوژیکی غیر معنی‌دار بود. این یافته‌ها می‌توانند نشان‌دهنده این باشند که در این موارد خاص، ترکیب این دو عامل تأثیر قابل توجهی بر نتایج نداشته است.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر الگوهای مختلف کشت و کنترل علف‌های هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

Table 2- Variance analysis of the effect of different cultivation patterns and weed control on rape yield and yield components

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square				وزن هزاردانه 1,000 grain weight	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
		تعداد خارجین اصلی Number of pods on main branch	تعداد خارجین شاخه فرعی Number of pods on lateral branch	تعداد دانه در خارجین شاخه اصلی Number of seeds in pods in main branch	تعداد دانه در خارجین شاخه فرعی Number of seeds in pods in lateral branch			
تکرار Repeat	2	10.4	2.6	0.5	3.6	0.02	119546	3186
کنترل علف‌های هرز Weed control (A)	1	776.8**	525.6**	13.6*	74.8**	5**	31417**	118791**
الگوی کاشت Planting pattern (B)	4	68.4**	66.9**	7.3*	0.8 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	152701**	286489**
A × B خطا Error	4	22.9**	52.8**	11.6**	11*	0.1*	12712 <sup>ns</sup>	14152**
خطا Error	18	5.1	2	2.4	3.9	0.05	15138	2496
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.9	10.1	8.3	10.4	10.4	6.9	11.3

ns, \*\* و \* به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, \*\* and \*: non-significant, significant at  $p \leq 0.01$  and  $p \leq 0.05$ , respectively

### تعداد خورجین در شاخه اصلی و فرعی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین تعداد خورجین در شاخه اصلی کلزا مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (گلرنگ-کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز با میانگین ۳۳/۴ بود، که از لحاظ آماری با کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۷۵ (گلرنگ-کلزا) و کشت خالص کلزا اختلاف معنی‌دار نداشت. کمترین تعداد خورجین مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۷۵ (گلرنگ-کلزا) با عدم کنترل علف‌های هرز با میانگین ۱۷/۳ بود (شکل ۱). مقایسه میانگین‌های اثرمتقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت بر تعداد خورجین در شاخه فرعی نشان داد که بیشترین تعداد خورجین در شاخه فرعی کلزا مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (گلرنگ-کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز با میانگین ۲۵/۳ بود. کمترین تعداد خورجین نیز مربوط به کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ-کلزا) با عدم کنترل علف‌های هرز با میانگین ۱۰ خورجین بود که از لحاظ آماری با

ترکیب تیماری کشت خالص کلزا اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲).

تعداد خورجین در گیاه یکی از اجزای کلیدی در تعیین عملکرد نهایی محصول محسوب می‌شود. این ویژگی از یک‌سو نشان‌دهنده تعداد دانه‌هایی است که در هر خورجین تولید می‌شود و از سوی دیگر، نقش مهمی در تأمین مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای رشد و توسعه دانه‌ها ایفا می‌کند. به عبارت دیگر، هرچه تعداد خورجین‌ها در یک گیاه بیشتر باشد، به‌طور طبیعی تعداد دانه‌ها نیز افزایش می‌یابد و این امر می‌تواند به افزایش عملکرد کلی گیاه کمک کند. براساس نتایج به‌دست آمده، در تیمار کشت خالص، تعداد خورجین‌ها به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است و این افزایش به تبع آن منجر به افزایش تعداد دانه در هر بوته می‌شود.

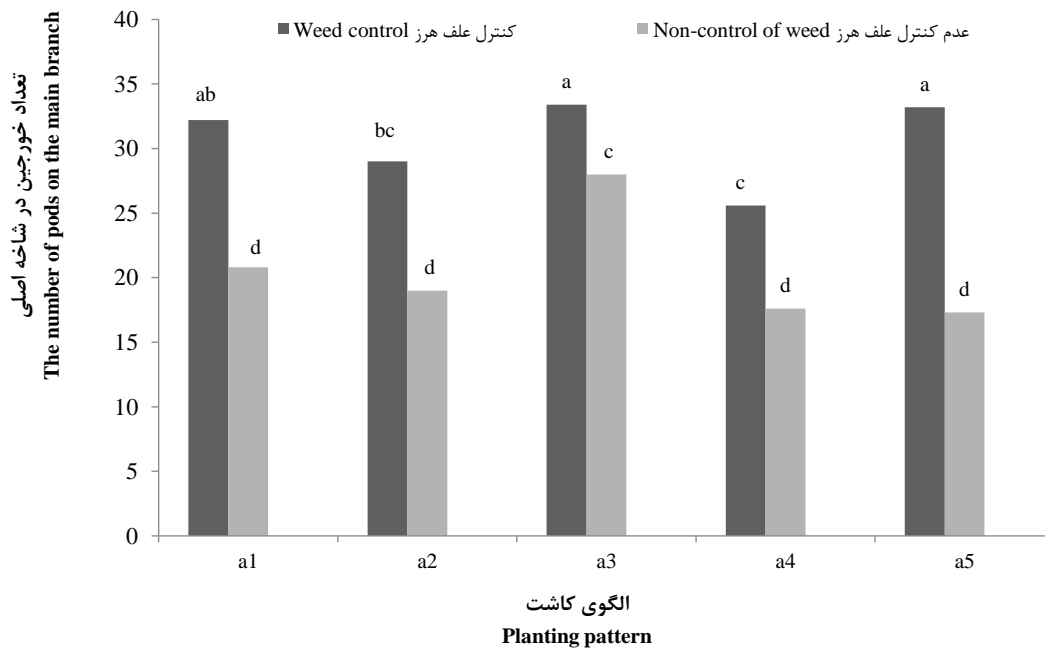
این پدیده به‌وضوح نشان‌دهنده این است که کشت خالص می‌تواند منجر به بهبود عملکرد گیاه نسبت به سایر الگوهای مختلف کشت مخلوط شود. به‌عنوان مثال، مطالعه‌ای تأیید

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کنترل علف‌های هرز و همچنین اثر الگوی کاشت بر تعداد دانه در خورجین شاخه اصلی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند. این نتایج تأکید می‌کند که مدیریت علف‌های هرز و انتخاب الگوی مناسب کاشت می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر تولید دانه در گیاهان زراعی داشته باشد. به‌ویژه، در شرایطی که علف‌های هرز به‌طور مؤثر کنترل شوند، گیاهان می‌توانند منابع بیشتری را به تولید دانه اختصاص دهند. علاوه بر این، اثر متقابل کنترل علف‌های هرز و الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). این یافته‌ها نشان‌دهنده پیچیدگی تعاملات بین این دو عامل و تأثیر آن‌ها بر صفات زراعی است. به‌عبارتی، نحوه ترکیب این دو عامل می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر تعداد دانه در خورجین تأثیر بگذارد.

می‌کند که در شرایط کشت خالص، گیاهان قادر به تولید تعداد بیشتری خورجین و در نتیجه دانه‌های بیشتری هستند که این امر به افزایش عملکرد نهایی منجر می‌شود. همچنین، پژوهش‌های دیگری نیز در این زمینه وجود دارد که نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2015).

در مطالعه‌ای مشاهده شد که بیشترین تعداد کپسول در بوته‌ها در تیمار کشت خالص سیاهدانه و با کاربرد تلفیقی کودها به‌دست آمد. این نتایج نشان می‌دهند که ترکیب بهینه کشت و مدیریت منابع غذایی می‌تواند تأثیر مثبتی بر روی تولید خورجین و در نهایت عملکرد محصول داشته باشد (Rostaie *et al.*, 2015).

### تعداد دانه در خورجین شاخه اصلی و فرعی



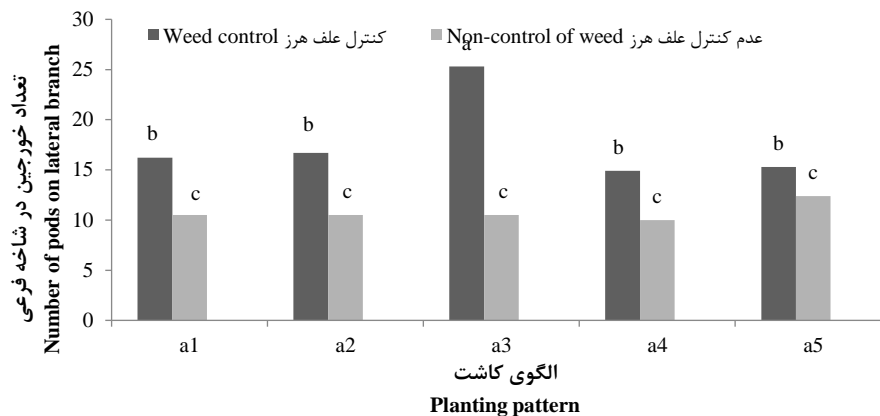
شکل ۱- تأثیر برهمکنش اثر الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های هرز بر تعداد خورجین در شاخه اصلی

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a<sub>1</sub>: کشت خالص کلزا، a<sub>2</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>3</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>4</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a<sub>5</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

Figure 1- The interaction effect of the effect of different cropping patterns in controlling weeds on the number of weeds in the main branch

Treatments with at least one common letter did not differ significantly from each other in Duncan test at the level of 5% probability.

a<sub>1</sub>: pure cultivation of canola, a<sub>2</sub>: mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a<sub>3</sub>: mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a<sub>4</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m<sup>2</sup>), a<sub>5</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 75% Optimum density of canola (60 seeds/m<sup>2</sup>)



شکل ۲- تأثیر برهمکنش اثر الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های هرز بر تعداد خورجین در شاخه فرعی

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a<sub>1</sub>: کشت خالص کلزا، a<sub>2</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>3</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>4</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a<sub>5</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

Figure 2- The interaction effect of the effect of different cultivation patterns in controlling weeds on the number of weeds in the branch

Treatments with at least one common letter did not differ significantly from each other in Duncan test at the level of 5% probability.

a<sub>1</sub>: pure cultivation of canola, a<sub>2</sub>: mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a<sub>3</sub>: mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a<sub>4</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m<sup>2</sup>), a<sub>5</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 75% Optimum density of canola (60 seeds/m<sup>2</sup>)

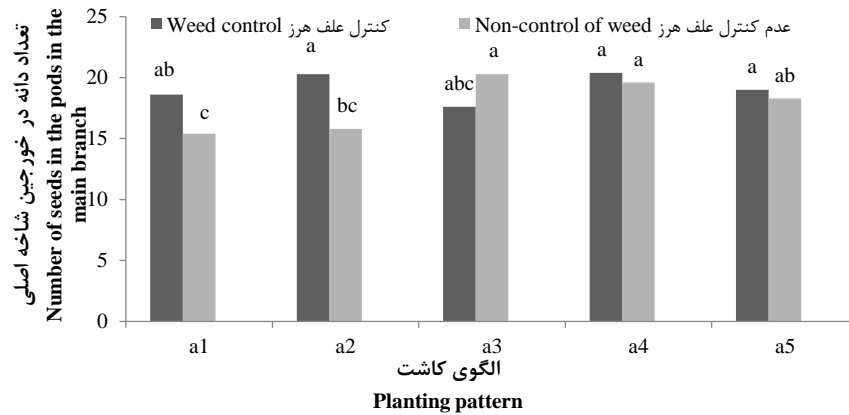
فرعی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند، ولی اثر الگوی کاشت بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، به طوری که بیشترین تعداد دانه در خورجین شاخه فرعی کلزا مربوط به ترکیب تیماری کشت خالص کلزا با کنترل کامل علف‌های هرز با میانگین ۲۲/۳ بود که از لحاظ آماری با کشت مخلوط ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ- کلزا) اختلاف معنی‌داری نداشت و همچنین کمترین تعداد دانه در خورجین مربوط به ترکیب تیماری کشت خالص کلزا با عدم کنترل علف‌های هرز با میانگین ۱۵ بود (شکل ۴). به نظر می‌رسد که این کاهش تعداد دانه در این ترکیب تیماری به دلیل تداخل علف‌های هرز باشد. کاهش در تعداد دانه می‌تواند به دلیل افزایش تراکم گیاهی و بروز رقابت درون‌گونه‌ای و برون‌گونه‌ای باشد، بالا بودن تعداد دانه در بوته در تیمار کشت خالص کلزا را می‌توان به بیشتر بودن تعداد خورجین آن نسبت داد. در مطالعه‌ای نشان داده شد که بیشترین تعداد دانه در بوته شنبلیله در کشت خالص و کمترین آن در کشت مخلوط نواری با نسبت ۱۲ ردیف زنیان و شش ردیف شنبلیله مشاهده شد.

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به طوری که بیشترین تعداد دانه در خورجین شاخه اصلی کلزا مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ- کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز بود. این ترکیب به طور خاص نشان‌دهنده این است که در شرایط کنترل مؤثر علف‌های هرز، گیاهان می‌توانند به حداکثر پتانسیل تولید دانه خود دست یابند. علاوه بر این، این تیمار از لحاظ آماری با کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ- کلزا) اختلاف معنی‌داری نداشت که نشان‌دهنده این است که هر دو الگوی کاشت می‌توانند به طور مشابهی در شرایط کنترل علف‌های هرز، عملکرد خوبی داشته باشند. در مقابل، کمترین تعداد دانه در خورجین شاخه اصلی مربوط به ترکیب تیماری کشت خالص کلزا با عدم کنترل علف‌های هرز بود که با میانگین ۱۵/۴ دانه مشاهده شد (شکل ۳).

این یافته‌ها به وضوح نشان‌دهنده تأثیر منفی عدم کنترل علف‌های هرز بر تولید دانه و در نتیجه، عملکرد کلی گیاه هستند. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، که اثرهای کنترل علف‌های هرز بر تعداد دانه در خورجین شاخه

سیاهدانه به‌عنوان گیاه فرعی این کاهش شدیدتر نیز شده است (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2015).

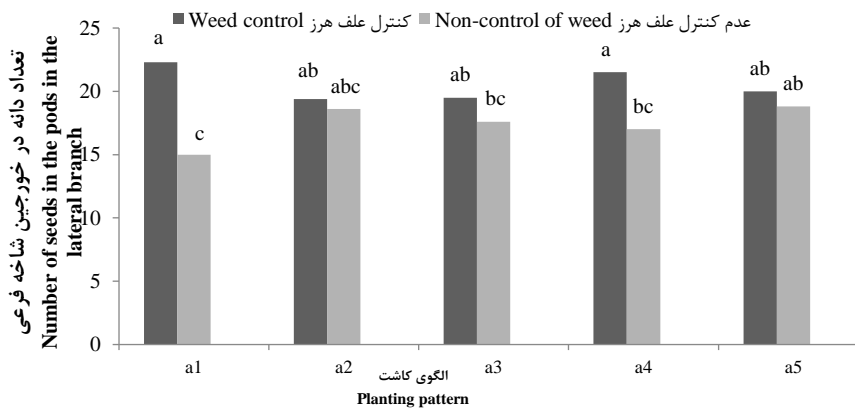
به‌نظر می‌رسد دلیل کاهش تعداد دانه در تیمارهای افزایشی، وجود رقابت بین دو گونه باشد که با افزوده شدن بر نسبت



شکل ۳- تأثیر برهمکنش اثر الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های هرز بر تعداد دانه در خورجین شاخه اصلی

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a<sub>1</sub>: کشت خالص کلزا، a<sub>2</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>3</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>4</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a<sub>5</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

**Figure 3- The interaction effect of different cultivation patterns in controlling weeds on the number of seeds in the main branch**  
Treatments with at least one common letter did not differ significantly from each other in Duncan test at the level of 5% probability.  
a<sub>1</sub>: pure cultivation of canola, a<sub>2</sub>: mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a<sub>3</sub>: mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a<sub>4</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m<sup>2</sup>), a<sub>5</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 75% Optimum density of canola (60 seeds/m<sup>2</sup>)



شکل ۴- تأثیر برهمکنش اثر الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های هرز بر تعداد دانه در خورجین شاخه فرعی

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a<sub>1</sub>: کشت خالص کلزا، a<sub>2</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>3</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>4</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a<sub>5</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

**Figure 4- The interaction effect of different cultivation patterns in weed control on the number of seeds in sub-branch**  
Treatments with at least one common letter did not differ significantly from each other in Duncan test at the level of 5% probability.  
a<sub>1</sub>: pure cultivation of canola, a<sub>2</sub>: mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a<sub>3</sub>: mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a<sub>4</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m<sup>2</sup>), a<sub>5</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 75% Optimum density of canola (60 seeds/m<sup>2</sup>)

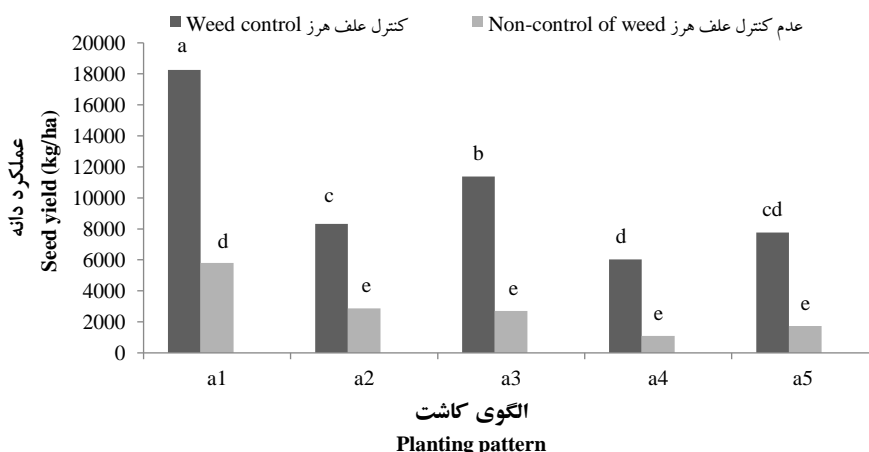
اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار هستند (جدول ۲). این یافته‌ها نشان‌دهنده اهمیت این عوامل در بهبود عملکرد دانه

## عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای کنترل علف‌های هرز، اثر الگوی کاشت و همچنین

هرز، کاهش معنی‌داری را نشان داد. به نظر می‌رسد که این کاهش عملکرد به دلیل افزایش رقابت در کشت مخلوط و کاهش منابع محیطی باشد. در واقع، در شرایط کشت مخلوط، گیاهان برای منابع محدود مانند نور، آب و مواد مغذی با یکدیگر رقابت می‌کنند و این رقابت می‌تواند به کاهش عملکرد منجر شود. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای بر روی کشت مخلوط عدس و زیره سبز، بیشترین عملکرد دانه عدس را در کشت خالص عدس و کمترین عملکرد دانه را در کشت مخلوط نواری گزارش کردند (Jahani et al., 2008). همچنین، در مطالعه دیگر بر روی کشت مخلوط زیره سبز و نخود، بالاترین عملکرد دانه را برای گیاه نخود در کشت خالص گزارش نمودند. این نتایج نشان‌دهنده این است که کشت خالص معمولاً به دلیل کاهش رقابت و افزایش دسترسی به منابع، عملکرد بهتری دارد (Abbasi Alikamar et al., 2006). علاوه بر این، در بررسی کشت مخلوط باقلا و جو، نشان داده شد که افزایش عملکرد بیولوژیکی در شرایط کنترل علف‌های هرز نسبت به شرایط عدم کنترل علف‌های هرز بیشتر بود. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که مدیریت مؤثر علف‌های هرز و انتخاب الگوی مناسب کاشت می‌تواند به بهبود عملکرد و کیفیت محصولات زراعی کمک کند (Agegnehu et al., 2006).

گیاهان زراعی است و تأکید می‌کند که مدیریت صحیح علف‌های هرز و انتخاب الگوی کاشت مناسب می‌تواند به افزایش عملکرد محصولات کمک کند. مقایسه میانگین‌های اثرهای متقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. به طوری که بیشترین عملکرد دانه کلزا مربوط به ترکیب تیماری کشت خالص کلزا با کنترل کامل علف‌های هرز با ۲۷۸۶ کیلوگرم در هکتار بود. این نتیجه نشان‌دهنده این است که در شرایط کنترل مؤثر علف‌های هرز، گیاهان می‌توانند به حداکثر پتانسیل تولید دانه خود دست یابند. در مقابل، کمترین عملکرد دانه مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط افزایشی ۵۰:۱۰۰ (گلرنگ-کلزا) با عدم کنترل علف‌های هرز و با مقدار ۶۵۴/۶ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۵). این نتایج به وضوح نشان‌دهنده تأثیر منفی عدم کنترل علف‌های هرز بر تولید دانه و عملکرد کلی گیاهان است. همچنین، بیشترین کاهش عملکرد مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۵۰:۱۰۰ (گلرنگ-کلزا) با ۷۰/۴ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ-کلزا) با ۲۷/۱ درصد بود. عملکرد دانه در کشت مخلوط و عدم کنترل علف‌های هرز نسبت به کشت خالص و کنترل کامل علف‌های



شکل ۵- تأثیر برهمکنش اثر الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های هرز بر عملکرد دانه

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.  
 a<sub>1</sub>: کشت خالص کلزا، a<sub>2</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>3</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>4</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a<sub>5</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

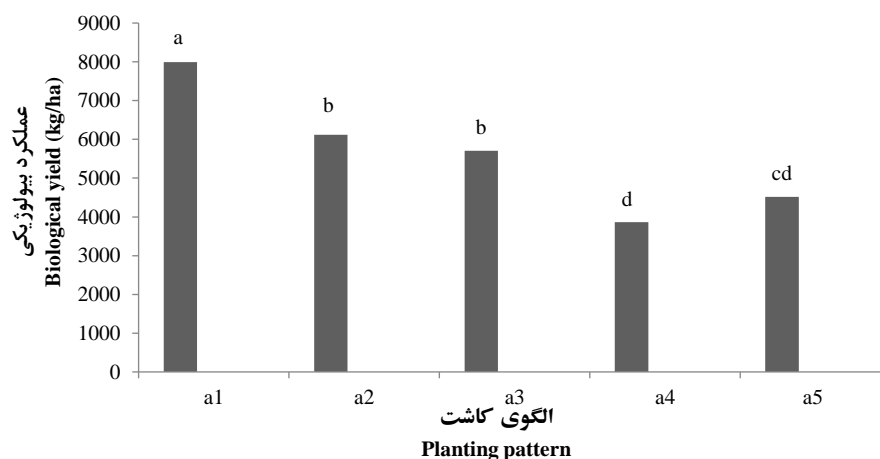
Figure 5- The interaction effect of different cultivation patterns in weed control on seed yield

Treatments with at least one common letter did not differ significantly from each other in Duncan test at the level of 5% probability.

a<sub>1</sub>: pure cultivation of canola, a<sub>2</sub>: mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a<sub>3</sub>: mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a<sub>4</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m<sup>2</sup>), a<sub>5</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 75% Optimum density of canola (60 seeds/m<sup>2</sup>)

عملکرد بیولوژیکی در هکتار نشان می‌دهد که تیمار کشت خالص کلزا با ۷۹۹۰ کیلوگرم بیشترین عملکرد را داشت، در حالی که تیمار کشت مخلوط افزایشی ۵۰:۱۰۰ (گلرنگ-کلزا) با ۳۸۶۵ کیلوگرم کمترین عملکرد را به خود اختصاص داد (شکل ۶). این نتایج به‌وضوح نشان‌دهنده این است که کشت خالص به دلیل کاهش رقابت بین گونه‌ها و افزایش دسترسی به منابع، عملکرد بهتری نسبت به کشت مخلوط دارد. به نظر می‌رسد که رقابت برون‌گونه‌ای در کشت مخلوط باعث کاهش عملکرد بیولوژیکی در تیمار کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی شده باشد. این رقابت می‌تواند به دلیل رقابت برای منابع محدود مانند نور، آب و مواد مغذی باشد که در شرایط کشت مخلوط به وجود می‌آید. به‌عنوان مثال، براساس گزارشی در مورد نخود، افزایش طول دوره تداخل علف‌های هرز منجر به کاهش تجمع ماده خشک و تعداد شاخه در بوته می‌شود و در نهایت بیوماس گیاه زراعی را کاهش می‌دهد (Al-Thahabi et al., 1994). همچنین، در مطالعه‌ای بر روی ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد کنجد و نخود در کشت مخلوط سری‌های جایگزینی اظهار کردند که کشت مخلوط کنجد نسبت به تک‌کشتی آن دارای عملکرد بیولوژیکی کمتری بود (Pouramir et al., 2010).

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، که اثرهای کنترل علف‌های هرز و همچنین اثر الگوی کاشت بر عملکرد بیولوژیکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت این دو عامل در تعیین عملکرد بیولوژیکی گیاهان زراعی است و تأکید می‌کند که مدیریت مؤثر علف‌های هرز و انتخاب الگوی مناسب کاشت می‌تواند به بهبود عملکرد کلی گیاهان کمک کند. در مقابل، اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت معنی‌دار نبود (جدول ۲)، که نشان‌دهنده این است که ترکیب این دو عامل تأثیر قابل‌توجهی بر روی عملکرد بیولوژیکی ندارد. مقایسه میانگین‌های اثر کنترل علف‌های هرز بر عملکرد بیولوژیکی در هکتار نشان داد که تیمار کنترل کامل علف‌های هرز با ۵۹۶۳ کیلوگرم دارای بیشترین عملکرد بود، در حالی که تیمار عدم کنترل علف‌های هرز با ۵۳۱۶ کیلوگرم کمترین عملکرد را داشت. این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که کنترل علف‌های هرز می‌تواند تأثیر مثبت و قابل‌توجهی بر عملکرد بیولوژیکی گیاهان داشته باشد، زیرا علف‌های هرز می‌توانند با گیاهان زراعی برای منابع مانند نور، آب و مواد مغذی رقابت کنند و در نتیجه به کاهش عملکرد منجر شوند. علاوه بر این، مقایسه میانگین‌های الگوی کاشت بر



شکل ۶- تأثیر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیکی

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a<sub>1</sub>: کشت خالص کلزا، a<sub>2</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>3</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>4</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a<sub>5</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

Figure 6- Effect of different cultivation patterns on biological performance

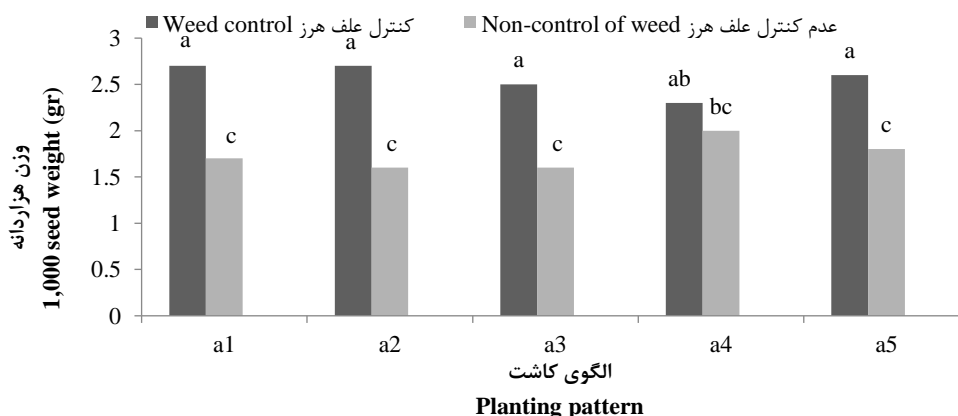
Treatments with at least one common letter did not differ significantly from each other in Duncan test at the level of 5% probability.

a<sub>1</sub>: pure cultivation of canola, a<sub>2</sub>: mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a<sub>3</sub>: mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a<sub>4</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m<sup>2</sup>), a<sub>5</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 75% Optimum density of canola (60 seeds/m<sup>2</sup>)

## وزن هزاردانه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای کنترل علف‌های هرز و همچنین اثرمتقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت بر وزن هزاردانه به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد معنی‌دار هستند. این در حالی است که اثر الگوی کاشت به طور مستقل معنی‌دار نبود (جدول ۲). این یافته‌ها نشان‌دهنده اهمیت کنترل علف‌های هرز در بهبود ویژگی‌های زراعی، به‌ویژه وزن هزاردانه هستند. مقایسه میانگین‌های اثرمتقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت نشان داد که ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ- کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز، با ۲/۷ گرم دارای بیشترین وزن هزاردانه بود. این تیمار از لحاظ آماری با کشت خالص کلزا اختلاف معنی‌داری نداشت، که نشان‌دهنده این است که در شرایط کنترل مؤثر علف‌های هرز، وزن هزاردانه می‌تواند به حداکثر پتانسیل خود نزدیک شود. درمقابل، ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (گلرنگ- کلزا) با عدم کنترل علف‌های هرز، کمترین وزن هزاردانه کلزا را با مقدار ۱/۶ گرم داشت که با ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ- کلزا) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۷). به‌نظر می‌رسد که کاهش وزن هزار دانه در تیمارهای آلوده

به علف‌های هرز به دلیل کاهش تعداد خورجین‌ها باشد. علف‌های هرز می‌توانند با رقابت برای منابع محدود مانند نور، آب و مواد مغذی، رشد و توسعه گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار دهند و در نتیجه، تعداد خورجین‌ها و دانه‌ها را کاهش دهند. وزن هزاردانه می‌تواند تحت تأثیر جریان شیره پرورده گیاه به طرف گل‌آذین قرار گیرد. در این خصوص، مواد پرورده صرف پرشدن دانه‌ها پس از عمل گرده‌افشانی می‌گردد و احتمالاً بر روی تعداد دانه‌های شکل‌گرفته تأثیر چندانی ندارد. در مطالعه‌ای نتایج مشابهی در مورد تداخل علف‌های هرز طبیعی مزرعه با کلزا گزارش شده است. این نتایج نشان می‌دهند که وجود علف‌های هرز می‌تواند به طور قابل توجهی بر وزن هزاردانه تأثیر بگذارد و به‌ویژه در شرایطی که رقابت برای منابع افزایش می‌یابد، این تأثیر بیشتر مشهود است (Hamzei, 2012). از سوی دیگر، افزایش وزن هزاردانه در کشت مخلوط شنبليله و شویید نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (Shokati and Zehtab-Salmasi, 2014). این یافته‌ها نشان‌دهنده این است که کشت مخلوط در برخی شرایط می‌تواند به بهبود وزن هزاردانه کمک کند، به‌خصوص زمانی که رقابت بین گونه‌ها به‌خوبی مدیریت شود و علف‌های هرز کنترل شوند.



شکل ۷- تأثیر برهمکنش اثر الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های هرز بر وزن هزاردانه

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a<sub>1</sub>: کشت خالص کلزا، a<sub>2</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>3</sub>: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a<sub>4</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a<sub>5</sub>: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

Figure 7- The interaction effect of different cultivation patterns in weed control on 1000 seed weight

Treatments with at least one common letter did not differ significantly from each other in Duncan test at the level of 5% probability.

a<sub>1</sub>: pure cultivation of canola, a<sub>2</sub>: mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a<sub>3</sub>: mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a<sub>4</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m<sup>2</sup>), a<sub>5</sub>: optimal density of safflower (60 seeds/m<sup>2</sup>) + 75% Optimum density of canola (60 seeds/m<sup>2</sup>)

## نتیجه‌گیری کلی

گیاهان زراعی در شرایط بهتری رشد کرده و به حداکثر پتانسیل تولید دانه خود دست می‌یابند. این عوامل باعث می‌شوند که کشت خالص با کنترل کامل علف‌های هرز، عملکرد دانه بهتری نسبت به کشت‌های مخلوط یا بدون کنترل داشته باشد. جنبه نوآوری و تازگی این تحقیق در بررسی اثرات متقابل کنترل علف‌های هرز و الگوی کاشت بر عملکرد دانه است که به تحلیل دقیق تعاملات پیچیده بین این دو عامل می‌پردازد و می‌تواند به درک بهتری از بهینه‌سازی عملکرد دانه کمک کند. همچنین، استفاده از الگوهای کاشت متنوع و مقایسه کشت‌های مخلوط با کشت خالص، به شناسایی بهترین ترکیب‌ها برای افزایش عملکرد دانه می‌انجامد. این تحقیق با تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها و تأکید بر اهمیت مدیریت علف‌های هرز، راهکارهای عملی و نوینی را برای بهبود تولید در کشاورزی پایدار ارائه می‌دهد و نتایج آن می‌تواند به غنای علمی این حوزه و توسعه استراتژی‌های مؤثر در کشاورزی کمک کند.

## سپاسگزاری

از دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به‌خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی می‌شود.

## تعارض منافع

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

نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که مدیریت مؤثر علف‌های هرز و انتخاب الگوی مناسب کاشت، عوامل کلیدی در بهبود عملکرد و کیفیت کلزا هستند. کنترل کامل علف‌های هرز به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند به افزایش تعداد خورجین‌ها و در نتیجه تعداد دلنه‌ها در گیاهان زراعی کمک کند. به‌ویژه، ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (گلرنگ-کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز، بالاترین تعداد خورجین و حداکثر پتانسیل تولید خود را تولید کرد. در شرایطی که علف‌های هرز کنترل نشوند، کاهش تعداد خورجین‌ها و دانه‌ها به‌وضوح مشاهده شد که به کاهش عملکرد کلی گیاهان منجر می‌شود. وزن هزاردانه نیز تحت تأثیر کنترل علف‌های هرز و الگوی کاشت قرار گرفت. در شرایط کنترل مؤثر علف‌های هرز، وزن هزاردانه به حداکثر پتانسیل خود نزدیک شد، درحالی‌که در تیمارهای آلوده به علف‌های هرز، کاهش وزن هزاردانه به‌دلیل کاهش تعداد خورجین‌ها و رقابت برای منابع مشاهده شد. کشت خالص با کنترل کامل علف‌های هرز به‌دلیل کاهش رقابت بین گیاهان زراعی و بهینه‌سازی استفاده از منابع محیطی، عملکرد دانه بیشتری دارد. در این نوع کشت، گیاهان به‌راحتی می‌توانند از نور، آب و مواد مغذی بهره‌برداری کنند، زیرا علف‌های هرز به‌عنوان رقبای غیرمفید وجود ندارند. همچنین، کنترل علف‌های هرز به بهبود کیفیت خاک و افزایش تهویه آن کمک می‌کند و خطر شیوع بیماری‌ها و آفات را کاهش می‌دهد. در نتیجه،

## References

- Abbasi Alikamar, R., Hejazi, A., Akbari, G.A., Kafi, M. and Zand, E., 2006. Study on different densities of cumin and chickpea intercropping with emphasis on weed control. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 4, pp.83-94. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v4i1.1320>
- Agegnehu, G., Ghizaw, A. and Sinebo, W., 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in *Ethiopian highlands*. *European Journal of Agronomy*, 25, pp.202-207. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002>
- Al-Thahabi, S.A., Yasin, J.Z., Abu-Irmaileh, B.E., Haddad, N.I. and Saxena, M.C., 1994. Effect of weed removal on productivity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and lentil (*Lens culinaris* Med.) in a Mediterranean environment. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 172, pp.333-341. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.1994.tb00184.x>

- Aziz, M., Mahmood, A., Asif, M. and Ali, A., 2015. Wheat-based intercropping: a review. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 25, pp.896-907.
- Franco, J.G., King, S.R., Masabni, J.G. and Volder, A., 2015. Plant functional diversity improves short-term yields in a low-input intercropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 203, pp.1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.018>
- Hamzei, J., 2012. Evaluation of yield, spad index, landuse efficiency and system productivity index of barley (*Hordeum vulgare*) intercropped with bitter vetch (*Vicia ervilia*). *Journal of Crop Production and Processing*, 2, pp.79-92. [In Persian]. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1391.2.4.7.3>
- Hong, Y., Heerink, N., Zhao, M. and van der Werf, W., 2019. Intercropping contributes to a higher technical efficiency in smallholder farming: Evidence from a case study in Gaotai County, China. *Agricultural Systems*, 173, pp.317-324. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.007>
- Jahani Kondori, M., Koocheki, A. and Nasiri mahalati, M., 2008. Comparison of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum*) and lentil (*Lens culinaris*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6, pp.67-78. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v6i1.1177>
- Kaur, N., Bhullar, M.S. and Gill, G., 2016. Weed management in sugarcane-canola intercropping systems in northern India. *Field Crops Research*, 188, pp.1-9. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.01.009>
- Lowry, C.J. and Smith, R.G., 2018. Weed control through crop plant manipulations. In Non-chemical weed control (pp.73-96). *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809881-3.00005-x>
- Maitra, S., Hossain, A., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., Gitari, H. and Sairam, M., 2021. Intercropping-A low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agronomy*, 11, pp.343. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020343>
- Maitra, S., Palai, J.B., Manasa, P. and Kumar, D.P., 2019. Potential of intercropping system in sustaining crop productivity. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 12, pp.39-45. <https://doi.org/10.30954/0974-1712.03.2019.7>
- Maitra, S., Shankar, T. and Banerjee, P., 2020. Potential and advantages of maize-legume intercropping system. *Maize-Production and Use*, pp.1-14. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91722>
- Maitra, S., Zaman, A., Mandal, T.K. and Palai, J.B., 2018. Green manures in agriculture: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7, pp.1319-1327.
- Miao, Q., Rosa, R.D., Shi, H., Paredes, P., Zhu, L., Dai, J. and Pereira, L.S., 2016. Modeling water use, transpiration and soil evaporation of spring wheat–maize and spring wheat–sunflower relay intercropping using the dual crop coefficient approach. *Agricultural Water Management*, 165, pp.211-229. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.024>
- Pouramir, F., Nasiri mahalati, M., Koocheki, A. and Ghorbani, R., 2010. Assessment of sesame and chickpea yield and yield components in the replacement series intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8, pp.747-757. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v8i5.8016>

- Rezaei-Chiyaneh, I., Tajbakhsh, M. and Fotohi Chiyaneh, S., 2015. Yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in strip intercropping with ajowan (*Carum copticum* L.) influenced by bio and chemical fertilizer. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24, pp.1-15. [In Persian].
- Rostaie, M., Falah, S. and Souraki, A., 2015. Effect of fertilizer sources on growth, yield and yield components of fenugreek intercropped with black cumin. *Journal of Crop Production*, 7, pp.222-197. [In Persian].  
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1393.7.4.11.0>
- Shokati, B. and Zehtab-salmasi, S., 2014. Effect of different intercropping patterns on yield and yield components of dill and fenugreek. *Azarian Journal of Agriculture*, 1, pp.1-5.
- Strickland, M.S., Leggett, Z.H., Sucre, E.B. and Bradford, M.A., 2015. Biofuel intercropping effects on soil carbon and microbial activity. *Ecological Applications*, 25, pp.140-150. <https://doi.org/10.1890/14-0285.1>
- Yilmaz, Ş., Özel, A., Atak, M. and Erayman, M., 2015. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the Eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39, pp.135-143. <https://doi.org/10.3906/tar-1406-155>



# Crop Science Research in Arid Regions

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

## Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 739-758

### Effect of drought stress and stress modifier on morphophysiological traits of peppermint (*Mentha piperita* L.)

Sima Ghiyasi <sup>a</sup>, Zahra Movahedi <sup>\*a</sup>, Majid Rostami <sup>a</sup>

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

\*Corresponding Author: [zahra\\_movahedi\\_312@yahoo.com](mailto:zahra_movahedi_312@yahoo.com)

Received: 7 August 2024 Accepted: 17 November 2024 DOI: [10.22034/CSRAR.2024.470040.1427](https://doi.org/10.22034/CSRAR.2024.470040.1427)

#### How to cite this article:

Ghiyasi, S., Movahedi, Z. and Rostami, M., 2025. Effect of drought stress and stress modifier on morphophysiological traits of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 739-758. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.470040.1427>

#### Abstract

**Introduction:** Peppermint (*Mentha piperita* L.) from the Lamiaceae family is one of the most widely used medicinal plants. In addition to therapeutic effects, it is used as a flavoring in the production of various foods and medicinal products. Drought stress is one of the most important factors in yield loss and production of field crops, horticulture, and herbs in the world. Several agronomic and physiological strategies have been implemented to mitigate the negative effects of drought stress and increase plant tolerance to it. Utilizing organic fertilizers is one of the realistic and promising strategies for increasing crop yields under stressful conditions. Few studies have examined the use of these substances as stress modulators in medicinal plants. Humic acid as an organic acid and ascorbate as a powerful antioxidant can be effective to improve the yield in water stress conditions. Therefore, this research was conducted with the aim of investigating the effect of foliar spraying of ascorbic acid and humic acid on some morpho-physiological traits of peppermint under drought stress conditions.

**Materials and Methods:** In order to evaluate adjusting drought stress by using humic acid and ascorbic acid in peppermint, factorial experiment in a completely randomized design with three replications was conducted. Experimental treatments included drought stress (control and drought stress), humic acid and ascorbic acid (0, 2 and 4 g/l humic acid, 2 and 4 g/l ascorbic acid and 2 g/l humic acid and ascorbic acid). After two month, plant height, leaf number, dry weight of shoot, relative water content (RWC), proline, electrolyte leakage (EL), antocianine, leaf area, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid, malondialdehyde (MDA), K and P were measured. The obtained data were analyzed using Minitab statistical software. Mean comparisons were conducted using Duncan's multiple range test at a significance level of 5%.

**Results and Discussion:** The results of the analysis of variance showed that the interaction effect of drought stress and stress modifier was significant for the characteristics of plant height, the number of leaves, chlorophyll a, malondialdehyde and proline. The results showed that drought stress caused a



©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 decrease in the growth characteristics, plant height, the number of leaves, chlorophyll a and increased malondialdehyde and proline and the application humic acid and ascorbic acid could compensation this damage. The results of the analysis of variance indicated the effect of drought stress and stress modifier was significant for Chlorophyll b, carotenoid, shoot dry weight, P and K, anthocyanin. Chlorophyll b, carotenoid, shoot dry weight, P and K in drought stress were less than control and application of humic acid and the application of ascorbic acid increased these traits. Also, drought stress increased anthocyanin. Also, the results showed that only drought stress effect was significant for leaf area, electrolyte leakage and relative water content. Drought stress conditions increased electrolyte leakage and leaf area and relative water content also decreased under drought stress.

**Conclusion:** The results of this study showed that the increase in drought stress causes changes in the physiological and morphological traits of peppermint plant. Based on the results obtained in this experiment, it can be stated that although drought stress has negative effects on the physiological and morphological traits of peppermint plant but by using drought stress modifiers (humic acid and ascorbic acid) we can reduce the effects of drought stress on this plant.

**Keywords:** Abiotic stress, Ascorbic acid, Humic acid, Medicinal plant

## تأثیر تنش خشکی و تعدیل کننده‌های تنش بر صفات مورفوفیزیولوژیک نعنای فلفلی (*Mentha piperita*)

سیما قیاسی<sup>۱</sup>، زهراموحدی<sup>۱\*</sup>، مجید رستمی<sup>۱</sup>

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

\* مسئول مکاتبه: Zahra\_movahedi\_312@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.470040.1427

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷

### چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کاهش عملکرد و تولید در گیاهان زراعی، باغی و دارویی است. به‌منظور ارزیابی امکان تعدیل تنش خشکی با استفاده از اسید هیومیک و اسید آسکوربیک در گیاه دارویی نعنای فلفلی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل خشکی (شاهد و تنش خشکی) و اسید هیومیک و اسید آسکوربیک (۰، ۲ و ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، ۲ و ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک و ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک به‌طور همزمان) بود. نتایج نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد برگ و کلروفیل نوع a تحت تأثیر تنش خشکی در مقایسه با شاهد (به‌ترتیب، ۲۵، ۶۱/۲۲ و ۳۵/۲۴ درصد) کاهش یافت و کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک تا حدودی توانست سبب جبران این خسارت شود. وزن خشک اندام هوایی (۰/۶۰۷ گرم در بوته)، مقدار کلروفیل نوع b (۰/۹۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کاروتنوئید (۰/۲۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، غلظت فسفر (۰/۱۳۷ درصد) و پتاسیم (۱/۷۲ درصد) نیز تحت تنش خشکی به‌دست آمد و کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک، موجب افزایش این صفات گردید. همچنین تنش خشکی موجب افزایش پرولین، آنتوسیانین، نشت الکترولیت و مالون‌دی‌آلدئید گردید. براساس نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد، که هر چند تنش خشکی اثرات منفی روی صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه نعنای فلفلی دارد، اما با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی می‌توان تا حدی اثرات سوء تنش خشکی بر این گیاه را کاهش داد.

**واژه‌های کلیدی:** اسید آسکوربیک، تنش غیرزیستی، گیاه دارویی، هیومیک

### مقدمه

تأثیر قرار می‌دهند که هر یک از آن‌ها اثرات متفاوتی بر رشد و عملکرد گیاه می‌گذارند. اولین عامل کاهش عملکرد عوامل بیماری‌زا و دومین عاملی که اثر منفی روی رشد و عملکرد گیاهان دارد، خشکی می‌باشد. در میان تنش‌های غیرزیستی نیز، خشکی و تنش گرمایی دو تهدید حیاتی برای رشد محصولات زراعی و کشاورزی پایدار در سراسر جهان هستند (Awasthi et al., 2014). از دیدگاه کشاورزی خشکی عبارت است از ناکافی بودن مقدار و توزیع آب قابل استفاده در طی دوره رشد گیاه که این امر موجب کاهش بروز توان کامل ژنتیکی گیاه می‌گردد. تنش گرمایی غالباً با تنش خشکی در شرایط مزرعه همراه است. واکنش‌های بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و ژنتیکی مختلفی در اثر تنش خشکی ایجاد می‌شود که رشد محصول را به‌شدت محدود می‌کند. تغییرات در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه که در نهایت باعث آسیب و یا مرگ می‌شود، به‌عنوان تنش گیاه در نظر گرفته

یکی از بزرگترین تیره‌های گیاهی، نعنائیان می‌باشند که گیاهان دارویی مختلف اعم از ریحان (*Ocimum basilicum*)، نعنای (*Mentha pulegium*)، مریم‌گلی (*Salvia santolinifolia* Boiss)، مرزه (*Satureja spicigera*)، مرزنگوش (*Origanum vulgare*)، پونه‌کوهی (*Mentha longifolia* L.)، زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)، آویشن (*Zataria multiflora* Boiss)، اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* Mill) و بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) را در خود جای داده است. نعنای فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* متعلق به خانواده Lamiaceae یک نعنای هیبریدی است که از تلاقی بین گونه‌های *Mentha spicata* و *Mentha aquatica* حاصل شده است. این گیاه بومی خاورمیانه و اروپا است و به‌صورت کشت شده یا وحشی یافت می‌شود (*Tafrihi et al., 2021*). تنش‌های متعدد محیطی رشد گیاهان را تحت

به افزایش تولید می‌شود (Khalesro and Malekian, 2017). نتایج یک آزمایش نشان داد که کاربرد ۶۰۰ میلی‌گرم اسید هیومیک سبب افزایش شاخص‌های رشدی در گیاهان دارویی کاسنی (*Cichorium intybus* L.) و کشتوک (*Pergularia tomentosa*) گردید (Sepehri et al., 2024).

از راه‌های افزایش مقابله با تنش خشکی، توسعه سیستم ریشه‌ای می‌باشد. با افزایش ریشه‌دهی آب و مواد غذایی بیشتری توسط گیاه جذب می‌شود. اسید هیومیک با افزایش ریشه می‌تواند در کاهش تنش خشکی موثر باشد. مولکول‌های اسید هیومیک با مواد ریزمغذی خاک پیوند تشکیل داده و شبکه‌ای را ایجاد می‌کنند که در نتیجه حجم بیشتری از آب را در خود ذخیره می‌کنند (Hartz and Bottoms, 2010). همچنین این ماده می‌تواند باعث کاهش مصرف آب و مقاومت بیشتری به خشکی شده و از طرف دیگر، نیاز به دیگر کودها را کاهش داده و عملکرد را در گیاهان افزایش دهد (Mayhew, 2004). گزارشی بیان شده است که اعمال ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در شرایط تنش خشکی و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در شرایط تنش شدید در گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) موثر بوده است (Haghighi and Najafi, 2020). در گیاه دارویی آیسون (*Pimpinella anisum* L.) نیز کاربرد اسید هیومیک به میزان ۴ کیلوگرم در هکتار اثرات منفی تنش خشکی را در مراحل رشد رویشی و زایشی به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد (Babaeian et al., 2021). با توجه به اینکه تنش خشکی از رایج‌ترین تنش‌های محیطی در ایران است، انجام مطالعات مورفولوژیک و فیزیولوژیک و به‌کارگیری اسید هیومیک و اسید آسکوربیک به‌منظور بررسی واکنش نعنای فلفلی، می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای شناخت نحوه سازگاری و تحمل به خشکی این گیاه مفید واقع شود. از این رو تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید آسکوربیک بر مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه نعنای فلفلی در شرایط تنش خشکی صورت گرفته است.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی تاثیر تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی شامل اسید آسکوربیک و اسید

می‌شود. گیاهان با مکانیسم‌های مختلفی آسیب‌های ناشی از تنش را کاهش داده و با زندگی در شرایط تنش سازگار می‌شوند (Atkinson and Urwin, 2012). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری در کاهش رشد، عملکرد و کلروفیل نعنای فلفلی داشت (Kheiry et al., 2017). همچنین تنش خشکی پارامترهای رشد را در گیاهان دارویی مانند زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و ریحان کاهش داد (Esmailpour et al., 2023; Soorni et al., 2020). روش‌های زیادی برای اجتناب از اثرات تنش خشکی در گیاهان وجود دارد که راهبرد سریع‌تر برای القاء تحمل خشکی گیاه، کاربرد خارجی ترکیب‌های مختلف شامل محلول‌های آلی مانند اسید هیومیک و اسید آسکوربیک است. اسید آسکوربیک یکی از ترکیباتی است که به فراوانی در گیاهان وجود دارد که یک احیاء‌کننده قوی و مولکولی کوچک و قابل حل در آب است که با اکسیدکننده‌ها واکنش دارد. این ماده یک ضدآکسایش مهم بوده که در حذف اکسیژن فعال در مسیر کلروپلاست و سیتوسول نقش مهمی دارد. اسید آسکوربیک در بسیاری از فرآیندهای سلولی مانند فتوسنتز نقش اساسی داشته و سبب مقاومت به تنش‌های غیرزیستی می‌شود (Soha et al., 2010; Horemans et al., 2000). تاثیر مثبت کاربرد اسید آسکوربیک در گیاه علف بره (*Festuca ovina*) در کاهش اثرات خشکی و گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Rouhi et al., 2021; Pourghasemian and Moradi, 2018).

مواد هیومیک بخش اصلی مواد آلی تشکیل‌دهنده خاک هستند که شامل اسید هیومیک و اسید فولیک می‌باشند. اسید هیومیک نقش‌های مستقیم و غیرمستقیمی در گیاه دارد که وابسته به غلظت آن می‌باشند (Ferrara et al., 2007). اسید هیومیک در نتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت و لیگنین به‌وجود می‌آید، در واقع یک ترکیب پلیمری طبیعی و آلی است که می‌تواند جهت افزایش محصول و کیفیت آن به‌کار رود (Gad El-HAK et al., 2012). اسید هیومیک نفوذپذیری غشای سلولی را افزایش داده و بدین طریق ورود پتاسیم را تسهیل می‌کند که نتیجه آن افزایش فشار داخل سلولی و تقسیم سلول است و همچنین یک فاکتور مهم در جذب نیتروژن به درون سلول و کاهش تولید نترات می‌باشد که منجر

رنگیزه‌های فتوسنتزی از روش آرنون استفاده شد (Bates et al., 1973; Arnon, 1987). از روش واگنر جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین استفاده گردید (Wagner, 1979). همچنین در این پژوهش، میزان مالون‌دی‌آلدئید و محتوای نسبی آب برگ اندازه‌گیری شد (Heath and Packer, 1968). برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، ابتدا وزن تر نمونه اندازه‌گیری شد، سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شد و وزن برگ اشباع شده اندازه‌گیری شد. پس از آن برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک آن اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ بر اساس معادله ۲ محاسبه گردید (Ritchie and Nguyen, 1990).

$$RWC = [(Fw - Dw) / (Sw - Dw)] \times 100 \quad (2)$$

### روش اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم

در پایان آزمایش و پس از جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی بخشی از آن جهت تعیین میزان عناصر غذایی پرمصرف مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های همگن ابتدا در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند، و سپس فسفر به روش رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Specord 205) و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (JENWAY, PFP7) مورد سنجش قرار گرفت (Jones, 2001).

برای انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار Minitab 21.3 و مقایسه میانگین از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. همچنین رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

### نتایج و بحث

#### ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد، ارتفاع بوته نعناع فلفلی تحت تأثیر تنش اسید هیومیک و اسید آسکوربیک و همچنین اثر متقابل تنش و تعدیل‌کننده‌های تنش قرار گرفت. بررسی اثرات متقابل تنش و تعدیل‌کننده‌های تنش بر ارتفاع بوته نعناع فلفلی نشان داد، بیشترین میزان ارتفاع بوته در بین تمام تیمارها، تحت تأثیر تیمار آبیاری کامل + مصرف

هیومیک بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه دارویی نعناع فلفلی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر با دمای حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد، فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و رطوبت حدود ۵۵ درصد در اردیبهشت سال ۱۴۰۲ اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. آبیاری کامل به عنوان شاهد و آبیاری پس از رسیدن به ۵۰ درصد ظرفیت گلدانی به عنوان تیمار تنش خشکی، فاکتور اول؛ تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی (شاهد، ۲ و ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، ۲ و ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک به‌طور همزمان)، فاکتور دوم بودند.

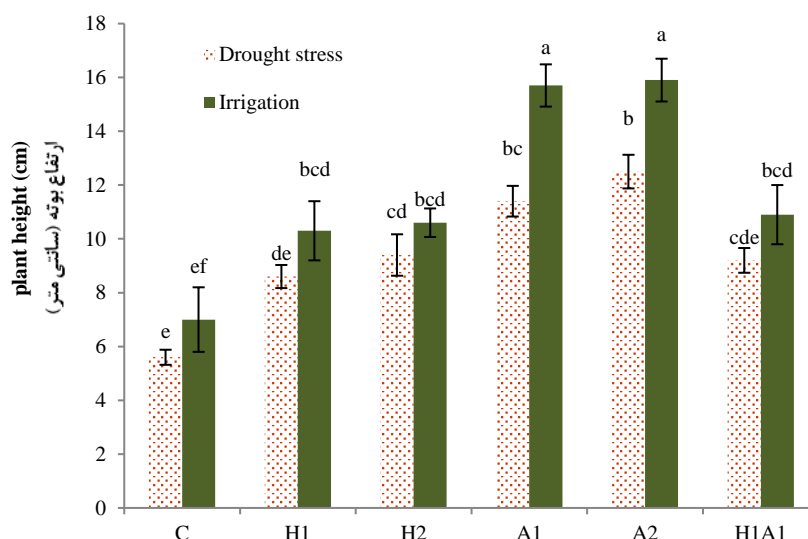
ابتدا خاک گلدان‌ها به نسبت دو قسمت خاک باغچه، یک قسمت ماسه و یک قسمت مخلوط کود دامی و ورمی کمپوست آماده شدند و سپس ۳ عدد نشاء ۴ برگی در هر گلدان کشت شد و پس از اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها تیمارها اعمال شدند و آبیاری بر حسب ضرورت با توجه به شرایط تنش یا بدون تنش به روش وزنی تنظیم گردید. تیمار اسید آسکوربیک و اسید هیومیک در دو مرحله با فاصله دو هفته روی گیاهان مورد نظر محلول پاشی شد. پس از ۶۰ روز، برداشت گیاهان صورت گرفت. در پایان آزمایش، شاخساره گیاهان از سطح خاک قطع و همچنین ریشه‌ها با دقت از خاک خارج و گل‌ولای ریشه‌ها به‌طور کامل با آب شسته شد و نمونه‌های گیاهی به آزمایشگاه منتقل شدند. وزن خشک اندام هوایی پس از قرار دادن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم تعیین گردید. ارتفاع کل گیاه به‌وسیله خط‌کش بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. تعداد برگ‌های هر بوته به‌صورت جداگانه شمارش و پس از اندازه‌گیری سطح برگ‌ها با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ، سطح ویژه برگ با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد:

$$SLA = \frac{LA}{LDM} \quad (1)$$

که در این رابطه LA برابر است با سطح برگ گیاه بر حسب میلی‌متر مربع و LDM معادل وزن خشک برگ بر حسب گرم می‌باشد. سنجش نشت الکتروولت بر اساس روش بن حامد و همکاران انجام شد (Ben Hamed et al., 2007). جهت سنجش پرولین از روش بی‌تس و همکاران و جهت اندازه‌گیری

بیشتر بوده است (شکل ۱). کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی روی ارتفاع گیاهان توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (Ghasemi *et al.*, 2021; Pourghasemian and Moradi, 2018). یکی از دلایل افزایش رشد و ارتفاع گیاه در زمان کاربرد کودهای آلی به دلیل تأثیر آن بر متلبولیسیم سلول‌های گیاهی و نیز افزایش قدرت کلات‌کنندگی و جذب عناصر غذایی است (Nardi *et al.*, 2002). همچنین اسید آسکوربیک می‌تواند به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشدی در گیاهان نقش داشته باشد. این ماده به‌عنوان یک کوفاکتور مهم در بسیاری از تنظیم‌کننده‌ها از جمله جبرلین نقش داشته و از این طریق سبب تعدیل تنش‌های محیطی، افزایش تقسیم، گسترش سلول و رشد گیاه می‌شود (Taqi *et al.*, 2011).

اسید آسکوربیک در هر دو غلظت ۲ و غلظت ۴ گرم در لیتر به‌دست آمد و کمترین میزان ارتفاع بوته نیز در تیمار تنش و بدون مصرف تعدیل‌کننده‌های تنش به‌دست آمد (شکل ۱). اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد که در واقع کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلول می‌شود (Babae *et al.*, 2010). کاهش ارتفاع در اثر تنش خشکی در گیاهان مختلفی گزارش شده است (Asghari *et al.*, 2023; Samadiyan-Sarbangholi *et al.*, 2024). بر اساس نتایج این آزمایش، کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک در هر دو غلظت، ارتفاع بوته را در شرایط نرمال و تنش خشکی افزایش داده‌اند. در این بین، نقش اسید آسکوربیک نسبت به اسید هیومیک در کاهش اثر تنش خشکی



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر ارتفاع بوته

Figure 1- Interaction of drought stress and stress modifier on plant height

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک  
H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

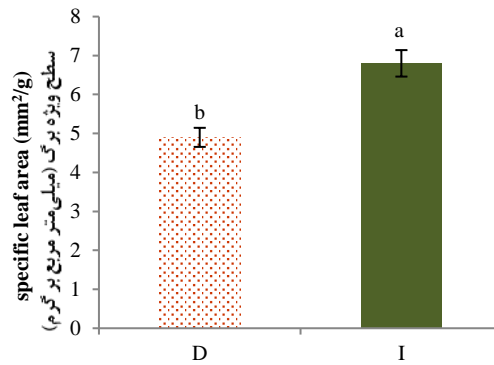
می‌شود، مطابقت دارد (Sorkhi and Fateh, 2019). احتمالاً کم آبیاری موجب کاهش رشد از طریق کاهش توسعه سلولی ناشی از کاهش فشار تورژسانس و تقسیم سلولی و کاهش فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه‌ها و در نهایت موجب کاهش سطح برگ شده است. گزارش شده که تنش خشکی از طریق افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز سبب کاهش سرعت رشد محصول می‌گردد (Tadayon and

## تعداد و سطح ویژه برگ

طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر متقابل تنش خشکی و کاربرد تعدیل‌دهنده بر تعداد برگ معنی‌دار بود ولی برای سطح ویژه برگ فقط اثر ساده تنش معنی‌دار شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، تنش خشکی سبب کاهش سطح ویژه برگ شده است. نتایج این پژوهش با نتایج مطالعه‌ای مبنی بر اینکه تنش خشکی موجب کاهش سطح برگ

تعداد برگ را افزایش داده است (Sepehri et al., 2024). در پژوهشی دیگر، کاربرد اسید آسکوربیک و اسید هیومیک باعث افزایش تعداد برگ در گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L. گردید (Nasiri et al., 2019).

در اثر تنش خشکی، تعداد برگ به شدت کاهش یافته است و کاربرد تعدیل‌کننده‌ها به خصوص اسید آسکوربیک در هر دو سطح سبب بهبود قابل توجه این صفت گردید (شکل ۳). نتایج مطالعه‌ای در دو گیاه دارویی کاسنی و کشتوک نشان داد که کاربرد اسید هیومیک

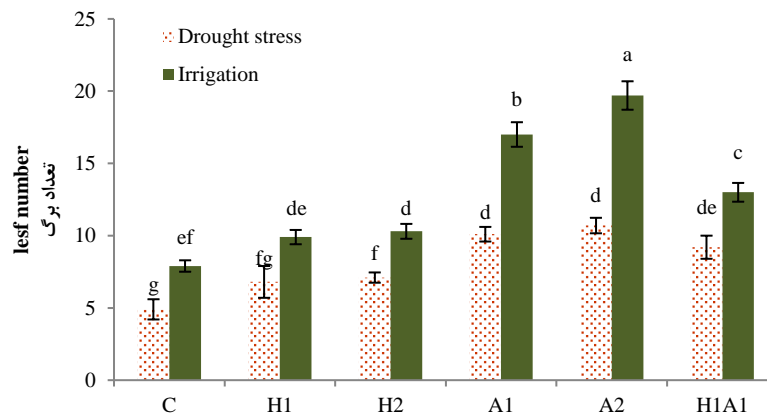


شکل ۲- اثر تنش خشکی بر سطح ویژه برگ

Figure 2- Effect of drought stress on specific leaf area

D:تنش خشکی و I:آبیاری

D:Drought stress; I:Irrigation



شکل ۳- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر تعداد برگ

Figure 3- Interaction of drought stress and stress modifier on leaf number

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

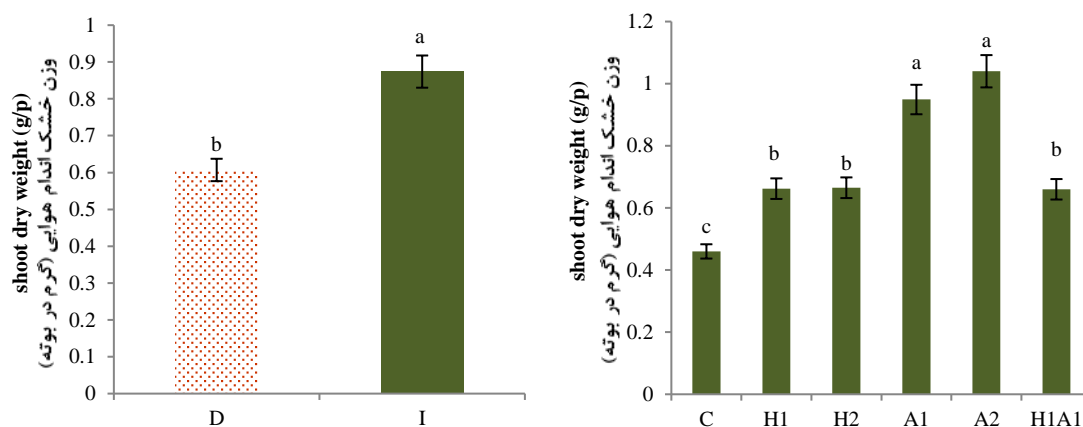
که کمترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط عدم کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک به دست آمد. کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک و همچنین کاربرد همزمان این دو ماده باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی شده است، اگرچه اثر اسید آسکوربیک در مقایسه با اسید هیومیک بیشتر بوده است (شکل ۴). نتایج پژوهش حاضر با نتایج به دست آمده در تحقیقات دیگر

## وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی تحت تاثیر تنش و تعدیل‌کننده‌های تنش قرار گرفت ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر تنش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شده است (شکل ۴). مقایسه میانگین اثر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک نشان داد

(Pourghasemian and Moradi, 2018; *al.*, 2021). گزارش‌هایی مبنی بر وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در اثر کاربرد کودهای آلی و امکان بهبود رشد گیاهی تحت این شرایط وجود دارد. مزیت استفاده از این کودها در مقابل سایر کودها به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی است. افزودن کود آلی به خاک، بسترهای کشت و محلول غذایی به افزایش رشد گیاه کمک می‌کند. کود آلی به دلیل فراهم کردن مقادیر بیشتری از عناصر مغذی، منجر به بیشتر شدن وزن گیاه می‌گردد (Yadegari, 2022).

مطابقت دارد که با افزایش تنش خشکی وزن تر و خشک گیاه کاهش یافته است (Salehi Shanjani *et al.*, 2020). تنش خشکی می‌تواند از طریق تغییراتی که در مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه ایجاد می‌کند و همچنین با متوقف نمودن گسترش سلول‌ها و کاهش فشار آماس، بر وزن خشک گیاه تاثیر گذاشته و موجب کاهش وزن در گیاه شود (Haghighi and Najafi, 2020). همسو با نتایج این مطالعه، سایر محققان بیان کردند که کاربرد موادی مانند اسید هیومیک و اسید آسکوربیک می‌تواند روی وزن گیاه اثر مثبتی داشته و باعث افزایش وزن در گیاه شوند (Zarei *et*



شکل ۴- اثر تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر وزن خشک اندام هوایی

Figure 4- Effect of drought stress and stress modifier on dry weight of shoot

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر در هزار اسید آسکوربیک، A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک  
D: تنش خشکی و I: آبیاری

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid  
D: Drought stress; I: Irrigation

جدول ۱- تجزیه واریانس تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر صفات مورفولوژیک

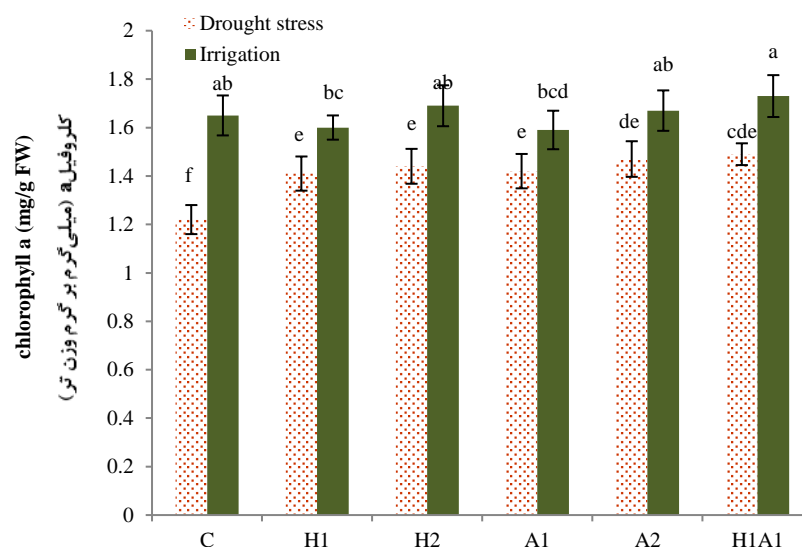
Table 1- Variance analysis of drought stress and stress modifier on morphological traits

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	تعداد برگ	ارتفاع کل	سطح ویژه برگ
Source of variables	Degree freedom	dry weight of shoot	leaf number	plant height	specific leaf area
تنش خشکی (A)					
drought stress (A)	1	0.003**	210.25**	47.3**	377221.7**
تخفیف دهنده تنش (B)					
stress modifier (B)	5	0.001**	67.49**	51.19**	5158.9 n.s
A×B	5	0≤00000000 n.s	9.47**	2.25*	673.45 n.s
خطای کل	24	0≤00000000	0.483	0.617	8452.32
Total error					
ضریب تغییرات (/)	-	6.8	6.58	7.39	19.51
Coefficient variable (%)					

b شده است. نتایج تحقیقی در گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) نشان داد که با کاربرد اسید آسکوربیک مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی افزایش یافته است. این نشان می‌دهد که اسید آسکوربیک به‌عنوان ضداکسایش قوی توانسته است از فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از تنش و به‌دنبال آن تخریب غشای کلروپلاستی جلوگیری کرده و محتوای کلروفیل گیاه را حفظ کند (Ghaderi et al., 2018). یکی از دلایل کاهش در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش خشکی، تخریب بیشتر کلروفیل نسبت به سنتر آن است (Thalooth et al., 2006). تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، تخریب پیش‌ماده‌های سنتزکننده کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز و اختلالات هورمونی می‌تواند از دیگر دلایل کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر تنش خشکی باشد (Neocleous and Vasilakakis, 2007). کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر تنش خشکی در گیاه دارویی مرزه، سرخارگل (*Echinacea purpurea*) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گزارش شده است (Hosseinian et al., 2020; Tavosi et al., 2024; Kiani et al., 2024).

## رنگیزه‌های فتوسنتزی

بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۲) برای میزان کلروفیل نوع a، اثر متقابل تیمارهای مختلف اسید هیومیک و اسید آسکوربیک با تنش خشکی معنی‌دار بود. در اثر اعمال تنش خشکی میزان کلروفیل نوع a در همه تیمارهای آزمایشی به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت که این امر بیانگر اثرات مخرب تنش خشکی بر تولید یا حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی است. در شرایط بدون تنش هیچ یک از تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت، در حالی‌که در شرایط تنش خشکی همه تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند و این نکته بیانگر آن است که در شرایط تنش، استفاده از ترکیبات اسید هیومیک و اسید آسکوربیک می‌تواند به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش میزان این رنگیزه شود (شکل ۵). برای صفات کلروفیل نوع b و کاروتنوئید نیز اثرات ساده تنش و اثر ساده تعدیل‌کننده‌های تنش (اسید آسکوربیک و اسید هیومیک) معنی‌دار گردید ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج اثر ساده تنش خشکی (شکل ۶)، کاهش میزان کاروتنوئید و کلروفیل نوع b تحت شرایط تنش خشکی را نشان داد. همچنین نتایج نشان داد (شکل ۷)، که کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک باعث افزایش میزان کاروتنوئید و کلروفیل نوع

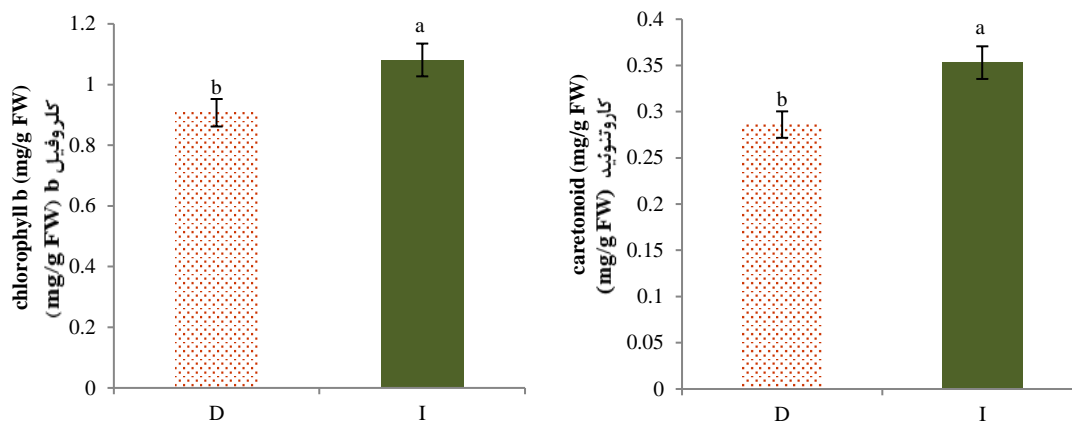


شکل ۵- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر میزان رنگیزه کلروفیل a

Figure 5- Interaction of drought stress and stress modifier on chlorophyll a

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

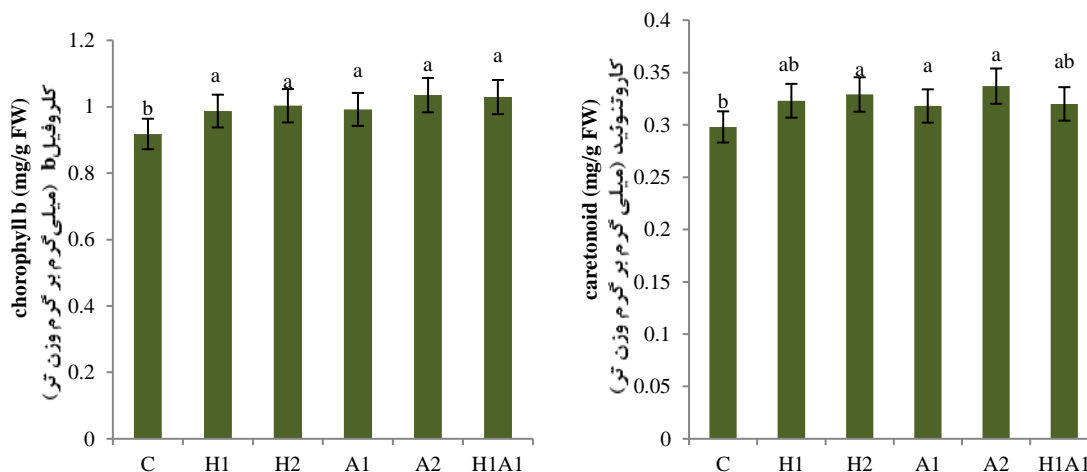


شکل ۶- اثر تنش خشکی بر کلروفیل b و کاروتنوئید

Figure 6- Effect of drought stress on chlorophyll b and carotenoid

D: تنش خشکی و I: آبیاری

D: Drought stress; I: Irrigation



شکل ۷- اثر تعدیل کننده‌های تنش بر کلروفیل b و کاروتنوئید

Figure 7- Effect of stress modifier on chlorophyll b and carotenoid

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

جدول ۲- تجزیه واریانس تنش خشکی و تعدیل کننده‌های تنش بر رنگه‌های فتوسنتزی

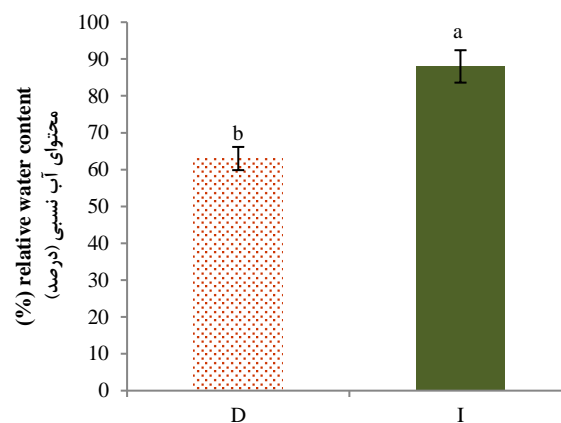
Table 2- Variance analysis of drought stress and stress modifier on photosynthetic pigments

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید
Source of variables	Degree freedom	chlorophyll a	chlorophyll b	carotenoid
تنش خشکی (A)	1	0.558**	0.276**	0.039**
drought stress (A)				
تخفیف دهنده تنش (B)	5	0.029**	0.011**	51.19*
stress modifier (B)				
A×B	5	0.008**	0.0005 <sup>ns</sup>	2.25*
خطای کل	24	0.002	0.001	0.617
Total error				
ضریب تغییرات (٪)	-	2.91	3.19	7.39
Coefficient variable (%)				

### محتوای آب نسبی

فراگیری از تعادل بین میزان عرضه آب نسبی برگ و میزان تعرق را نشان می‌دهد (Kumar *et al.*, 1992). چنانچه محتوای نسبی آب برگ بالا باشد گیاه تورم سلولی خود را حفظ کرده، رشد آن تداوم می‌یابد (Rao *et al.*, 1991). در مقابل، تنش خشکی با کاهش محتوای نسبی آب برگ، بسته شدن روزنه و به دنبال آن کاهش فتوسنتز و تحت تأثیر قرار دادن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای متابولیکی مربوط، موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Haddad *et al.*, 2022).

در آزمایش حاضر تنش خشکی تا ۳۹/۷ درصد محتوای آب نسبی را نسبت به شاهد کاهش داد، که نشان از اثر سوء تنش خشکی دارد (شکل ۸). در گیاه زیره سبز تنش خشکی موجب کاهش محتوای آب نسبی شده است که در تطابق با نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌باشد (Shojaei Baghini and Naghizadeh, 2024). یکی از شاخص‌های مناسب برای بیان وضعیت آب در گیاهان، محتوای نسبی برگ بوده و وضعیت



شکل ۸- اثر تنش خشکی بر محتوای آب نسبی

Figure 8- Effect of drought stress on Relative Water Content (RWC)

D: تنش خشکی و I: آبیاری

D: Drought stress; I: Irrigation

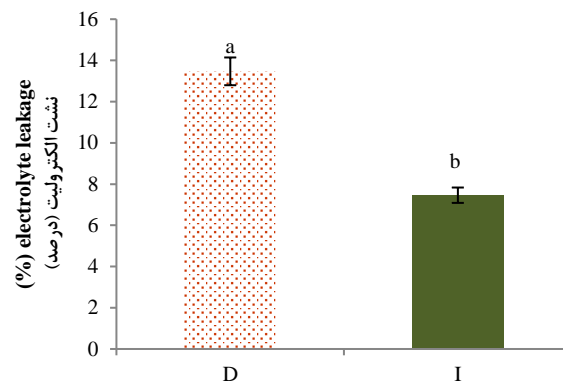
گرم در لیتر اسید آسکوربیک و همچنین در شرایط تنش و بدون کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش مشاهده شد (شکل ۱۰). کاربرد اسید هیومیک و غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک باعث کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید در شرایط تنش شده که نشان‌دهنده اثر آنها در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی می‌باشد. نتایج گزارش‌های متعددی نشان داده است که استفاده از اسیدهای آلی مانند اسید هیومیک در گیاهان تحت تنش‌های غیرزیستی می‌تواند سبب کاهش آسیب به غشا و در نتیجه کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید در این شرایط گردد (Sharifiasl *et al.*, 2020; Khodamoradi *et al.*, 2018).

به نظر می‌رسد حفظ ساختار غشا و جلوگیری از افزایش میزان مالون‌دی‌آلدئید در گیاه نعنای فلفلی تحت تنش خشکی با کاربرد اسید هیومیک و غلظت پایین اسید آسکوربیک، بیانگر فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی گیاه باشد.

### مالون‌دی‌آلدئید و نشت الکترولیت

همچنین بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر میزان مالون‌دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، غلظت مالون‌دی‌آلدئید در گیاه نعنای فلفلی تحت تنش خشکی افزایش یافت که به دنبال این افزایش، غشا سلولی تخریب و میزان نشت یونی در مقایسه با گیاهان شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۹). در مطالعات دیگر نیز افزایش مالون‌دی‌آلدئید و به دنبال آن افزایش نشت یونی تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Pamungkas *et al.*, 2022; Shojaei Baghini and Naghizadeh, 2024).

کمترین میزان مالون‌دی‌آلدئید با میانگین  $mmol/g$  FW مربوط به شرایط نرمال آبیاری و ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک می‌باشد و بیشترین مقدار در شرایط تنش و کاربرد ۴

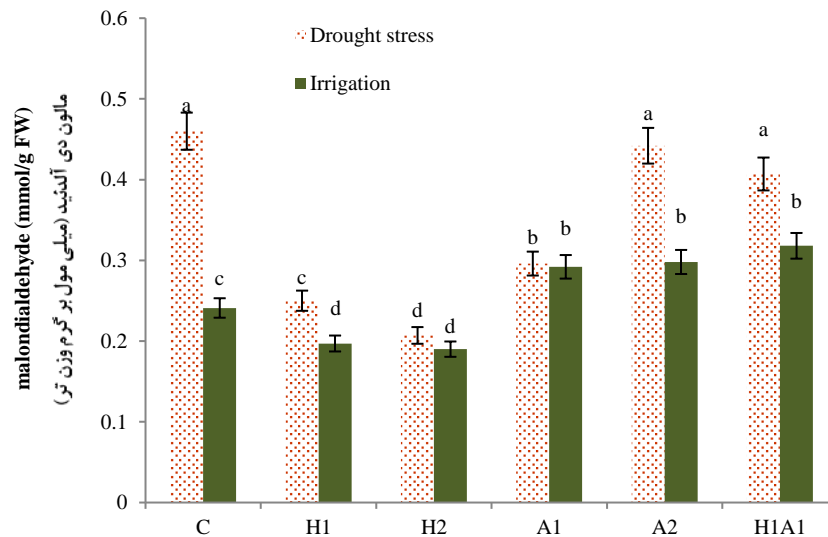


شکل ۹- اثر تنش خشکی بر نشت الکترولیت

Figure 9- Effect of drought stress on electrolyte leakage

D: تنش خشکی و I: آبیاری

D: Drought stress; I: Irrigation



شکل ۱۰- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر میزان مالون دی آلدئید

Figure 10- Interaction of drought stress and stress modifier on malondialdehyde

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

آلی بر کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی می‌باشد. تاثیر مثبت کاربرد اسید هیومیک بر کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی و کاهش میزان پرولین در مقایسه با شاهد در گیاه ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) گزارش شده است (Ghasemi et al., 2022). یکی از راه‌کارهایی که گیاه در شرایط تنش‌های غیرزیستی برای حفظ تورژسانس سلولی به کار می‌برد، تنظیم اسمزی با تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین است که در نتیجه آن ظرفیت اسمزی سلول‌های تنش دیده کاهش می‌یابد و در نتیجه جذب آب به‌وسیله گیاه انجام می‌شود

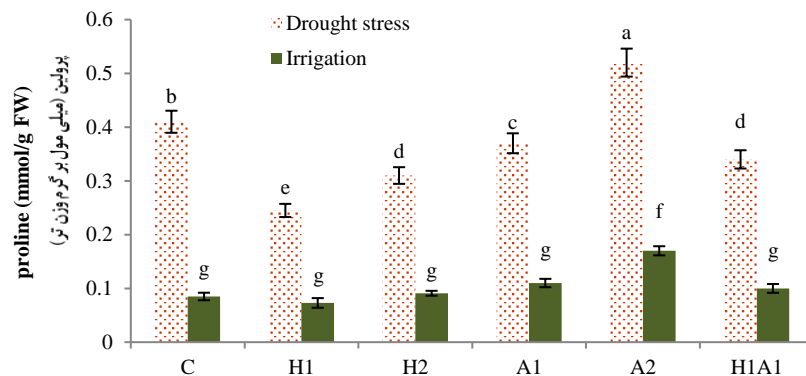
## پرولین و آنتوسیانین

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر ساده تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های رشد و همچنین اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های رشد بر میزان پرولین معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱۱)، تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار میزان پرولین در گیاه نعنای فلفلی گردید. کاربرد اسید هیومیک و اسید آسکوربیک در غلظت پایین و کاربرد به‌طور همزمان این دو اسید آلی میزان پرولین را در شرایط تنش خشکی کاهش داده که نشان‌دهنده اثر اسیدهای

تنش خشکی را نشان داد (شکل ۱۲). آنتوسیانین نیز از جمله مهمترین ترکیبات فنولی موجود در برخی گیاهان هستند که اثرهای بیولوژیکی مختلفی از آنها گزارش شده است (Sindi *et al.*, 2018; Hinojosa- Gómez *et al.*, 2014; *al.*, 2014). تاثیر عوامل محیطی و تیمارهای اعمالی بر مقدار محتوای آنتوسیانینی گیاهان دارویی در مطالعات دیگری نیز بررسی شده است. برای نمونه، در مطالعه‌ای در گیاه چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) اثر متقابل محلول‌پاشی سه ترکیب اسیدسالیسیلیک، اسید هیومیک و سولفات روی و تنش خشکی بر مقدار آنتوسیانین گیاه لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در حالی که هریک از این ترکیبات به تنهایی اثر معنی‌داری بر مقدار آنتوسیانین این گیاه داشتند (Fathi and Bahamin, 2018).

(Parviz and Satyawati, 2008). علاوه بر این پرولین می‌تواند به‌عنوان یک منبع کربن و نیتروژن جهت استفاده برای رشد در دوران تنش محسوب شود (Jain *et al.*, 2001). مطابق با نتایج این تحقیق، تاثیر معنی‌دار تنش خشکی روی میزان پرولین در گیاه دارویی خارمریم (*Silybum Marianum* L.) و مریم‌گلی گزارش شده است (Sarani Mallak *et al.*, 2024; Caser *et al.*, 2018).

برای میزان آنتوسیانین اثرات ساده تنش و اثر ساده تعدیل‌کننده‌های تنش معنی‌دار گردید ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تعدیل‌کننده‌های تنش نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین در کاربرد ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد. همچنین نتایج اثر ساده تنش خشکی افزایش میزان آنتوسیانین تحت



شکل ۱۱- اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر میزان پرولین

Figure 11- Interaction of drought stress and stress modifier on proline

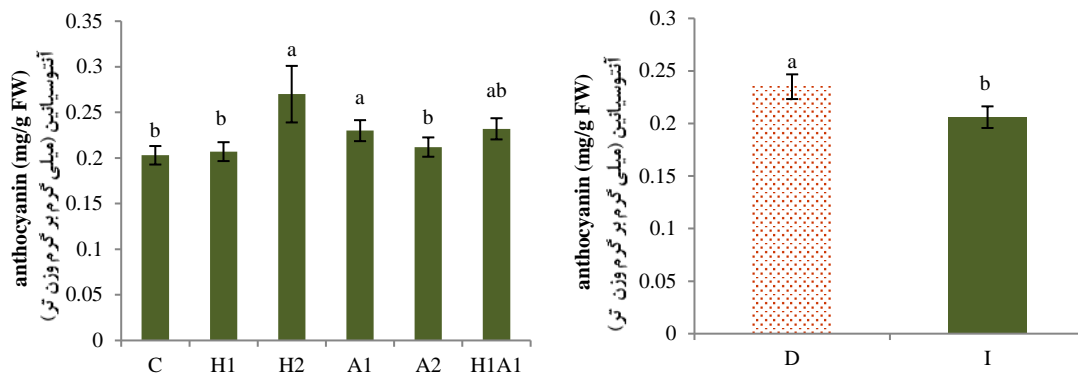
H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، H1A1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, H1A1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

جدول ۳- تجزیه واریانس تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر صفات فیزیولوژیکی

Table 3- Variance analysis of drought stress and stress modifier on physiological traits

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای آب نسبی	آنتوسیانین	پرولین	نشت الکترولیت	مالون دی آلدئید
Source of variables	Degree freedom	relative water content	anthocyanin	proline	electrolyte leakage	malondialdehyde
تنش خشکی (A)	1	5731.7**	0.007**	0.621**	273.79**	0.001 <sup>n.s</sup>
drought stress (A)	1	5731.7**	0.007**	0.621**	273.79**	0.001 <sup>n.s</sup>
تخفیف دهنده تنش (B)	5	21.63 <sup>n.s</sup>	0.009**	0.025**	20.18 <sup>n.s</sup>	0.032**
stress modifier (B)	5	21.63 <sup>n.s</sup>	0.009**	0.025**	20.18 <sup>n.s</sup>	0.032**
A×B	5	16.12 <sup>n.s</sup>	0.0001 <sup>n.s</sup>	0.0094**	5.32 <sup>n.s</sup>	0.024**
خطای کل	24	0.002	0.002	0.003	10.59	0.003
Total error	24	0.002	0.002	0.003	10.59	0.003
ضریب تغییرات (/)	-	20.32	20.32	22.8	30.86	18.15
Coefficient variable (%)	-	20.32	20.32	22.8	30.86	18.15



شکل ۱۲- اثر تنش خشکی و تعدیل کننده‌های تنش بر آنتوسیانین

Figure 12- Effect of drought stress and stress modifier on anthocyanin

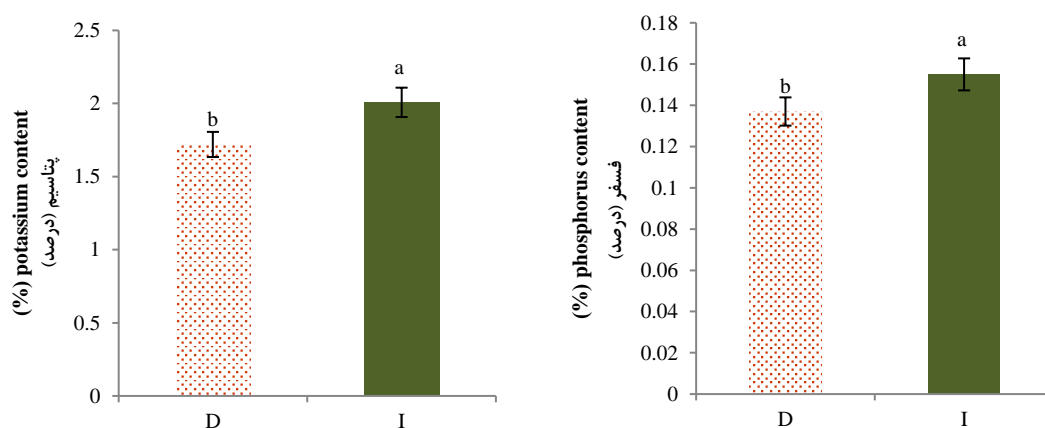
H1: 2 گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: 4 گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: 2 گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: 4 گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A1H1: 2 گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک، D: تنش خشکی و I: آبیاری

H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid  
D:Drought stress; I:Irrigation

عنصر فسفر می‌باشد. در هنگام تنش، سرعت انتشار افت پیدا کرده و در نتیجه فسفر کمتری به سطح ریشه منتقل و جذب می‌شود که به دنبال آن غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد (Azizabadi et al., 2014; Mirnia and Habibzadeh, 2006). کاهش غلظت فسفر و پتاسیم در گیاه نعنای لعلی در اثر تنش خشکی با نتایج آزمایش در گیاه مریم لوله‌ای (*Salvia macrosiphon*) مطابقت دارد (Sodaeizadeh and Mansouri, 2014).

### فسفر و پتاسیم

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد، اثر ساده تنش خشکی و تعدیل کننده‌های تنش بر غلظت فسفر و پتاسیم معنی دار بود، ولی اثر متقابل تنش خشکی و تعدیل کننده‌های تنش برای این صفات تاثیر معنی داری نداشتند. با توجه به نتایج، تنش خشکی سبب کاهش غلظت فسفر و پتاسیم گردید (شکل ۱۳). یکی از عناصری که عمدتاً از طریق فرآیند انتشار به سطح ریشه گیاه منتقل و جذب می‌شود،

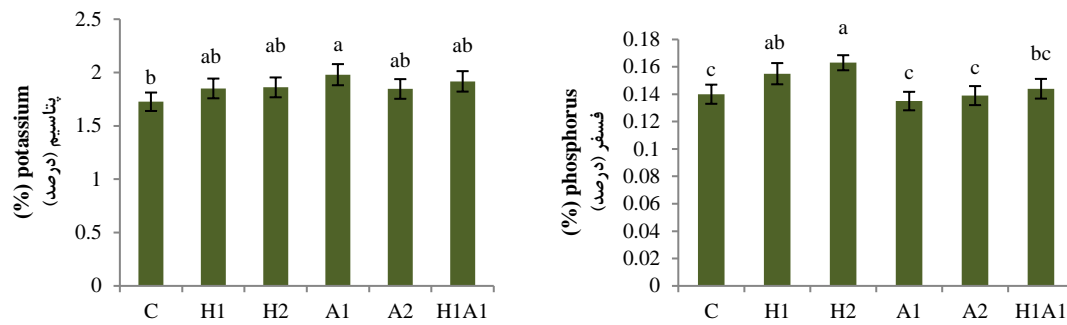


شکل ۱۳- اثر تنش خشکی بر غلظت فسفر و پتاسیم

Figure 13- Effect of drought stress on potassium and phosphorus

D: تنش خشکی و I: آبیاری

D: Drought stress; I: Irrigation



شکل ۱۴- اثر تعدیل‌کننده‌های تنش بر غلظت فسفر و پتاسیم

Figure 14- Effect of stress modifier on K and P

H1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، H2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید هیومیک، A1: غلظت ۲ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A2: غلظت ۴ گرم در لیتر اسید آسکوربیک، A1H1: ۲ گرم در لیتر اسید هیومیک و اسید آسکوربیک  
 H1: 2 g/l humic acid, H2: 4 g/l humic acid, A1: 2 g/l ascorbic acid, A2: 4 g/l ascorbic acid, A1H1: 2 g/l humic acid and 2 g/l ascorbic acid

جدول ۴- تجزیه واریانس تنش خشکی و تعدیل‌کننده‌های تنش بر فسفر و پتاسیم

Table 4- Variance analysis of drought stress and stress modifier on P and K

منابع تغییر	درجه آزادی	پتاسیم	فسفر
Source of variables	Degree freedom	K	P
تنش خشکی (A)	1	0.731**	0.003**
drought stress (A)	1	0.731**	0.003**
تخفیف دهنده تنش (B)	5	0.045**	0.001**
stress modifier (B)	5	0.045**	0.001**
A×B	5	0.001 <sup>n.s</sup>	0.000006 <sup>n.s</sup>
خطای کل	24	0.003	0.00001
Total error	24	0.003	0.00001
ضریب تغییرات (C.V)	-	2.94	2.11
Coefficient variable (%)	-	2.94	2.11

شده و کاهش آثار سوء تنش خشکی و سبب افزایش تحمل این گیاه به شرایط تنش شده است. البته کاربرد همزمان اسید هیومیک و اسید آسکوربیک اثر کمتری داشت. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان کاربرد اسید آسکوربیک و اسید هیومیک را به‌صورت محلول پاشی برای افزایش رشد گیاه و عملکرد نعناع فلفلی پیشنهاد کرد.

## نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و اسید هیومیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی نعناع فلفلی بسیار مؤثر بود و آنها را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است. اعمال تنش خشکی آثار منفی بر رشد این گیاه داشته است. از سوی دیگر محلول‌پاشی اسید هیومیک و به‌خصوص اسید آسکوربیک آثار مثبتی در افزایش صفات ارزیابی

## References

- Arnon, A.N., 1987. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, pp.112-121.
- Asghari, B., Mafakheri, S. and Zarrabi, M.M., 2023. Effects of salicylic acid on physiological and phytochemical parameters of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under water shortage stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 39(3), pp.367-386. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2023.360963.3269>
- Atkinson, N.J. and Urwin, P.E., 2012. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of experimental botany*, 63(10), pp.3523-3543.
- Atkinson, N.J. and Urwin, P.E., 2012. The interaction

- of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of experimental botany*, 63(10), pp.3523-3543. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers100>
- Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N.C., Berger, J., Siddique, K.H. and Nayyar, H., 2014. Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. *Functional Plant Biology*, 41(11), pp.1148-1167. <https://doi.org/10.1071/fp13340>
- Azizabadi, E., Golchin, A. and Delavar, M.A., 2014. Effect of potassium and drought stress on growth indices and mineral content of safflower leaf. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 5(3), pp.65-79. [In Persian].
- Babaei, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S. and Jabbari, R., 2010. Water deficit effect on morphology, proline content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 26(2), pp.239-251. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939>
- Babaeian, M., Taghdisi, J., Khairkhan, M. and Jafarian, M., 2021. Investigating the role of humic acid in reducing the effects of drought stress of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 3(2), pp.189-206. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/csrar.2021.296682.1107>
- Bates L.S., Waldern R.P. and Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and soil*, 39, pp.107-205. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>
- Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C., 2007. Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions, a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Growth Regulators*, 53, pp.185-194. <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9217-8>
- Caser, M., Angiolillo, F., Chitarra, W., Lovisolò, C., Ruffoni, B., Pistelli, L. and Scariot, V., 2018. Ecophysiological and phytochemical responses of *Salvia sinaloensis* Fern. to drought stress. *Plant Growth Regulation*, 84, pp.383-394. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0349-1>
- Esmailpour, B., Moradi, M., Torabi Giglou, M. and Ahadzadeh, M., 2023. Effects of ascorbic acid on some morpho-physiological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 39(4), pp.568-588. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2023.358741.3171>
- Fathi, A. and Bahamin, S., 2018. The effect of irrigation levels and foliar application (zinc, humic acid and salicylic acid) on growth characteristics yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(3), pp.661-674. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.720.1146>
- Ferrara, G., Pacifico, A., Simeone, P. and Ferrara, E., 2007. Preliminary study on the effects of foliar applications of humic acids on 'Italia' table grape. In Proc. of the World Congress of Vine and Wine (Vol. 165).
- Gad El-Hak, S.H., Ahmed, A.M. and Moustafa, Y.M.M., 2012. Effect of foliar application with two antioxidants and humic acid on growth, yield and yield components of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 4, pp.318-328. <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.262>
- Ghaderi, A.A., Fakheri, B.A. and Mahdi Nezhad, N., 2018. Evaluation of the morphological and physiological traits of thyme under water deficit stress and foliar application of ascorbic acid. *Journal of Crops Improvement*, 19(4), pp.817-835. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2017.60460>

- Ghasemi, Z., Jahanbin, S. and Latifmanesh, H., 2022. Effects of humic acid foliar application on millet (*Panicum miliaceum* L.) yield and some of the biochemical and physiological parameters under drought stress condition in Ramjerd region of Fars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(1), pp.137-147. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.3666.1890>
- Ghasemi, A., Farzaneh, S. and Moharramnejad, S., 2021. Effect of ascorbic acid foliar application on grain yield and morphophysiological traits in corn under water deficit stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(4), pp.177-188. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43675.2598>
- Haddad, N., Choukri, H., Ghanem, M.E., Smouni, A., Mentag, R., Rajendran, K., Hejjaoui, K., Maalouf, F. and Kumar, S., 2022. High temperature and drought stress effects on growth, yield and nutritional quality with transpiration response to vapor pressure deficit in lentil. *Plants*, 11, pp.95-112. <https://doi.org/10.3390/plants11010095>
- Haghighi, M. and Najafi, H., 2020. The effect of humic acid on alleviating drought stress effects in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Vegetables Sciences*, 3(2), pp.147-158. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/iuvs.2020.63701.1016>
- Hartz, T.K. and Bottoms, T.G., 2010. Humic substances generally ineffective in improving vegetable crop nutrient uptake or productivity. *Horticulture Science*, 45(6), pp.906-910. <https://doi.org/10.21273/hortsci.45.6.906>
- Heath, R.L. and Packer, L., 1968. Photo peroxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, pp.189-198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- Hinojosa-Gómez, J., San Martín-Hernández, C., Heredia, J.B., León-Félix, J., Osuna-Enciso, T. and Muy-Rangel, M.D., 2018. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivars calyx produced hydroponically: physicochemical and nutritional quality. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78, pp.478-485. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392018000400478>
- Horemans, N., Foyer, C.H., Potters, G. and Asard, H., 2000. Ascorbate function and associated transport system in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38, pp.531-540. [https://doi.org/10.1016/s0981-9428\(00\)00782-8](https://doi.org/10.1016/s0981-9428(00)00782-8)
- Hosseini, S.H., Saedinia, M. and Beiranvand, F., 2020. Investigation of the drought stress on some photosynthetic and morphological indicators of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(4), pp.1115-1124. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2394.1623>
- Jain, M., Mathur, G., Koul, S. and Sarin, N., 2001. Ameliorative effects of proline on salt stress-induced lipid peroxidation in cell lines of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Cell Reports*, 20(5), pp.463-468. <https://doi.org/10.1007/s002990100353>
- Jamali, M.M., 2013. Investigate the effect of drought stress and different amount of chemical fertilizers on some physiological characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2, pp.872-879.
- Jones, J., 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, LLC. USA, 363p.

- Khalesro, S. and Malekian, H. (2017). Effects of vermicompost and humic acid on morphological traits, yield, essential oil content and component in organic farming of Ajwan (*Trachyspermum ammi* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32(6), 968-980. <https://doi.org/10.1201/9781420025293>
- Kheiry, A., Tori, H. and Mortazavi, N., 2017. Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(2), pp.268-280. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.106481.1783>
- Khodamoradi, P., Amiri, J. and Dovlati, B., 2018. Effect of humic acid on some morphological and physiological characteristics of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Sabrina) under salinity stress. *Research in Pomology*, 2(2), pp.109-135. [In Persian].
- Kiani, H., Khalesro, S., Sharifi, Z. and Mokhtassi-Bidgoli, A., 2024. Morphological and physiological responses of black cumin to biochar and different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 17(1), pp.73-86. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2023.5430.214>
- Kumar, A. and Elston, J., 1992. Genotypic differences in leaf water relations between *Brassica juncea* and *B. napus*. *Annals of Botany*, 70(1), pp.3-9. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088436>
- Mayhew, L., 2004. Humic substances in biological agriculture. *Review ACRES*, 34(1-2), pp.80-88.
- Mirnia S. Kh. and Habibzadeh, F., 2006. Plant nutrition guide. Tak Rang publications, Tehran, 117 p.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biological Biochemistry*, 34, pp.1527-1536. [https://doi.org/10.1016/s0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/s0038-0717(02)00174-8)
- Nasiri, Y., Baghban Akbari, P., Nouraein, M. and Amini, R., 2019. Evaluation of farmyard and vermicompost application and spray of ascorbic acid and humic substances on dragonhead production (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(4), pp.83-101. [In Persian]
- Neocleous, D. and Vasilakakis, M., 2007. Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. "Autumn Bliss"). *Scientia Horticulturae*, 112(3), pp.282-289. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.025>
- Pamungkas, S.S.T., Suwanto, S. and Farid, N., 2022. Drought stress: responses and mechanism in plants. *Reviews in Agricultural Science*, 10, pp.168-185. [https://doi.org/10.7831/ras.10.0\\_168](https://doi.org/10.7831/ras.10.0_168)
- Parviz, A. and Satyawati, S., 2008. Salt stress phyto-biochemical responses of plants. *Plant, soil and environment*, 54, pp.89-99. <https://doi.org/10.17221/2774-pse>
- Pourghasemian, N. and Moradi, R., 2018. Assessing effect of drought stress and ascorbic acid application on some growth and bio-chemical parameters of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Plant Process and Function*, 6 (19), pp.77-88. [In Persian]. <https://doi.org/jispp.iut.ac.ir/article-1-395-en.html>
- Rao, M.S.S. and Mendham, N.J., 1991. Soil– plant–water relations of oilseed rape (*Brassica napus* and *B. campestris*). *The Journal of Agricultural Science*, 117(2), pp.197-205. <https://doi.org/10.1017/S002185960006528x>

- Ritchie, S.W. and Nguyen, H.T., 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>
- Rouhi, H.R., vafaei, M.H., Saman, M. and Shahbodaghlo, A., 2021. Study of ascorbic acid priming on germination and biochemical indexes of sheep fescue (*Festuca ovina*) seeds under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 10(1), pp.29-42. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijsst.2020.128242.1303>
- Salehi Shanjani, P., Rasoulzadeh, L., Fallah Hoseini, L., Ramezani Yeganeh, M., Amirkhani, M., Pahlavani, M. R., Seyedian, S.E. and Javadi, H., 2020. Morpho-physiological responses of four chamomile species to rainfed conditions and drought stress under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 28(1), pp.51-66. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2019.124781.1330>
- Samadiyan-Sarbangholi, V., Abaszadeh, B., Sefidkon, F. and Yarnia, M., 2024. Biofertilizers effect on *Satureja bachtiarica* Bunge. traits under irrigation stress at various growth stages. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 40(1), pp.142-154. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.352328.2887>
- Sarani Mallak, M., Allahdou, M., Mehravaran, L. and Piri, H., 2024) Effects of drought stress on biochemical traits and its relationship with growth stage in milk thistle (*Silybum Marianum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 40(1), pp.191-205. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2023.361669.3301>
- Sepehri, Z., Movahedi, Z. and Ayyari, M., 2024. Effects of humic acid on quantitative characteristics of *pergularia* and *chicory* in aeroponic system. *Plant Production and Genetics*, 4(2), pp.279-290. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/plant.2024.140991.1089>
- Shafitali, A., Khorasaninejad, S. and Shahbazi, A., 2023. Effect of silicone on yield components, some morphophysiological and phytochemical properties of *Hyssopus officinalis* under irrigation regimes. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 31(1), pp.132-149. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2023.357948.1421>
- Sharifiasl, R., Kafi, M., Saidi, M. and Kalatejari, S., 2020. The effect of humic acid on growth and some physiological responses in bermuda grass subjected to salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(2), pp.415-425. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.249383.1375>
- Shojaei Baghini, M.H. and Naghizadeh, M., 2024. Evaluation of the effect of foliar application of brassinosteroid and melatonin on some physiological, grain yield and cumin (*Cuminum cyminum* L.) essential oil under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 40(1), 155-173. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2023.362048.3310>
- Sindi, H.A., Marshall, L.J. and Morgan, M.R.A., 2014. Comparative chemical and biochemical analysis of extracts of *Hibiscus sabdariffa*. *Food Chemistry*, 164, pp.23-29. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.097>

- Sodaeizadeh, H. and Mansouri, F., 2014. Effects of drought stress on dry matter accumulation, nutrient concentration and soluble carbohydrate of *Salvia macrosiphon* as a medicinal plant. *Journal of Arid Biome*, 4(1), pp.1-9. [In Persian]. <https://doi.org/sid.ir/paper/199775/en>
- Soha, E., Nahed, G. and Bedour, H., 2010. Effect of water stress, Ascorbic acid and spraying time on some morphological and biochemical composition of *Ocimum basilicum* plant. *Journal of American Science*, 6, pp.33-44.
- Soorni, J., Roustakhiz, J., Salimi, K. and Noori, M., 2020. Effects of drought stress on yield and yield-related traits, antioxidant enzymes and essential oil content of some Cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(4), pp.1125-1134. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2395.1624>
- Sorkhi, F. and Fateh, M., 2019. Effect of drought stress on leaf area index, photosynthesis, stomatal conductance and proline content in two pinto bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(2), pp.389-399. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1373.1294>
- Tadayon, M. and Mohtashami, M., 2020. Evaluation of the effect of jasmonic acid and ascorbic acid on some morphophysiological traits of safflower genotypes Under deficit irrigation regimes. *Plant Process and Function*, 9 (35), pp.39-56. [In Persian].
- Tafrihi, M., Imran, M., Tufail, T., Gondal, T.A., Caruso, G., Sharma, S., Sharma, R., Atanassova, M., Atanassov, L., Valere Tsouh Fokou, P. and Pezzani, R., 2021. The wonderful activities of the genus *Mentha*: Not only antioxidant properties. *Molecules*, 26(4), p.1118. <https://doi.org/10.3390/molecules26041118>
- Taqi, A.K., Mazid, M. and Firoz, M., 2011. A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. *Journal of Agrobiology*, 28 (2), pp.97-111. <https://doi.org/10.2478/v10146-011-0011-x>
- Tavosi, R., Sayyari, M. and Azizi, A., (2024). Impact of drought stress on some growth and phytochemical characteristics of the coneflower (*Echinacea purpurea* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(3), No.836. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2024.6308.2204>
- Thalooth, A.T., Tawfik, M.M. and Magda Mohamed, H., 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal Agricultur Sciences*, 2(1), pp.37-46.
- Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64(1), pp.88-93. <https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88>
- Yadegari, M., 2022. Effects of NPK complete fertilizer, botamisol, and humic acid on morphophysiological characteristics and essential oil in three *Thymus* species under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(2), pp.301-321. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.357303.3119>
- Zarei, F., Hezarjaribi, A., Khorasaninejad, S. and Zakerinia, M., 2021. The effect of foliar application of humic acid on increasing *Stevia rebaudiana* tolerance under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 28(2), pp.281-297. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2021.351485.1371>

# Crop Science Research in Arid Regions

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

## Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 759-776

## Evaluation of genetic parameters of agronomic and nutritional traits in barley under irrigation and late-season drought stress

Ammar Ahmed Obaid Sultani <sup>a</sup>, Leila Zarei <sup>\*a</sup>, Sohbat Bahraminejad <sup>a</sup>, Kianoosh Cheghamirza <sup>a</sup>, Ali Hussein Jasim <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

<sup>b</sup> Agriculture College, Al-Qasim Green University, Iraq

\*Corresponding Author: [lzarei1360@yahoo.com](mailto:lzarei1360@yahoo.com)

Received: 4 January 2025

Accepted: 25 March 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.497268.1462

### How to cite this article:

Obaid Sultani, A.A., Zarei, L., Bahraminejad, S., Cheghamirza, K. and Hussein Jasim, A. 2025. Evaluation of genetic parameters of agronomic and nutritional traits in barley under irrigation and late-season drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 759-776. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.497268.1462>

### Abstract

**Introduction:** Barley (*Hordeum vulgare* L.) is the fourth most important cereal crop worldwide after wheat, maize, and rice, in terms of cultivated area and nutritional value. Its high tolerance to adverse environmental conditions has enabled wide adaptation across diverse agroecological regions. Barley grains are an important source of protein, dietary fiber, minerals, and bioactive compounds, making them valuable for both human and animal nutrition. Understanding the inheritance and genetic control of quantitative and qualitative traits is essential for selecting appropriate breeding strategies and improving yield and grain quality, particularly under abiotic stress conditions such as drought.

**Materials and Methods:** This study aimed to estimate genetic parameters of key agronomic and nutritional traits in barley. Ten barley cultivars with different geographic origins were evaluated using a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The experiment was conducted over two cropping seasons (2022–2024) at a research farm located in Babil City, Al-Kifil district, southeastern Iraq. The cultivars were grown under two environmental conditions: normal irrigation and late-season drought stress, which was imposed by withholding irrigation at the anthesis stage. A total of four environments (two years × two moisture regimes) were evaluated. Twenty-seven traits were measured, including agronomic traits and grain quality attributes such as amino acid content, crude fiber, fat content, protein content, iron and zinc concentrations and water-soluble carbohydrate content. Combined analysis of variance across environments was performed, and genetic parameters were estimated.

**Results and Discussion:** The combined analysis of variance revealed significant differences among cultivars for all measured traits, indicating substantial genetic diversity among the evaluated barley genotypes. The cultivar × environment interaction was significant for all traits except flag leaf width,



©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/).

grain width, and grain iron content, suggesting differential genotypic responses to environmental conditions. The environment effect was significant for all traits except grain width, highlighting the strong influence of irrigation and drought stress on trait expression. Across the four environments, PCV and GCV values were generally close in magnitude for most traits, indicating a relatively small environmental influence and a predominant role of genetic factors. In the first year, physiological maturity showed the lowest environmental variation under both irrigation and stress conditions and exhibited the highest broad-sense heritability under irrigated conditions. In the second year, peduncle length displayed the lowest environmental variation under irrigation and the highest heritability under both moisture regimes. Spike density showed the highest genotypic and phenotypic coefficients of variation and the greatest genetic advance as a percentage of the mean in both years and under both irrigation and drought stress. Several traits, including grain filling period, flag leaf length and width, plant height, peduncle length, spike weight, grain weight per spike, number of grains per spike, number of spikes per square meter, spike density, grain yield, grain iron content, and grain fiber content, exhibited high heritability coupled with high genetic advance across years and environments. These results indicate that additive gene effects play a major role in controlling these traits, suggesting that phenotypic selection would be effective, particularly in early generations of breeding programs. In contrast, thousand-grain weight, grain zinc content, grain protein content, spike length (except in the second year under irrigated conditions), and grain length (in the first year under drought stress) showed high broad-sense heritability but low to moderate genetic advance. This pattern suggests the involvement of non-additive gene action, indicating that heterosis breeding or selection in later generations may be more effective for improving these traits.

**Conclusion:** The results demonstrated substantial genetic variability among barley cultivars for agronomic and grain quality traits under both irrigated and late-season drought stress conditions. Traits with high heritability and genetic advance are primarily governed by additive gene effects and can be efficiently improved through early-generation phenotypic selection. In contrast, traits influenced by non-additive gene action may benefit from heterosis-based breeding approaches. These findings provide valuable information for designing effective barley breeding programs aimed at improving yield and grain nutritional quality under water-limited environments.

**Keywords:** Genetic advance, Genetic variance, Grain quality traits, Irrigation interruption at anthesis

## ارزیابی پارامترهای ژنتیکی صفات زراعی و تغذیه‌ای در جو تحت شرایط آبیاری و تنش خشکی آخر فصل

عمار احمد عبید سلطانی<sup>۱</sup>، لیلا زارعی<sup>۱\*</sup>، صحبت بهرامی نژاد<sup>۱</sup>، کیانوش چقامیرزا<sup>۱</sup>، علی حسین جاسم<sup>۲</sup>

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- دانشکده کشاورزی، دانشگاه قاسم الخضراء، عراق

\* مسؤل مکاتبه: [lzareil360@yahoo.com](mailto:lzareil360@yahoo.com)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.497268.1462

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

### چکیده

جو چهارمین غله مهم دنیا از نظر سطح زیر کشت است. آگاهی از نحوه توارث صفات کمی و کیفی دانه، تعیین‌کننده روش به‌نژادی برای رسیدن به هدف مورد نظر است. در این تحقیق به‌منظور برآورد پارامترهای ژنتیکی صفات، ده رقم جو در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی شهر بابل ناحیه الکفل کشور عراق طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱ در شرایط آبی و تنش خشکی آخر فصل از لحاظ ۲۷ صفت زراعی و کیفی دانه، مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج محاسبه‌ی پارامترهای ژنتیکی صفات اندازه‌گیری شده در چهار محیط نشان داد، ضریب تنوع ژنوتیپی و ضریب تنوع فنوتیپی به‌هم نزدیک بود که نشان‌دهنده‌ی نقش مهم تفاوت‌های ژنتیکی می‌باشد. صفات سرعت پرشدن دانه، طول و عرض برگ پرچم، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول ریشک، وزن سنبله، وزن دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تراکم سنبله، عملکرد دانه، محتوای آهن و فیبر دانه در هر چهار محیط، وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالایی داشتند که نشان‌دهنده‌ی اثرات افزایشی ژن‌های کنترل‌کننده این صفات است. بنابراین، گزینش فنوتیپی در نسل‌های اولیه برنامه به‌نژادی مؤثر است. صفات وزن هزاردانه، محتوای روی دانه، محتوای پروتئین دانه دارای وراثت‌پذیری بالا و پیشرفت ژنتیکی کم یا متوسط و احتمالاً تحت تأثیر عمل غیرافزایشی ژن‌ها بوده و برای به‌نژادی این صفات بایستی از پدیده هتروزیس استفاده نمود. با انجام تلاقی بین والدین مناسب، پس از تثبیت اثرات ژنتیکی در همه مکان‌های ژنی و رسیدن لاین‌ها به خلوص، می‌توان اقدام به گزینش بهترین لاین‌ها در نسل‌های بعدی نمود.

**واژه‌های کلیدی:** پیشرفت ژنتیکی، صفات کیفی دانه، قطع آبیاری در گرده‌افشانی، واریانس ژنتیکی

### مقدمه

عراق (۲۶۷۰۰۰) تن در سال ۲۰۲۱ بوده است، که در حدود ۹۴/۷ درصد در شرایط آبیاری و ۵/۳ درصد در شرایط دیم کشت می‌شود. متوسط عملکرد جو در شرایط آبی ۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. جو منبع خوبی از انرژی، مواد مغذی و اجزای عملکردی مانند نشاسته، پروتئین، بتاگلوکان، فیبر و آنتی‌اکسیدان‌های فنلی است (Abdel-Aal and Choo, 2014). پروتئین ۱۷-۱۰ درصد، نشاسته ۶۵-۶۰ درصد، بتاگلوکان ۹-۴ درصد، چربی ۳-۲ درصد، فیبر محلول ۳-۲ درصد و مواد معدنی ۲/۵-۱/۵ درصد از محتوای بیوشیمیایی دانه‌ی جو را تشکیل می‌دهند (Emilia-ancuța et al., 2019). جو به‌عنوان متحمل‌ترین گونه نسبت به خشکی در بین غلات ریز زودرس شناخته شده است (Forster et al., 2004). به‌دلیل تنوع ژنتیکی بالا، جو به‌خوبی با شرایط مختلف محیطی سازگار است. امروزه، رویدادهای آب‌وهوایی شدیدتر شده‌اند

جو (*Hordeum vulgare* L) یکی از مهم‌ترین غلات است که به‌طور گسترده جهت مصرف انسان، دام، تولید مالت و در انواع صنایع غذایی، دارویی و تبدیلی استفاده می‌شود و پس از گندم، برنج و ذرت در مرحله چهارم اهمیت جهانی قرار دارد (Ahak paz et al., 2024). محصولات به‌دست آمده از غلات، ۶۰ درصد از منابع غذایی جهان را به‌صورت دانه تامین می‌کنند (FAO, 2020). از کل جو تولیدی در جهان ۷۰ درصد آن به‌عنوان خوراک دام، ۲۱ درصد در تولید نوشیدنی‌های مختلف و شش درصد مستقیماً توسط انسان به شکل غذا مصرف می‌گردد (Tricase et al., 2018). در نهایت ژنوم مرجع منابع ژنتیکی گسترده و اهمیت اقتصادی بالا، جو را به یک مدل ایده‌آل در بین غلات تبدیل کرده است (Mascher et al., 2018). بر طبق آمار اداره آمار کشاورزی در کشور عراق، کل تولید جو در

دلیل، کاهش آب قابل دسترس در شرایط دیم منجر به کاهش میزان آهن و سایر عناصر غذایی در دسترس گیاه می‌شود و در نهایت غلظت آهن در گیاه کاهش می‌یابد. کاهش میزان آهن قابل جذب توسط گیاه نه تنها عملکرد آن را به‌ویژه در شرایط تنش خشکی کاهش می‌دهد، بلکه ارزش تغذیه‌ای دانه جو را نیز پایین می‌آورد و در نهایت می‌تواند به سوءتغذیه در دام و انسان منجر شود (Cakmak, 2008). تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری بالای صفاتی که گزینش براساس آن‌ها انجام می‌شود برای پاسخ به گزینش ضروری است. انتخاب روش مناسب به‌نژادی نیز به نحوه کنترل ژنتیکی صفات مورد نظر، اثر عوامل محیطی و اثرمتقابل ژنوتیپ و محیط بستگی دارد (Tahmasebi et al., 2007). عملکرد دانه، صفتی پیچیده است که به‌شدت تحت تأثیر تغییرات محیطی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه عملکرد، وراثت‌پذیری بالایی ندارد و سهم اثرمتقابل ژنوتیپ و محیط در میزان عملکرد نسبتاً بالاست، لذا به نظر می‌آید که گزینش مستقیم برای عملکرد کارایی بالایی نداشته باشد (Fernandez, 1992). صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک متنوعی بر عملکرد دانه تأثیرگذارند. از این رو، ضروری است که با محاسبه پارامترهای ژنتیکی، تأثیرات ژنتیکی و وراثتی را از تأثیرات محیطی تفکیک نمود (Ferrari et al., 2018). این پارامترهای ژنتیکی شامل واریانس ژنتیکی، واریانس فنوتیپی، واریانس محیطی، ضرایب تنوع ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی، وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی می‌باشند. در پژوهشی، وراثت‌پذیری متوسط و پیشرفت ژنتیکی بالا برای وزن هزاردانه در جو گزارش کردند. عملکرد دانه نیز وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی کمی داشت و گزینش در نسل‌های پیشرفته برای به‌نژادی آن توصیه شد (Dyulgerov et al., 2020). وراثت‌پذیری آهن و روی دانه جو به‌ترتیب ۶۵ و ۵۹ درصد گزارش شده است (Mamo et al., 2014). در تحقیق انجام‌شده بر روی ارقام جو در شرایط تنش شوری، محاسبه پارامترهای ژنتیکی نشان داد که در بیشتر صفات مورد بررسی، ضریب تغییرات ژنوتیپی کمتر از ضریب تغییرات فنوتیپی بود (Mostafavi et al., 2012). همچنین، در ارزیابی وراثت‌پذیری و عملکرد ژن‌های جو در صفات عملکرد و اجزای آن تحت تأثیر تنش شوری، مشخص گردید که در وراثت صفات مورد مطالعه، مدل ژنتیکی ساده افزایشی - غالبیت نقش دارد و تحت شرایط

و نوسان تولید محصولات را در بسیاری از مناطق افزایش داده و در نتیجه امکان به‌مخاطره افتادن امنیت غذایی جهانی را افزایش داده‌اند. اصلاح ارقام زراعی با تحمل بهبود یافته به ترکیبی از تنش‌های غیرزیستی راه‌حلی مؤثر برای مقابله با اثرات نامطلوب تغییرات آب‌وهوایی است (Panizo-Casado et al., 2022). در میان تنش‌های غیرزیستی، تنش خشکی یکی از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و به احتمال زیاد کاهش عملکرد به‌دلیل تنش خشکی از مجموع کاهش عملکرد به‌دلیل حادث شدن تنش‌های دیگر بیشتر است (Harrison et al., 2014). در طول دهه‌های گذشته، افزایش میزان عناصر معدنی در بذور اصلاحی کمتر مورد توجه اصلاح‌گران و برنامه‌های اصلاحی بوده، چرا که همواره کمیت بر کیفیت ارجحیت داشته است. علی‌رغم این، افزایش کارایی میزان جذب و افزایش میزان عناصر معدنی در بذور گیاهان زراعی توسط اصلاح نباتات امکان‌پذیر می‌باشد (Sadeghzadeh, 2013). ارقام اصلاح‌شده از نظر مواد مغذی، نوید بزرگی برای مقابله با چالش مقابله با سوءتغذیه و دستیابی به امنیت غذایی در سراسر جهان به‌شمار می‌آیند. با این حال، دستیابی به امنیت غذایی به‌دلیل افزایش جمعیت جهان، از ۷/۷ میلیارد نفر در حال حاضر به ۹/۷ میلیارد در سال ۲۰۵۰، یک چالش جدی خواهد بود (United Nations, 2019). آهن (Fe) و روی (Zn) اجزای اصلی ریزمغذی هستند و با عمل به‌عنوان فاکتورهای کمکی برای چندین پروتئین از جمله هموگلوبین، سیتوکروم و فاکتورهای رونویسی، نقش مهمی در رشد و نمو انسان دارند. کمبود آهن و روی شایع‌ترین و رایج‌ترین کمبود ریزمغذی‌ها در انسان است (Upadhyaya et al., 2016). سطح ریزمغذی‌ها (مانند آهن، روی) در محصولات اصلی و غذاها یکی از عوامل کلیدی تعیین‌کننده میزان جذب ریزمغذی‌های غذایی است. در دیم‌زارها، تنش خشکی می‌تواند به شیوه‌های مختلفی جذب آهن توسط گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. این تأثیرات شامل کاهش رشد و توسعه ریشه و همچنین کاهش تحرک و جایابی آهن در خاک می‌باشد (Samarah et al., 2004). همچنین در شرایط تنش خشکی، تداخل مکانیزم‌های جذب و تخلیه به‌همراه کاهش میزان تعرق، منجر به کاهش جذب عناصر غذایی از جمله آهن می‌شود (Baligar et al., 2001). به‌همین

کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی واقع در شهر بابل ناحیه الکفل واقع در جنوب شرقی کشور عراق (میانگین دمای سالیانه ۲۲/۵ و میزان بارش سالیانه ۱۰۵ میلی‌متر) طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱ در شرایط آبی و تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری در مرحله گرده‌افشانی) مورد مطالعه قرار گرفتند. همزمان با فصل کشت پس از آماده‌سازی و بلوک‌بندی زمین، بذرها را آماده‌شده با تراکم ۳۰۰ عدد در مترمربع روی پنج ردیف چهار متری و فاصله‌ی خطوط ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. آبیاری در آزمایش آبی، طبق نیاز گیاه در مراحل مختلف رشدی انجام شد و در آزمایش تنش، آبیاری بعد از گلدهی قطع گردید. در اوایل فصل بهار همزمان با ظاهر شدن علف‌های هرز، وجین انجام شد. در طول فصل زراعی صفات فنولوژیک، صفات زراعی از جمله ارتفاع بوته، طول و قطر پدانکل، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، طول ریشک، طول و عرض دانه، طول و عرض برگ پرچم، عملکرد دانه در مترمربع، وزن هزاردانه، وزن دانه‌های سنبله، وزن سنبله، نسبت پدانکل به ارتفاع و تعداد سنبله در مترمربع و شاخص سبزیگی (SPAD) نیز اندازه‌گیری شد.

تنش شوری، وراثت‌پذیری عمومی صفات بالا است. بنابراین، گزینش براساس این صفات می‌تواند در انتخاب ارقام متحمل به شوری در جو مؤثر باشد (Solhi Andarab et al., 2021). تغییر اقلیم و تغییرات ناشی از آن، پیامدهای خود را بر بهره‌وری کشاورزی و کیفیت تغذیه به‌ویژه در مناطق خشک نشان می‌دهد. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که به‌صورت فقدان یا کمبود آب قابل دسترس گیاه جهت رشد و نمو تعریف می‌شود و در بسیاری از مناطق از جمله اقلیم ایران و عراق تولید بهینه گیاهان زراعی را با مشکل مواجه می‌نماید. شناخت دقیق ساختار ژنتیکی صفات تغذیه‌ای و صفات مرتبط با عملکرد گیاه جو و قابلیت توارث آنها موجب تسهیل گزینش و موفقیت برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود مقاومت به تنش خشکی می‌گردد. لذا هدف از این مطالعه ارزیابی تنوع و توارث‌پذیری ویژگی‌های زراعی و تغذیه‌ای در برخی از ارقام جو می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق ده رقم جو (شامل سه رقم ایرانی، شش رقم اروپایی و یک رقم عراقی) (جدول ۱) بر پایه طرح بلوک‌های

جدول ۱- فهرست ارقام جو مورد مطالعه

Table 1- The list of the studied barley cultivars

کد	رقم	منشأ	تیپ سنبله	شجره
Code	Cultivar	Origin	Spike type	Pedigree
5	ZARJO	ایران Iran	شش ردیفه 6-row	1-28-9936
12	YOSEF	ایران Iran	شش ردیفه 6-row	Lignee527/chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//DI71/strain 205
15	SARAROD	ایران Iran	دو ردیفه 2-row	Chicm/An57//Albert
24	ALCE	اروپا European	دو ردیفه 2-row	(Tipper × Igr3) × [(Tipper × Alpha) × (Sonja × Wb117/18)]
26	PANAKA	اروپا European	دو ردیفه 2-row	Amillis × Diadem
27	PARIGLIA	اروپا European	دو ردیفه 2-row	Airone × Arco
28	SFERA	اروپا European	دو ردیفه 2-row	((Katy × HJ54/30) × Igr3 × Arda) × (Tipper × Sonja) × Amillis
33	NURE	اروپا European	دو ردیفه 2-row	(FIOR 40 / Alpha2) × Baraka
35	AIACE	اروپا European	دو ردیفه 2-row	FO 1078 × FO 1638
10	IPA- 265	عراق Iraq	دو ردیفه 2-row	-

واریانس محیطی و ژنتیکی براساس امید ریاضی میانگین مربعات برآورد گردیدند. ضرایب تنوع فنوتیپی، ضرایب تنوع ژنتیکی، ضرایب تنوع محیطی و وراثت پذیری عمومی هر صفت از روابط ۱ تا ۴ محاسبه گردید (Halluer and Miranda, 1998; Burton and Devane, 1953):

$$PCV = \frac{\sqrt{V_p}}{\bar{X}} \times 100 \quad (1)$$

$$GCV = \frac{\sqrt{V_g}}{\bar{X}} \times 100 \quad (2)$$

$$ECV = \frac{\sqrt{V_e}}{\bar{X}} \times 100 \quad (3)$$

$$H^2_b = \frac{V_g}{V_p} \quad (4)$$

در این فرمول‌ها  $V_e$ : واریانس محیطی،  $V_g$ : واریانس ژنتیکی،  $V_p$ : واریانس فنوتیپی،  $Mse$ : میانگین مربعات خطای آزمایش،  $Msg$ : میانگین مربعات ژنوتیپ‌ها،  $PCV$ ،  $GCV$  و  $ECV$  به ترتیب ضریب تغییرات فنوتیپی و ضریب تغییرات ژنوتیپی و  $H^2_b$  وراثت پذیری عمومی می‌باشد. پیشرفت ژنتیکی و میانگین پیشرفت ژنتیکی نیز با استفاده از فرمول‌های ۵ و ۶ به دست آمدند (Singh and Chaudhary, 2004). در آن  $GA$  پیشرفت ژنتیکی  $\sigma_p$  جذر واریانس فنوتیپی و ثابت  $k$  دیفرانسیل گرینش و برابر  $(2/0.6)$  در سطح پنج درصد می‌باشد.

$$GA = k \times \sigma_p \times h^2 \quad (5)$$

$$(GAM\%) = (GA/\bar{X}) \times 100 \quad (6)$$

## نتایج و بحث

پس از بررسی وجود توزیع نرمال در داده‌ها، به منظور بررسی یکنواختی واریانس‌ها در چهار محیط مورد مطالعه، آزمون بارتلت انجام شد و با توجه به عدم معنی‌داری آزمون بارتلت برای چهار صفت روز تا گرده افشانی، سرعت پرشدن دانه، تعداد دانه در سنبله و شاخص کلروفیل برگ، تجزیه مرکب با فرض ثابت بودن اثر محیط و رقم و تصادفی بودن اثر سال، فقط برای این صفات انجام شد (جدول ۲) و سایر صفات به صورت مجزا، تجزیه واریانس شدند (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر محیط برای صفت شاخص کلروفیل برگ و سرعت پرشدن دانه، اثر سال برای همه صفات به جز روز تا گرده افشانی و اثر رقم برای همه صفات معنی‌دار بود. اثر متقابل رقم و سال برای همه صفات به جز سرعت پرشدن دانه و اثر متقابل سه‌گانه برای شاخص کلروفیل برگ و سرعت پرشدن دانه معنی‌دار بود (جدول ۲).

اندازه‌گیری صفات فنولوژیک با در نظر گرفتن ۵۰ درصد رسیدگی بوته‌های هر کرت در مرحله مورد نظر و اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و عملکرد پس از برداشت انجام شد. برای انجام یادداشت‌برداری، از هر رقم در هر تکرار ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و متوسط آن‌ها به عنوان مقدار صفت مورد اندازه‌گیری لحاظ گردید.

صفات تغذیه‌ای در آزمایشگاه‌های وزارت علوم و تکنولوژی کشور عراق اندازه‌گیری شد: محتوای اسیدآمینه کل دانه توسط کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC) از طریق روش جاجیک و همکاران (Jajić et al., 2013)، محتوای فیبر خام دانه به روش توفیق و العطار (Tawfiq and Al-Attar, 2014)، محتوای چربی دانه از طریق سوکسله به روش محمد (Mohamed et al., 2007)، استخراج محتوای پروتئین دانه توسط دستورالعمل استاندارد انجمن اداره شمیمیدان‌های تحلیلی (AOAC, 1995) و اندازه‌گیری پروتئین دانه به روش کجلدال (Bruckner and Morey, 1988) و صفت محتوای کربوهیدرات دانه از کسر محتوای پروتئین، چربی، فیبر، رطوبت و خاکستر از ۱۰۰ محاسبه شد.

به منظور اندازه‌گیری محتوای روی و آهن دانه، هضم نمونه‌های گیاهی به روش سوزاندن خشک و ترکیب با HCl انجام گرفت، مقدار عناصر آهن و روی، محلول‌های حاصل با دستگاه جذب اتمی قرائت گردید.

## تجزیه‌های آماری

نرمال بودن توزیع داده‌ها توسط آزمون کولموگراف-اسمیرنوف با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver.16.0 بررسی شد. تجزیه واریانس مرکب با تجزیه مرکب با فرض ثابت بودن اثر محیط و رقم و تصادفی بودن اثر سال توسط نرم‌افزار SAS Ver.9.1 و تجزیه واریانس ساده جهت برآورد واریانس محیطی و ژنتیکی از طریق نرم‌افزار Meta-R انجام شد.

در این پژوهش از روش تجزیه اجزای واریانس برای ارزیابی پارامترهای ژنتیکی استفاده شد. پارامترهای ژنتیکی شامل واریانس ژنتیکی، واریانس فنوتیپی، واریانس محیطی، ضرایب تنوع ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی، وراثت‌پذیری عمومی و پیشرفت ژنتیکی در هر دو شرایط مزرعه در دو سال در محیط Excel محاسبه گردید.

۱۴/۳۳ درصد بود. در شرایط آبیاری و تنش در کربوهیدرات دانه (به ترتیب ۰/۸۷ و ۱/۳۰ درصد) کمترین و تراکم سنبله (به ترتیب ۵۰/۵۱ و ۵۲/۴۸ درصد) بیشترین مقدار ضریب تغییرات فنوتیپی را داشت.

ضریب تغییرات محیطی (ECV): میانگین ضریب تغییرات محیطی در شرایط آبیاری ۲/۵۷ درصد و در شرایط تنش ۲/۵۰ درصد بود. در شرایط آبیاری و تنش، رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب با ۰/۰۳ و ۰/۲۶ درصد کمترین و قطر پدانکل به ترتیب با ۸/۷۰ و ۹/۲۴ درصد، بیشترین مقدار ضریب تغییرات محیطی را به خود اختصاص داد.

وراثت‌پذیری عمومی ( $H^2b\%$ ): میانگین وراثت‌پذیری عمومی صفات اندازه‌گیری شده در شرایط آبیاری و تنش به ترتیب ۸۸/۲۹ و ۹۰/۸۴ درصد بود. عرض دانه در شرایط آبیاری با ۸/۹۷ درصد و قطر پدانکل با ۳۸/۲۵ درصد در شرایط تنش کمترین وراثت‌پذیری عمومی را نشان دادند. روز تا رسیدگی فیزیولوژیک با ۹۹/۹۸ درصد در شرایط آبیاری و تعداد سنبله در مترمربع با ۹۹/۸۸ درصد در شرایط تنش از بیشترین درصد وراثت‌پذیری عمومی برخوردار بودند.

به منظور مقایسه‌ی پارامترهای ژنتیکی صفات اندازه‌گیری شده در چهار محیط مورد ارزیابی، واریانس ژنتیکی و فنوتیپی صفات در هر محیط به کمک تجزیه واریانس ساده برآورد شدند (جدول ۳).

## بررسی پارامترهای ژنتیکی

### سال اول

پارامترهای ژنتیکی در سال اول در دو شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری در جدول ۴ آمده است.

ضریب تغییرات ژنوتیپی (GCV): سال اول و در شرایط آبیاری، دامنه ضریب تغییرات ژنوتیپی از ۰/۶۲ درصد در کربوهیدرات دانه تا ۵۰/۴۵ درصد در تراکم سنبله متغیر و میانگین آن ۱۳/۵۵ درصد بود. تحت شرایط تنش میانگین ضریب تغییرات ژنوتیپی ۱۳/۸۷ درصد و محتوای کربوهیدرات دانه و تراکم سنبله به ترتیب با ۱/۲۳ و ۵۲/۴۳ درصد مانند شرایط آبیاری دارای کمترین و بیشترین مقدار بودند. ضریب تغییرات فنوتیپی (PCV): میانگین ضریب تغییرات فنوتیپی در شرایط آبیاری ۱۴/۲۰ درصد و در شرایط تنش

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی و کمی اندازه‌گیری شده در ده رقم جو در طی سال و دو محیط

Table 2- Combined analysis of variance for measured agronomic and qualitative traits of 10 barley cultivars across two years and two environments

منابع تغییر	df	میانگین مربعات			
		SPAD	DTA	NGPS	GFR
محیط	1	96.89 *	410.26 <sup>ns</sup>	193.50 <sup>ns</sup>	0.28 *
Environment (Env)					
سال	1	545.85 **	144.50 <sup>ns</sup>	201.40 *	0.22 **
Year (Y)					
Y × Env	1	0.13 <sup>ns</sup>	76.67 **	4.29 <sup>ns</sup>	0.00006 <sup>ns</sup>
تکرار (محیط × سال)	8	1.60	0.65	1.54	0.0007
Replication (Env × Y)					
رقم	9	29.97 **	187.42 **	854.57 **	0.48**
Cultivar (C)					
Env × C	9	0.66 <sup>ns</sup>	1.01 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>
Y × C	9	4.62 *	9.73 **	1.96 *	0.004 <sup>ns</sup>
Y × Env × C	9	1.09 **	0.65 <sup>ns</sup>	0.39 <sup>ns</sup>	0.002*
خطا	72	0.28	0.37	0.41	0.0008
Error					
ضریب تغییرات	-	1.02	0.50	2.44	2.31
CV %					
کای اسکور آزمون بارتلت	5.10 <sup>ns</sup>	0.86 <sup>ns</sup>	0.86 <sup>ns</sup>	5.85 <sup>ns</sup>	0.86 <sup>ns</sup>
Chi square for Bartlett test					

SPAD: شاخص سبزیگی برگ، DTA: روز تا گرده‌افشانی، NGPS: تعداد دانه در سنبله، GFR: سرعت پرشدن دانه، CV: ضریب تغییرات. \*\*\*به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

SPAD: chlorophyll index, DTA: days to anthesis, NGPS: number of grain per spike, GFR: grain filling rate, CV: coefficient of variation.

\*\*\*, ns: Significant at 1% level of probability and non-significance respectively

جدول ۳- تجزیه واریانس جداگانه برای صفات زراعی و کمی اندازه‌گیری شده در ۱۰ رقم جو زراعی در چهار محیط

Table 3- Individual analysis of variance for measured agronomic and qualitative traits of 10 barley cultivars in four environments

محیط	آماره	DTA	DTH	DTPH	GFR	FLL	FLW	Phe	PL	PD	AL	SL	GW	GL	SW
Environment	Statistic														
1	واریانس ژنتیکی Genetic Variance	5.53	23.20	13.51	0.04	1.36	0.03	365.33	6.34	0.02	1.98	0.24	0.01	0.26	0.31
1	واریانس محیطی Phenotypic Variance	0.01	0.29	0.00	0.00	0.04	0.00	1.51	0.26	0.09	0.03	0.04	0.08	0.02	0.01
1	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	0.07	0.42	0.03	2.56	2.01	2.24	1.84	2.08	8.70	1.23	2.96	7.86	1.51	4.95
1	معنی‌داری اثر رقم Cultivar effect significance	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	ns	**	**
2	واریانس ژنتیکی Genetic Variance	7.12	20.17	12.89	0.04	1.15	0.03	362.93	5.43	0.04	1.90	0.22	0.01	0.11	0.23
2	واریانس محیطی Phenotypic Variance	0.11	0.21	0.17	0.00	0.02	0.00	1.89	0.53	0.07	0.13	0.06	0.00	0.10	0.00
2	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	0.30	0.38	0.26	3.12	1.42	2.74	2.16	3.22	9.24	2.94	4.23	0.89	4.06	4.19
2	معنی‌داری اثر رقم Cultivar effect significance	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
3	واریانس ژنتیکی Genetic Variance	1.87	11.89	6.73	0.04	1.52	0.04	319.11	6.61	0.12	1.96	0.12	0.00	0.21	0.31
3	واریانس محیطی Phenotypic Variance	0.22	0.62	0.30	0.00	0.00	0.00	0.25	0.19	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
3	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	0.40	0.64	0.33	1.61	0.19	0.92	0.72	1.72	0.29	0.04	1.13	0.14	0.18	1.36
3	معنی‌داری اثر رقم Cultivar effect significance	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
4	واریانس ژنتیکی Genetic Variance	3.96	10.51	9.86	0.04	1.55	0.03	306.84	6.22	0.11	2.04	0.21	0.00	0.24	0.32
4	واریانس محیطی Phenotypic Variance	0.13	0.37	0.26	0.00	0.00	0.00	0.56	0.14	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
4	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	0.32	0.50	0.32	1.84	0.21	2.69	1.10	1.55	0.43	0.10	1.30	0.29	0.07	1.41
4	معنی‌داری اثر رقم Cultivar effect significance	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

DTH: روز تا سنبله‌دهی؛ DTA: روز تا گرده‌افشانی؛ DTPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک؛ GFR: سرعت پر شدن دانه؛ FLL: طول برگ پرچم؛ FLW: عرض برگ پرچم؛ Phe: ارتفاع بوته؛ PL: طول پدانکل؛ PD: قطر پدانکل؛ AL: طول ریشک؛ SL: طول سنبله؛ GW: عرض دانه؛ GL: طول دانه؛ SW: وزن سنبله، محیط ۱، ۲، ۳، ۴ به ترتیب محیط آبی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲، محیط تنش ۱۴۰۱-۱۴۰۲، محیط آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و محیط تنش ۱۴۰۳-۱۴۰۲. \*\*\*ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

DTH: The days to heading, DTA: days to anthesis, DTPH: days to physiological maturity, GFR: grain filling rate, FLL and FLW: flag length and width, Phe: plant height, SL: spike length, PL, PD: peduncle length and diameter, GL, GW: grain length and width, SW: spike weight. Environment 1, 2, 3, 4: Irrigation environment in 2022-23, stress environment in 2022-23, Irrigation environment in 2023-24, stress environment in 2023-24, respectively.

\*\*\*ns: Significant at 1% level of probability and non-significance, respectively

بیشترین مقدار (به ترتیب ۱۰۳/۸۱ و ۱۰۷/۸۸) پیشرفت ژنتیکی بر میانگین بودند. به‌طور کلی در سال اول و در هر دو شرایط مورد ارزیابی، محتوای کربوهیدرات دانه دارای کمترین و تراکم سنبله دارای بیشترین درصد ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات فنوتیپی و

پیشرفت ژنتیکی بر میانگین (GAM): متوسط پیشرفت ژنتیکی بر میانگین در شرایط آبیاری ۲۷/۱۴ و در شرایط تنش ۲۷/۸۲ بود. در شرایط آبیاری و تنش، محتوای کربوهیدرات دانه دارای کمترین (به ترتیب ۰/۹۳ و ۲/۴۱) و تراکم سنبله دارای

متوسط پیشرفت ژنتیکی بر میانگین بود. قطر پدانکل دارای بیشترین ضریب تغییرات محیطی در شرایط آبیاری و تنش و کمترین وراثت‌پذیری عمومی در شرایط تنش بود. رسیدگی فیزیولوژیک نیز کمترین درصد ضریب تغییرات محیطی در هر دو شرایط و بیشترین درصد وراثت‌پذیری عمومی در شرایط آبیاری را به‌خود اختصاص داد.

ادامه ی جدول ۳

Table 3 continued.

محیط Environment	آماره Statistic	WGPS	NGPS	NSPM	SpD	TGW	GY	SPAD	GZinc	GIron	GFat	GCar	GProtein	GAm	GFiber
1	واریانس ژنتیکی Genetic Variance	0.14	75.02	9383.10	448.00	16.42	2462.37	2.14	5.68	46.86	0.28	0.18	1.46	0.10	0.90
1	واریانس محیطی Phenotypic Variance	0.00	0.39	12.10	0.99	0.46	3.78	0.30	0.07	13.18	0.08	0.17	0.02	0.00	0.05
1	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	4.76	2.34	0.58	2.38	1.58	0.44	1.08	0.84	7.72	5.41	0.60	0.99	0.29	4.53
1	معنی‌داری اثر رقم Cultivar effect significance	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
2	واریانس ژنتیکی Genetic Variance	0.09	73.38	8442.09	416.32	15.43	2888.16	1.21	3.68	51.84	0.11	0.68	1.58	0.10	0.71
2	واریانس محیطی Phenotypic Variance	0.00	0.72	10.50	0.92	0.33	26.08	0.30	0.13	2.51	0.06	0.08	0.04	0.00	0.02
2	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	4.92	3.60	0.56	2.46	1.43	1.25	1.13	1.23	3.49	5.65	0.42	1.44	0.45	2.75
2	معنی‌داری اثر رقم Cultivar effect significance	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
3	واریانس ژنتیکی Genetic Variance	0.15	68.01	8606.36	455.28	9.55	2412.70	3.72	5.83	59.13	0.36	0.20	1.28	0.09	0.62
3	واریانس محیطی Phenotypic Variance	0.00	0.32	5.81	0.07	0.08	1.36	0.31	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
3	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	1.56	1.98	0.40	0.60	0.63	0.26	1.02	0.54	0.25	1.02	0.16	0.48	0.07	0.98
3	معنی‌داری اثر رقم Cultivar effect significance	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
4	واریانس ژنتیکی Genetic Variance	0.15	68.77	8444.90	452.03	9.66	2355.42	4.66	5.31	57.15	0.33	0.18	1.20	0.08	0.58
4	واریانس محیطی Phenotypic Variance	0.00	0.23	0.60	0.19	0.08	0.58	0.21	0.02	0.09	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
4	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	1.58	1.81	0.13	1.06	0.67	0.18	0.86	0.48	0.64	0.89	0.16	0.32	0.06	0.74
4	معنی‌داری اثر رقم Cultivar effect significance	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

WGPS: وزن دانه در سنبله؛ NGPS: تعداد دانه در سنبله؛ NSPM: تعداد سنبله در متر مربع؛ SpD: تراکم سنبله؛ TGW: وزن هزار دانه؛ GY: عملکرد دانه؛ SPAD: شاخص سبزیگی برگ؛ GIron: محتوای آهن دانه؛ GZinc: محتوای روی دانه؛ Gfat: محتوای روغن دانه؛ GCar: محتوای کربوهیدرات دانه؛ GProtein: محتوای پروتئین دانه و GFiber: محتوای فیبر خام دانه. محیط ۱، ۲، ۳، ۴ به ترتیب: محیط آبی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱، محیط تنش ۱۴۰۲-۱۴۰۱، محیط آبی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و محیط تنش ۱۴۰۳-۱۴۰۲.

\*\*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

WGPS: weight of grain per spike, NGPS: number of grain per spike, NSPM: number of spike m<sup>-2</sup>, SpD: spike density, GY: grain yield, TGW: thousand grain weight, SPAD: chlorophyll index, GAM: grain amino acid, Gfiber: crude grain fiber content, Gfat: grain fat content, GProtein: grain protein content, GIron: grain iron, GZinc: grain zinc, GCar: grain water-soluble carbohydrate content. Environment 1, 2, 3, 4: Irrigation environment in 2022-23, stress environment in 2022-23, Irrigation environment in 2023-24, stress environment in 2023-24, respectively.

\*\*\*ns: Significant at 1% level of probability and non-significance, respectively

جدول ۴- پارامترهای ژنتیکی صفات اندازه‌گیری شده تحت شرایط آبیاری و تنش در سال اول (۱۴۰۱-۱۴۰۲)

Table 4- Genetic parameters for traits under irrigation and stress conditions in the first year (2022-23)

صفت Trait	آبیاری Irrigation							تنش Stress						
	Mean	GCV%	PCV%	ECV%	H <sup>2</sup> b%	GA	GAM	Mean	GCV%	PCV%	ECV%	H <sup>2</sup> b%	GA	GAM
DTA	117.19	2.01	2.01	0.07	99.86	4.84	4.13	111.52	2.39	2.41	0.30	98.47	5.45	4.89
DTH	127.01	3.79	3.82	0.42	98.77	9.86	7.76	121.71	3.69	3.71	0.38	98.95	9.20	7.56
DTPH	165.68	2.22	2.22	0.03	99.98	7.57	4.57	159.69	2.25	2.26	0.26	98.68	7.35	4.60
GFR	1.30	16.10	16.31	2.56	97.53	0.43	32.76	1.20	16.54	16.83	3.12	96.57	0.40	33.48
FLL	9.54	12.21	12.38	2.01	97.36	2.37	24.82	9.29	11.54	11.63	1.42	98.51	2.19	23.59
FLW	0.78	23.67	23.78	2.24	99.11	0.38	48.54	0.72	26.14	26.28	2.74	98.92	0.38	53.55
Phe	66.98	28.54	28.60	1.84	99.59	39.29	58.67	63.63	29.94	30.02	2.16	99.48	39.14	61.51
PL	24.70	10.19	10.40	2.08	96.00	5.08	20.58	22.52	10.35	10.84	3.22	91.16	4.58	20.36
PD	3.44	4.21	9.67	8.70	18.99	0.13	3.78	2.81	7.27	11.76	9.24	38.25	0.26	9.27
AL	13.30	10.58	10.65	1.23	98.67	2.88	21.65	12.27	11.23	11.61	2.94	93.58	2.74	22.37
SL	6.72	7.23	7.81	2.96	85.65	0.93	13.79	5.69	8.29	9.31	4.23	79.31	0.86	15.20
GW	3.51	2.47	8.24	7.86	8.97	0.05	1.52	3.32	2.48	2.63	0.89	88.45	0.16	4.80
GL	8.65	5.91	6.10	1.51	93.87	1.02	11.80	7.67	4.41	5.99	4.06	54.09	0.51	6.68
SW	1.73	31.87	32.25	4.95	97.64	1.12	64.87	1.49	32.36	32.63	4.20	98.35	0.98	66.11
WGPS	1.14	33.00	33.34	4.76	97.97	0.77	67.29	0.95	31.81	32.18	4.92	97.67	0.62	64.75
NGPS	26.47	32.72	32.81	2.34	99.49	17.80	67.24	23.55	36.37	36.55	3.60	99.03	17.56	74.56
NSPM	594.71	16.29	16.30	0.58	99.87	199.42	33.53	573.62	16.02	16.03	0.56	99.88	189.16	32.98
SpD	41.95	50.45	50.51	2.38	99.78	43.55	103.81	38.92	52.43	52.48	2.46	99.78	41.99	107.88
TGW	42.97	9.43	9.56	1.58	97.28	8.23	19.16	40.37	9.73	9.83	1.43	97.90	8.01	19.83
GY	437.94	11.33	11.34	0.44	99.85	102.14	23.32	409.44	13.13	13.18	1.25	99.11	110.21	26.92
SPAD	50.51	2.90	3.09	1.08	87.83	2.83	5.60	48.78	2.26	2.52	1.13	80.00	2.03	4.16
GZinc	31.83	7.48	7.53	0.84	98.74	4.88	15.32	29.26	6.56	6.67	1.23	96.61	3.88	13.28
GIron	47.00	14.56	16.49	7.72	78.05	12.46	26.51	45.39	15.86	16.24	3.49	95.39	14.49	31.91
Gfat	5.28	9.97	11.34	5.41	77.24	0.95	18.05	4.37	7.56	9.44	5.65	64.11	0.54	12.46
GCar	68.46	0.62	0.87	0.60	52.05	0.64	0.93	66.55	1.23	1.30	0.42	89.73	1.60	2.41
GProtein	14.91	8.11	8.17	0.99	98.52	2.47	16.58	13.77	9.11	9.23	1.44	97.56	2.55	18.54
GAM	11.72	2.74	2.76	0.29	98.93	0.66	5.62	11.53	2.74	2.78	0.45	97.38	0.64	5.58
Gfiber	5.05	18.83	19.36	4.53	94.54	1.90	37.71	5.73	14.71	14.96	2.75	96.63	1.71	29.79

DTH: روز تا سنبله‌دهی؛ DTA: روز تا گرده‌افشانی؛ DTPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک؛ GFR: سرعت پرشدن دانه؛ FLL: طول برگ پرچم؛ FLW: عرض برگ پرچم؛ Phe: ارتفاع بوته؛ PL: طول پدانکل؛ PD: قطر پدانکل؛ AL: طول ریشک؛ SL: طول سنبله؛ GW: عرض دانه؛ GL: طول دانه؛ SW: وزن سنبله؛ WPGS: وزن دانه در سنبله؛ NGPS: تعداد دانه در سنبله؛ NSPM: تعداد سنبله در مترمربع؛ SpD: تراکم سنبله؛ TGW: وزن هزار دانه؛ GY: عملکرد دانه؛ SPAD: شاخص سبزیگی برگ؛ GIron: محتوای آهن دانه؛ GZinc: محتوای روی دانه؛ Gfat: محتوای روغن دانه؛ GCar: محتوای کربوهیدرات دانه؛ GProtein: محتوای پروتئین دانه و Gfiber: محتوای فیبر خام دانه. GCV%: درصد ضریب تغییرات ژنتیکی؛ PCV%: درصد ضریب تغییرات فنوتیپی؛ ECV%: درصد ضریب تغییرات محیطی؛ H<sup>2</sup>b%: درصد وراثت‌پذیری عمومی؛ GA: پیشرفت ژنتیکی و GAM%: پیشرفت ژنتیکی بر میانگین.

DTH: The days to heading, DTA: days to anthesis, DTPH: days to physiological maturity, GFR: grain filling rate, NGPS: number of grain per spike, WPGS: weight of grain per spike, Phe: plant height, SL: spike length, PL, PD: peduncle length and diameter, GL, GW: grain length and width, GY: grain yield m<sup>-2</sup>, TGW: thousand grain weight, NSPM: number of spike m<sup>-2</sup>, FLL and FLW: flag length and width, SpD: spike density, GIron: grain iron, GZinc: grain zinc, GCar: grain water-soluble carbohydrate content. GCV%: percentage of genetic coefficient of variation; PCV%: percentage of phenotypic coefficient of variation; ECV%: percentage of environmental coefficient of variation; H<sup>2</sup>b%: percentage of broadsense heritability; GA: genetic advanced and GAM: genetic advance as percentage of mean.

## سال دوم

پارامترهای ژنتیکی در سال دوم در دو شرایط تنش خشکی آخر فصل و آبیاری در جدول ۵ آمده است.

ضریب تغییرات ژنوتیپی (GAM): در سال دوم میانگین ضریب تغییرات ژنوتیپی در شرایط آبیاری و تنش به ترتیب ۱۲/۸۰ و ۱۳/۳۵ درصد بود. مانند سال اول محتوای کربوهیدرات دانه (به ترتیب با ۰/۶۵ و ۰/۶۲ درصد) کمترین و تراکم سنبله (به ترتیب با ۴۹/۰۸ و ۵۱/۳۳ درصد)، بیشترین ضریب تغییرات ژنوتیپی را در شرایط آبیاری و تنش خشکی آخر فصل داشت.

ضریب تغییرات فنوتیپی (PCV): در سال دوم میانگین ضریب تغییرات فنوتیپی در شرایط آبیاری، ۱۲/۸۴ درصد و در شرایط تنش، ۱۳/۳۹ درصد بود. در شرایط آبیاری و تنش، محتوای کربوهیدرات دانه (به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۶۷ درصد) کمترین و تراکم سنبله (به ترتیب ۴۹/۰۸ و ۵۱/۳۴ درصد) بیشترین مقدار ضریب تغییرات فنوتیپی را داشت.

ضریب تغییرات محیطی (ECV): سال دوم میانگین ضریب تغییرات محیطی در شرایط آبیاری و تنش به ترتیب ۰/۷۰ و ۰/۷۸ درصد بود. طول ریشک با ۰/۰۴ درصد در شرایط آبیاری و محتوای آمینواسید کل در دانه با ۰/۰۶ درصد در شرایط تنش کمترین مقدار ضریب تغییرات محیطی را داشتند. تعداد دانه در سنبله با ۱/۹۸ درصد در شرایط آبیاری و عرض برگ پرچم با ۲/۶۹ درصد در شرایط تنش بیشترین مقدار این پارامتر را به خود اختصاص دادند.

وراثت‌پذیری عمومی ( $H^2b$ ): میانگین وراثت‌پذیری عمومی در شرایط آبیاری ۹۸/۲۸ درصد و در شرایط تنش ۹۸/۶۵ درصد بود. روز تا روز تا گرده‌افشانی در شرایط آبیاری با ۸۹/۶۵ درصد و محتوای کربوهیدرات دانه با ۹۳/۵۹ درصد در شرایط تنش کمترین وراثت‌پذیری عمومی را داشتند. طول ریشک به ترتیب با ۱۰۰/۰۰ و ۹۹/۹۹ درصد در شرایط آبیاری و تنش بیشترین درصد وراثت‌پذیری عمومی را بین صفات مورد بررسی داشت.

پیشرفت ژنتیکی بر میانگین (GAM): سال دوم متوسط پیشرفت ژنتیکی بر میانگین در شرایط آبیاری و تنش به ترتیب ۲۶/۲۹ و ۲۷/۴۳ بود. مانند سال اول، محتوای کربوهیدرات دانه در شرایط آبیاری و تنش به ترتیب با ۱/۳۱ و ۱/۲۵ کمترین و تراکم سنبله با ۱۰۱/۰۹ و ۱۰۵/۷۱ دارای بیشترین مقدار پیشرفت ژنتیکی بر میانگین بود.

محتوای کربوهیدرات دانه در سال دوم دارای کمترین ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات فنوتیپی و پیشرفت ژنتیکی بر میانگین در شرایط آبیاری و تنش (مانند سال اول) و کمترین درصد وراثت‌پذیری عمومی در شرایط تنش بود. تراکم سنبله در سال دوم بیشترین ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات فنوتیپی و پیشرفت ژنتیکی بر میانگین در شرایط آبیاری و تنش (مانند سال اول) را داشت. طول ریشک کمترین ضریب تغییرات محیطی در شرایط آبیاری و بیشترین وراثت‌پذیری عمومی در شرایط آبیاری و تنش خشکی آخر فصل در سال دوم را به خود اختصاص داد.

اگرچه در روند محاسبه پارامترهای ژنتیکی برای صفات اندازه‌گیری شده تحت دو شرایط آبیاری و تنش خشکی در پایان فصل شباهت‌هایی وجود داشت، اما در مورد برخی از صفات، برآوردها گاهی متفاوت بود. گزارش شده است که در شرایط محیطی مختلف، نحوه عملکرد ژن‌ها و در نتیجه برآورد پارامترهای ژنتیکی و همچنین مقادیر ترکیب‌پذیری ارقام و تلاقی‌ها ممکن است متفاوت باشد (Chowdhry et al., 1999; Redhu et al., 1986). در مطالعه‌ی حاضر، میزان ضریب تنوع ژنوتیپی (GCV) قسمتی از ضریب تنوع فنوتیپی (PCV) به هم نزدیک بود، ضریب تنوع ژنوتیپی، قسمتی از ضریب تنوع فنوتیپی بوده و بنابراین مقدار آن همیشه از ضریب تنوع فنوتیپی، کمتر است. اگر این دو برآورد به یکدیگر نزدیک باشند، این امر نشان‌دهنده تأثیر کم محیط در کنترل صفت و اهمیت بالای تفاوت‌های ژنتیکی است. در این حالت، بازدهی انتخاب برای صفت افزایش می‌یابد و می‌توان با اطمینان بیشتری ژنوتیپ‌های مطلوب را انتخاب کرد (Arab et al., 2017).

به‌طور کلی ضریب تغییرات ژنتیکی برای اکثر صفات اندازه‌گیری شده در سال اول نسبت به سال دوم اندکی بیشتر بود که بیانگر پایین‌تر بودن اثرات محیطی به ژنتیکی در سال اول بود. بالا بودن ضریب تغییرات ژنتیکی صفات نشان می‌دهد که می‌توان این صفات را با گزینش اصلاح نمود (Rahmati et al., 2018). در مطالعه‌ی پژوهشی، با وجود نقش اثرات تثبیت‌پذیر ژن‌ها در وراثت برخی صفات از جمله قطر ساقه اصلی، طول ریشک و تعداد سنبله در سنبله اصلی (در دو تلاقی مرودشت × شاه‌پسند و مرودشت × رسول در گندم)،

ارتفاع بوته اصلی و طول پدانکل (در مرودشت × شاهپسند)،  
گزینه‌ی در نسل های اولیه برای صفات مذکور بود (Amiri et al., 2023).

جدول ۵- پارامترهای ژنتیکی صفات اندازه‌گیری شده تحت شرایط آبیاری و تنش در سال دوم (۱۴۰۳-۱۴۰۲)

صفت Trait	آبیاری Irrigation							تنش Stress						
	Mean	GCV%	PCV%	ECV%	H <sup>2</sup> <sub>b</sub> %	GA	GAM	Mean	GCV%	PCV%	ECV%	H <sup>2</sup> <sub>b</sub> %	GA	GAM
DTA	115.45	1.18	1.25	0.40	89.65	2.67	2.31	113.60	1.75	1.78	0.32	96.71	4.03	3.55
DTH	123.22	2.80	2.87	0.64	95.05	6.93	5.62	121.12	2.68	2.72	0.50	96.61	6.56	5.42
DTPH	163.34	1.59	1.62	0.33	95.77	5.23	3.20	161.40	1.95	1.97	0.32	97.44	6.38	3.96
GFR	1.38	14.78	14.86	1.61	98.83	0.42	30.26	1.29	14.79	14.91	1.84	98.47	0.39	30.24
FLL	9.71	12.69	12.69	0.19	99.98	2.54	26.13	9.41	13.22	13.22	0.21	99.98	2.56	27.22
FLW	0.82	23.04	23.06	0.92	99.84	0.39	47.43	0.79	23.55	23.70	2.69	98.71	0.38	48.19
Phe	69.86	25.57	25.58	0.72	99.92	36.78	52.65	67.76	25.85	25.88	1.10	99.82	36.05	53.21
PL	25.44	10.10	10.25	1.72	97.19	5.22	20.52	24.22	10.30	10.42	1.55	97.80	5.08	20.99
PD	3.53	9.80	9.80	0.29	99.92	0.71	20.18	3.31	9.91	9.92	0.43	99.81	0.68	20.39
AL	13.52	10.36	10.36	0.04	100.00	2.89	21.35	13.15	10.86	10.86	0.10	99.99	2.94	22.37
SL	7.51	4.64	4.78	1.13	94.40	0.70	9.29	6.98	6.50	6.63	1.30	96.16	0.92	13.13
GW	3.43	1.43	1.44	0.14	99.03	0.10	2.94	3.37	1.23	1.26	0.29	94.83	0.08	2.46
GL	8.71	5.28	5.29	0.18	99.89	0.95	10.88	8.43	5.75	5.76	0.07	99.98	1.00	11.85
SW	1.88	29.36	29.39	1.36	99.79	1.14	60.42	1.77	32.01	32.04	1.41	99.81	1.16	65.87
WGPS	1.25	30.49	30.53	1.56	99.74	0.78	62.73	1.16	33.06	33.10	1.58	99.77	0.79	68.02
NGPS	28.68	28.75	28.82	1.98	99.53	16.95	59.09	26.52	31.27	31.32	1.81	99.67	17.05	64.31
NSPM	605.72	15.32	15.32	0.40	99.93	191.04	31.54	596.87	15.40	15.40	0.13	99.99	189.30	31.72
SpD	43.48	49.08	49.08	0.60	99.99	43.95	101.09	41.42	51.33	51.34	1.06	99.96	43.79	105.71
TGW	44.14	7.00	7.03	0.63	99.21	6.34	14.36	43.17	7.20	7.23	0.67	99.14	6.38	14.77
GY	442.91	11.09	11.09	0.26	99.94	101.16	22.84	422.11	11.50	11.50	0.18	99.98	99.96	23.68
SPAD	54.84	3.52	3.66	1.02	92.27	3.82	6.96	52.98	4.08	4.17	0.86	95.71	4.35	8.22
GZinc	32.85	7.35	7.37	0.54	99.47	4.96	15.10	31.83	7.24	7.26	0.48	99.56	4.74	14.89
GIron	49.39	15.57	15.57	0.25	99.97	15.84	32.07	48.37	15.63	15.64	0.64	99.83	15.56	32.17
Gfat	5.55	10.76	10.80	1.02	99.11	1.23	22.06	5.12	11.25	11.28	0.89	99.38	1.18	23.10
GCar	69.20	0.65	0.67	0.16	94.39	0.90	1.31	68.59	0.62	0.65	0.16	93.59	0.85	1.25
GProtein	15.26	7.42	7.43	0.48	99.58	2.33	15.25	14.74	7.43	7.44	0.32	99.81	2.25	15.30
GAM	11.81	2.56	2.56	0.07	99.93	0.62	5.27	11.73	2.45	2.45	0.06	99.93	0.59	5.05
Gfiber	4.88	16.17	16.20	0.98	99.63	1.62	33.25	5.06	15.09	15.11	0.74	99.76	1.57	31.05

DTH: روز تا سنبله‌دهی؛ DTA: روز تا گرده‌افشانی؛ DTPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک؛ GFR: سرعت پرشدن دانه؛ FLL: طول برگ پرچم؛ FLW: عرض برگ پرچم؛ Phe: ارتفاع بوته؛ PL: طول پدانکل؛ PD: قطر پدانکل؛ AL: طول ریشک؛ SL: طول سنبله؛ GW: عرض دانه؛ GL: طول دانه؛ SW: وزن سنبله، WPGS: وزن دانه در سنبله؛ NGPS: تعداد دانه در سنبله؛ NSPM: تعداد سنبله در متر مربع؛ SpD: تراکم سنبله؛ TGW: وزن هزار دانه؛ GY: عملکرد دانه؛ SPAD: شاخص سبزیگی برگ؛ GIron: محتوای آهن دانه؛ GZinc: محتوای روی دانه؛ Gfat: محتوای روغن دانه؛ GCar: محتوای کربوهیدرات دانه؛ GProtein: محتوای پروتئین دانه و Gfiber: محتوای فیبر خام دانه. GCV%: درصد ضریب تغییرات ژنتیکی؛ PCV%: درصد ضریب تغییرات فنوتیپی؛ ECV%: درصد ضریب تغییرات محیطی؛ H<sup>2</sup><sub>b</sub>: درصد وراثت‌پذیری عمومی؛ GA: پیشرفت ژنتیکی و GAM%: پیشرفت ژنتیکی بر میانگین.

DTH: The days to heading, DTA: days to anthesis, DTPH: days to physiological maturity, GFR: grain filling rate, NGPS: number of grain per spike, WPGS: weight of grain per spike, Phe: plant height, SL: spike length, PL, PD: peduncle length and diameter, GL, GW: grain length and width, GY: grain yield m<sup>-2</sup>, TGW: thousand grain weight, NSPM: number of spike m<sup>-2</sup>, FLL and FLW: flag length and width, SpD: spike density, GProtein: grain protein content, GIron: grain iron, GZinc: grain zinc, GCar: grain water-soluble carbohydrate content. GCV%: percentage of genetic coefficient of variation; PCV%: percentage of phenotypic coefficient of variation; ECV%: percentage of environmental coefficient of variation; H<sup>2</sup><sub>b</sub>: percentage of broadsense heritability; GA: genetic advanced and GAM: genetic advance as percentage of mean.

وراثت‌پذیری به‌همراه پیشرفت ژنتیکی، معیاری دقیق‌تر برای انتخاب روش‌های به‌نژادی به‌شمار می‌رود. بسیاری از پژوهش‌گران به این نتیجه رسیده‌اند که وراثت‌پذیری بالا در کنار پیشرفت ژنتیکی زیاد، نشان‌دهنده این است که صفت مورد نظر تحت کنترل ژن‌های افزایشی قرار دارد. به‌نژادی صفات با وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالا به‌دلیل عملکرد افزایشی ژن‌ها از طریق هتروزیس امکان‌پذیر است. وجود ضریب تغییرات ژنتیکی بالا در کنار وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی زیاد، چشم‌انداز بهتری برای انتخاب ژنوتیپ‌ها فراهم می‌آورد ( *Selvaraj et al., 2011* ). برای درصد وراثت‌پذیری (کمتر از ۳۰٪، بین ۳۰ تا ۶۰٪ متوسط و بیشتر از ۶۰٪ زیاد) و درصد پیشرفت ژنتیکی (کمتر از ۱ تا ۱۰٪، بین ۱۰ تا ۲۰٪ متوسط و برابر یا بیشتر از ۲۰٪ زیاد) معیارهایی تعریف شده است ( *Johnson et al., 1995* ). بر این اساس، در جدول ۶ وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی صفات در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. در دو سال و شرایط آبیاری و تنش، صفات روز تا سنبله‌دهی، روز تا گرده‌افشانی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، عرض دانه (به‌جز سال اول و شرایط آبیاری)، شاخص سبزیگی (SPAD)، محتوای کربوهیدرات دانه (به‌جز سال اول و شرایط آبیاری) و محتوای اسیدآمینه دانه، وراثت‌پذیری زیاد و پیشرفت ژنتیکی کمی داشتند و صفات وزن هزاردانه، محتوای روی دانه، محتوای پروتئین دانه، طول سنبله (به‌جز سال دوم و شرایط آبیاری) و طول دانه (سال اول و شرایط تنش)، با وجود وراثت‌پذیری بالا، مقدار پیشرفت ژنتیکی کم یا متوسط داشتند، لذا احتمال می‌رود تحت تأثیر عملکرد غیرافزایشی ژن‌ها باشند و هتروزیس روش مناسبی برای به‌نژادی آن‌ها می‌باشد. انتخاب فنوتیپی و گزینش در نسل‌های اولیه برای بهبود صفاتی که تحت تأثیر ژن‌های غالب قرار دارند، کارایی چندانی نخواهد داشت و این نوع گزینش نمی‌تواند صفت مورد نظر را در نسل‌های بعدی تثبیت کند. موفقیت به‌نژادگران در به‌نژادی صفات در یک جمعیت به‌میزان تطابق بین ارزش‌های فنوتیپی و ژنوتیپی وابسته است. همچنین، میزان وراثت‌پذیری یک صفت می‌تواند نشان‌دهنده تطابق واریانس‌های ژنوتیپی و فنوتیپی باشد ( *Dabholkar, 1999* ).

در مطالعه‌ای، میزان توارث‌پذیری در صفات مختلف زراعی را در لاین‌های حاصل از تلاقی دو ژنوتیپ متحمل و حساس جو در شرایط تنش خشکی در اواخر فصل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده وجود اثرات غالبیت در کنترل صفات شاخص برداشت، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد دانه بود ( *Khalili and Naghavi, 2018* ). در صفات طول ریشک، طول سنبله و ارتفاع بوته تحت شرایط تنش خشکی در پایان فصل، اثرات غالبیت نسبت به اثرات افزایشی بیشتر بود. در پژوهشی، میزان توارث‌پذیری و تعداد ژن‌های دخیل در صفت عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن را در نسل‌های جو بررسی گردید. نتایج نشان داد که طول ریشک تحت تأثیر اثرات افزایشی و غالبیت قرار دارد و در کنترل صفاتی مانند وزن سنبله، طول سنبله، تعداد سنبله، تعداد سنبله‌چه، وزن صد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن کاه سنبله، شاخص برداشت و عملکرد دانه، علاوه بر اثرات افزایشی و غالبیت، اثر اپیستازی نیز نقش مهمی ایفا می‌کند ( *Baghizadeh et al., 2007* ). در مطالعه‌ی حاضر، صفات سرعت پرشدن دانه، طول و عرض برگ پرچم، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول ریشک، وزن سنبله، وزن دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تراکم سنبله، عملکرد دانه، محتوای آهن دانه و محتوای فیبر دانه در هر دو سال و هر دو شرایط (آبیاری و تنش خشکی آخر فصل)، وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالایی داشتند که دال بر وجود عملکرد افزایشی ژن‌های کنترل‌کننده آن‌هاست. بنابراین به‌نژادی از طریق گزینش راه‌کار مناسبی برای بهبود این صفات است. انتخاب والدین براساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش باعث انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش می‌شود، زیرا آلل‌های مطلوب تحت شرایط بدون تنش گزینش می‌شود و پاسخ به انتخاب در محیط بدون تنش، به‌دلیل وراثت‌پذیری بالاتر عملکرد، حداکثر است ( *Richards et al., 2000* ). در یک پژوهش، مقادیر پارامترهای ژنتیکی مرتبط با صفات جوانه‌زنی جو را در گیاهان هاپلوئید مضاعف جو تحت شرایط تنش شوری محاسبه شد. نتایج نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بالا در تمامی صفات مورد بررسی در لاین‌ها بود. بیشترین مقادیر تنوع فنوتیپی و ژنتیکی، وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی، و همچنین میزان پیشرفت ژنتیکی در صفت درصد جوانه‌زنی مشاهده شد ( *Ebrahimi et al., 2016* ).

وراثت‌پذیری به‌همراه پیشرفت ژنتیکی، معیاری دقیق‌تر برای انتخاب روش‌های به‌نژادی به‌شمار می‌رود. بسیاری از پژوهش‌گران به این نتیجه رسیده‌اند که وراثت‌پذیری بالا در کنار پیشرفت ژنتیکی زیاد، نشان‌دهنده این است که صفت مورد نظر تحت کنترل ژن‌های افزایشی قرار دارد. به‌نژادی صفات با وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالا به‌دلیل عملکرد افزایشی ژن‌ها از طریق هتروزیس امکان‌پذیر است. وجود ضریب تغییرات ژنتیکی بالا در کنار وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی زیاد، چشم‌انداز بهتری برای انتخاب ژنوتیپ‌ها فراهم می‌آورد ( *Selvaraj et al., 2011* ). برای درصد وراثت‌پذیری (کمتر از ۳۰٪، بین ۳۰ تا ۶۰٪ متوسط و بیشتر از ۶۰٪ زیاد) و درصد پیشرفت ژنتیکی (کمتر از ۱ تا ۱۰٪، بین ۱۰ تا ۲۰٪ متوسط و برابر یا بیشتر از ۲۰٪ زیاد) معیارهایی تعریف شده است ( *Johnson et al., 1995* ). بر این اساس، در جدول ۶ وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی صفات در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. در دو سال و شرایط آبیاری و تنش، صفات روز تا سنبله‌دهی، روز تا گرده‌افشانی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، عرض دانه (به‌جز سال اول و شرایط آبیاری)، شاخص سبزیگی (SPAD)، محتوای کربوهیدرات دانه (به‌جز سال اول و شرایط آبیاری) و محتوای اسیدآمینه دانه، وراثت‌پذیری زیاد و پیشرفت ژنتیکی کمی داشتند و صفات وزن هزاردانه، محتوای روی دانه، محتوای پروتئین دانه، طول سنبله (به‌جز سال دوم و شرایط آبیاری) و طول دانه (سال اول و شرایط تنش)، با وجود وراثت‌پذیری بالا، مقدار پیشرفت ژنتیکی کم یا متوسط داشتند، لذا احتمال می‌رود تحت تأثیر عملکرد غیرافزایشی ژن‌ها باشند و هتروزیس روش مناسبی برای به‌نژادی آن‌ها می‌باشد. انتخاب فنوتیپی و گزینش در نسل‌های اولیه برای بهبود صفاتی که تحت تأثیر ژن‌های غالب قرار دارند، کارایی چندانی نخواهد داشت و این نوع گزینش نمی‌تواند صفت مورد نظر را در نسل‌های بعدی تثبیت کند. موفقیت به‌نژادگران در به‌نژادی صفات در یک جمعیت به‌میزان تطابق بین ارزش‌های فنوتیپی و ژنوتیپی وابسته است. همچنین، میزان وراثت‌پذیری یک صفت می‌تواند نشان‌دهنده تطابق واریانس‌های ژنوتیپی و فنوتیپی باشد ( *Dabholkar, 1999* ).

جدول ۶- دسته‌بندی صفات از لحاظ وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بر میانگین در دو سال تحت شرایط آبیاری و تنش

Table 6- Classification of traits in terms of heritability and genetic advance as percentage of mean in two years and under irrigation and stress conditions

صفت Trait	۱۴۰۲-۱۴۰۱ 2022-23				۱۴۰۳-۱۴۰۲ 2023-24			
	آبیاری Irrigation		تنش Stress		آبیاری Irrigation		تنش Stress	
	H <sup>2</sup> b	GAM	H <sup>2</sup> b	GAM	H <sup>2</sup> b	GAM	H <sup>2</sup> b	GAM
DTA	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low
DTH	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low
DTPH	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low
GFR	High	High	High	High	High	High	High	High
FLL	High	High	High	High	High	High	High	High
FLW	High	High	High	High	High	High	High	High
Phe	High	High	High	High	High	High	High	High
PL	High	High	High	High	High	High	High	High
PD	Low	Low	Average	Low	High	High	High	High
AL	High	High	High	High	High	High	High	High
SL	High	Average	High	Average	High	Low	High	Average
GW	Low	Low	High	Low	High	Low	High	Low
GL	High	Average	Average	Low	High	Average	High	Average
SW	High	High	High	High	High	High	High	High
WGPS	High	High	High	High	High	High	High	High
NGPS	High	High	High	High	High	High	High	High
NSPM	High	High	High	High	High	High	High	High
SpD	High	High	High	High	High	High	High	High
TGW	High	Average	High	Average	High	Average	High	Average
GY	High	High	High	High	High	High	High	High
SPAD	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low
GZinc	High	Average	High	Average	High	Average	High	Average
GIron	High	High	High	High	High	High	High	High
GFat	High	Average	High	Average	High	High	High	High
GCar	Average	Low	High	Low	High	Low	High	Low
GProtein	High	Average	High	Average	High	Average	High	Average
GAM	High	Low	High	Low	High	Low	High	Low
Gfiber	High	High	High	High	High	High	High	High

DTH: روز تا سنبله‌دهی؛ DTA: روز تا گرده‌افشانی؛ DTPM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک؛ GFR: سرعت پر شدن دانه؛ FLL: طول برگ پرچم؛ FLW: عرض برگ پرچم؛ Phe: ارتفاع بوته؛ PL: طول پدانکل؛ PD: قطر پدانکل؛ AL: طول ریشک؛ SL: طول سنبله؛ GW: عرض دانه؛ GL: طول دانه؛ SW: وزن سنبله؛ WPGS: وزن دانه در سنبله؛ NGPS: تعداد دانه در سنبله؛ NSPM: تعداد سنبله در متر مربع؛ SpD: تراکم سنبله؛ TGW: وزن هزار دانه؛ GY: عملکرد دانه؛ SPAD: شاخص سبزیگی برگ؛ GIron: محتوای آهن دانه؛ GZinc: محتوای روی دانه؛ Gfat: محتوای روغن دانه؛ GCar: محتوای کربوهیدرات دانه؛ GProtein: محتوای پروتئین دانه و Gfiber: محتوای فیبر خام دانه. GCV%: درصد ضریب تغییرات ژنتیکی؛ PCV%: درصد ضریب تغییرات فنوتیپی؛ ECV%: درصد ضریب تغییرات محیطی؛ H<sup>2</sup>b%: درصد وراثت‌پذیری عمومی؛ GA: پیشرفت ژنتیکی و GAM%: پیشرفت ژنتیکی بر میانگین.

DTH: The days to heading, DTA: days to anthesis, DTPH: days to physiological maturity, GFR: grain filling rate, NGPS: number of grain per spike, WPGS: weight of grain per spike, Phe: plant height, SL: spike length, PL, PD: peduncle length and diameter, GL, GW: grain length and width, GY: grain yield m<sup>-2</sup>, TGW: thousand grain weight, NSPM: number of spike m<sup>-2</sup>, FLL and FLW: flag length and width, SpD: spike density, WPGS: weight of grain per spike, SPAD: chlorophyll index, GAM: grain amino acid, Gfiber: crude grain fiber content, Gfat: grain fat content, GProtein: grain protein content, GIron: grain iron, GZinc: grain zinc, GCar: grain water-soluble carbohydrate content. GCV%: percentage of genetic coefficient of variation; PCV%: percentage of phenotypic coefficient of variation; ECV%: percentage of environmental coefficient of variation; H<sup>2</sup>b%: percentage of broadsense heritability; GA: genetic advanced and GAM: genetic advance as percentage of mean.

آبیاری دارای درصد وراثت‌پذیری عمومی و میانگین پیشرفت

تعداد سنبله در مترمربع در هر دو سال در شرایط تنش و

می‌باشد. در سال اول، رسیدگی فیزیولوژیک کمترین درصد ضریب تغییرات محیطی در هر دو شرایط و بیشترین درصد وراثت پذیری عمومی در شرایط آبیاری و در سال دوم، طول ریشک کمترین ضریب تغییرات محیطی در شرایط آبیاری و بیشترین وراثت پذیری عمومی در شرایط آبیاری و تنش خشکی آخر فصل را نشان داد. تراکم سنبله در هر دو سال، بیشترین ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات فنوتیپی و پیشرفت ژنتیکی بر میانگین در شرایط آبیاری و تنش را داشت. صفات سرعت پرشدن دانه، طول و عرض برگ پرچم، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول ریشک، وزن سنبله، وزن دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تراکم سنبله، عملکرد دانه، محتوای آهن دانه و محتوای فیبر دانه در هر دو سال و هر دو شرایط (آبیاری و تنش خشکی آخر فصل)، وراثت پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالایی داشتند که نشان‌دهنده‌ی اثرات افزایشی ژن‌های کنترل‌کننده این صفات است. بنابراین، پاسخ به گزینش و بازده ناشی از آن در این صفات بیشتر و گزینش فنوتیپی در نسل‌های اولیه برنامه به‌نژادی مؤثر است. صفات وزن هزاردانه، محتوای روی دانه، محتوای پروتئین دانه، طول سنبله (به‌جز سال دوم و شرایط آبیاری) و طول دانه (سال اول و شرایط تنش)، وراثت پذیری بالا و پیشرفت ژنتیکی کم یا متوسط و احتمالاً تحت تأثیر عمل غیرافزایشی ژن‌ها بوده و برای به‌نژادی این صفات بایستی از پدیده هتروزیس استفاده نمود.

ژنتیکی بالا بودند. با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان ارقام مختلف جو آبی و دیم را از نظر صفت تعداد سنبله در مترمربع اصلاح نمود و عملکرد گیاه را با توجه به صفت فوق‌الذکر ارتقا داد. در مطالعه‌ای، با بررسی ۴۵ زیر جمعیت از رگه‌های درون‌زاد نوترکیب وراثت‌پذیری بالاتر از ۸۴ درصد برای صفات ابعاد وزن و ابعاد دانه در چهار محیط مورد بررسی گزارش گردید (Shrestha et al., 2022). در بررسی دیگری، وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بر میانگین بالایی برای وزن هزاردانه و طول سنبله جو برآورد شد و گزینش را راه‌کار مناسبی برای بهبود این صفات اعلام گردید (Dyulgerova, Dyulgerov and 2020).

### نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس مرکب حاکی از معنی‌دار بودن اثر رقم برای تمامی صفات اندازه‌گیری شده بود که نشان‌دهنده‌ی وجود تنوع در بین ارقام مورد مطالعه می‌باشد. اثر رقم  $\times$  محیط برای تمام صفات به‌جز عرض برگ پرچم، عرض دانه و محتوای آهن دانه و اثر محیط برای تمامی صفات به‌جز عرض دانه معنی‌دار بود و بیانگر واکنش متفاوت ارقام به محیط‌های مختلف بود. نتایج محاسبه‌ی پارامترهای ژنتیکی صفات اندازه‌گیری شده در چهار محیط مورد ارزیابی، نشان داد، میزان ضریب تنوع ژنوتیپی و ضریب تنوع فنوتیپی به‌هم نزدیک بود که نشان‌دهنده‌ی تأثیر اندک محیط در کنترل صفت و نقش مهم اثرات ژنتیکی

### References

- Abdel-Aal, E.M. and Choo, T.M., 2014. Differences in compositional properties of a hullless barley cultivar grown in 23 environments in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 94, pp.807-815. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-301>
- Ahak paz, F., Asadi, A.A., Neyestani, E., Abdulahi, A., Mohammadi, H., Khaledian, M.S., Seifamiri, S. and Khalilzadeh, G., 2024. Investigating the yield stability and adaptability of promising rainfed genotypes in the cold climate of the country. *Applied Field Crops Research*, 36(2), pp.102-74. <https://doi.org/10.22092/aj.2024.363914.1663>
- Amiri, R., Bahraminejad, S. and Cheghamirza, K., 2020. Estimation of genetic components and inheritance of bread wheat agronomic traits using regression method through generation mean analysis. *Journal of Crop Breeding*. 12(36), pp.101-116. <https://doi.org/10.52547/jcb.12.36.101>

- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist, 16th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Arab Tajandarreh, E., Ismaili, A., Rezaei Nejad, A. and Karami, F., 2017. Assessment of genetic diversity and heritability of physiological and phenological characteristics of some strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) genotypes under climatic conditions of Kurdistan, Iran. *Plant Genetic Researches*, 3 (2), pp.43-58. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/pgr.3.2.43>
- Baghizadeh, A., Taleei, A.R. and Naghavi, M.R., 2007. QTL analysis for some agronomic traits in barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Journal of Agriculture & Biology*, 9, pp, 372-374.
- Baligar, V.C., Fageria, N.K. and He, Z.L., 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32, pp.921-950. <https://doi.org/10.1081/css-100104098>
- Bruckner, P.L. and Morey, D.D., 1988. Nitrogen effects on soft red winter wheat yield, agronomic characteristics, and quality. *Crop Science*, 28, 152–157. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183x002800010033x>
- Burton, G. and Devane, E. H., 1953. Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal*, 45, pp.478-481. <https://doi.org/10.2134/agronj1953.00021962004500100005x>
- Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil*, 302, pp.1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Chowdhry, M.A., Rasool, I., Khaliq, I., Mahmood, T. and Gilani, M.M. 1999. Genetics of some metric traits in spring wheat under normal and drought environment. *Rachis Newsletter*, 18, pp.34-39.
- Dabholkar, A.R., 1999. Elements of Bio Metrical Genetics (revised and Enlarged Edition). Concept publishing company. Pvt. Ltd., Delhi, India
- Dyulgerov, N. and Dyulgerova, B., 2020. Heritability and genetic advance of yield and yield related traits in winter feed barley varieties. *Trakia Journal of Sciences*, 18(1), pp.40-46. <https://doi.org/10.15547/tjs.2020.s.01.008>
- Ebrahimi, M.A., Mohammadian, R. and Khalili, M., 2016. Estimation of genetic correlation, heritability and grouping of barley doubled haploid lines based on indicators related to germination under salt stress. *Plant Genetic Researches*, 3(1) , pp.29-44. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/pgr.3.1.29>
- Emilia-ancuța, B., Muntean, L., Russu, F., Daniela ona, A., Porumb, I. and Filip, E., 2019. Barley (*Hordeum Vulgare* L.): medicinal and therapeutic uses – review. *Hop and Medicinal Plants*, 1-2, pp.87- 95. <https://doi.org/10.15835/hpm.v27i1-2.13588>
- FAO., 2020. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In proceeding of a sympo. Taiwan, 13-16 Aug.1992.By c.G.1993.AVRDC.
- 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, pp.25–31. <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0003>

- Forster, B.P., Ellis, R.P., Moir, J., Talame, V. and Sanguineti M.C., 2004. Genotype and phenotype associations with drought tolerance in barley tested in North Africa. *Annals of Applied Biology*, 144(2), pp.157-168. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00329.x>
- Halluer, A.R. and Miranda, J.B., 1998. Quantitative genetic in maize breeding. Iowa State University, Press, Ames Iowa. Publisher: Springer New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0>
- Harrison, M.T., Tardieu, F., Dong, Z., Messina, C.D. and Hammer, G.L., 2014. Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. *Global Change Biology*, 20(7), pp.867-878. <https://doi.org/10.1111/gcb.12381>
- Jajić, I., Krstović, S., Glamočić, D., Jakšić, S. and Abramović, B., 2013. Validation of an HPLC method for the determination of amino acids in feed. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 78(6), pp.839-850. <https://doi.org/10.2298/jsc120712144J>
- Johnson, H.W., Robinson, H.F. and Comstock, R.E., 1955. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. *Agronomy Journal*, 47(7), pp.314-318. <https://doi.org/10.2134/agronj1955.00021962004700070009x>
- Khalili, M. and Naghavi, M.R.N., 2018. Evaluation of genetic diversity of spring wheat cultivars for physiological and agronomic traits under drought stress. *Journal of Crop Breeding*, 10(25), pp.138-151. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.10.25.138>
- Mamo, B.E., Barber, B. and Steffenson, B.J., 2014. Genome-wide association mapping of zinc and iron concentration in barley landraces from Ethiopia and Eritrea. *J. Journal of Cereal Science*, 60(3), pp.497-506. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.08.007>
- Mascher, M., Gundlach, H., Himmelbach, A., Beier, S., Twardziok, SO., Wicker, T. and Radchuk, V., 2017. A chromosome conformation capture ordered sequence of the barley genome. *Nature*, 544(7651), pp.427-433. <https://doi.org/10.1038/nature22043>
- Mohamed, A., Hojilla-Evangelista, M.P., Peterson, S.C. and Biresaw, G., 2007. Barley protein isolate: thermal, functional, rheological, and surface properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(3), pp.281-288. <https://doi.org/10.1007/s11746-006-1027-z>
- Mostafavi, K.H., Golbashi, M., Izadi Darbandi, A. and Zarabi, M., 2012. Effect of salinity stress and genetical parameterers estimation of some burley (*Hordeum Vulgare L.*) Cultivars lines in seed germination and seedling primary growth stage. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 1(2), pp.117-127. [In Persian].
- Panizo-Casado. M., Déniz-Expósito, P., Rodríguez-Galdón, B., Afonso-Morales, D., Ríos-Mesa, D., Díaz-Romero, C. and Rodríguez-Rodríguez, EM., 2020. The chemical composition of barley grain (*Hordeum vulgare L.*) landraces from the Canary Islands. *Journal of Food Science*, 85(6), pp.1725-1734. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15144>
- Rahmati, M.R., Ahmadi, A. and Hosseinpour, H., 2018. Study of genetic variability, heritability and relationship between grain yield and yield-related traits on bread wheat genotypes under dry land conditions. *Journal of Crop Breeding*, 10(25), pp.167-175. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.10.25.167>

- Redhu, A.S., Singh, R.K. and Luthara, O.P., 1986. Genetic analysis of grain yield and its components in some leaf rust resistance genotypes of wheat. *Haryana Agricultural University Journal of Research*, 16(3), pp.228-232.
- Richards, R. A., 2000. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *Journal of experimental botany*, 51(1), pp.447-458. [https://doi.org/10.1093/jexbot/51.suppl\\_1.447](https://doi.org/10.1093/jexbot/51.suppl_1.447)
- Sadeghzadeh, B., 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13, pp.905-927. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162013005000072>
- Samarah, N., Mullen, R. and Cianzio, S., 2004. Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27, pp.815-835. <https://doi.org/10.1081/pln-120030673>
- Selvaraj, I.C, Pothiraj, N., Thiyagarajan, K., Bharathi, M. and Rabindran, R., 2011. Genetic parameters of variability, correlation and path coefficient studies for grain yield and other yield attributes among rice blast disease resistant genotypes of rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology*, 10 (17), pp.322 - 334. <https://doi.org/10.5897/ajb10.2575>
- Shrestha, A., Cosenza, F., van Inghelandt, D., Wu, P.Y., Li, J., A Casale, F., Weisweiler, M. and Stich, B., 2022. The double round-robin population unravels the genetic architecture of grain size in barley. *Journal of Experimental Botany*, 73(22), pp.7344–7361. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac369>
- Singh, R.K. and Chaudhary, B.D., 2004. *Biometrical Method in Quantitative Genetics Analysis*. Ludhiana: Kalyani Publisers.
- Solhi Andarab, S., Rashidi, V., Shahbazi, H., Farahvash, F. and Ahmadzadeh, A., 2021. Determination of heritability and genetic parameters of yield and yield components related to salinity tension in barley cultivars through crossing Diallel. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(2), pp.461-473. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2872.1742>
- Tahmasebi, S., Khodambashi, M. and Rezai, A., 2007. Estimation of genetic parameters for grain yield and related traits in wheat using diallel analysis under optimum and moisture stress conditions. *Journal of Water and Soil Science*, 11(1), pp.229-241. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.24763594.1386.11.1.18.0>
- Tawfiq, J. and Al-Attar S., 2014. Hand book of Nutrition Science. University of Baghdad, Academic press.
- Tricase., C, Lamonaca, E., Ingrao, C., Bacenetti, J. and Lo Giudice, A., 2018. A comparative life cycle assessment between organic and conventional barley cultivation for sustainable agriculture pathways. *Journal of Cleaner Production*, 172, pp.3747-3759. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.008>
- United Nations. World Population Prospects 2019: Highlights. Department of Economic and Social Affairs. Population Division (2019). Available online at: <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-2019-highlights.html> (accessed May 18, 2020).
- Upadhyaya, H., Bajaj, D., Das, S., Kumar, V., Gowda, C., Sharma, Sh., Tyagi, A. and Parida, S., 2016. Genetic dissection of seed-iron and zinc concentrations in chickpea. *Scientific Reports*, 6, pp.24050. <https://doi.org/10.1038/srep24050>

# Crop Science Research in Arid Regions

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

## Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 777-792

### The effect of agricultural management scenarios on the leaching of nicosulfuron (Cruze) herbicide from soil covered with corn plants

Lida Ansari <sup>a</sup>, Abdolreza Ahmadi <sup>b</sup>, Masoud Shakarami <sup>\*c</sup>

<sup>a</sup> M.Sc. Graduate in Weed Science, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

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

<sup>c</sup> Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

\*Corresponding Author: [Shakarami.mas@lu.ac.ir](mailto:Shakarami.mas@lu.ac.ir)

Received: 3 November 2024

Accepted: 15 March 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.486895.1449

#### How to cite this article:

Ansari, L., Ahmadi, A. and Shakarami, M., 2025. The effect of agricultural management scenarios on the leaching of nicosulfuron (Cruze) herbicide from soil covered with corn plants. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 777-792. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.486895.1449>

#### Abstract

**Introduction:** Maize (*Zea mays L.*) is of particular importance in Iran as the main source of energy for poultry and livestock feeding, and for this reason, the development of the cultivated area and the increase in the production of this product have a special priority. According to the information of the World Agricultural Food Organization, the cultivated area of corn has reached 98.8 million hectares, which is 10.4% of the cultivated area of the world, and its annual production is equal to 1.1 billion tons. Among the factors limiting the production of agricultural products and reducing their quantity and quality are pests, diseases and weeds. Among these three factors, weeds are of great importance. The amount of damage caused by weeds in the corn field is different and is usually between 69 and 84%. Sorghum halepensis (L.) Pers. It is one of the most important weeds in corn fields. Water and soil pollution are important environmental issues that endanger human health. Nicosulfuron (Crooz) and Rimsulfuron are among the most widely used herbicides in agricultural products, which are used to control weeds in Iranian fields. Since the herbicides used in fields and agricultural lands have different durability and effects on the environment, therefore, study and research on the remaining amount of these products in the soil, as well as investigating its absorption behavior in the soil and establishing a link between the pesticide and clay particles. Organic matter in soil is essential.

**Materials and Methods:** In order to investigate the leaching rate of Nicosulfuron herbicide from the soil column with corn crop vegetation and Sorghum weed under different management scenarios in the soil profile, a factorial experiment based on a completely random design, with three repetitions in 39 polyethylene columns with a diameter of 12 and a height of 70 cm was designed and used. The test factors include two types of soil; The soil of Kohdasht (S<sub>1</sub>) and Khorramabad (S<sub>2</sub>) regions, as well as



©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/).

three types of organic matter including; sheep manure (OM<sub>1</sub>), wheat straw (OM<sub>2</sub>), biochar (OM<sub>3</sub>) and control (OM<sub>4</sub>). The levels of biochar and sheep fertilizers were 50 tons per hectare and organic matter of straw was 1%. After designing and preparing soil columns, corn and sorghum plants were cultivated in them. During the growing season, 5 periods of irrigation were applied and at the end of each irrigation, the amount of toxin in the effluent from the soil column was measured.

**Results and Discussion:** The results showed that the effect of soil type, organic matter, irrigation time, and the interactions of organic matter and irrigation time on the amount of drainage toxin were significant ( $p < 0.01$ ). The results of comparison between different treatments showed that the use of organic matter in the soil causes the absorption of toxin and prevents its mobility to the lower layers, so that the highest and lowest concentrations of herbicides in the drain were observed in the treatment containing straw and control treatment, respectively. The amount of soil clay plays an important role in the rate of toxin uptake, so that in the present study, the highest rate of herbicide uptake in columns containing Sorghum, biochar fertilizer and soil of Khorramabad region and the lowest rate of toxin uptake in columns containing corn, straw and soil of Kuhdasht region was observed.

**Conclusion:** The results of the present study show that the behavior of surface absorption and release of Cruz herbicide in the soil depends on the physico-chemical characteristics of the soil such as soil clay content, type of organic matter and organic carbon content.

**Keywords:** Agricultural sustainability, Organic matter, Soil column, Toxicant absorption, Toxicant mobility

## اثر سناریوهای مدیریت کشاورزی بر آبشویی علف کش نیکوسولفورون (کروز) از خاک با پوشش گیاه ذرت

لیدا انصاری<sup>۱</sup>، عبدالرضا احمدی<sup>۲</sup>، مسعود شاکرمی<sup>۳\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد علف‌های هرز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
 ۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
 ۳- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

\* مسئول مکاتبه: [Shakarami.mas@lu.ac.ir](mailto:Shakarami.mas@lu.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.486895.1449

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳

### چکیده

به منظور بررسی میزان آبشویی علف کش نیکوسولفورون با پوشش گیاه ذرت و علف‌هرز قیاق، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار در ۳۹ ستون پلی‌اتیلنی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل نوع خاک؛ خاک‌های شهرستان‌های کوه‌دشت (S<sub>1</sub>) و خرم‌آباد (S<sub>2</sub>) و همچنین نوع ماده آلی شامل کود گوسفندی (OM<sub>1</sub>)، کاه و کلش گندم (OM<sub>2</sub>)، بیوچار (OM<sub>3</sub>) و شاهد (OM<sub>4</sub>) بودند. در طول فصل کشت، ۵ دوره آبیاری اعمال و در پایان هر آبیاری میزان سم زه‌آب خروجی از ستون‌های خاک اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد، اثر نوع خاک، ماده آلی، زمان آبیاری، و اثرات متقابل ماده آلی و زمان آبیاری بر میزان سم زه‌آب معنی‌دار ( $p < 0/01$ ) است. نتایج مقایسه میانگین در تیمارهای مختلف نشان داد، بالا بودن میزان ماده آلی و میزان رس خاک، سبب جذب سم و از آبشویی آن به لایه‌های پایین جلوگیری می‌کنند. بیشترین (۰/۳۷) و کمترین (۰ میکروگرم در لیتر) غلظت سم موجود در زه‌آب به ترتیب مربوط به تیمار حاوی کاه و کلش و تیمار شاهد می‌باشد. بالاترین میزان جذب علف کش در ستون‌های حاوی گیاه قیاق، کود بیوچار و خاک منطقه خرم‌آباد و کمترین میزان جذب سم در ستون‌های حاوی گیاه ذرت، کاه و کلش و خاک منطقه کوه‌دشت مشاهده شد. نتایج نشان داد با گذشت زمان، از میزان سم موجود در زه‌آب کاسته می‌گردد. لذا استفاده از راهکارهای مدیریتی از جمله استفاده از پسماندهای آلی و خاک رس به‌عنوان روشی مؤثر برای به حداقل رساندن آلودگی زیست‌محیطی در زمان استفاده از آفت‌کش‌ها توصیه می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** تحرک سم، پایداری کشاورزی، جذب سم، ستون خاک، مواد آلی

### مقدمه

استفاده می‌شوند، اما کاربرد نادرست آن‌ها می‌تواند منجر به آبشویی و انتقال آلاینده‌ها به لایه‌های عمیق‌تر خاک و منابع آب زیرزمینی شود، که این امر علاوه بر کاهش کارایی علف‌کش‌ها، تهدیدی جدی برای محیط‌زیست و سلامت انسان محسوب می‌شود (Giuliano *et al.*, 2021).

سموم حاصل از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها با تأثیر بر کیفیت خاک و آب و انتقال به اکوسیستم‌های مجاور، سلامت انسان و موجودات زنده را تهدید می‌کنند (James *et al.*, 2022; Giuliano *et al.*, 2021; Sadeghzadeh *et al.*, 2017; Genuis *et al.*, 2016). محققان مختلف با آگاهی از این خطرات، مطالعات متعددی را در زمینه بررسی سرنوشت و نحوه انتقال سموم آفت‌کش و علف‌کش در خاک و تعیین راهکارهای مدیریتی برای کاهش آثار آن‌ها در محیط انجام داده‌اند (Pot *et*

ذرت، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین غلات جهان، با سطح زیر کشت ۱۹۷ میلیون هکتار و تولید سالانه بیش از ۱ میلیارد تن، نقش حیاتی در تأمین غذای انسان، دام و طیور ایفا می‌کند (Erenstein *et al.*, 2022; FAO, 2021). با این حال، علف‌های هرز، به‌ویژه قیاق، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید ذرت، خسارت قابل‌توجهی به مزارع وارد می‌کنند. در ایران، خسارت ناشی از علف‌های هرز در مزارع ذرت بین ۶۹ تا ۸۴ درصد متغیر است، درحالی‌که در ایالات متحده و کانادا، این خسارت به‌طور متوسط، سبب ۵۰ درصد کاهش عملکرد و زبانی بالغ بر ۲۶/۷ میلیارد دلار در سال را به همراه دارد (Soltani *et al.*, 2016; Noormohamadi *et al.*, 2009). برای کنترل علف‌های هرز، علف‌کش‌ها به‌طور گسترده

علف‌کش‌ها در خاک‌های زراعی اصلاح شده با ضایعات جنگل توجه کرد (James *et al.*, 2022). شستشوی علف‌کش‌ها و متابولیت‌های آنها در لایسیمترهای پر شده با خاک‌های خطوط راه‌آهن تاکید کرد (Buerge *et al.*, 2024). شستشوی بقایای علف‌کش از سطوح شن و خاک سطحی کشاورزی در شرایط لایسیمتری (Albers *et al.*, 2020) اشاره کرد.

انتخاب راهبردهای مدیریتی بهینه نیازمند درک سرنوشت و انتقال علف‌کش‌ها در خاک است. با وجود مطالعات گسترده در این زمینه، پژوهش‌ها درباره شناخت، سرنوشت و انتقال و نگهداشت علف‌کش‌ها به کار رفته با آب آبیاری به دلیل نیاز به امکانات خاص، محدود است. این پژوهش با هدف بررسی آبخوبی سم نیکوسولفورون در خاک تحت راهبردهای مدیریتی مختلف (استفاده از مواد آلی و بافت‌های مختلف خاک) برای کاهش اثرات زیان‌بار این سم بر خاک و محیط‌زیست انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به منظور بررسی میزان آبخوبی علف‌کش نیکوسولفورون (کروز) از ستون خاک در زمان‌های مختلف آبیاری با پوشش گیاه زراعی ذرت و علف‌هز قیاق، تحت سناریوهای مختلف مدیریتی (کاربرد ماده آلی و نوع خاک به منظور جذب علف‌کش) به صورت عددی تکرار شده در چارچوب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور (نوع خاک، ماده آلی) در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام گرفت. فاکتورها، شامل دو نوع خاک: خاک‌های منطقه کوه‌دشت (S<sub>1</sub>) و خرم‌آباد (S<sub>2</sub>) و همچنین چهار نوع ماده آلی: کود گوسفندی (OM<sub>1</sub>)، کاه و کلش (OM<sub>2</sub>)، بیوجار (OM<sub>3</sub>) و شاهد (OM<sub>4</sub>) بودند. کودهای بیوجار و کود گوسفندی به میزان ۵۰ تن در هکتار و همچنین مواد آلی کاه و کلش به میزان یک درصد وزنی به خاک اضافه شد.

باید در نظر داشت در برخی از آزمایش‌های انجام شده، صفت مورد نظر در زمان‌های گوناگون اندازه‌گیری می‌گردد. به عبارتی بعد از اعمال تیمارها، صفت مورد نظر در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری می‌گردد و تیمار اختصاص یافته به هر یک از واحدهای آزمایشی در زمان‌های مختلف ثابت است. در این گونه آزمایش‌ها، مشاهده‌های هر واحد آزمایشی در زمان‌های

Al., 2011; Noshadi *et al.*, 2014; Nouri *et al.*, 2014; (Rigi and Farahbakhsh., 2019).

سرنوشت علف‌کش‌ها در خاک تحت تاثیر عوامل اقلیمی و خصوصیات خاک نظیر جذب، تجزیه، رواناب، تبخیر و آبخوبی قرار دارد (Giuliano *et al.*, 2021). جذب محتوای آلی خاک و محتوای خاک رس سرنوشت علف‌کش‌ها را در خاک تحت تاثیر قرار داده، به طوری که جذب سموم و علف‌کش‌های غیر یونی توسط خاک عمدتاً توسط محتوای ماده آلی خاک کنترل می‌شود (Sadeghzadeh *et al.*, 2017). افزایش فعالیت میکروبی خاک میزان تخریب علف‌کش‌ها را افزایش و برعکس شرایطی که مانع از رشد میکروارگانیسم‌ها گردد، میزان تخریب را کاهش می‌دهد. لذا مواد اصلاح‌کننده خاک (مواد آلی) سبب جلوگیری از آبخوبی سموم در خاک می‌گردد (Popov *et al.*, 2005; Kadian *et al.*, 2007; Sadeghzadeh *et al.*, 2017). مواد آلی خاک با افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها، تجزیه آفت‌کش‌ها را تسریع می‌کنند و از آبخوبی آن‌ها جلوگیری می‌کنند (Mehdizadeh *et al.*, 2016). بیوجار (زغال استخوان گاو) به عنوان پالاینده برخی علف‌کش‌ها عمل می‌کند. ملندگاری سم ایمازاتاپیر در خاک‌های اسیدی بیشتر است، اما جذب آن تحت تاثیر رس و مواد آلی قرار نمی‌گیرد، هرچند برخی مطالعات ارتباط مستقیم بین رس، مواد آلی و جذب علف‌کش‌ها را نشان می‌دهند (Takeshita *et al.*, 2019).

تحقیقات نشان داده‌اند که نوع بافت خاک و مواد آلی موجود در آن بر تجزیه علف‌کش‌ها تاثیر می‌گذارند. به عنوان مثال، تجزیه علف‌کش آترازین در خاک‌های رسی - سیلتی سریع‌تر از خاک‌های لومی - شنی است و افزودن کود آلی سرعت تجزیه را افزایش می‌دهد. مواد آلی می‌توانند به عنوان پالاینده علف‌کش‌ها در خاک عمل کنند (Izadi *et al.*, 2008). تجزیه غیرزیستی متری بیوزین در لایه‌های سطحی خاک بیشتر از لایه‌های عمیق است و جذب گلیفوزیت نیز با افزایش عمق، کاهش می‌یابد (Kodesova *et al.*, 2012).

مطالعات ستونی روشی رایج برای بررسی انتقال آلاینده‌ها در خاک است که مزایایی مانند عدم نیاز به جداسازی محلول از خاک، شبیه‌سازی شرایط مزرعه‌ای و هزینه کم دارد. امروزه، استفاده از این روش در جهان توجه ویژه‌ای را به خود معطوف داشته است که از آن جمله، می‌توان به بررسی رفتار آبخوبی

(کاهوکلش) در این خاک‌ها از میزان بقایای گیاهی یا ماده آلی با پوشش گندم و جو در فصل زراعی قبل انتخاب شد. سطوح کود بیوچار گاوی و کود پوسیده گوسفندی هر کدام به میزان ۵۰ تن در هکتار استفاده گردید. همچنین علفکش نیکوسولفورون (کروز) به صورت پس رویشی در هنگام ۵ برگگی علف‌هرز گیاه قیاق به میزان دو لیتر در هکتار استفاده گردید. به منظور تهیه نمونه خاک در شهرستان‌های کوهدشت و خرم‌آباد، ۵۰ نمونه به طور تصادفی از کل زمین‌های آبی در مرکز هر شهرستان تهیه گردید. قبل از نمونه برداری، ابتدا ۵ سانتی‌متر روپین هر خاک را کاملاً کنار زده و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر در هر نقطه نمونه خاک برداشت گردید. خاک از زمین‌هایی که از نظر بافت خاک، شیب، نحوه آبیاری، مدیریت کوددهی و الگوی کشت مشابه بودند، تهیه گردید. بعد از برداشت، تمام نمونه‌های خاک به روش مرکب با هم مخلوط و نمونه نهایی از آن برداشته گردید (Carter et al., 2008).

مختلف مربوط به یک تیمار هستند و تنها زمان اندازه‌گیری آن‌ها متفاوت می‌باشد. در اندازه‌های تکرار شده، علاوه بر تیمار، فاکتور زمان نیز به آزمایش افزوده می‌شود و لازم است که اثر آن تجزیه شود، اما نمی‌توان اثرات دو فاکتور تیمار و زمان را همانند آزمایش‌های فاکتوریل معمولی تجزیه و تحلیل نمود، زیرا اصولاً در اندازه‌های تکرار شده شرایط مورد نیاز یک آزمایش فاکتوریل وجود ندارد. علت آن است که در این گونه آزمایش‌ها، در هر زمان، تیمارها دوباره بین واحدهای آزمایشی قرعه‌کشی نمی‌شوند و در هر زمان امکان اختصاص تصادفی تیمارها وجود ندارد. تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به تحقیق حاضر نیز اندازه‌های تکرار شده در چارچوب آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی می‌باشد (Zamani, 2011).

از آنجا که گیاه ذرت در شهرستان‌های خرم‌آباد و کوهدشت به عنوان قطب کشاورزی استان لرستان به عنوان کشت دوم بعد از محصول گندم و جو می‌باشد، لذا میزان ماده آلی خاک

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک و کودهای استفاده شده

Table 1- Some chemical properties of soils used

مشخصات خاک Soil characteristics	خاک کوهدشت (S <sub>1</sub> ) Soil of Kuhdasht (S1)	خاک خرم‌آباد (S <sub>2</sub> ) Soil of Koohdasht (S2)	کود بیوچار گاوی Cattle biochar fertilizer	کود گوسفندی Sheep manure	کاهوکلش Straw
بافت خاک soil texture	لومی-شنی Sandy Loam	لومی-رسی-شنی Sandy Clay Loam	-	-	-
رس Clay %	16.7	21.72	-	-	-
سیلت Silt %	16.06	19	-	-	-
شن Sand %	67.24	59.28	-	-	-
فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (ppm)	4.69	5.81	1.27	1.13	0.8
ازت کلی Total N %	0.14	0.14	1.98	1.79	0.52
درصد مواد آلی O.M %	2.22	2.49	17.24	12.21	
اسیدیته pH	7.53	7.64	8.3	8.1	6.67
هدایت الکتریکی EC dS/m	0.79	0.99	15.24	12.88	5.12

۳۹ عدد ستون پلی‌اتیلن با قطر ۱۲ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر استفاده شد. نمای کلی از ستون‌های پلی‌اتیلنی در شکل ۱ ارائه شده است.

### طراحی ستون خاک

در اجرای این طرح به منظور کنترل هرچه مطلوب‌تر کلیه عوامل مؤثر بر تیمارها، با توجه به طرح آماری استفاده شده، از



شکل ۱- نمای کلی از ستون‌های پلی‌اتیلنی استفاده شده در تحقیق

Figure 1- Polyethylene columns used in the research

وجود منافذ بیش از حد بزرگ سبب ایجاد جریان ترجیحی در

ستون‌های خاک می‌گردد (Hosseinpour *et al.*, 2009).

برای پر کردن ستون‌ها از خاک، ابتدا ستون‌ها به ارتفاع حدود ۱۰ سانتی‌متر با ذرات ریگ در اندازه‌های مختلف پر گردید، سپس خاک‌های با بافت مختلف (با توجه به نوع خاک‌های آزمایشی در نظر گرفته شده) به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر ریخته شد. کودهای بیوجار و کود گوسفندی به‌میزان ۵۰ تن در هکتار و همچنین مواد آلی کاه و کلش در سطح یک درصد وزنی به خاک اضافه شد. ارتفاع نهایی خاک ۶۰ سانتی‌متر بود. فضای فوقانی ستون‌ها به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر به‌صورت عمق آزاد جهت افزودن آب آبیاری در نظر گرفته شد. نمای کلی از خاک درون لوله‌ها و همچنین فضای فوقانی ستون‌ها جهت افزودن آب آبیاری در شکل ۱ ارائه گردیده است. یادآور می‌گردد که جهت حصول به شرایط واقعی (از نظر تحکیم)، پر نمودن لوله‌ها، در طی چند مرحله و بدون هیچ‌گونه عملیات تراکمی خاصی صورت گرفت تا تراکم خاک ستون‌ها در حد شرایط طبیعی منطقه صورت گیرد (Marofi *et al.*, 2015).

برای جمع‌آوری زه‌آب، ظروف پلاستیکی به حجم ۲ لیتر در زیر لوله‌ها تعبیه شد (شکل ۱). پس از آماده‌سازی بستر کشت، در تاریخ ۱۳۹۹/۰۱/۲۳ گیاه ذرت و قیاق در ستون‌های خاک کشت گردید. یادآور می‌گردد، در این پژوهش گیاه ذرت، کشت اصلی و گیاه قیاق به‌عنوان علف‌هرز استفاده گردید.

### مراحل پر شدن ستون‌ها با خاک

پس از طراحی و آماده‌سازی ستون‌های پلی‌اتیلنی در اندازه‌های مورد نظر، ابتدا به‌منظور انسداد بخش انتهایی ستون‌ها (جلوگیری از ورود ذرات خاک) و در عین حال برقراری امکان خروج آب، از یک لایه پارچه متقال که قبلاً شسته شده بود، استفاده شد. سپس در انتهای هر لوله درپوش پلاستیکی تعبیه و سه سوراخ با فواصل منظم و مساوی به‌منظور خروج یکنواخت زه‌آب ایجاد شد.

برای استقرار و تعادل عمودی لوله‌ها و همچنین جمع‌آوری آسان‌تر زه‌آب، قفسه‌های فلزی در دو طبقه طراحی و ساخته شد. قفسه‌های زیرین و رویین به‌ترتیب ۳۰ و ۸۰ سانتی‌متر (نسبت به کف زمین) ارتفاع داشتند. قفسه زیرین به‌گونه‌ای طراحی شد که قاعده لوله‌ها بر روی دو پروفیل فلزی (که دارای فاصله ۱۰ سانتی‌متر بودند) قرار می‌گرفت. اما طبقه رویین مشبک (۱۱×۱۱ سانتی‌متر) بود و به‌گونه‌ای طراحی گردید که در هر شبکه یک لوله قرار می‌گرفت.

به‌منظور پر نمودن ستون‌ها، از دو نوع خاک با بافت‌های لوم-رسی - شنی (خاک خرم‌آباد) و لوم- شنی (خاک کوه‌دشت) استفاده گردید. به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت در خاک مورد نظر و جداسازی ذرات درشت دانه آن، از الک با قطر روزه‌های یک سانتی‌متر استفاده گردید، جداسازی ذرات بیش از حد درشت، امکان یکنواختی بیشتر خاک را فراهم می‌آورد زیرا

## عملیات آبیاری

به منظور تعیین حجم آبیاری بر اساس شرایط خاک از نظر جنس خاک و درصد تخلخل آن به میزان رشد گیاه و همچنین ابعاد لوله‌های پلی اتیلن قبل از کشت چندین بار بر روی لوله‌ها حجم‌های مختلفی از آب به کار برده شد. به گونه‌ای که هم نیاز آبی گیاه تأمین شود و هم آبشویی در انتهای لوله‌ها صورت گیرد. میزان آب مصرفی در هر دور آبیاری ۶۰۰ سی‌سی آب برای هر لوله بود. دوره آبیاری با استفاده از تشتت تبخیر و داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد، ۶ روز تعیین گردید. در مرحله چهارم برگری ذرت، علفکش کروز به میزان ۴ میکرولیتر به ستون‌های خاک اضافه شد. از زمان کاربرد علفکش در خاک، در پایان هر آبیاری، نمونه‌گیری از زه‌آب خروجی آب آبیاری انجام شد و نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی درب‌دار در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

## آماده‌سازی نمونه‌های آب‌های مصرفی و زه‌آب خروجی

برای آنالیز میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک، در هر برنامه آبیاری، نمونه‌هایی از زه‌آب خروجی از ستون خاک، با استفاده از ظروف پلاستیکی تهیه و به آزمایشگاه مرکزی شماره ۱ دانشگاه لرستان جهت آنالیز ارسال گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک به روش هیدرومتری، pH خاک در گل اشباع و هدایت الکتریکی به ترتیب توسط دستگاه pH متر (مدل WPA مارک CD500) و EC متر، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون (نلسون و سامرز) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک توسط هدایت‌سنج (مدل ۴۵۱۰ مارک JENWAY)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال، فسفر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر و میزان سم موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه HPLC طبق استانداردهای مشخص، انجام شد.

## تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های زه‌آب و خاک با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. میانگین داده‌های آزمایش با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند. برای ترسیم نمودارها از

نرم‌افزار Excel 2018 استفاده گردید.

## نتایج و بحث

### میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک

نتایج تجزیه واریانس میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون‌های خاک در جدول ۲ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج، اثر نوع ماده آلی و زمان آبیاری و همچنین برهم‌کنش نوع ماده آلی و زمان آبیاری در سطح یک درصد ( $p < 0.01$ ) و اثر نوع خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0.05$ ). نتایج تجزیه واریانس بیانگر غیر معنی‌دار بودن دیگر منابع پراکنش بر میزان غلظت علفکش خروجی در زه‌آب خروجی از ستون خاک می‌باشد.

نوع بافت خاک و مواد آلی موجود در آن بر تجزیه علفکش‌ها مؤثر می‌باشند و بر نیمه‌عمر علفکش اثرگذار هستند. تحقیقات نشان داده است که اثر بافت خاک بر تجزیه علفکش در خاک معنی‌دار است، به طوری که میزان تجزیه در خاک رس - سیلتی به مراتب بیشتر از خاک لومی - شنی است و مواد آلی نقش مهمی در سرعت تجزیه آترازین دارند و می‌توانند به عنوان پالایند این علفکش در خاک مورد استفاده قرار بگیرند (Izadi et al., 2008).

### اثر نوع خاک بر میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک

مقایسه میانگین مقادیر علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک در اثر نوع خاک نشان داد، بالاترین میزان علفکش به خاک کوه‌دشت ( $S_1$ ) و کمترین غلظت مربوط به خاک خرم‌آباد ( $S_2$ ) می‌باشد که مقادیر مربوط به خاک کوه‌دشت از لحاظ آماری نسبت به خاک خرم‌آباد در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد (شکل ۲).

نتایج نشان داده است که عوامل اقلیمی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مولکول‌های سم، ویژگی‌های خاک، شیوه‌های کشت به ویژه خاک‌ورزی، زمان بندی و مقدار علفکش کاربردی بر میزان آبشویی سم اثرگذار هستند (Giuliano et al., 2021).

جدول ۲- تجزیه واریانس میزان علفکش موجود در زه آب خروجی از ستون های خاک

Table 2- Analysis of variance of herbicide content in drainage from soil columns

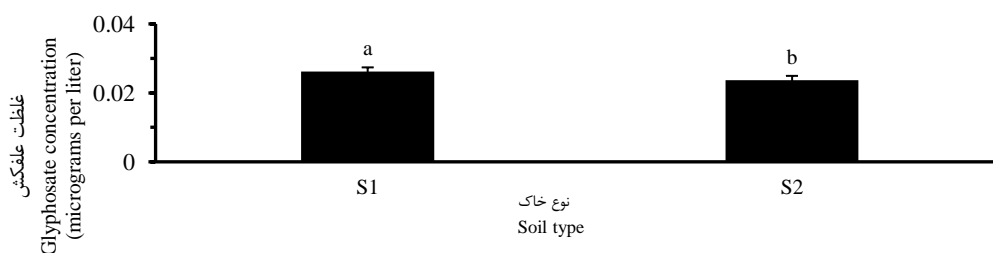
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
Source of variation	Degree of freedom	Mean of squares
خاک	1	0.00018155*
Soil		
ماده آلی	3	0.00864823**
Organic matter		
خاک × ماده آلی	3	0.00002935 <sup>ns</sup>
Soil × organic matter		
زمان آبیاری	4	0.00187784**
Time irrigation		
خاک × زمان آبیاری	4	0.00000185 <sup>ns</sup>
Soil × Irrigation Time		
ماده آلی × زمان آبیاری	12	0.00024188**
organic matter × Irrigation Time		
خاک × ماده آلی × زمان آبیاری	12	0.00000295 <sup>ns</sup>
Soil × organic matter × Irrigation Time		
خطای آزمایش	64	0.00003116
Error		
خطای کل	119	
Total error		

\*, \*\* به ترتیب معنی دار در سطوح ۵، ۱ درصد و ns اختلاف غیر معنی دار

\*, \*\* Significant differences at levels of 5, 1% and Ns: insignificant difference respectively

تجزیه و جذب در بافت رسی - سیلتی است (Forouzangahr *et al.*, 2005). براساس نتایج آزمایشات پیشین، بافت خاک آثار بسیار پیچیده‌ای بر تجزیه یا ماندگاری علفکش یا آفتکش‌ها در خاک دارد. میزان رس خاک از پارامترهای بسیار مهم بوده که هر چقدر درصد رس خاک بیشتر باشد، میزان جذب سطحی علفکش یا آفتکش بیشتر خواهد بود که این امر منجر به کاهش زیست‌فراهمی آن‌ها می‌شود (Jursík *et al.*, 2020). همچنین، رس موجود در ترکیب خاک، میزان هیدرولیز را در خاک افزایش می‌دهد که این فرآیند در طی شرایط اسیدی یا بازی به شدت افزایش خواهد داشت (Theng *et al.*, 2000).

محیط خاک از عوامل تاثیرگذار بر شسته شدن سموم علفکش است. با توجه به نتایج تحقیق، مشاهده می‌گردد که ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله بافت خاک تأثیر مشخصی بر سرعت تجزیه و جذب علفکش‌ها دارند. از آنجا که خاک خرم‌آباد نسبت به خاک کوهدشت دارای بافت سنگین‌تر (میزان رس بیشتری) می‌باشد، لذا تیمارهای (ستون‌های خاک) حاوی خاک خرم‌آباد نسبت به تیمارهای خاک کوهدشت، سبب جذب بیشتری از میزان سم شده و از تحرک سم به لایه‌های پایین‌تر جلوگیری کرده است. نتایج این تحقیق با نتایج دیگر محققان مطابقت دارد. برخی از پژوهشگران بیان داشتند که تجزیه و جذب علفکش در بافت لومی - شنی به مراتب کندتر از سرعت



شکل ۲- اثر نوع خاک بر میزان علفکش موجود در زه آب خروجی از ستون خاک (S<sub>1</sub>: خاک کوهدشت و S<sub>2</sub>: خاک خرم‌آباد)

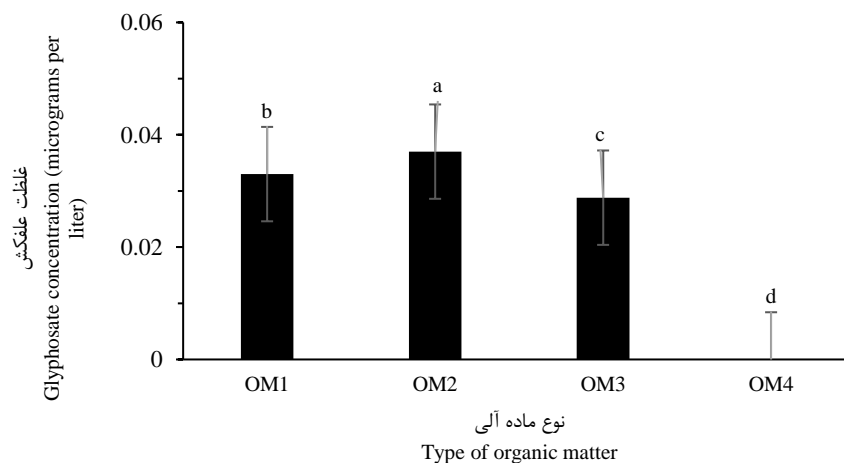
Figure 2- Effect of soil type on the amount of herbicide present in the effluent from the soil column (S<sub>1</sub>: Kuhdasht Soil and S<sub>2</sub>: Khorramabad Soil)

تحقیقات نشان داده است که اثربخشی سم متری‌بوزین در خاک با مقدار ماده آلی موجود در آن رابطه عکس دارد، به طوری که جذب این علفکش در خاک در حضور ماده آلی کاهش پیدا خواهد کرد (Rigi and Farahbakhsh., 2019). به طور کلی بین افزایش میزان رس و محتوای ماده آلی خاک و میزان جذب این خانواده علفکش ارتباط مستقیم وجود دارد (Takeshita et al., 2019).

استفاده از مواد آلی (کود دامی و بیوجار) در خاک سبب افزایش جذب سطحی و کاهش حرکت و آبشویی علفکش در ستون‌های خاک نسبت به خاک بدون مواد اصلاح‌کننده شده است. در مطالعه‌ی مشابه مشخص شد، افزایش میزان ماده آلی خاک سبب کاهش عمق آبشویی علفکش شده است، که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Abdollahi et al., 2019; Avarseji et al., 2021).

### اثر نوع ماده آلی بر میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک

نتایج مقایسه میانگین اثر نوع ماده آلی بر مقادیر علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج این شکل، بالاترین (۰/۰۳۷ میکروگرم در لیتر) میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک مربوط به کاه و کلش (O<sub>2</sub>) و کمترین غلظت (۰/۰۰) مربوط به شاهد (O<sub>4</sub>) می‌باشد. نتایج حکایت از اختلاف آماری معنی‌دار بین تمام سطوح ماده آلی به کار رفته از نظر میزان علفکش خروجی از ستون خاک در سطح ۵ درصد می‌باشد. ماده آلی خاک سبب نگهداری سم در خاک می‌گردد و از تحرک آن به لایه‌های پایین جلوگیری می‌کند، از آنجا که کود آلی بیوجار گاوی دارای ماده آلی بیشتری نسبت به دیگر مواد آلی داشت، لذا میزان سم موجود در زه‌آب خروجی از ستون‌های خاک حاوی این کود کمتر خواهد بود.



شکل ۳- اثر نوع ماده آلی بر میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک (OM1: کود گوسفندی، OM2: کاه و کلش، OM3: بیوجار و OM4: شاهد)

Figure 3- Effect of organic matter type on the amount of herbicide present in the effluent from the soil column (OM1: sheep manure, OM2: straw, OM3: biochar and OM4: control)

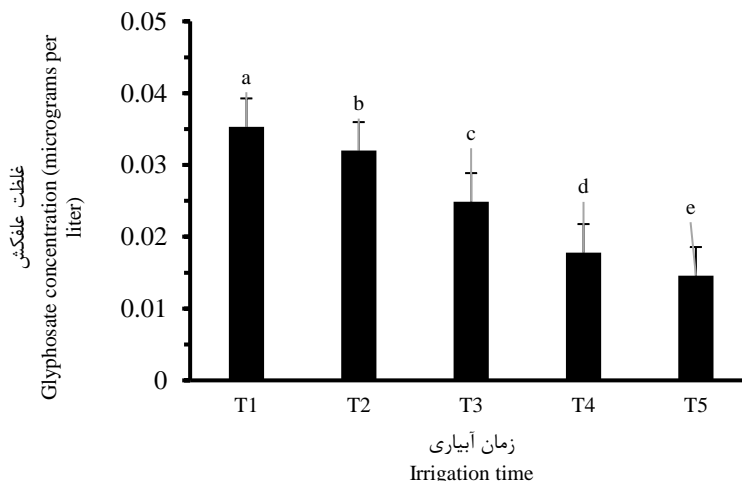
لحاظ آماری اختلاف بین تمام زمان‌های آبیاری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد. به عبارت دیگر با گذشت زمان، از میزان سم موجود در زه‌آب کاسته می‌گردد. در این پژوهش مشاهده گردید که میزان علفکش زه‌آب خروجی در آبیاری اول (T<sub>1</sub>) نسبت به آبیاری پنجم (T<sub>5</sub>) بیشتر می‌باشد. دلیل روند نزولی میزان علفکش نسبت به زمان را

### زمان آبیاری بر میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک

مقایسه میانگین مقادیر علفکش زه‌آب خروجی از ستون خاک در طول زمان در شکل ۴ ارائه گردیده است. نتایج نشان داد، بالاترین و کمترین میزان علفکش موجود در زه‌آب به ترتیب مربوط به آبیاری‌های اول (T<sub>1</sub>) و پنجم (T<sub>5</sub>) که از

اشاره کرد. بررسی‌های متعدد نشان داد که افزایش مواد آلی خاک، منجر به افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی خاک و از جمله گونه‌های تجزیه‌کننده آلاینده‌های آلی در خاک می‌شود که نتیجه آن تجزیه بیشتر آلاینده در خاک می‌باشد (Maqueda et al., 2009). باید در نظر داشت که مکانیسم اثر مواد آلی خاک بر روند افزایش تجزیه آفت‌کش‌ها بسیار پیچیده است. اما اضافه کردن مواد آلی سبب ورود انواعی از ارگانوسم‌های جدید و مقادیر زیادی از انواع عناصر مثل کربن آلی، نیتروژن و غیره به محیط خاک می‌شود. عناصر غذایی می‌تواند موجب تحریک افزایش میکروب‌های موجود در خاک شود (Mehdizadeh et al., 2016).

می‌توان به آبشویی و انتقال بیشتر علف‌کش به عمق خاک در مراحل قبل نسبت داد. درمقابل، در مطالعه‌ی مشابه مشخص گردید، پس از چهار مرحله آبیاری، شستشوی علف‌کش روند صعودی داشته است (Noshadi et al., 2014). باید در نظر داشت که خواص مختلف خاک‌های کشاورزی ممکن است منجر به الگوهای بسیار متفاوت شستشوی علف‌کش شود، اما آبشویی سموم به‌شدت به نوع خاک و نوع علف‌کش بستگی دارد (Giuliano et al., 2021). عوامل دیگری نظیر الگوی دما و رطوبت خاک ممکن است بر حرکت و شسته شدن سم از نیمرخ خاک پس از سمپاشی اثر گذار باشد (Milan et al., 2022). از دیگر دلایل کاهش غلظت میزان سم خروجی با تداوم آبیاری می‌توان به افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی خاک



شکل ۴- اثر زمان آبیاری بر میزان علف‌کش موجود در زه آب خروجی از ستون خاک

Figure 4- Effect of irrigation time on the amount of herbicide in the effluent from the soil column

مختلف نشان داد از نظر مقدار علف‌کش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک، اختلاف بین تیمارهای  $OM_1T_2$ ،  $OM_2T_2$ ،  $OM_1T_3$ ،  $OM_2T_3$ ،  $OM_1T_4$ ،  $OM_2T_4$ ،  $OM_1T_5$ ،  $OM_2T_5$  و همچنین تیمارهای بدون استفاده از ماده آلی در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار است. علی‌رغم غیرمعنی‌دار بودن اثر متقابل نوع خاک و نوع ماده آلی بر میزان علف‌کش خروجی از ستون خاک، نتایج نشان داد بالاترین (۰/۳۹ میکروگرم در لیتر) و کمترین (۰/۰ میکروگرم در لیتر) میزان علف‌کش خروجی از ستون خاک به ترتیب مربوط به تیمار  $OM_2T_4$  و خاک‌های بدون استفاده از ماده آلی می‌باشد.

### اثر متقابل منابع بر میزان علف‌کش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک

به دلیل غیرمعنی‌دار بودن تمامی اثرات متقابل (به جز اثر متقابل نوع ماده آلی و زمان آبیاری) بر میزان علف‌کش خروجی از ستون خاک، صرفاً مقایسه میانگین بین اثر متقابل نوع ماده آلی و زمان آبیاری از نظر میزان علف‌کش خروجی از ستون خاک انجام گرفت (جدول ۳). با توجه به نتایج این جدول بالاترین (۰/۴۶) و کمترین (۰/۰) میزان علف‌کش خروجی از ستون خاک در تیمارهای  $OM_2T_1$  و تیمارهای حاوی خاک شاهد مشاهده شد. نتایج حاصل از مقایسه بین تیمارهای

بهوضوح نشان می‌دهد که اصلاحات خاک می‌تواند تحرک علفکش را از طریق مشخصات خاک تحت تاثیر قرار دهد. بهطوری‌که ضایعات آسیاب زیتون به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک باعث کاهش تحرک و شستشوی S-metolachlor در خاک شده است (López-Piñero *et al.*, 2014).

محتوای کربن آلی بالای خاک، حرکت سموم آترازین و بروماسیل را از طریق پروفیل خاک محدود می‌کند (James *et al.*, 2022). درک فعل و انفعالات پیچیده بین علفکش و خاک موضوع بسیاری از مطالعات بوده است. نتایج نشان داده شده است که اصلاحات خاک بر ویژگی‌های تحرک علفکش‌های کاربردی در خاک تأثیر می‌گذارد. نتایج مطالعات مختلف

جدول ۳- اثر متقابل نوع ماده آلی و زمان آبیاری بر میزان علفکش (میکروگرم در لیتر) موجود در زه آب خروجی از ستون خاک

Table 3- Interaction between organic matter type and irrigation time on the amount of herbicide (micrograms per liter) in the effluent from the soil column

نوع ماده آلی Organic matter type	زمان آبیاری Irrigation time	غلظت علفکش زه آب Concentration of herbicide in drainage	سطح ماده آلی Organic matter type	زمان آبیاری Irrigation time	غلظت علفکش زه آب Concentration of herbicide in drainage
OM <sub>1</sub> (کود گوسفندی) (Sheep manure)	T <sub>1</sub>	0.046 <sup>bc</sup>	OM <sub>3</sub> (بیوچار کود گاوی) (Beef manure biochar)	T <sub>1</sub>	0.041 <sup>de</sup>
	T <sub>2</sub>	0.044 <sup>cd</sup>		T <sub>2</sub>	0.035 <sup>f</sup>
	T <sub>3</sub>	0.034 <sup>de</sup>		T <sub>3</sub>	0.029 <sup>g</sup>
	T <sub>4</sub>	0.025 <sup>h</sup>		T <sub>4</sub>	0.021 <sup>g</sup>
	T <sub>5</sub>	0.02 <sup>i</sup>		T <sub>5</sub>	0.017 <sup>i</sup>
OM <sub>2</sub> (کاه و کلش) (Straw)	T <sub>1</sub>	0.055 <sup>a</sup>	OM <sub>4</sub> (شاهد بدون ماده آلی) (Control without organic matter)	T <sub>1</sub>	0.00 <sup>j</sup>
	T <sub>2</sub>	0.049 <sup>b</sup>		T <sub>2</sub>	0.0 <sup>j</sup>
	T <sub>3</sub>	0.036 <sup>ef</sup>		T <sub>3</sub>	0.00 <sup>j</sup>
	T <sub>4</sub>	0.025 <sup>h</sup>		T <sub>4</sub>	0.0 <sup>j</sup>
	T <sub>5</sub>	0.021 <sup>hi</sup>		T <sub>5</sub>	0.00 <sup>j</sup>

OM<sub>i</sub>: نوع ماده آلی، T<sub>i</sub>: زمان آبیاری. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد. OM<sub>i</sub>: Organic matter type, T<sub>i</sub>: Irrigation time. In each column, the averages with the same letters do not have a significant difference based on the Duncan test at the five percent probability level.

سمیت آن برای گیاهچه‌های گندم از بین خواهد رفت (Meng *et al.*, 2019). علاوه بر این، در تحقیقی دیگر بیوچار، فراوانی و تنوع گونه‌های مفید باکتریایی و قارچی گیاهی را در ریزوسفر گیاهچه‌های گندم افزایش داد (Yousaf *et al.*, 2018). برخی مطالعات نشان داده است که اصلاح بیوچار، فراهمی زیستی آفت‌کش‌ها را در خاک‌های کشاورزی کاهش می‌دهد (Khorram *et al.*, 2016; Cheng *et al.*, 2017). بنابراین جذب آن‌ها توسط گیاهان و سمیت سلولی را نیز کاهش پیدا می‌کند. معمولاً علفکش‌هایی با حلالیت بیشتر در آب، دارای ظرفیت جذب کمتری هستند که باعث می‌شود آن‌ها در خاک متحرک‌تر شده و در نتیجه بیشتر در معرض شستشو قرار گیرند. از طرف دیگر، ماندگاری علفکش‌ها در خاک بسیار متفاوت است و به فرآیندهای شیمیایی (فوتولیز، هیدرولیز، اکسیداسیون و کاهش) و بیولوژیکی (تبدیل غیرآنزیمی و آنزیمی)، دمای خاک و محتوای آب بستگی دارد (Duraes *et al.*, 2018; Swartjes and Van der Aa, 2020). باید در نظر

جذب، تخریب و انتقال، فرآیندهای اصلی مؤثر بر سرنوشت (ماندگاری و تحرک) علفکش‌ها در خاک است (Pérez-Lucas *et al.*, 2020). همچنین حرکت جذبی سموم آفت‌کش تحت تأثیر عواملی مانند محتوای خاک رس و مواد آلی (OM) و pH خاک قرار می‌گیرند. یافته‌های پژوهش نشان داد که نوع ماده آلی موجود در خاک بر میزان آبشویی علفکش تأثیر زیادی داشته و می‌تواند مقدار قابل توجهی از علفکش را در قسمت‌های حاوی مواد آلی نگهداری نماید، به طوری‌که نمونه‌های مورد آزمایش در این طرح که حاوی کود بیوچار بود (تیمارهای S<sub>2</sub>OM<sub>3</sub>)، به‌علت جذب سم، مقدار کمتری از علفکش مورد آبشویی واقع گردید. در صورتی‌که تیمارهای بدون ماده آلی و همچنین تیمارهای حاوی کود گوسفندی و کاه و کلش، مقدار آبشویی بیشتری قرار گرفتند. در این راستا، نتایج این تحقیق با نتایج برخی از محققین مطابقت دارد. در تحقیق مشخص شد، استفاده از بیوچار اصلاح‌شده در خاک، جذب علفکش در گندم را تا حد زیادی کاهش داده و در نتیجه

فیزیکوشیمیایی خاک همچون محتوای رس خاک، نوع مواد آلی و محتوای کربن آلی بستگی دارد. به‌طور کلی، نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد. (I) اثر ترکیبات مختلف مواد آلی از جمله کود گوسفندی، بیوچار و کاه‌کلش بر میزان جذب و آبشویی علف‌کش کروز معنی‌دار بود. بالاترین میزان جذب علف‌کش در ستونهای خاک حاوی کود بیوچار و خاک منطقه خرم‌آباد مشاهده شد و کمترین میزان جذب در ستونهای حاوی خاک شاهد و همچنین ستونهای کاه‌کلش و خاک منطقه کوه‌دشت به‌دست آمد. (II) میزان رس خاک نقش بسیار مهمی در میزان جذب سم دارد، به‌طوری‌که خاک خرم‌آباد نسبت به خاک کوه‌دشت، به‌دلیل محتوی رس بیشتر، از تحرک سم جلوگیری می‌کند. (III) با تداوم آبیاری، از میزان سم خروجی از ستون خاک به‌وزه در ستونهای حاوی مواد آلی، به‌طور معنی‌داری کاسته می‌گردد، از دلایل این امر می‌توان به افزایش فعالیت و تجزیه میکروبی و همچنین آبشویی در آبیاری‌های اول اشاره کرد. (IV) از آنجا که آگاهی از سرنوشت آفت‌کش‌ها در محیط‌زیست شرط لازم برای به‌حداقل رساندن آلودگی منابع آبی توسط آفت‌کش‌ها بوده و از طرف دیگر، خاک به‌عنوان اصلی‌ترین بخش در پالایش و کم‌تحرکی سموم می‌باشد، استفاده از راهکارهای مدیریتی از جمله استفاده از پسماندهای آلی، به‌عنوان روشی مؤثر برای به‌حداقل رساندن آلودگی زیست‌محیطی در زمان استفاده از آفت‌کش‌ها را توصیه کرد

### سپاسگزاری

از کارکنان محترم آزمایشگاه مرکزی شماره ۱ دانشگاه لرستان در جهت انجام آزمایشات مربوطه تشکر و قدردانی می‌گردد.

داشت، سرنوشت آفت‌کش‌های موجود در خاک تحت تأثیر فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مختلفی است. جذب مهم‌ترین فرآیند بوده که سایر فرآیندها همچون تحرک، پایداری و تجزیه را تحت کنترل دارد. از آنجا که آگاهی از سرنوشت آفت‌کش‌ها در محیط‌زیست شرط لازم برای به‌حداقل رساندن آلودگی منابع آبی توسط آفت‌کش‌ها می‌باشد لذا به‌نظر می‌رسد، رفتار جذبی آفت‌کش‌های خاک، مربوط به برقراری پیوند بین آفت‌کش با ذرات رس و مواد آلی در خاک است. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان می‌دهد که رفتار جذب سطحی و رهاسازی علف‌کش‌ها در خاک به ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک و محتوی ماده آلی خاک بستگی دارد، به‌طوری‌که خاک‌های با بافت سنگین‌تر (خاک خرم‌آباد) به‌دلیل محتوی رس بیشتر و همچنین خاکهای با محتوی ماده آلی بیشتر (بیوچار گاوی)، مقدار بیشتری از سم را جذب نموده است. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات سایر محققان مطابقت دارد (Rigi and farahbakhsh, 2019; Schneider et al., 2015; Gu et al., 2003). کمبودن میزان رس و ماده آلی، میزان جذب علف‌کش را کاهش می‌دهد (Noshadi et al., 2014). نتایج آزمایش دیگر نشان داد که جذب سطحی علف‌کش در تیمارهای خاک+ کود دامی و خاک+ بیوچار نسبت به تیمار شاهد (خاک) بالاتر بود که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت داشت. پژوهشگران این تحقیق نتیجه‌گیری کردند که ترکیب مواد آلی با خاک منجر به کاهش حرکت رو به پایین علف‌کش در ستون خاک می‌شود (Abdollahi et al., 2019).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که رفتار جذب سطحی و رهاسازی علف‌کش کروز در خاک به ویژگی‌های

## References

- Abdollahi, K., Movahedi Naeini, S.A., Barani Motlagh, M., Ebrahimi, P. and Roshani, Q., 2019. The effect of livestock manure and its biochar on the uptake and leaching of metribiosin in a loamy sand soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9(2), pp.150-137. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2019.15991.1855>

- Albers, C.N., Jacobsen, O.S., Bester, K., Jacobsen, C.S. and Carvalho, P.N., 2020. Leaching of herbicidal residues from gravel surfaces e A lysimeter-based study comparing gravels with agricultural topsoil. *Environmental Pollution*, 266(3),115225. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115225>
- Avarseji, Z., Gholamalipour Alamdari, E. and Ajami T., 2021. evaluating the effect of soil organic matter on leaching depth of imazethapyr. *Journal of Plant Protection*, 34(4), pp.527-539. <https://doi.org/10.22067/jpp.2020.32839.0>
- Buerge, I.J., Kasteel, R. and Poiger, T., 2024. Leaching of herbicides and their metabolites in lysimeters filled with soils from railway tracks. *Science of the Total Environment*, 909, 168396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168396>
- Carter, M.R. and Gregorich, E.G., 2008. Soil sampling and methods of analysis. 2nd ed, *Canadian Society of Soil Science*. <https://doi.org/10.1201/9781420005271>
- Cheng, J., Lee, X., Gao, W., Chen, Y., Pan, W. and Tang, Y., 2017. Effect of biochar on the bioavailability of difenoconazole and microbial community composition in a pesticide-contaminated soil. *Applied Soil Ecology*, 121, pp.185-192. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.009>
- Duraes, N., Novo, L.A.B., Candeias, C. and da Silva, E.F., 2018. Distribution, transport and fate of pollutants. In: Duarte, A.C., Cahada, A., Rocha-Santos, T. (Eds.), *Soil pollution: from monitoring to remediation*. Academic Press, London, UK, pp.29-56. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00002-9>
- Erenstein, O. Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K. and Prasanna, B.M., 2022. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D Implications. *Food Security*, 14(5), pp.1295-1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- FAO, 2021. Food and agriculture organization corporate statistical database. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Forouzanahr, M., Haghnia, G., Kouchaki, A. and Tabatabai Yazdi, F., 2005. The effect of organic matter and soil texture on the degradation of atrazine and metamitron herbicides. *Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 9(1), pp.140-131. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.24763594.1384.9.1.10.8>
- Genuis, S.J., Lane, K. and Birkholz, D., 2016. Human Elimination of organochlorine pesticides: Blood, urine, and sweat study. *BioMed Research International*, 1624643, <https://doi.org/10.1155/2016/1624643>
- Giuliano, S., Alletto, L., Deswarte, C., Perdrieuxa, F., Daydéa, J. and Debaeke, P., 2021. Reducing herbicide use and leaching in agronomically performant maize-based cropping systems: An 8-year study. *Science of the Total Environment*, 788(1), 147695. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147695>
- Gu, J. D., fan, Y. and Gu, J.D., 2003. Biodegradability of atrazine, cyanazine and dicamba under methanogenic condition in three soils of china. *Chemospher*, 52(9), pp.1515-1521. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(03\)00490-9](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(03)00490-9)
- Hosseinpour, A., Haghnia, G.H., Alizadeh, A. and Fotovat, A., 2009. Changes in chemical quality of percolating raw and treated municipal wastewaters through soil columns. *Water and Soil*, 23(3), pp.45-56. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.2283>

- Izadi, E. Rashed Mohassel, M.H., Zand, E. Nassiri mohalati, M. and Lakzian, A., 2008. Evaluation of soil texture and organic matter on atrazine degradation. *Environmental Sciences*, 5(4). pp.64-53. [In Persian].
- James, T.K., Ghanizadeh, H., Harrington, K.C., Bolan, N.S., 2022. The leaching behaviour of herbicides in cropping soils amended with forestry biowastes. *Environmental Pollution*, 307, 119466, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119466>
- Jursík, M., Kočárek, M., Kolářová, M. and Tichý, L., 2020. Effect of different soil and weather conditions on efficacy, selectivity and dissipation of herbicides in sunflower. *Plant, Soil and Environment*, 66(9), pp.468-476. <https://doi.org/10.17221/223/2020-PSE>
- Kadian, N., Gupta, A., Satya, S., Kumari Mehta, R. and Malik, A., 2007. Biodegradation of herbicide (atrazine) in contaminated soil using various bioprocessed materials. *Bioresour Technology*, 99(11), pp.4642-4647. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.064>
- Khorrām, M.S., Zheng, Y., Lin, D., Zhang, Q., Fang, H. and Yu, Y., 2016. Dissipation of fomesafen in biochar-amended soil and its availability to corn (*Zea mays* L.) and earthworm (*Eisenia fetida*). *Journal of Soil Sediment*, 16(10), pp.1-10. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1407-4>
- Kodesova, R., Kocarek, M., Hajkova, T., Hybler, M., Drabek, O. and Kodes, V., 2012. Chlorotoluron mobility in compost amended soil. *Soil Tillage Research*, 118(4), pp.88-96. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.014>
- López-Piñeiro, A., Peña, D., Albarrán, A., Sánchez-Llerena, J., Becerra, D., 2014. Longterm effects of olive mill waste amendment on the leaching of herbicides through undisturbed soil columns and mobility under field conditions. *Soil Tillage Research*, 144, pp.195-204. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.08.001>.
- Maqueda, C., Villaverde, J., Sopena, F., Undabeytia, S. and Morillo, S., 2009. Effects of soil characteristics on metribuzin dissipation using clay-gel-based formulations. *Agricultural Food Chemistry*, 57(8), pp.3273-3278. <https://doi.org/10.1021/jf803819q>
- Marofi, S., Shakarami, M., Rahimi, G. and Ershadfath, F., 2015. Effect of wastewater and compost on leaching nutrients of soilcolumn under basil cultivation. *Agricultural Water Management*, 158, pp.266-276. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.05.007>
- Mehdizadeh, M., Ezadi, E., Naseri, M.T. and Rastgo, M., 2016. Influence of different organic fertilizers on metribuzin persistence in soil under controlled conditions. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 109, pp.132-139. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2016.106750>
- Meng, L., Sun, T., Li, M., Saleem, M., Zhang, Q. and Wang, C., 2019. Soil-applied biochar increases microbial diversity and wheat plant performance under herbicide fomesafen stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, pp.75-83. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.065>
- Milan, M., Vidotto, F. and Fogliatto, S., 2022. Leaching of glyphosate and AMPA from field lysimeters. *Agronomy*, 12(2), No.328. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020328>.
- Noormohamadi, Gh., Siadat, A. and Kashani, A., 2009. Cultivation volume one (Cereals). *Shahid Chamran University of Ahvaz Publications, Ninth Edition*. [ In Persian].

- Noshadi, N., Homaei, M., Mahmoudian Shoshtari, M. and Abbasi, F., 2014. Transport and degradation of herbicides in soil in different irrigation systems. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(3), pp.255-266. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2014.52190>
- Nouri, M., Homaei, M. and Bybordi, M., 2014. Comparing petroleum and water hydraulic properties in soil. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. Water and Soil Science*, 15 (66), pp.123- 134. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.24763594.1392.17.66.12.6>
- Pérez-Lucas, G., Gambín, M. and Navarro, S., 2020. Leaching behaviour appraisal of eight persistent herbicides on a loam soil amended with different composted organic wastes using screening indices. *Journal of Environmental Management*, 273, 111179. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111179>
- Popov, V.H., Cornish, P.S., Sultana, K. and Morris, E.C., 2005. Atrazine degradation in soils: the role of microbial communities, atrazine application history, and soil carbon. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(7), pp.861-871. <https://doi.org/10.1071/sr04048>
- Pot, V., Benoit, P., LeMenn, M., Eklo, O.M., Sveistrup, T. and Kvarnerc, J., 2011. Metribuzin transport in undisturbed soil cores under controlled water potential conditions: experiments and modeling to evaluate the risk of leaching in a sandy loam soil profile. *Pest Management Science*, 67(4), pp.397-407. <https://doi.org/10.1002/ps.2077>
- Rigi, M.R. and Farahbakhsh, M., 2019. Evaluation of leaching and degradation of metribuzin herbicide in different soils. *Iranian Soil and Water Research (Iranian Agricultural Sciences)*, 50(1), pp.1-12. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.203562.667435>
- Sadeghzadeh, F., Wahid, S.A. and Jalili, B., 2017. Sorption, degradation and leaching of pesticides in soils amended with organic matter: A review. *Advances in Environmental Technology*, 3(2), pp.119-132. [In Persian]. <https://doi.org/10.22104/aet.2017.1740.1100>
- Schneider, J.G., Haguwood, J.B., Song, E., Pan, X., Rutledge, J.M., Monke, B.J., Myers, D.F. Anderson, S.H., Eilersieck, M.R. and Xiong, X., 2015. Indaziflam effect on bermudagrass (*Cynodon dactylon* L. Pers.) shoot growth and root initiation as influenced by soil texture and organic matter. *Crop Science*, 55(1), pp.429-436. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.02.0155>
- Soltani, N., Dille, J., Burke, I., Everman, W., VanGessel, M., Davis, V. and Sikkema, P., 2016. Potential corn yield losses due to weeds in North America. *Weed Technology*, 30(4), pp.979-984. <https://doi.org/10.1614/wt-d-16-00046.1>
- Swartjes, F.A. and Van der Aa, M., 2020. Measures to reduce pesticides leaching into groundwater-based drinking water resources: an appeal to national and local governments, water boards and farmers. *Science of The Total Environmenyal*. 699, 134186. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134186>
- Takeshita, V., Mendes, K.F., Alonso, F.G., Tornisielo, V.L., 2019. Effect of organic matter on the behavior and control effectiveness of herbicides in soil. *Planta Daninha*, 37. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100110>

- Theng, B.K.G., Kookana, R.S. and Rahman. A., 2000. Environmental concerns of pesticides in soil and groundwater and management strategies in oceania. In: P.M. Huang and I.K. Iskandar (Eds.), *Soils and Groundwater Pollution and Remediation. CRC Press. Boca Raton. Florida.*
- Yousaf, B., Liu, G., Abbas, Q., Ali, M.U., Wang, R., Ahmed, R., Wang, C., Al-Wabel, M.I. and Usman, A.R.A., 2018. Operational control on environmental safety of potentially toxic elements during thermalconversion of metal-accumulator invasive ragweed to biochar. *Journal of Cleaner Production*, 195, pp.458-469. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.246>
- Zamani, P., 2011. *Statistical Design in Animal Sciences*. Bu-Ali Sina University, 645 p. [In Persian].

# Crop Science Research in Arid Regions

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

## Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 793-805

### Selection of salinity-tolerant genotypes through the evaluation of barley germplasm originating from ICARDA under saline conditions

Shirali Koohkan <sup>\*a</sup>, Hadi Pirasteh Anousheh <sup>b</sup>, Abolghasem Moradgholi <sup>a</sup>, Mohammad Reza Keshtgar <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Horticulture Crops Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran

<sup>b</sup> Crop Physiology National Salinity Research Center, AREEO, Yazd, Iran

\*Corresponding Author: [koohkan182@gmail.com](mailto:koohkan182@gmail.com)

Received: 1 February 2025

Accepted: 30 June 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.503865.1469

#### How to cite this article:

Koohkan, SH., Pirasteh Anousheh, H., Moradgholi, A. and Keshtgar, M., 2025. Selection of salinity-tolerant genotypes through the evaluation of barley germplasm originating from ICARDA under saline conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 793-805. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.503865.1469>

#### Abstract

**Introduction:** Soil salinity represents one of the most critical abiotic stress factors adversely impacting the growth, development, and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.), one of the oldest and most economically significant cereal crops worldwide. The continuous expansion of salinity-affected lands poses a major threat to global food security, particularly in arid and semi-arid regions where excessive irrigation further exacerbates soil salinization. In this context, the identification and deployment of salt-tolerant barley genotypes for cultivation in saline environments have become essential strategies for ensuring sustainable agricultural production.

**Materials and Methods:** The present study was conducted to evaluate the performance of barley genotypes obtained from the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) under saline field conditions, to identify promising candidates for breeding programs aimed at enhancing salinity tolerance. A total of 20 barley genotypes were selected from an initial set of 320 accessions previously screened at the Yazd Agricultural Research Center, Iran, during 2018–2020. These genotypes were subsequently compared with local cultivars under field conditions characterized by high salinity at the Zahak Agricultural Research Station in Sistan over two consecutive cropping seasons (2022–2024). The experimental layout followed a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Before planting in each season, soil samples were collected to assess baseline soil salinity and nutrient status, ensuring uniform salinity levels across experimental plots. Fertilizer applications were administered according to soil test recommendations to maintain optimal nutrient availability. A range of phenological, morphological, and yield-related traits were recorded, including plant height, days to spike emergence, days to physiological maturity, 1000-seed weight, seed yield per plot, biological yield, and harvest index. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SAS software, and treatment means were compared via



©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/).

Duncan's multiple range test at the 1% significance level.

**Results and Discussion:** The ANOVA results revealed significant effects of year, genotype, and their interaction on the majority of measured traits, highlighting both environmental influence and genetic diversity among the evaluated barley genotypes. Plant height varied considerably, with genotype 74 attaining the greatest height (73.5 cm) and genotype 80 the shortest (59.67 cm). This variation reflects the combined effects of inherent genetic potential and the inhibitory influence of salinity stress on shoot elongation due to osmotic and ionic imbalances. Substantial variation was also observed in days to spike emergence and physiological maturity. Genotype 92 exhibited the longest time to spike emergence (102.83 days), whereas genotype 122 was the earliest. Earliness under saline conditions is advantageous as it allows genotypes to complete their life cycle before salinity stress peaks, thereby mitigating potential yield losses. Significant differences were recorded in 1000-seed weight, a key yield component. Genotype 74 produced the highest 1000-seed weight (38.17 g), while genotype 100 recorded the lowest (33.67 g). Reduced seed weight under saline conditions is commonly attributed to shortened seed-filling periods and accelerated maturation triggered by stress conditions. In terms of seed yield, genotype 96 significantly outperformed all others, achieving yields approximately 28% higher than genotypes 74 and 284. This outstanding performance highlights its potential for development as a salt-tolerant cultivar. Cluster analysis based on drought and salinity tolerance indices grouped the genotypes into three distinct clusters, with the third cluster comprising the highest-yielding genotypes under stress conditions. Correlation analysis revealed highly significant positive relationships among all measured traits at the 1% probability level. Notably, seed yield exhibited strong positive correlations with days to spike emergence ( $r = 0.755$ ), days to maturity ( $r = 0.774$ ), and 1000-seed weight ( $r = 0.791$ ). These findings suggest that these traits can serve as reliable selection criteria in breeding programs targeting salinity tolerance in barley.

**Conclusion:** This study underscores the importance of utilizing genetic resources for the development of resilient and adaptable barley cultivars suitable for saline environments. The identification of Genotypes 96, 97, and 118 as high-performing and salt-tolerant candidates provides valuable options for enhancing barley production in salinity-affected regions like Sistan. Moreover, the significant genetic diversity observed among the tested genotypes presents promising prospects for the genetic improvement of barley for salinity tolerance through targeted breeding programs.

**Keywords:** Cluster analysis, Exotic genotypes, Grain yield, Salinity stress, Tolerant genotypes

## گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به شوری از طریق ارزیابی ژرم‌پلاسم جو با منشأ ایکاردا در شرایط

## شور

شیرعلی کوهکن<sup>۱\*</sup>، هادی پیراسته انوشه<sup>۲</sup>، ابوالقاسم مرادقلی<sup>۱</sup>، محمدرضا کشته‌گر<sup>۱</sup>

۱- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل،

ایران

۲- مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

\* مسؤل مکاتبه: [koohkan182@gmail.com](mailto:koohkan182@gmail.com)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.503865.1469

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳

## چکیده

شوری یکی از عوامل مهم در محیط است که می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر رشد، نمو و بهره‌وری جو تأثیر بگذارد. ارزیابی و مقایسه واکنش ژنوتیپ‌های جو تحت شرایط شور برای معرفی رقم مناسب با توانایی تولید بالا و تحمل مناسب به شوری برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جو امری ضروری است. در این پروژه، با بررسی ژنوتیپ‌های جو از خارج کشور و مقایسه آن‌ها با رقم‌های داخلی در شرایط شور، ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری معرفی شدند. به این منظور، ۲۰ ژنوتیپ دریافتی از مرکز تحقیقات کشاورزی یزد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو سال متوالی (سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ تا ۱۴۰۲-۱۴۰۳) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین‌های دو سال نشان‌دهنده تفاوت تنوع عملکرد در بین ژنوتیپ‌ها بود. در این میان، ژنوتیپ ۹۶ با نسبت ۲۷ درصد نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها افزایش داشت. در نتیجه ژنوتیپ‌های مناسب و جایگزین ارقام شاهد در مناطق با شرایط شوری در منطقه سیستان ژنوتیپ‌های ۹۶، ۹۷ و ۱۱۸ می‌توان در نظر گرفت. در نهایت این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ‌های زودرس عملکرد بهتری در شرایط تنش نشان دادند. منابع ژنتیکی در گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای، پتانسیل بالای جو را برای اصلاح و بهبود تحمل به تنش‌های محیطی نشان می‌دهد. یافته‌ها بر اهمیت استفاده از این منابع ژنتیکی برای توسعه ارقام متحمل و سازگار با شرایط مختلف محیطی تأکید می‌کند. **واژه‌های کلیدی:** تجزیه خوشه‌ای، تنش شوری، ژنوتیپ‌های خارجی، ژنوتیپ‌هایی متحمل، عملکرد دانه

## مقدمه

مسمومیت یونی ناشی از تجمع یون‌های خاص، به‌ویژه سدیم، می‌تواند واکنش‌های متابولیکی گیاه را مختل کند. برای مقابله با این چالش‌ها، گیاهان در شرایط شوری کم تا متوسط با افزایش غلظت مواد محلول، فشار اسمزی داخلی خود را حفظ می‌کنند (Hussain et al., 2022).

در غلظت‌های بالای نمک، گیاهان با ورود و خروج یون‌ها، میزان سدیم ( $\text{Na}^+$ ) درون سیتوپلاسم را کاهش داده و با ثابت نگه‌داشتن غلظت یون پتاسیم، نسبت  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  را پائین نگه می‌دارند. این سازوکار تا حدودی در مقابله با اثرات سوء ناشی از تنش شوری مؤثر است. نسبت  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  در گیاهان به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم جهت تفکیک گونه‌های متحمل از حساس گزارش شده است. دفع  $\text{Na}^+$  از برگ‌ها، مکانیسم تحمل نمک در غلات است. میزان تحمل نمک در برنج، سورگوم، جو و گندم با غلظت  $\text{Na}^+$  در برگ‌ها رابطه معکوس دارد. گیاهانی که نسبت  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  پایین‌تری داشته باشند، متحمل‌تر خواهند بود

شوری یک عامل تنش محیطی مهم است که می‌تواند عمیقاً بر رشد، نمو و عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.)، یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین محصولات غلات دنیا تأثیر بگذارد (Atta et al., 2023). تأثیر شوری بر جو، مانند سایر محصولات زراعی، شامل پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی پیچیده است (Al-Tardeh et al., 2023). درک این اثرات برای توسعه استراتژی‌هایی برای افزایش انعطاف‌پذیری محصول و تضمین امنیت غذایی در مناطق تحت تاثیر شوری بسیار مهم است (Thabet et al., 2022). پاسخ گیاهان به تنش شوری فرآیندی پیچیده و چندوجهی است که تحت‌تأثیر عواملی همچون غلظت نمک، نوع یون‌ها، شرایط محیطی و مرحله رشد گیاه قرار می‌گیرد. از یک طرف، تنش اسمزی ناشی از شوری باعث کاهش دسترسی گیاه به آب می‌شود و به‌همین دلیل به آن "خشکی فیزیولوژیک" نیز گفته می‌شود. از طرف دیگر،

با این حال، محدودیت در تنوع ژنتیکی ناشی از جایگزینی رقم و کاهش تنوع ژنتیکی در میان ارقام جو جدید، آنها را به تنش‌های غیرزیستی و زیستی حساس‌تر کرده است (Sreesaeng et al., 2024).

جو به‌عنوان چهارمین محصول غلات مهم و با ارزش است و کاربردهای متنوعی از جمله مصرف انسان، خوراک دام و تولید نوشیدنی و مالت دارد (Verma, 2019 Mittal, 2022). جو نقش مهم و اساسی هم در غذای انسان و هم در خوراک دام دارد. جو همچنین برای مصارف صنعتی و در تهیه نوشیدنی‌ها استفاده می‌شود و منبع سه ماده ضروری کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و فیبر (کاه) است. همچنین جو در مناطقی کشت می‌شود که سایر غلات به دلیل بارندگی کم، شوری خاک یا ارتفاع زیاد، هوای سرد و گرم نمی‌توانند به‌خوبی رشد کنند. در مناطق تنش‌زا، چون تحمل جو نسبت به تنش‌های خشکی و شوری بیشتر است، و از طرفی زودتر از گندم می‌رسد، کشت جو بر گندم ترجیح داده می‌شود (Emam, 2011). با این وجود تحمل به شوری در بین ژنوتیپ‌های جو متفاوت است. اختلافاتی که بین ژنوتیپ‌های جو از لحاظ تحمل به تنش شوری وجود دارد، این امکان را فراهم نموده است که بتوان ژنوتیپ‌های متحمل را با استفاده از روش‌های متنوع گزینش کرد. این روش به‌عنوان یک روش خوش‌آبیه در استفاده مؤثر از انرژی، قادر است با روش‌های مدیریتی آب‌و‌خاک به رقابت بپردازد (Kingsbury et al., 1970). سازگاری گیاهان به شوری مسئولیت بزرگی برای به‌نژادگران است. اصلاح و تولید ارقام متحمل به شوری می‌تواند موجب افزایش عملکرد در گیاهانی که برای تغذیه کشت می‌شوند، شده و همچنین موجب افزایش درآمد از طریق افزایش سطح زیر کشت در تولید محصولات مهم اقتصادی شود. قانون اصلی اصلاح ارقام مقاوم به شوری، داشتن تنوع ژنتیکی در بین گونه‌های مختلف است (Zhao et al., 2020).

این پژوهش به بررسی و تحلیل مکانیسم‌های فیزیولوژیکی پاسخ جو به تنش شوری می‌پردازد. هدف اصلی آن شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری و توسعه راه‌کارهای مؤثر برای افزایش مقاومت به شوری، بهبود عملکرد و تضمین امنیت غذایی در مناطق تحت تأثیر شوری است. این مطالعه همچنین به دنبال درک بهتر تأثیرات تنش شوری بر رشد و نمو جو و

(Zhu et al., 2016). در جو ژنوتیپ‌های تحمل به شوری، با میزان کم انتقال  $Na^+$  به ساقه و جذب بیشتر  $K^+$  همبستگی دارند (Thabet and Alqudah, 2023). اثرات ترکیبی تنش اسمزی، عدم تعادل مواد مغذی و سمیت یونی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی سرعت رشد گیاهان جو را کاهش دهد. این امر در کاهش طول ریشه و ساقه، کاهش سطح برگ و رشد کلی گیاه مشاهده می‌شود. در نهایت، تنش‌های فیزیولوژیکی شوری می‌تواند منجر به کاهش قابل‌توجهی در عملکرد جو شود (Thabet et al., 2021). تنش شوری، بحرانی‌ترین تنش غیرزیستی و یک مسئله مهم در سراسر جهان، تولید محصول را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و خطری برای امنیت غذایی ایجاد می‌کند (Ahmed et al., 2013; Zeeshan et al., 2020; Hassani et al., 2021).

مساحت جهانی تحت تأثیر شوری حدود یک میلیارد هکتار است که از نظر شدت و وسعت به‌طور مداوم در حال افزایش است (Ivushkin et al., 2019). براساس گزارش سازمان غذا و کشاورزی، شوری حدود ۲۰ درصد از زمین‌های آبی در سطح جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند به بیش از ۵۰ درصد افزایش یابد که منجر به کاهش قابل‌توجهی در عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (Pitman and Läuchli, 2002; Mwando et al., 2020; Singh, 2021). این موضوع به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که کمبود آب نیاز به آبیاری برای تولید مواد غذایی را ایجاد می‌کند، شدید است (Perri et al., 2022).

برای کاهش اثرات منفی شوری، یک استراتژی مقرون‌به‌صرفه، معرفی گونه‌ها یا واریته‌های گیاهی متحمل به نمک است. اگرچه جو نسبتاً به تنش شوری متحمل است، اما شوری همچنان بر رشد و تولید جو تأثیر منفی می‌گذارد (Ali et al., 2022; Jadidi et al., Ahmed et al., 2013; 2022). با توجه به تنش شوری، بحرانی‌ترین مراحل رشد جو، مراحل جوانه‌زنی و رویشی هستند و می‌توانند به‌ترتیب حدود ۶۰ و ۴۵ درصد کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه را در طی این مراحل ایجاد کنند (Qiu et al., 2011). توسعه ارقام جو مقاوم به تنش شوری یک استراتژی مقرون‌به‌صرفه برای افزایش عملکرد محصول و تضمین تولید کشاورزی پایدار است. بنابراین، شناسایی ژن‌پلاسما متحمل به تنش شوری مهم است.

۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ گزینش شدند).

بر مبنای نتایج آزمون خاک (جدول ۲) کل کود فسفر (۱۵ کیلوگرم در هکتار) و یک-سوم کود نیتروژن (۵ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت و مابقی کود نیتروژن در زمان‌های پنجه‌رفتن (۵۰ کیلوگرم در هکتار) و طویل‌شدن ساقه (۵ کیلوگرم در هکتار) به کار برده شدند. هر ژنوتیپ در سه خط دو متری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بین خطوط کشت شدند. آزمایش در شرایط شور به صورت آبیاری با آب شور با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر انجام گردید. تراکم مدنظر حدود ۴۵۰ بذر در مترمربع بود. بین هر ژنوتیپ یک خط نکاشت در نظر گرفته شد. آبیاری کلیه کرت‌ها به صورت همزمان در حد ظرفیت مزرعه (+سهم آبیاری) صورت گرفت.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها در تحمل به شوری است تا بتوان ارقام مقاوم و پایدار برای کشت در شرایط نامساعد محیطی تولید کرد.

## مواد و روش‌ها

در این پروژه، با بررسی ژنوتیپ‌های جو خارجی و مقایسه آن‌ها با رقم‌های داخلی در شرایط شور، ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری معرفی شدند. به این منظور، ۲۰ ژنوتیپ دریافتی از مرکز تحقیقات کشاورزی یزد (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو سال متوالی (سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳) در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک مورد ارزیابی قرار گرفتند (لازم به یادآوری است که این ۲۰ ژنوتیپ از بین ۳۲۰ ژنوتیپ دریافتی از مرکز ایکاردا توسط همکاران مرکز تحقیقات کشاورزی یزد در سال‌های

جدول ۱- لیست ژنوتیپ‌های خارجی کشت شده

Table 1- List of cultivated genotypes

شماره ژنوتیپ	کد	نام تلاقی	شماره ژنوتیپ	کد	نام تلاقی
Genotype No	Code	Cross name	Genotype No	Code	Cross name
G1	TN-6	M122 (Quest)	G11	TN-89	Barabas
G2	TN-7	WI2291	G12	TN-92	Nymfe
G3	TN-14	Manal	G13	TN-95	Sebastian
G4	TN-20	Alanda 01	G14	TN-96	SJ055066
G5	TN-74	Pasadena	G15	TN-97	SJ056089
G6	TN-75	Mauritia	G16	TN-100	AZAF/SCARLETT
G7	TN-80	Aricada	G17	TN-118	Arta
G8	TN-82	Flagon	G18	TN-122	RD2660
G9	TN-83	Suzuka	G19	TN-125	KEOPS
G10	TN-87	NFC Tipple	G20	TN-284	IG 144015

(جدول ۲). این کار به منظور کنترل شوری در منطقه توسعه ریشه انجام گردید.

تاریخ کاشت در هر دو سال نیمه آبان‌ماه بود. پیش از شروع آزمایش و در طول فصل رشد نمونه خاک به منظور تعیین شوری عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد

جدول ۲- نتیجه آزمایش نمونه خاک آزمایشات شوری گندم ایستگاه زهک قبل از کاشت

Table 2- The result of the soil sample test of wheat salinity tests at Zahak station before planting

بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس	بور	
				P	K	Fe	Zn	Mn	Cu	B	
Soil texture	pH	EC (ds/m)	C Organic (%)	(mg.kg)							
سال اول Year 1	لومی - شنی Loam-Sandy	8.2	4.2	0.34	11	100	2.84	0.26	4.86	0.58	1.07
سال دوم Year 2	لومی - شنی Loam-Sandy	8.4	4.1	0.27	12	89	1.96	0.21	3.72	0.53	1.13

هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در انتهای فصل رشد و در مرحله رسیدگی کامل بوته‌ها مورد

در طول دو سال، درصد سبزشدن گیاهچه‌ها، مراحل فنولوژیک گیاه، درصد ابتلا به زنگ در طول فصل رشد، وزن

یک درصد داشته است. مطالعه حاضر نشان داد که ژنوتیپ‌های جو زراعی از نظر صفات مورد ارزیابی، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند. این یافته با نتایج گزارش شده توسط سایر پژوهشگران نیز هم‌خوانی و تطابق دارد (Shahmoradi, 2021). گستردگی مشاهده شده در ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی جو، نشان‌دهنده ظرفیت بالای این گونه گیاهی در سازگاری با شرایط محیطی متنوع است. این خزانه ژنی غنی می‌تواند منبع ارزشمندی برای برنامه‌های اصلاحی جهت توسعه ارقام با عملکرد بالا و مقاوم به طیف وسیعی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی باشد. این ذخیره ژنتیکی موجب شده است که منابع توارثی جو به‌عنوان ابزاری ارزشمند در پژوهش‌های مرتبط با تحمل یا مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی مورد توجه قرار گیرند (Shahmoradi and Tabatabai, 2022).

بررسی قرار گرفت. برای برداشت نهایی (در خردادماه)، تمام بوته‌های هر دو خط به‌طور کامل برداشت شدند. انتخاب ژنوتیپ‌ها در هر سال براساس عملکرد دانه انجام شد، به این شرط که درصد ابتلا به زنگ در آن‌ها پایین باشد. علاوه‌براین، ارقام بسیار زودرس از چرخه انتخاب حذف شدند. داده‌ها پس از بررسی نرمال بودن، تحت تجزیه واریانس قرار گرفتند و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد با نرم‌افزار آماری SAS مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های جو در دو سال زراعی مورد بررسی در منطقه سیستان نشان می‌دهد (جدول ۳)، اثرات سال زراعی و ژنوتیپ‌ها بر صفات مورد ارزیابی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال آماری

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در لاین‌های جو

Table 3- Analysis of variance (mean square) of the studied traits in barley Genotypes

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد در پلات
Source of variation	df	Plant height	Days to flowering	Days to maturity	1000-Seed Weight	Seed yield	Yield/Plot
تکرار	2	1.633	2.608	0.108	6.633	96041.575	12445.633
Replication							
سال	1	962.034 **	5324.556 **	14675.284 **	1113.025 **	23691238.13 **	3072993.029 **
Year							
ژنوتیپ	35	34.594 **	8.803 **	4.737 **	8.950 **	233726.878 **	30289.012 **
Genotype							
سال*ژنوتیپ	19	102.119 **	10.948 **	10.698 **	6.220 <sup>n.s</sup>	462505.762 **	59940.095 **
*Year							
Genotype							
خطا	62	1.398	1.596	1.454	3.907	64500.947	8358.522
Error							
ضریب تغییرات	-	5.19	1.48	1.9	3.66	9.38	9.18
(%) CV							

<sup>n.s</sup> و \*\*: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

<sup>n.s</sup>, \*\*: Non Significant, Significant at 1% probability levels, respectively.

می‌تواند نقش کلیدی در بهبود عملکرد ایفا کند. نتایج این مطالعه با یافته‌های گزارش شده در پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارد (Tabatabaei et al., 2013; Rajaei and Dastfal, 2017; Sahfi et al., 2021).

اگرچه ارتفاع بوته عمدتاً تحت تأثیر ژنوتیپ است، اما در شرایط شور، گیاه بخش قابل توجهی از انرژی مورد نیاز رشد اندام هوایی را برای مقابله با تنش شوری صرف می‌کند که این

مقایسه میانگین ارتفاع بوته بین ژنوتیپ‌ها نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی بود، به‌طوری‌که ژنوتیپ شماره ۷۴ با ۷۳/۵ سانتی‌متر بیشترین و ژنوتیپ شماره ۸۰ با ۵۹/۶۶۵ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۴). ارتفاع بوته به‌عنوان یکی از صفات مورفولوژیک تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار دارد و به‌دلیل ارتباط آن با خوابیدگی گیاه جو، از اهمیت زیادی برخوردار است. انتخاب ژنوتیپ‌هایی با ارتفاع مناسب

تأثیرگذار باشد (Poustini and Siosemardeh, 2004).

وزن دانه یکی از معیارهای اساسی برای ارزیابی عملکرد است. نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بین ژنوتیپ‌ها تفاوت‌هایی وجود دارد. به‌طور خاص، ژنوتیپ ۷۴ بیشترین وزن هزاردانه را با ۳۸/۱۷ گرم داشت ولی ژنوتیپ ۱۰۰ با کمترین وزن (۳۳/۶۶۵ گرم) بود. کاهش وزن دانه در شرایط تنش ناشی از کاهش طول دوره پر شدن و شتاب رسیدگی است.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که ژنوتیپ ۹۶ حدود ۲۸ درصد نسبت به ژنوتیپ ۷۴ و ۲۸۴ افزایش داشت. ارزیابی عملکرد بین ژنوتیپ‌ها و ارقام گندم نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۹۶، ۹۵، ۱۰۰، مهر و خاتم نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر برتری داشتند؛ بنابراین، در شرایط شور هر یک از این ژنوتیپ‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای دیگر ژنوتیپ‌ها باشند. محققین اهمیت بالای تعداد پنجه بارور را به‌عنوان علت اصلی کاهش عملکرد در شرایط تنش شوری ذکر کردند (Ghorbani et al., 2004).

عملکرد دانه به‌عنوان یک صفت پیچیده توسط صفات مختلف فنولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کنترل می‌شود. بنابراین، کنترل ژنتیکی عملکرد به‌طور غیرمستقیم تحت‌تأثیر صفاتی است که با عملکرد همبستگی دارند. افزایش هر یک از اجزای عملکرد به سهم خود در افزایش عملکرد مؤثر است. بین اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد رابطه معکوس وجود دارد و غلات پرمحصول عموماً آن‌ها هستند که اجزای متوسطی دارند. کاهش رشد در شرایط شوری ناشی از سمیت نمک، اختلاف تعادل یونی، عکس‌العمل بیوشیمیایی یا ترکیبی از این عوامل است (Kashem et al., 2000).

کاهش رشد گیاهان تحت تنش ممکن است به‌دلیل کاهش ذخیره انرژی گیاه باشد که منجر به کاهش و اختلال فعالیت‌های زیستی و متابولیکی در گیاهان مختلف می‌شود (Yang et al., 2009).

به‌دلیل اثرات منفی پتانسیل اسمزی بالای محلول خاک و جذب کم آب و عناصر غذایی و تأثیر منفی شوری بر فتوسنتز و فرآیندهای جانبی آن، انرژی مورد نیاز برای رشد مناسب ریشه و اندام هوایی در اختیار آن‌ها قرار نمی‌گیرد (Ashraf and Foolad, 2007).

امر موجب کاهش رشد اندام هوایی می‌شود (Deinlein et al., 2014).

علاوه‌براین، افزایش غلظت نمک در محیط رشد باعث ایجاد نوعی خشکی فیزیولوژیک در گیاه می‌شود که عامل اصلی در جلوگیری از ایجاد فشار تورژسانس در سلول‌ها و ممانعت از رشد و تقسیم سلولی است؛ این فرایند در نهایت منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Munns and Tester, 2008). محققین تأکید کرده‌اند که برای بهبود عملکرد دانه جو، انتخاب ژنوتیپ‌ها باید براساس صفات رویشی مانند درصد سبزیگی، ارتفاع بوته و تعداد روز تا گلدهی انجام شود (Shamsi-Mahmodabadi et al., 2009).

نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد که ژنوتیپ ۹۲ دارای بیشترین مدت روز تا گلدهی (۱۰۲/۸۳۵ روز) و ژنوتیپ ۱۲۲ دارای کمترین تعداد روز تا گلدهی (روز) و همچنین زودرس‌ترین (۱۲۶ روز) و ژنوتیپ ۱۲۵ دیررس‌ترین (۱۳۰/۳۳۵ روز) در بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی قرار دارد، که نشان‌دهنده زودرسی و دیررسی ژنوتیپ‌ها می‌باشد. ژنوتیپ‌های ۱۲۲ و ۲۸۴ از ویژگی زودرسی مطلوب و مصرف آب کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بوده و می‌توان از آن‌ها برای انتخاب ارقام مناسب استفاده کرد. به‌عنوان یک فرضیه، می‌توان بیان کرد که زودرسی و فرار از مواجهه مستقیم با شوری، می‌تواند از عوامل مؤثر در تحمل ژنوتیپ‌ها به شوری باشد. در شرایط تنش شوری، استفاده از ارقام زودرس با عملکرد اقتصادی قابل قبول توصیه می‌شود. زودرسی این مزیت را به گیاه می‌دهد که قبل از آغاز تنش، عملکرد خود را تکمیل کند. ژنوتیپ‌های زودرس که سرعت رشد بالاتری دارند، آب در دسترس را به‌طور مؤثرتری مصرف کرده و در نتیجه، کمتر از ژنوتیپ‌های دیررس و کندرشد تحت‌تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند. این امر می‌تواند منجر به افزایش تولید گردد (Rajaei and Dastfal, 2017; Abbasipour Bahrani et al., 2023).

محققین دیگر در گزارشی بیان کرده‌اند که زمان لازم برای پر شدن دانه و رسیدگی آن تحت‌تأثیر شرایط تنش شوری قرار می‌گیرد. همچنین، کوتاه‌کردن طول دوره رشد در شرایط نامساعد به‌عنوان یکی از راه‌کارهای اجتناب از تنش مطرح شده است، با این حال، زودرسی ممکن است بر پتانسیل عملکرد گیاه

جدول ۴- مقایسه میانگین های ارتفاع بوته، رسیدگی و عملکرد ژنوتیپ های منتخب در دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در زابل

Table 4- Comparison of the mean plant height, maturity, and yield of selected genotypes across the 2022-2023 and 2023-2024 cropping seasons in Zabol

شماره ژنوتیپ Genotype	ارتفاع بوته Plant height (cm)	روز تا گلدهی Days to flowering (day)	روز تا رسیدگی Days to maturity (day)	وزن هزاردانه Seed-1000 weight (gr)	عملکرد در پلات Yield/Plot (g/plot)
TN-6	68.165 <sup>abc</sup>	100.5 <sup>abcd</sup>	130 <sup>abc</sup>	37.5 <sup>abcd</sup>	905 <sup>cd</sup>
TN-7	68 <sup>abc</sup>	101.665 <sup>ab</sup>	130.165 <sup>ab</sup>	35.17 <sup>abcdef</sup>	1081.665 <sup>abc</sup>
TN-14	68.665 <sup>ab</sup>	102 <sup>ab</sup>	127.33 <sup>defg</sup>	37.335 <sup>abcd</sup>	1031 <sup>bcd</sup>
TN-20	67.83 <sup>abc</sup>	100 <sup>bcd</sup>	126.835 <sup>efg</sup>	37.335 <sup>abcd</sup>	1030 <sup>bcd</sup>
TN-74	73.5 <sup>a</sup>	99.83 <sup>bcd</sup>	127.5 <sup>cdefg</sup>	38.17 <sup>a</sup>	880 <sup>d</sup>
TN-75	67.165 <sup>abcd</sup>	100.665 <sup>abc</sup>	127.17 <sup>defg</sup>	36.835 <sup>abcde</sup>	940 <sup>cd</sup>
TN-80	59.665 <sup>e</sup>	102.17 <sup>ab</sup>	129.335 <sup>abcde</sup>	37.165 <sup>abcd</sup>	1031.665 <sup>bcd</sup>
TN-82	64.165 <sup>bcde</sup>	100.835 <sup>abc</sup>	126.665 <sup>fg</sup>	37.665 <sup>abc</sup>	1055 <sup>abcd</sup>
TN-83	60.665 <sup>de</sup>	100.67 <sup>abc</sup>	127.665 <sup>bcdefg</sup>	34.67 <sup>cdef</sup>	973.335 <sup>cd</sup>
TN-87	61.5 <sup>cde</sup>	101.5 <sup>ab</sup>	127.335 <sup>defg</sup>	35.335 <sup>abcdef</sup>	940 <sup>cd</sup>
TN-89	62 <sup>bcde</sup>	102.33 <sup>ab</sup>	129.17 <sup>abcdef</sup>	34.5 <sup>def</sup>	1046.67 <sup>bcd</sup>
TN-92	61.665 <sup>cde</sup>	102.835 <sup>a</sup>	127.665 <sup>bcdefg</sup>	35.835 <sup>abcdef</sup>	996.67 <sup>cd</sup>
TN-95	64.5 <sup>bcde</sup>	101.835 <sup>ab</sup>	128.83 <sup>abcdef</sup>	37.835 <sup>ab</sup>	1208.335 <sup>ab</sup>
TN-96	63.335 <sup>bcde</sup>	102 <sup>ab</sup>	128.67 <sup>abcdef</sup>	37 <sup>abcde</sup>	1228.335 <sup>a</sup>
TN-97	64.83 <sup>bcde</sup>	102.165 <sup>ab</sup>	129.335 <sup>abcde</sup>	36 <sup>abcdef</sup>	1033.335 <sup>bcd</sup>
TN-100	62.165 <sup>bcde</sup>	101.335 <sup>ab</sup>	128 <sup>abcdefg</sup>	33.665 <sup>f</sup>	1195.835 <sup>ab</sup>
TN-118	61.835 <sup>bcde</sup>	98.665 <sup>cde</sup>	129.5 <sup>abcd</sup>	35 <sup>bcdef</sup>	1058.33 <sup>abcd</sup>
TN-122	66.335 <sup>bcde</sup>	97 <sup>e</sup>	126 <sup>g</sup>	36.665 <sup>abcde</sup>	1048.33 <sup>bcd</sup>
TN-125	67.67 <sup>abc</sup>	101.83 <sup>ab</sup>	130.335 <sup>a</sup>	34.165 <sup>ef</sup>	991.665 <sup>cd</sup>
TN-284	65 <sup>bcde</sup>	98 <sup>de</sup>	127.67 <sup>bcdefg</sup>	35.33 <sup>abcdef</sup>	880 <sup>d</sup>
مهر Mehr	62.034 <sup>bcde</sup>	99.4 <sup>bcd</sup>	126.756 <sup>fg</sup>	35.32 <sup>abcdef</sup>	1202.952 <sup>ab</sup>
خاتم Khatam	62.655 <sup>bcde</sup>	98.26 <sup>de</sup>	127.420 <sup>defg</sup>	36.124 <sup>def</sup>	119.888 <sup>ab</sup>
MBS-89-1	66.215 <sup>bcde</sup>	99.1 <sup>bcd</sup>	127.86 <sup>bcdefg</sup>	35.966 <sup>bcdef</sup>	1006.208 <sup>bcd</sup>

میانگین های مشخص شده با حروف متفاوت در هر ستون در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار دارند.

The means marked with different letters within each column indicate significant differences at the 5% significance level.

تحت تأثیر صفاتی است که با عملکرد همبستگی دارند. در واقع شناخت همبستگی بین عملکرد و اجزای آن و یافتن نوع رابطه بین آنها می تواند باعث افزایش عملکرد شود. با افزایش شوری، محتوای سدیم افزایش می یابد و غلظت بیشتر یون پتاسیم می تواند از ویژگی های ارقام متحمل به شوری در گیاه جو باشد (Sinebo, 2002). دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای به روش Ward برای ژنوتیپ های جو براساس شاخص های تحمل به خشکی در شکل ۱ آورده شده است. ژنوتیپ های مورد بررسی به سه خوشه تقسیم شدند. خوشه اول، دوم و سوم به ترتیب شامل ۹ و ۸ و ۳ ژنوتیپ جو بود. ویژگی خوشه اول ارتفاع کمتر و روز تا گلدهی طولانی تر و ویژگی خوشه دوم ژنوتیپ های دیررس در این گروه قرار دارند و ویژگی خوشه سوم دارای بیشترین میزان عملکرد در بین ژنوتیپ های مورد مطالعه بود.

محققان گزارش کردند که عملکرد گیاه جو و بیشتر صفات وابسته به آن مانند ارتفاع گیاه، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و... تحت تنش شوری کاهش می یابد (Demiral et al., 2005).

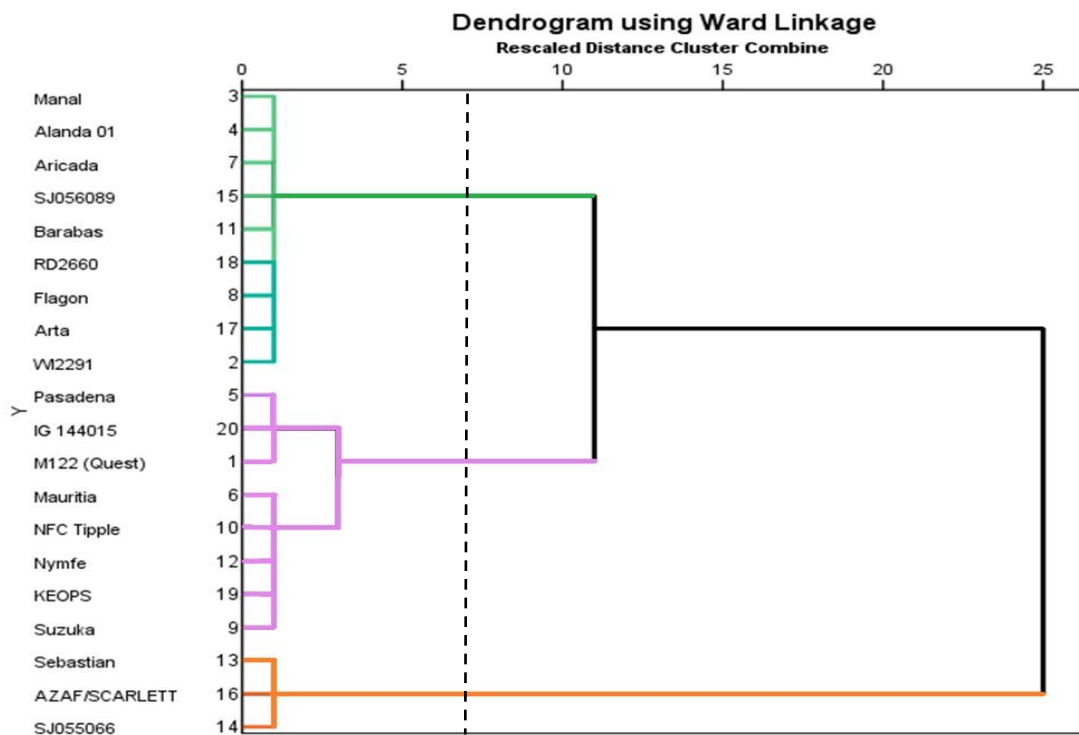
ضرایب همبستگی بین ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی ها، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در ژنوتیپ های مورد مطالعه جو در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که بین همه صفات همبستگی مثبت در سطح احتمال آماری یک درصد وجود دارد. عملکرد دانه با روز تا گلدهی ( $r=0/755$ )، روز تا رسیدگی ( $r=0/774$ ) و وزن هزاردانه ( $r=0/791$ ) همبستگی مثبت و معنی داری دارد، اما با ارتفاع بوته ( $r=0/260$ ) میزان همبستگی مثبت کمتری نسبت به صفات مورد مطالعه داشت. محققان گزارش کردند که کنترل ژنتیکی عملکرد جو به طور غیرمستقیم

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در زابل

صفات	ارتفاع بوته height Plant	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا رسیدگی maturity Days to	وزن هزاردانه weight Seed-1000	عملکرد دانه Seed yield
ارتفاع بوته Plant height	1				
روز تا گلدهی Days to flowering	.432**	1			
روز تا رسیدگی maturity Days to	.496**	.961**	1		
وزن هزاردانه 1000-Seed weight	.523**	.785**	.791**	1	
عملکرد دانه Seed yield	.260**	.755**	.774**	.672**	1

\*\*. همبستگی در سطح ۰.۰۱ (دوطرفه) معنادار است

\*\*. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward برای ژنوتیپ‌های جو در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در زابل

Figure 1- Dendrogram resulting from cluster analysis using Ward's method for barley Genotypes across the 2022-2023 and 2023-2024 cropping seasons in Zabol

### نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر نشان داد که ژنوتیپ‌های جو تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای در پاسخ به تنش شوری دارند. این تفاوت‌ها در واکنش به شوری، بیانگر وجود خزانه ژنی غنی در این گونه گیاهی است. چنین پتانسیل ژنتیکی در پاسخ به تنش شوری می‌تواند منبع ارزشمندی برای برنامه‌های اصلاحی جهت توسعه ارقام متحمل به شوری باشد، که این امر در مناطق با خاک‌های

ارقام مختلف یک گیاه از حیث میزان تحمل به شوری یکسان نیستند، لذا اصلاحگران همواره به دنبال شناسایی ارقام متحمل به شوری برای گیاهان زراعی هستند. در مراحل مختلف رشد یک گیاه واکنش به شوری می‌تواند متفاوت باشد. ارزیابی تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی به‌ویژه در خلال مرحله جوانه‌زنی و سبزشدن عامل مهمی در انتخاب آنها برای کشت در شرایط مختلف است.

تنش‌های زیستی و غیرزیستی تبدیل می‌کند. یافته‌های این مطالعه بر اهمیت بهره‌گیری از تنوع ژنتیکی موجود در جو برای توسعه ارقام متحمل و سازگار با شرایط مختلف محیطی تأکید می‌کند. انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس با ویژگی‌هایی نظیر وزن بالای هزاردانه، ارتفاع مناسب و دوره گلدهی کوتاه‌تر، می‌تواند راه‌کاری مؤثر برای افزایش تحمل به شوری و بهبود عملکرد در شرایط تنش باشد

### سپاس‌گزاری

این مقاله بخشی از پروژه تحقیقاتی مصوب موسسه تحقیقات زراعی و باغی است؛ لذا از همکاران موسسه تحقیقات زراعی و باغی کشور به‌دلیل حمایت و راهنمایی در پروژه و همچنین کارکنان ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک به‌علت همکاری در اجرای پروژه کمال تشکر را دارد.

شور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. صفاتی نظیر ارتفاع بوته، روز تا گلدهی، وزن هزاردانه و عملکرد دانه، تأثیرات معناداری بر سازگاری و تحمل ژنوتیپ‌های جو در شرایط تنش شوری دارند. ارتباط مثبت و معنی‌دار میان این صفات، نقش کلیدی آن‌ها را در بهبود عملکرد نهایی گیاه نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌های زودرس به‌دلیل تکمیل دوره رشد قبل از مواجهه با شرایط حاد تنش، کارایی بیشتری در استفاده از منابع آبی داشته و عملکرد بهتری ارائه می‌دهند. همچنین، کاهش ارتفاع بوته در شرایط شوری ناشی از تخصیص انرژی گیاه به مقابله با تنش‌های محیطی و حفظ تعادل یونی است.

تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های جو نشان‌دهنده وجود گروه‌بندی‌های متمایز براساس شاخص‌های تحمل به شوری و خشکی است. این خزانه ژنی، ظرفیت بالای گیاه جو را برای سازگاری با شرایط محیطی مختلف نشان می‌دهد و منابع ژنتیکی آن را به ابزاری ارزشمند برای اصلاح و بهبود تحمل به

### References

- Abbasipour Bahrani, H., Ghazvini, H., Amiri, B. and Bazrafshan, F., 2023. Responses of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes to salinity stress under controlled and field conditions. *Gesunde Pflanzen*, 75, pp.499–513. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00711-5>
- Ahmed, I.M., Dai, H., Zheng, W., Cao, F., Zhang, G., Sun, D. and Wu, F., 2013. Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between tibetan wild and cultivated barley. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63, pp.49–60. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.11.004>
- Ali, B., Saleem, M.H., Ali, S., Shahid, M., Sagir, M., Tahir, M.B., Qureshi, K.A., Jaremko, M., Selim, S., Hussain, A., Rizwan, M., Ishaq, W. and Rehman, M.Z., 2022. Mitigation of salinity stress in barley genotypes with variable salt tolerance by application of zinc oxide nanoparticles. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.973782>
- Al-Tardeh, S.M., Alqam, H.N., Kuhn, A.J. and Kuchendorf, C.M., 2023. In vitro assessment of salinity stress impact on early growth in ten certified palestinian barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) potentially suitable for cultivation on former quarry substrates. *Water*, 15(6), 1065. <https://doi.org/10.3390/w15061065>
- Ashraf, M. and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, pp.206–216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, A.P., Kumari, A., Ghosh, T., Roy, A., Hembram, S., Gaikwad, D.J., Mondal, S., Bhattacharya, S., Jha, U.C. and Jespersen, D., 2023. Impacts of salinity stress on crop plants: improving

- salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Frontiers in Plant Science*, 14, 124173. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>
- Deinlein, U., Stephan, A.B., Horie, T., Luo, W., Xu, G. and Schroeder, J.I., 2014. Plant salt tolerance mechanisms. *Trends in Plant Science*, 19, pp.371-379. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.02.001>
- Demiral, M.A., Aydin, M. and Yorulmaz, A., 2005. Effect of salinity on growth chemical composition and antioxidative enzyme activity of two malting barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Turkish Journal of Biology*, 29(2), 6, 117-123. <https://journals.tubitak.gov.tr/biology/vol29/iss2/6>
- Emam, Y., 2011. Cereal Production. 4th Edition, Shiraz University Press, Shiraz, 190 p. [In Persian].
- Ghorbani, M.H., Zeinali, E., Solatini, A. and Galeshi, S., 2004. The effect of salinity on growth, yield and yield components in two wheat cultivars. *Journal of Agriculture Science and Natural Resources*, 10 (4), pp.5-14. [In Persian].
- Hassani, A., Azapagic, A. and Shokri, N., 2021. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communications*, 12(1), 6663. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>
- Hussain, M.I., Al-Dakheel, A.J., Chaudhry, U.K., Khan, M.I., Alhathloul, H.A.S., Alghanem, S.M. and Alaklabi, A., 2022. Morpho-physiological response of barley to assess genotypic differences of salinity tolerance under hyper arid climate. *Agricultural Water Management*, 27(2), 107832. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107832>
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A.K., Pulatov, A., Kempen, B. and de Sousa, L., 2019. Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*, 231, pp.111-260. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111260>
- Jadidi, O., Etmnan, A., Azizi-Nezhad, R., Ebrahimi, A. and Pour-Aboughadareh, A., 2022. Physiological and molecular responses of barley genotypes to salinity stress. *Genes*, 13, 2040. <https://doi.org/10.3390/genes13112040>
- Kashem, M., Sultana, N., Loboda, T., Mitsui, T. 2000. Alteration of starch- sucrose transition in germinating wheat seed under sodium chloride salinity. *Journal of Plant Biology*, 43, pp.121-127. <https://doi.org/10.1007/BF03030488>.
- Kingsbury, D.W., Portner, A. and Darling-Ton, R.W., 1970. Properties of incomplete Sendai virions and subgenomic viral RNAs. *Virology*, 42, pp.857-871. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(70\)90335-1](https://doi.org/10.1016/0042-6822(70)90335-1)
- Mittal, S., 2022. Wheat and barley production trends and research priorities: a global perspective. New horizons in wheat and barley research. *Springer Singapore*. Book Chapter: pp.3–18. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-4449-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4449-8_1)
- Munns, R. and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, pp.651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

- Mwando, E., Angessa, T.T., Han, Y. and Li, C., 2020. Salinity tolerance in barley during germination—homologs and potential genes. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 21(2), pp.93–121. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1900400>
- Perri, S., Molini, A., Hedin, L.O. and Porporato, A., 2022. Contrasting effects of aridity and seasonality on global salinization. *Nature Geoscience*, 15(5), pp.375–381. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-00931-4>
- Pitman, M.G. and Läuchli, A., 2002. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. Salinity: environment - plants - molecules. *Kluwer Academic Publishers*, The Netherlands, pp.3–10. [https://doi.org/10.1007/0-306-48155-3\\_1](https://doi.org/10.1007/0-306-48155-3_1)
- Poustini, K. and Siosemardeh, A. 2004. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research*, 85, pp.125-133. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00157-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00157-6)
- Qiu, L., Wu, D., Ali, S., Cai, S., Dai, F., Jin, X., Wu, F. and Zhang, G., 2011. Evaluation of salinity tolerance and analysis of allelic function of HvHKT1 and HvHKT2 in tibetan wild barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 122, pp.695–703. <https://doi.org/10.1007/s00122-010-1479-2>
- Rajaei M. and Dastfal M., 2017. Study of yield and salinity tolerance indices in wheat lines and cultivars under saline conditions. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 10(1), pp.150-139. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.537>.
- Sahfi, S.S., Mousavi Nik, S.M., Tabatabaei, S.A., Sabbagh, S.K. and Ghanbari, S.A., 2021. Evaluation of barley cultivars sensitive and tolerant to salt stress using tolerance indices in central regions of Iran. *Journal of Crop Production*, 14(1), pp.103-122. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.18504.2380>
- Shahmoradi, Sh. and Tabatabaei, S.A., 2022. Evaluation of salt stress tolerance of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.). *Seedlings and Seeds*, 38(3), pp.281-259. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/spj.2023.361285.1296>
- Shahmoradi, Sh., 2021. Exploiting the morphological and phenological diversity in barley landraces of Iran. *Desert*, 26 (2), 267-278. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2021.319467.1006809>
- Shamsi-Mahmodabadi, H., MajidiHervan, A., Normohamadi, G., Mirhoseini-Dehabadi, S.R. and HeidariSharifabad, H., 2009. Investigation of genetic diversity and evaluation of hulles barley genotypes to salinity stress. *Plant and Ecosystem*, 18, 1. 44-59. [In Persian].
- Sinebo, W., 2002. Yield relationships of barleys grown in a tropical highland environment. *Crop Science*, 42, pp.428-437. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.4280>
- Singh, A., 2021. Soil salinization management for sustainable development: a review. *Journal of Environmental Management*, 277, 111383. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111383>
- Sreesaeng, J., Qiu, C.W., Zhang, S. Heng Shi, S., Luo, L., Holford, P. and Wu, F., 2024. Identification and characterization of hull-less barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm for salt tolerance. *Plant Growth Regulation*, 104(2), 975-989. <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01187-1>

- Tabatabaei, S.A., Kouchaki, A.R. and Mollasadeghi, J., 2013. Evaluation of salinity tolerance of barley cultivars under laboratory and field conditions. *Quarterly Journal of Crop Plant Physiology*, 5(20), pp.87-101. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.2008403.1392.5.20.7.8>
- Thabet, S.G., Alomari, D.Z., Börner, A., Brinch-Pedersen, H. and Alqudah, A.M., 2022. Elucidating the genetic architecture controlling antioxidant status and ionic balance in barley under salt stress. *Plant Molecular Biology*, 110, pp.287–300. <https://doi.org/10.1007/s11103-022-01302-8>
- Thabet, S.G., Alqudah, A.M., 2023. New genetic insights into improving barley cope with salt stress via regulating mineral accumulation, cellular ion homeostasis, and membrane trafficking. *Environmental and Experimental Botany*, 208, 105252. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4254383>
- Thabet, S.G., Moursi, Y.S., Sallam, A., Karam, M.A. and Alqudah, A.M., 2021. Genetic associations uncover candidate SNP markers and genes associated with salt tolerance during seedling developmental phase in barley. *Environmental and Experimental Botany*, 188, 104499. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104499>
- Verma, R.S.P., 2019. Barley: global challenges and perspectives under non-tropical dry areas. *Wheat and Barley Research*, 10(3), pp.123–137. <https://doi.org/10.25174/2249-4065/2018/85893>
- Yang, B., Lee, C., Xiang, W., Xie, J., He, J.H., Kotlanka, R.K., Low, S.P. and Feng, H., 2009. Electromagnetic energy harvesting from vibrations of multiple frequencies. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 19(3), 035001. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/19/3/035001>
- Zeeshan, M., Lu, M., Sehar, S., Holford, P. and Wu, F., 2020. Comparison of biochemical, anatomical, morphological, and physiological responses to salinity stress in wheat and barley genotypes deferring in salinity tolerance. *Agronomy*, 10(1), 127. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010127>
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J-K. and Shabala, S., 2020. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation*, 1(1), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>
- Zhu, M., Shabala, L., Cuin, T.A., Huang, X., Zhou, M., Munns, R. and Shabala, S., 2016. Nax loci affect SOS1-Like Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> exchanger expression and activity in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), pp.835-844. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv493>



## Evaluating the effect of patch distribution of *Chenopodium album* L. on wheat yield: geostatistical study

Abbas Nasiri Dehsorkhi <sup>a</sup>, Ahmad Ghanbari <sup>\*b</sup>, Hassan Makarian <sup>c</sup>, Mohammad Reza Asgharipour <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ph.D. Graduate of Agroecology, 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, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

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

Received: 30 June 2024

Accepted: 18 September 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.404953.1354

### How to cite this article:

Nasiri Dehsorkhi, A., Ghanbari, A., Makarian, H. and Asgharipour, M. R., 2025. Evaluating the effect of patch distribution of *Chenopodium album* L. on wheat yield: geostatistical study. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 807-826. <https://doi.org/10.22034/csrar.2023.404953.1354>

### Abstract

**Introduction:** The detrimental impact of weeds and their inadequate management is a significant contributing factor to the decline in both the quality and quantity of crops. Weeds engage in competition with crops by depleting finite resources, including soil nutrients, moisture availability, and light, thereby leading to a decline in crop growth and yield. In conjunction with the non-uniformity induced by management practices in agricultural areas, weeds are also recognized as a contributing factor to the uneven distribution of crop productivity. Understanding the spatial distribution of weeds within a given field has the potential to enhance the effectiveness of weed management strategies. In light of this matter, a recent study was undertaken to assess the spatial arrangement of *Chenopodium album* and its impact on the productivity and various components of wheat yield.

**Materials and Methods:** This study was carried out in a field located in Mobarakeh county, within the Isfahan province, over the course of the 2019-2020 period, employing geostatistical techniques. Data on both weed (density and biomass of *Chenopodium album*) and wheat (including grain number per spike, number of spikes, 1000-grain weight, and grain yield) were gathered from 104 locations within a field, using a 2 × 2 m grid. The density and biomass of *Chenopodium album*, as well as the yield and yield components of wheat, were assessed in each sampling event using quadrats measuring 0.25 m<sup>2</sup>. The cross-semivariogram was employed to elucidate the spatial correlation between two variables, namely weed population and wheat yield. The semivariograms and cross-semivariograms were computed using the GS+ and Variowin software packages, which are tools for analyzing spatial data in two dimensions (2D) (Spring Verlag, New York, USA). The estimation of Pearson correlation coefficients was conducted using the SPSS software.



**Results and Discussion:** The findings indicated that the average density and biomass of *Chenopodium album* were recorded as 2.42 individuals per square meter and 16.11 grams per square meter, respectively. Additionally, the findings revealed that 74% of the sampled locations exhibited an absence of *Chenopodium album*. The analysis of the semivariogram revealed that the distribution of *Chenopodium album*'s density and biomass exhibited spatial heterogeneity within the field. The patchiness of *Chenopodium album*'s density and biomass was observed to be moderate, with values of 64.7% and 50.0% respectively. According to the fitted models, the range for weed density and biomass was 3.68 and 20.42 meters, respectively. Weed patches frequently exhibited a greater elongation along the direction of the planting rows. The findings of the study revealed that the variables of 1000-grain weight, number of spikes, grain number per spike, and grain yield exhibited a non-uniform distribution pattern. The spatial autocorrelation values for the 1000-grain weight, number of spikes, grain number per spike, and grain yield were found to be 82.1%, 57.0%, 50.0%, and 50.2%, respectively. Semivariogram analysis showed that 1000-grain weight had a strong spatial autocorrelation. High spatial dependence was observed between the maps of grain yield and yield components (1000-grain weight, number of spike, grain number per spike) of wheat. Given the positive correlation between the yield components and grain yield in wheat, it is reasonable to anticipate a spatial congruence between these variables when represented on maps. Additionally, the Pearson correlation coefficients indicate a positive and statistically significant relationship between grain yield and the 1000-grain weight (0.24\*), number of spikes (0.84\*\*), and grain number per spike (0.82\*\*). The results of the Cross-semivariogram analysis demonstrated a statistically significant spatial association of 76.4% between weed density and reverse grain yield of wheat. The results of the cross-semivariogram showed that negative spatial correlation of 75.8% between weed biomass and grain yield in wheat. The maps revealed a strong correlation between areas characterized by high weed density and biomass, and areas exhibiting low wheat grain yield. The results of the Pearson correlation analysis revealed a statistically significant negative correlation between weed density and biomass with the grain yield of wheat. The correlation coefficients were -0.51\*\* and -0.45\*\*%, respectively. The findings of the study revealed that in instances where there existed a strong correlation coefficient between two variables, the cross-variogram also provided evidence of the spatial correlation between the two variables.

**Conclusion:** The findings from the analysis of cross-semivariograms, estimation of Pearson correlation coefficients, and comparison of the maps revealed a negative correlation between the grain yield of wheat and the presence of *Chenopodium album* in the field. In a broad sense, it can be asserted that the uneven distribution of weeds leads to an uneven distribution of crop yield and its various components within the agricultural field.

**Keywords:** Kriging, Patchy distribution, Range, Spatial correlation, Yield map

## ارزیابی تأثیر توزیع لکه‌های علف هرز سلمه‌تره بر عملکرد گندم: مطالعه زمین‌آماري

عباس نصیری دهرسخی<sup>۱</sup>، سید احمد قنبری<sup>۲\*</sup>، حسن مکاریان<sup>۳</sup>، محمدرضا اصغری پور<sup>۲</sup>

۱- دانش آموخته دکتری اگروکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

\* مسئول مکاتبه: drghanbari@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.404953.1354

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰

## چکیده

علف هرز سلمه‌تره یکی از علف‌های هرز مشترک در مزارع گندم است که باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی توزیع مکانی علف هرز سلمه‌تره و تأثیر آن بر عملکرد و اجزاء عملکرد گندم در شرایط آب و هوایی اصفهان بود. در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، آزمایش مزرعه‌ای در قالب شبکه دوبعدی با فاصله  $2 \times 2$  متر انجام شد. در هر نقطه شبکه، تعداد و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره و هم‌چنین عملکرد و اجزاء عملکرد گندم اندازه‌گیری و ثبت شد. توزیع مکانی دو متغیر با استفاده از تکنیک زمین‌آمار مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که علف هرز سلمه‌تره در سطح مزرعه دارای پراکنش لکه‌ای بود. وزن هزاردانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه نیز در سطح مزرعه دارای پراکنش لکه‌ای بود (به ترتیب همبستگی مکانی  $0.82/1$ ،  $0.57/0$  و  $0.50/2$  درصد). نتایج نشان داد که همبستگی مکانی قوی  $0.83/8$  درصدی در دامنه تأثیر  $4/13$  متر بین الگوهای توزیع مکانی دو متغیر عملکرد دانه و تعداد سنبله در مترمربع وجود داشت. نتایج برازش مدل‌های کراس سمی‌واریوگرام بین زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره با عکس عملکرد دانه گندم نشان داد که همبستگی مکانی قوی  $0.75/8$  درصدی بین الگوهای توزیع دو متغیر مذکور در دامنه تأثیر  $4/0.8$  متر وجود داشت. این پژوهش نشان داد که آرایش لکه‌های علف هرز سلمه‌تره باعث توزیع لکه‌های عملکرد و اجزاء عملکرد گندم در سطح مزرعه می‌شود؛ بنابراین، برای کنترل بهینه این علف هرز، باید از روش‌های مبتنی بر توزیع مکانی آن استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: توزیع لکه‌ای، دامنه تأثیر، کریجینگ، نقشه عملکرد، همبستگی مکانی

## مقدمه

اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (Makarian et al., 2012). نادیده گرفتن توزیع ناهمگون جمعیت علف‌های هرز و استفاده از میانگین تراکم علف‌های هرز به عنوان مبنایی برای مدیریت یکنواخت مزرعه کارآمد نخواهد بود و منجر به تخمینی بالاتر از پتانسیل کاهش عملکرد شده و باعث استفاده غیرضروری از علف‌کش‌ها می‌شود. زیرا در برخی نقاط مزرعه کنترل غیرضروری بوده و درحالی‌که در بخش‌های دیگر مزرعه تراکم علف‌های هرز بسیار بالاست (Makarian and Abbasdokht, 2014).

یکی از روش‌های آنالیز توزیع مکانی علف‌های هرز استفاده از روش زمین‌آمار است. در این روش با استفاده از آمار مکانی سمی‌واریوگرام‌هایی را که ساختار مکانی جمعیت‌ها را تشریح می‌کند، برازش داده می‌شود. سپس با استفاده از روش کریجینگ نقشه‌های توزیع علف‌های هرز ترسیم می‌شود تا

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید در بخش کشاورزی علف‌های هرز هستند که به دلیل رقابت برای فضا، آب، مواد غذایی و نور با گیاهان زراعی و باغی، منجر به کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌شوند و جزء عوامل اصلی محدودکننده تولید محصولات زراعی می‌باشند (Sharma and Singh, 2000). درک توزیع و قابلیت گسترش علف‌های هرز علاوه بر ارزش اکولوژیکی در توسعه برنامه‌های مدیریتی متناسب با مکان نیز دارای اهمیت می‌باشد. به عبارتی پویایی مکانی جمعیت گیاهچه علف‌های هرز اثرات ویژه‌ای را برای مدیریت آن جمعیت در پی دارد. به هر حال شناخت ویژگی‌های مربوط به پراکنش جوامع علف‌های هرز در سطح مزارع و عوامل تأثیرگذار بر آن، جهت طراحی برنامه‌های صحیح مدیریتی علف‌های هرز امری

دارد. هم‌چنین نتایج نشان داد که همبستگی مکانی ۵۶/۲۵ درصد تا دامنه تأثیر ۶۲ متر بین زیست‌توده علف‌های هرز با عکس عملکرد دانه گندم وجود داشت (Moradi Kalbolandi, 2020). در تحقیقی که بر روی گندم انجام شد، نتایج نشان داد آرایش لکه‌ای علف‌های هرز باعث توزیع لکه‌ای محتوای کلروفیل برگ، زیست‌توده گیاه زراعی و در نهایت عملکرد گیاه زراعی در سطح مزارع گردید (Ghiassi, 2013). در مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی اثر پراکنش مکانی علف‌های هرز بر عملکرد دانه عدس انجام شد، نقشه توزیع مکانی عملکرد دانه عدس و تراکم علف‌های هرز نشان داد که اکثر نقاط با تراکم بالای علف‌های هرز، منطبق بر نقاط با عملکرد محصول کمتر عدس بود (Zargarian et al., 2020). همبستگی مکانی قلیل توجهی بین عملکرد برگ زعفران و تراکم کل علف‌های هرز توسط تجزیه تغییرنماهای متقاطع و ضریب همبستگی اسپیرمن در سطح مزارع و طی دو سال مشاهده شد (Makarjian and Abbasdokht, 2014). در پژوهشی که با هدف ارزیابی اثر روش‌های مختلف مدیریت علف‌های هرز و منابع کود نیتروژن بر کنترل علف‌های هرز، خصوصیات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای و توزیع الگوی علف‌های هرز انجام شد نتایج نشان داد در سال اول آزمایش، واریوگرام متقاطع همبستگی منفی را بین عملکرد ذرت و تراکم گونه‌های تاج خروس ریشه قرمز، خرفه و اویارسلام ارغوانی نشان داد. در سال دوم نیز واریوگرام متقاطع همبستگی منفی بین ذرت - تاج خروس ریشه قرمز و ذرت - تاج ریزی سیاه را نشان داد (Arianmehr, 2020).

گندم به عنوان یکی از محصولات غذایی بسیار مهم در جهان، در بین غلات جایگاه ویژه‌ای دارد. با توجه به رشد جمعیت و کاهش فضای کشاورزی، لازم است عملکرد گندم را با روش‌های اصلاح گیاهی و مدیریت زراعی بهبود بخشید (Yan et al., 2019). ضرورت توجه به تولید گندم به‌عنوان غذای اصلی یک‌سوم از مردم جهان و به‌تبع آن افزایش روزافزون جمعیت انسانی و نیاز مبرم به تولید این محصول استراتژیک بیش از پیش آشکار است. در کشور ایران بالغ بر ۳۰ درصد از اراضی قابل کشت، زیر کشت گندم است که از این مقدار تقریباً ۶۵ درصد آن به کشت گندم دیم و ۳۵ درصد آن به کشت گندم آبی اختصاص دارد (Mahdavi et al., 2022). در ایران گندم از نظر تولید و سطح زیر کشت مهم‌ترین محصول کشاورزی

جهت درون‌یابی در نقاطی که نمونه‌برداری انجام نشده مورد استفاده قرار گیرد (Colbach et al., 2000a). در پژوهشی که بر روی گندم انجام شد، برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که زیست‌توده مجموع علف‌های هرز در سطح مزرعه دارای الگوی توزیع لکه‌ای بود، به‌طوری‌که همبستگی مکانی متوسط ۵۱/۴۹ درصد برای الگوهای پراکنش زیست‌توده مجموع علف‌های هرز در سطح مزرعه توسط مدل‌ها بدست آمد. هم‌چنین دامنه تأثیر ۱۷۶ متر نشان‌دهنده تغییرات گسترده زیست‌توده علف‌های هرز در سطح مزرعه در این آزمایش بود (Moradi Kalbolandi, 2020). در مطالعه‌ای که با هدف تعیین سطوح آلودگی و توزیع مکانی تاج خروس خوابیده، سلمه‌تره و تاج‌ریزی سیاه در مزرعه ذرت انجام شد، پژوهش‌گران اظهار داشتند در هر سه گونه تحت مطالعه، ساختار لکه‌ای مشاهده شد و بررسی نقشه‌های توزیع مکانی وجود لکه‌هایی با مراکز پر تراکم که به تدریج به سمت حاشیه تراکم آن‌ها کاهش می‌یافت را تأیید کرد. به‌طور کلی ساختار و موقعیت مکانی لکه‌ها با وجود مقداری جابجایی حفظ شد و احتمالاً این مکان‌ها محل ظهور علف‌های هرز سال بعد می‌باشند (Mohammadvand et al., 2008). در پژوهشی که با هدف مطالعه پویایی مکانی جمعیت‌های علف هرز یک مزرعه ذرت انجام شد، تجزیه و تحلیل سمی‌واریوگرام برای گونه‌های متداول نشان داد که دامنه تأثیر از ۳/۵ تا ۲۳۶/۵ متر بسته به گونه علف هرز و مرحله نمونه‌برداری متغیر بود. درحالی‌که ۵۱٪ تا ۸۵٪ واریانس در تراکم نیز حاصل همبستگی مکانی بود (Ashrafi et al., 2003). در پژوهشی که به منظور ارزیابی پویایی مکانی علف‌های هرز یک مزرعه با سابقه تناوبی کلزا-آیش - گندم انجام شد، پژوهش‌گران اظهار داشتند مشاهده نقشه‌های توزیع مکانی علف‌های هرز *Goldbachia laevigata* و *Chorispora tenella* بر کشیدگی لکه‌ها در امتداد ردیف‌های کاشت تأکید دارند (Bagheri et al., 2013).

علف‌های هرز به عنوان یکی از عوامل ناهمگونی عملکرد محصولات کشاورزی در سطح مزارع مطرح هستند (Moradi Kalbolandi et al., 2020). نتایج پژوهشی نشان داد که تراکم علف‌های هرز با عکس عملکرد گندم دارای همبستگی ۹۱/۹۰ درصد بود. این بدان معنی است که بین تراکم علف هرز و عملکرد گیاه زراعی در سطح مزرعه یک رابطه معکوس وجود

عملکرد و اجزاء عملکرد گندم با استفاده از تکنیک زمین‌آمار در شرایط آب و هوایی اصفهان انجام گردید.

### مواد و روش‌ها

پژوهش در مزرعه‌ای واقع در شهرستان مبارکه (با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا) استان اصفهان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و با استفاده از روش زمین‌آمار انجام شد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبروزه، شهرستان مبارکه دارای اقلیم خشک سرد و بر اساس روش آماری تحلیل‌های چند متغیره دارای اقلیم نیم سرد و خشک می‌باشد.

در این مزرعه هیچ عملیات مدیریتی برای کنترل علف‌های هرز انجام نشد. نمونه‌برداری از جمعیت علف هرز سلمه‌تره و هم‌چنین صفات مورد بررسی در گندم، روی شبکه علامت‌گذاری شده مربعی (گرید) به ابعاد ۲ × ۲ متر و در مجموع در ۱۰۴ نقطه در مزرعه انجام شد. نمونه‌برداری از جمعیت و زیست‌توده علف هرز با استفاده از کادرهایی به ابعاد ۰/۲۵ مترمربع (۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر) در محل تقاطع خطوط شبکه صورت گرفت. نمونه‌برداری از صفات مورد بررسی در گندم شامل تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزار دانه و عملکرد دانه نیز با استفاده از کوادرات‌های ثابت به ابعاد ۰/۲۵ مترمربع انجام گردید. محل‌های نمونه‌برداری از صفات مورد بررسی در گندم با محل‌های نمونه‌برداری از جمعیت گیاهچه‌های علف‌های هرز منطبق بود.

یکی از خصوصیات مشترک داده‌های حاصل از یک متغیر محیطی (مانند صفات مختلف گندم و علف هرز) همبستگی مکانی بین آن‌ها است بدین معنی که مشاهدات نزدیک به هم در مقایسه با داده‌هایی که با فاصله زیادی از یکدیگر واقع شده‌اند دارای شباهت و همسانی بیشتری می‌باشد. این وابستگی مکانی بین نمونه‌ها بصورت یک مدل ریاضی تحت عنوان سمی‌واریوگرام یا نیم تغییرنا (رابطه ۱) توصیف شد (Mohammadi, 2002).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (1)$$

که در آن  $N(h)$ : زوج نمونه‌ای است که به فاصله  $h$  از یکدیگر واقع شده‌اند.  $Z(x_i)$ : مقدار متغیر در موقعیت  $x_i$ ،  $Z(x_i+h)$ : مقدار متغیر مورد مطالعه در موقعیت  $x_i+h$  و  $y(h)$

است و افزایش محصول آن روزبه‌روز مورد توجه بیشتری قرار گرفته است و از نظر اقتصادی و امنیت غذایی مردم از اهمیت بسیاری برخوردار است (Avarsegi et al., 2023). یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در کاهش کمیت و کیفیت گندم کشور، خسارت علف‌های هرز و عدم مدیریت صحیح پیشگیری و کنترل آن‌ها می‌باشد که در ایران این خسارت به صورت میانگین ۲۳ درصد گزارش شده است (Zand et al., 2008).

سلمه‌تره یکی از سمج‌ترین علف‌های هرز جهان است. این علف هرز به جهت داشتن مشخصاتی چون سرعت رشد بالا، رقابت مؤثر برای مواد غذایی، تولید بذر زیاد و جولنه‌زنی بذر آن تحت دامنه وسیعی از شرایط محیطی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Christopher et al., 2007). علف هرز سلمه‌تره یکی از علف‌های هرز مشترک در مزارع گندم است که باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود. پژوهش‌گران گزارش دادند مهم‌ترین گونه‌های هرز موجود در مزرعه گندم، علف‌های هرز سلمه‌تره و هفت‌بند بودند در حالی که سایر گونه‌ها از تراکم بسیار اندکی در مزرعه برخوردار بودند (Moradi Kalbolandi, 2020). از آنجایی که گندم یک گیاه یک‌ساله می‌باشد، به نظر می‌رسد تقارن بخشی از سیکل زندگی این گیاه با علف‌های هرز یک‌ساله بهاره-تابستانه، یکی از عوامل مهم در بالا بودن تراکم این گروه از علف‌های هرز باشد (Mirsaveh, 2014). محققین در کشت مخلوط گندم و سلمه‌تره به رقابت برسر منابع یکسان اشاره نمودند که باعث هم‌پوشانی نیچ‌های اکولوژیکی دو گونه و به دنبال آن کاهش وزن خشک گندم می‌شود. در آزمایش آن‌ها حتی تراکم‌های پایین سلمه‌تره باعث کاهش معنی‌دار در وزن خشک گندم شدند (Bhaskar and Vyas, 1988).

شناخت و توصیف الگوهای توزیع مکانی رشد و عملکرد گندم و ارتباط آن با حضور علف‌های هرز در مزرعه اطلاعات مهمی را در خصوص مدیریت بهینه مزرعه بر اساس اصول اکولوژیک در اختیار مدیران قرار می‌دهد. این یافته‌ها که اغلب با روش‌های زمین‌آماري و یا سنجش از دور امکان قابل برآورد است، در پیش‌بینی لکه‌های با تراکم بالای علف هرز و دارای عملکرد کم مزرعه دارای اهمیت می‌باشند (Moradi Kalbolandi et al., 2020). در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی توزیع مکانی علف هرز سلمه‌تره و تأثیر آن بر

نشان‌دهنده درصد همبستگی مکانی است. برای محاسبه درصد همبستگی مکانی از رابطه ۲ استفاده شد (Cardina et al., 1996).

(۲)

$$\text{Autocorrelation}(\%) = \left[ \frac{\text{Asymptote} - \text{Intercept}}{\text{Asymptote}} \right] \times 100$$

که در آن Autocorrelation (%) یا درصد همبستگی مکانی، Asymptote یا مجانب و Intercept یا عرض از مبدأ می‌باشد. مقادیر همبستگی مکانی بین صفر (نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی مکانی یا پراکنش کاملاً تصادفی) تا ۱۰۰ درصد (همبستگی مکانی قوی) تغییر می‌کند. مقادیر کوچک‌تر یا مساوی ۲۵ درصد بیانگر همبستگی مکانی ضعیف، از ۲۵ تا ۷۵ درصد همبستگی مکانی متوسط و بیشتر از ۷۵ درصد همبستگی مکانی قوی محسوب شد (Jurado-Exposito et al., 2003).

واریوگرام‌های مورد مطالعه اغلب با مدل‌های کروی و نمایی سازگاری داشتند. ساختار مدل‌های مذکور به شرح زیر است (Isaaks and Srivastava, 1989).

مدل کروی سمی واریوگرام به صورت:

$$Y(h) = C_o + C_s \left\{ \left( \frac{3h}{2r} \right) - \left( \frac{h^3}{2r^3} \right) \right\} \quad h \leq r$$

$$= C_o + C_s \quad h > r$$

$$= 0 \quad h = 0$$

مدل نمایی سمی واریوگرام به صورت:

$$Y(h) = C_o + C_s \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-h}{r}\right) \right\} \quad h \leq r$$

$$= C_o + C_s \quad h > r$$

$$= 0 \quad h = 0$$

در مدل‌های فوق:

C<sub>o</sub>: واریانس قطعه‌ای، C<sub>s</sub>: واریانس ساختاری، x: دامنه تأثیر، h: فاصله جداسازی (فاصله نمونه‌برداری یا اندازه شبکه) پارامترهای حاصل از برازش مدل‌های فوق برای تخمین تراکم علف هرز در نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده شد. کریجینگ متداول‌ترین روش آماری تخمین و برآورد متغیر مکانی به عنوان یک تابع خطی از مجموع مشاهدات توزیع شده

نیز سمی واریوگرام می‌باشد. از نقطه نظر تئوریک، واریوگرام عبارت از نصف واریانس تفاوت بین مقادیر متغیر مورد نظر که در فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند. از آنجایی که در عمل تنها تعداد محدودی نمونه در دسترس است لذا می‌بایستی واریوگرام تجربی محاسبه شود. نمایش معمول واریوگرام از طریق ترسیم نمودار واریانس توزیع اختلافها بر حسب فاصله صورت می‌گیرد. بدین ترتیب براساس نمونه‌های موجود مقدار تجربی این معادله بدست آمده و سپس مدل بر حسب این مقادیر تجربی برازش داده می‌شود (Isaaks and Srivastava, 1989).

از پارامترهای مدل جهت تخمین تراکم علف هرز، زیست‌توده علف هرز، عملکرد گندم و سایر صفات اندازه‌گیری شده گندم در نقاط نمونه‌برداری نشده در کریجینگ استفاده شد. این پارامترها عبارت بودند از: حد آستانه (C<sub>o</sub>+C) یا (مجلنب<sup>۱</sup>: A)، با افزایش یافتن فاصله h مقدار واریوگرام‌ها به تدریج تا فاصله معینی زیاد شده و از آن به بعد به حد ثابتی می‌رسد و در چنین شرایطی تابع مورد نظر، فاقد هرگونه صعود و یا نزول مشخصی است که نشانگر حدآستانه است و برای پیش‌بینی دامنه تأثیر مورد استفاده قرار گرفت. دامنه تأثیر<sup>۲</sup> (A<sub>0</sub>)، فاصله‌ای است که در آن واریوگرام به حداکثر مقدار خود رسیده و ثابت می‌شود. وقتی واریوگرام ثابت می‌شود نشان‌دهنده این است که داده‌ها در ورای این فاصله دیگر با هم همبستگی ندارند و از یکدیگر مستقل می‌شوند، خصوصیت مورد نظر در آن فاصله دارای همبستگی است. عرض از مبدأ<sup>۳</sup> (I) یا اثر قطعه‌ای (C<sub>o</sub>)، مقداری است که در اثر تغییرات غیر قابل پیش‌بینی یا خطاهای ذاتی نمونه‌برداری حادث می‌شود. به این معنا که مشاهدات جدا شده به وسیله فواصل بی‌نهایت کوچک مشابه نیستند. هرچه عرض از مبدأ به سمت صفر میل کند از تصادفی بودن توزیع متغیر مورد نظر کاسته شده و همبستگی مکانی قوی‌تری پدیدار می‌شود. زمانی که مقدار اثر قطعه‌ای از صفر افزایش پیدا می‌کند، نشان‌دهنده این است که عوامل تصادفی غیر قابل پیش‌بینی وجود دارند. در واقع تفاوت بین حد آستانه و عرض از مبدأ نشان‌دهنده مقدار واریانس است که بوسیله فواصل بین نقاط نمونه‌برداری شده توصیف می‌شود. این مقدار هنگامی که به عنوان درصدی از حدآستانه بیان شود

<sup>3</sup> Intercept

<sup>1</sup> Asymptote  
<sup>2</sup> Range

سمی‌واريوگرام‌ها، برازش دادن مدل و برآورد کریجینگ با استفاده از نرم‌افزار Variowin انجام شد (Pannatier, 1997). بدین‌صورت همبستگی مکانی بین جفت متغیرهای مختلف مانند عملکرد گندم با علف هرز محاسبه شد.

خطای معیار<sup>۱</sup> با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Pourkarimi, 2017).

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

که در آن، SE: خطای استاندارد، SD: انحراف معیار<sup>۲</sup> و n: تعداد نمونه می‌باشد.

اعتبارسنجی مدل واریوگرام نیز با محاسبه ریشه میانگین مربع خطا<sup>۳</sup> (RMSE) انجام شد (رابطه ۵).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_p(h_i) - Z_o(h_i))^2}{n}} \quad (5)$$

در این معادله  $Z_p(h_i)$  مقدار پیش‌بینی شده متغیر در نقطه  $h_i$  و  $Z_o(h_i)$  مقدار اندازه‌گیری شده در همان نقطه و n تعداد مشاهدات می‌باشد. RMSE انحراف معیار خطای پیش‌بینی است و دارای واحدی مشابه واحد متغیر مورد بررسی می‌باشد. کوچک بودن این شاخص، معیاری برای بالا بودن دقت مدل برازش داده شده برای پیش‌بینی نقاط مجهول است، به طوری که هر چه RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد نمایانگر خطای کمتر مدل می‌باشد (Moradi Kalbolandi, 2020).

هم‌چنین برآورد ضرایب همبستگی (پیرسون) بین صفات مورد بررسی نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### توزیع مکانی علف هرز سلمه‌تره

نتایج نشان داد میانگین تراکم و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره به ترتیب برابر با ۲/۴۲ و ۱۶/۱۱ گرم در مترمربع بود. هم‌چنین نتایج حاکی از آن بود که ۷۴ درصد نقاط نمونه‌برداری عاری از علف هرز سلمه‌تره بود (جدول ۱).

در مطالعه‌ای که با هدف بررسی همبستگی توزیع مکانی رشد و عملکرد گندم زمستانه با علف‌های هرز انجام شد، نتایج نشان داد ۴۰/۹ درصد نقاط عاری از علف هرز سلمه‌تره بود (Moradi Kalbolandi et al., 2020). در پژوهش دیگری که

واقع در همسایگی نقطه‌ای که می‌خواهیم تخمین بزنیم شناخته می‌شود. هدف از کریجینگ یافتن وزن‌های آماری به گونه‌ای است که واریانس تخمین حداقل گردد. کریجینگ را می‌توان روشی دانست که طی آن به مجموعه نمونه‌ها به گونه‌ای وزن آماری داده می‌شود که ترکیب خطی آن‌ها نه تنها ناریب شود بلکه در بین سایر تخمین‌گرها حداقل واریانس را داشته باشد. دستگاه معادلات کریجینگ را می‌توان به منظور برآورد نقطه‌ای و یا برآورد قطعه‌ای انجام داد (Isaaks and Srivastava, 1989; Mohammadi, 2002).

در این بررسی برآورد آماری برای بلوک‌های دارای ابعاد ۲×۲ صورت گرفت. بخش عمده ویژگی‌های آماری، نرمال کردن داده‌ها، تبدیل برگشت (پس از برآورد آماری، نتایج از حالت لگاریتمی به حالت اولیه برگشت داده شد و سپس نقشه‌ها ترسیم شدند)، رسم واریوگرام‌های تجربی، برازش مدل، برآورد کریجینگ و رسم نقشه‌ها برای صفات مختلف از قبیل جمعیت گیاهچه علف‌های هرز، بیوماس هوایی علف‌های هرز و صفات مختلف گندم با استفاده از نرم‌افزار GS+ انجام شد.

جهت توصیف همبستگی مکانی بین دو متغیر (مانند جمعیت علف هرز و عملکرد گندم) از سمی‌واريوگرام متقاطع (کراس سمی‌واريوگرام) (رابطه ۳) استفاده شد (Colbach et al., 2000b).

(۳)

$$\gamma_{AB}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [ZA(X_i) - ZA(X_i + h) \times ZB(X_i) - ZB(X_i + h)]$$

که در آن  $AB(h)$ : کراس سمی‌واريوگرام برای مکان‌های نمونه‌برداری است که به فاصله  $h$  از یکدیگر واقع شده است.  $ZA(x_i)$  و  $ZB(x_i)$  به ترتیب مقدار دو متغیر (مثلاً تراکم جمعیت علف هرز و عملکرد گندم) در نقاط  $X$  و  $X+h$  می‌باشد. بدین ترتیب براساس نمونه‌های موجود مقدار تجربی این معادله بدست آمده و سپس مدلی را با این مقادیر تجربی وفق دادیم. جهت برازش دادن مدل‌ها و ترسیم کراس سمی‌واريوگرام‌ها، ابتدا داده‌ها نرمال شد. بطوری‌که پس از افزودن یک به تمامی داده‌ها از آن‌ها لگاریتم طبیعی گرفته شد. رسم کراس

<sup>3</sup> Root Mean Square Error

<sup>1</sup> Standard Error

<sup>2</sup> Standard Deviation

مدیریت متناسب با مکان را در هر مزرعه مشخص نماید (Makarjian, 2008). با توجه به اینکه بخش‌های وسیعی از مزرعه گندم فاقد علف هرز سلمه‌تره بود، بنابراین پتانسیل کاربرد لکه‌ای علف‌کش در این مزرعه وجود دارد. در واقع، وجود نقاط عاری از علف هرز یا با تراکم پایین علف هرز در مزرعه، امکان به کارگیری مدیریت متناسب با مکان و کاهش علف‌کش‌های مصرفی را فراهم می‌کند.

به منظور بررسی توزیع مکانی علف‌های هرز و تأثیر آن بر زیست‌توده گندم انجام شد، نتایج نشان داد حدود ۳۷/۱۹ درصد از کل سطح مزرعه در نمونه‌برداری اول و ۱۸/۱۸ درصد در نمونه‌برداری دوم عاری از هر گونه علف هرز بود (Makarjian and Hosseini, 2011). تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در هر مزرعه بسته به گونه علف هرز و سوابق مدیریتی مزرعه تغییر می‌کند، اما درصد نقاط فاقد علف هرز می‌تواند پتانسیل کاربرد

جدول ۱- خلاصه آماری داده‌های جمعیت و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره، عملکرد و اجزاء عملکرد گندم

Table 1- Statistical summary of population and biomass of *Chenopodium album*, yield and yield components of *Triticum aestivum*

علف هرز/گندم Weed/Wheat	صفات Traits	واحد Unit	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	خطای استاندارد Standard error	ضریب تغییرات CV (%)	نقاط عاری از علف هرز Weed free points (%)
سلمه‌تره <i>Chenopodium album</i>	تراکم Density	Number/m <sup>2</sup>	0	12.0	2.42	4.22	0.413	174.3	74.0
	زیست‌توده Biomass	g/m <sup>2</sup>	0	88.0	16.11	28.09	2.754	174.3	74.0
گندم <i>Triticum aestivum</i>	وزن هزاردانه 1000-grain weight	g	25.1	35.8	31.04	3.52	0.345	11.3	-
	تعداد سنبله در مترمربع Spike number	-	270	356	323.54	22.64	2.220	6.9	-
	تعداد دانه در سنبله Grain number	-	32.3	42.9	38.3	2.37	0.232	6.1	-
	عملکرد دانه Grain yield	g/m <sup>2</sup>	249	412	355.51	40.65	3.986	11.4	-

توزیع لکه‌ای بود، به طوری که به ترتیب همبستگی مکانی ۶۴/۷ و ۵۰/۰ درصد برای الگوهای پراکنش جمعیت و زیست‌توده این علف هرز در سطح مزرعه توسط مدل‌های سمی‌واریوگرام بدست آمد (جدول ۲).

همبستگی مکانی برای تراکم و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره با استفاده از تجزیه و تحلیل سمی‌واریوگرام‌ها محاسبه شد. واریوگرام‌های مورد مطالعه با مدل نمایی سازگاری داشتند. برازش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که جمعیت و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره در سطح مزرعه دارای الگوی

جدول ۲- ضرایب مدل‌های برازش داده شده بر سمی‌واریوگرام‌های تجربی برای داده‌های تراکم و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره

Table 2- Coefficients of fitted models on empirical semivariograms for density and biomass of *Chenopodium album*

صفات Traits	مدل سمی‌واریوگرام Semi-variogram model	عرض از مبدا Nugget	مجانب Sill + Nugget	دامنه تأثیر Range (m)	همبستگی Autocorrelation (%)	کلاس مکانی Spatial class	r <sup>2</sup>	RMSE
تراکم Density	نمایی Exponential	0.401	1.136	3.68	64.7	متوسط Moderate	0.902	4.12
زیست‌توده Biomass	نمایی Exponential	2.318	4.637	20.42	50.0	متوسط Moderate	0.620	30.47

در پژوهشی که به منظور بررسی ارتباط مکانی رشد و عملکرد گندم با علف‌های هرز انجام شد، گونه‌های هفت‌بند و سلمه‌تره که گونه‌های غالب بودند الگوی توزیع لکه‌ای قوی نشان دادند (Moradi Kalbolandi *et al.*, 2020). نتایج بررسی تأثیر تناوب زراعی بر تنوع و پراکنش مکانی جوامع بانک بذر و گیاهچه علف‌های هرز و فون بندپایان، نشان داد سمی‌واريوگرام‌های برازش شده بر جمعیت علف هرز سلمه در مچن با مدل کروی و در جلگه رخ با مدل نمایی مطابقت داشت. دامنه تأثیر به دست آمده برای این علف هرز در مچن ۱۶/۶ متر و در جلگه رخ ۸/۱ متر بود (Fakoor Sharghi, 2013). در پژوهش دیگری که به منظور بررسی رابطه مکانی بین بانک بذر، جمعیت علف هرز و الگوی پراکنش آن در طول فصل زراعی در مزرعه چغندرقد انجام گردید نتایج نشان داد همبستگی مکانی قوی برای بذر و گیاهچه‌های سلمه‌تره در تمامی مراحل نمونه‌برداری به ثبت رسید (Roham *et al.*, 2013).

بر اساس مدل‌های برازش داده شده، دامنه تأثیر برای تراکم و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره به ترتیب برابر با ۳/۶۸ و ۲۰/۴۲ متر بود. دامنه تأثیر کم، نشان‌دهنده تغییرات اندک زیست‌توده و جمعیت علف هرز در سطح مزرعه در این پژوهش می‌باشد (جدول ۲). به نظر می‌رسد با توجه به اینکه بذر علف هرز سلمه‌تره مکانیسم مشخصی برای پراکنش ندارند، بنابراین بذر این علف هرز قابلیت پراکنش گسترده را نداشته و غالباً به صورت لکه‌های فشرده و کوچک در مزرعه دیده می‌شوند. مقدار دامنه تأثیر کوتاه به دست آمده در این پژوهش (جدول ۲)، مکانیسم محدودیت جابجایی بذر این علف هرز را تأیید می‌کند. در پژوهشی که به منظور ارزیابی تغییرات مکانی علف‌های هرز در مزرعه چغندرقد در مشهد انجام شد، دامنه تأثیر سلمه‌تره در نوبت اول، دوم و سوم نمونه برداری به ترتیب ۱۶/۹ متر، ۳/۵ متر و ۱۰/۳ متر گزارش گردید (Siah-Marguee *et al.*, 2006). پژوهش‌گران گزارش دادند دامنه سلمه‌تره در طول فصل رشد از گونه‌های دیگر کمتر بود که علت آن را می‌توان به مکانیسم پراکنش بذرهای آن نسبت داد که بذرهای آن بیشتر در مجاورت بوته مادری قرار می‌گیرد (Roham, 2010). از آنجا که سلمه یک علف هرز یک‌ساله بوده و تنها مکانیسم پراکنش بذرهای آن، انتقال توسط ماشین‌آلات کشاورزی است، بذرهای آن بیشتر در مجاورت گیاه مادری قرار می‌گیرد. از این‌رو سلمه به صورت لکه‌های کوچک در سطح مزرعه دیده می‌شود. به نظر می‌رسد کوچک‌تر کردن اندازه فواصل نمونه‌برداری، فهم بهتری از پویایی مکانی و زمانی جمعیت سلمه فراهم می‌کند (Siah-Marguee *et al.*, 2006).

جدول ۳- ضرایب مدل‌های برازش داده شده بر سمی‌واريوگرام‌های تجربی برای داده‌های عملکرد و اجزاء عملکرد گندم

صفات	مدل	عرض از	مجانب	دامنه	همبستگی	کلاس	r <sup>2</sup>	RMSE
Traits	سمی‌واريوگرام	مبدأ	Sill +	تأثیر	Autocorrelation	مکانی		
	Semi-variogram	Nugget	Nugget	Range	(%)	Spatial		
	model			(m)		class		
وزن هزاردانه	نمایی	0.00238	0.01336	3.04	82.1	قوی	0.853	2.90
1000-grain weight	Exponential					Strong		
تعداد سنبله در مترمربع	کروی	0.00254	0.00592	14.92	57.0	متوسط	0.909	19.11
Spike number	Spherical					Moderate		
تعداد دانه در سنبله	نمایی	0.003096	0.006202	51.0	50.0	متوسط	0.249	2.38
Grain number	Exponential					Moderate		
عملکرد دانه	نمایی	0.01099	0.02208	33.55	50.2	متوسط	0.541	38.24
Grain yield	Exponential					Moderate		

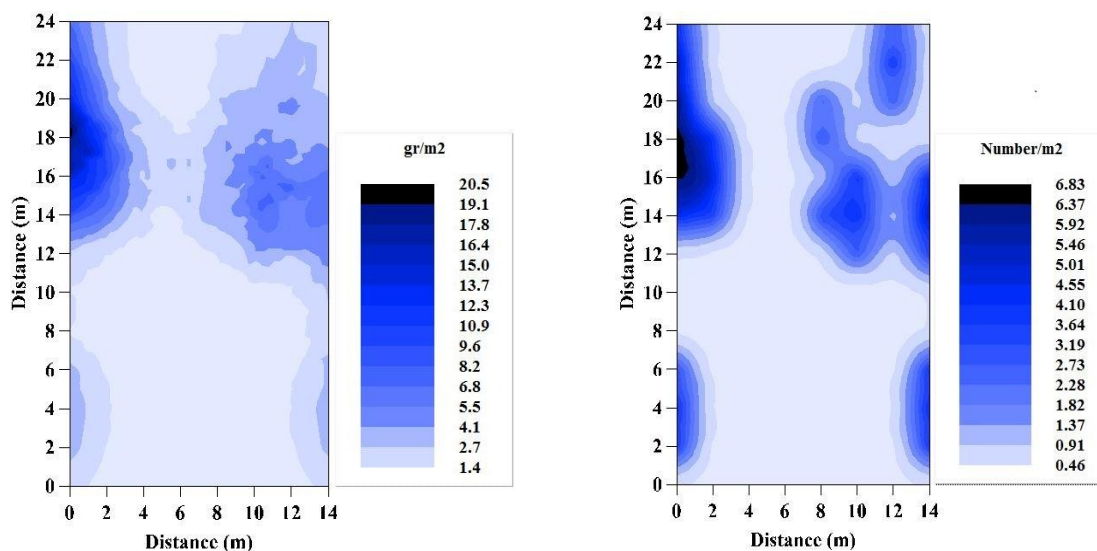
ناهمگون و تجمعی این علف هرز در این شکل‌ها به خوبی مشهود است. نقشه‌های درون‌یابی شده به وسیله کریجینگ نشان داد که

در پژوهشی که به منظور بررسی ارتباط مکانی رشد و عملکرد گندم با علف‌های هرز انجام شد، گونه‌های هفت‌بند و سلمه‌تره که گونه‌های غالب بودند الگوی توزیع لکه‌ای قوی نشان دادند (Moradi Kalbolandi *et al.*, 2020). نتایج بررسی تأثیر تناوب زراعی بر تنوع و پراکنش مکانی جوامع بانک بذر و گیاهچه علف‌های هرز و فون بندپایان، نشان داد سمی‌واريوگرام‌های برازش شده بر جمعیت علف هرز سلمه در مچن با مدل کروی و در جلگه رخ با مدل نمایی مطابقت داشت. دامنه تأثیر به دست آمده برای این علف هرز در مچن ۱۶/۶ متر و در جلگه رخ ۸/۱ متر بود (Fakoor Sharghi, 2013). در پژوهش دیگری که به منظور بررسی رابطه مکانی بین بانک بذر، جمعیت علف هرز و الگوی پراکنش آن در طول فصل زراعی در مزرعه چغندرقد انجام گردید نتایج نشان داد همبستگی مکانی قوی برای بذر و گیاهچه‌های سلمه‌تره در تمامی مراحل نمونه‌برداری به ثبت رسید (Roham *et al.*, 2013).

بر اساس مدل‌های برازش داده شده، دامنه تأثیر برای تراکم و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره به ترتیب برابر با ۳/۶۸ و ۲۰/۴۲ متر بود. دامنه تأثیر کم، نشان‌دهنده تغییرات اندک زیست‌توده و جمعیت علف هرز در سطح مزرعه در این پژوهش می‌باشد (جدول ۲). به نظر می‌رسد با توجه به اینکه بذر علف هرز سلمه‌تره مکانیسم مشخصی برای پراکنش ندارند، بنابراین بذر این علف هرز غالباً به صورت لکه‌های فشرده و کوچک در مزرعه دیده می‌شوند. مقدار دامنه تأثیر کوتاه به دست آمده در این پژوهش (جدول ۲)، مکانیسم محدودیت جابجایی بذر این علف هرز را تأیید می‌کند. در پژوهشی که به منظور ارزیابی تغییرات مکانی علف‌های هرز در مزرعه چغندرقد در مشهد انجام شد، دامنه تأثیر سلمه‌تره در نوبت اول، دوم و سوم نمونه برداری به ترتیب ۱۶/۹ متر، ۳/۵ متر و ۱۰/۳ متر گزارش گردید (Siah-Marguee *et al.*, 2006). پژوهش‌گران گزارش دادند دامنه سلمه‌تره در طول فصل رشد از گونه‌های دیگر کمتر بود که علت آن را می‌توان به مکانیسم پراکنش بذرهای آن نسبت داد که بذرهای آن بیشتر در مجاورت گیاه مادری قرار می‌گیرد (Roham, 2010). از آنجا که سلمه یک علف هرز یک‌ساله بوده و تنها مکانیسم پراکنش بذرهای آن، انتقال توسط ماشین‌آلات کشاورزی است، بذرهای آن بیشتر در مجاورت گیاه مادری قرار می‌گیرد. از این‌رو سلمه به صورت لکه‌های کوچک در سطح مزرعه دیده می‌شود. به نظر می‌رسد کوچک‌تر کردن اندازه فواصل نمونه‌برداری، فهم بهتری از پویایی مکانی و زمانی جمعیت سلمه فراهم می‌کند (Siah-Marguee *et al.*, 2006).

نقشه‌های توزیع مکانی جمعیت و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره در مزرعه به طور مجزا ترسیم شد (شکل ۱). توزیع

کوچک‌تر نیز در مزرعه وجود دارد. نقشه‌ها حاکی از آن است که لکه‌های علف هرز سلمه‌تره غالباً به صورت بیضی شکل هستند، به طوری که دامنه این لکه‌ها در جهت تردد ادوات و ماشین‌آلات و در جهت ردیف کشت، کشیدگی بیشتری دارد (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه‌های توزیع تراکم (راست) و زیست‌توده (چپ) علف هرز سلمه‌تره در مزرعه گندم

Figure 1- Kriged maps of density (right) and biomass (left) of *Chenopodium album* in wheat field

برازش داده شده بر داده‌های عملکرد گندم همبستگی مکانی ۸۱ درصد برای توزیع عملکرد در سطح مزرعه نشان داد (Moradi Kalbolandi, 2020). در پژوهشی که بر روی گندم انجام شد، نتایج حاصل از برازش مدل‌های سمی واریوگرام و نیز ترسیم نقشه نشان داد که تغییرات وزن زیست‌توده گندم در سطح مزرعه، دارای الگوی توزیع لکه‌ای بود. به طوری که همبستگی مکانی نسبتاً قوی (۷۴/۳ درصد) برای توزیع وزن زیست‌توده گندم به دست آمد (Makarjian and Hosseini, 2011). در پژوهش دیگری که در خصوص گیاه زعفران انجام شد، نتایج نشان داد که تغییرات وزن خشک زیست‌توده زعفران در سطح مزارع، دارای الگوی توزیع لکه‌ای بود. به طوری که همبستگی مکانی قوی (۹۱/۹-۸۰/۵ درصد) و متوسط تا قوی (۹۲/۵-۵۱/۱ درصد) به ترتیب در سال اول و دوم بسته به مزرعه به دست آمد (Makarjian and Abbaskht, 2014).

نتایج نشان داد سمی واریوگرام برازش داده شده برای وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه با مدل نمایی و

بخش زیادی از مزرعه دارای تراکم لندکی از این علف هرز بود یا این‌حال، لکه‌های کوچک و بزرگی از علف هرز در سطح مزرعه به چشم می‌خورد (شکل ۱). همان‌طور که در نقشه توزیع علف هرز سلمه‌تره مشاهده می‌شود یک لکه بزرگ که بخش عمده آلودگی در مزرعه را به خود اختصاص داده و هم‌چنین چند لکه

در همین راستا، پژوهش‌گران گزارش دادند بوته‌های سلمه‌تره در مزرعه چغندر قند به صورت دو لکه تقریباً موازی هم قرار داشتند. دامنه تأثیر سلمه‌تره معادل ۶/۲ و اثر قطعه‌ای معادل ۰/۲۳۸ و دارای همبستگی مکانی قوی بود و در محدوده ای معادل ۶۵/۷۱ درصد مزرعه پراکنش یافته بود (Alimoradi, 2010).

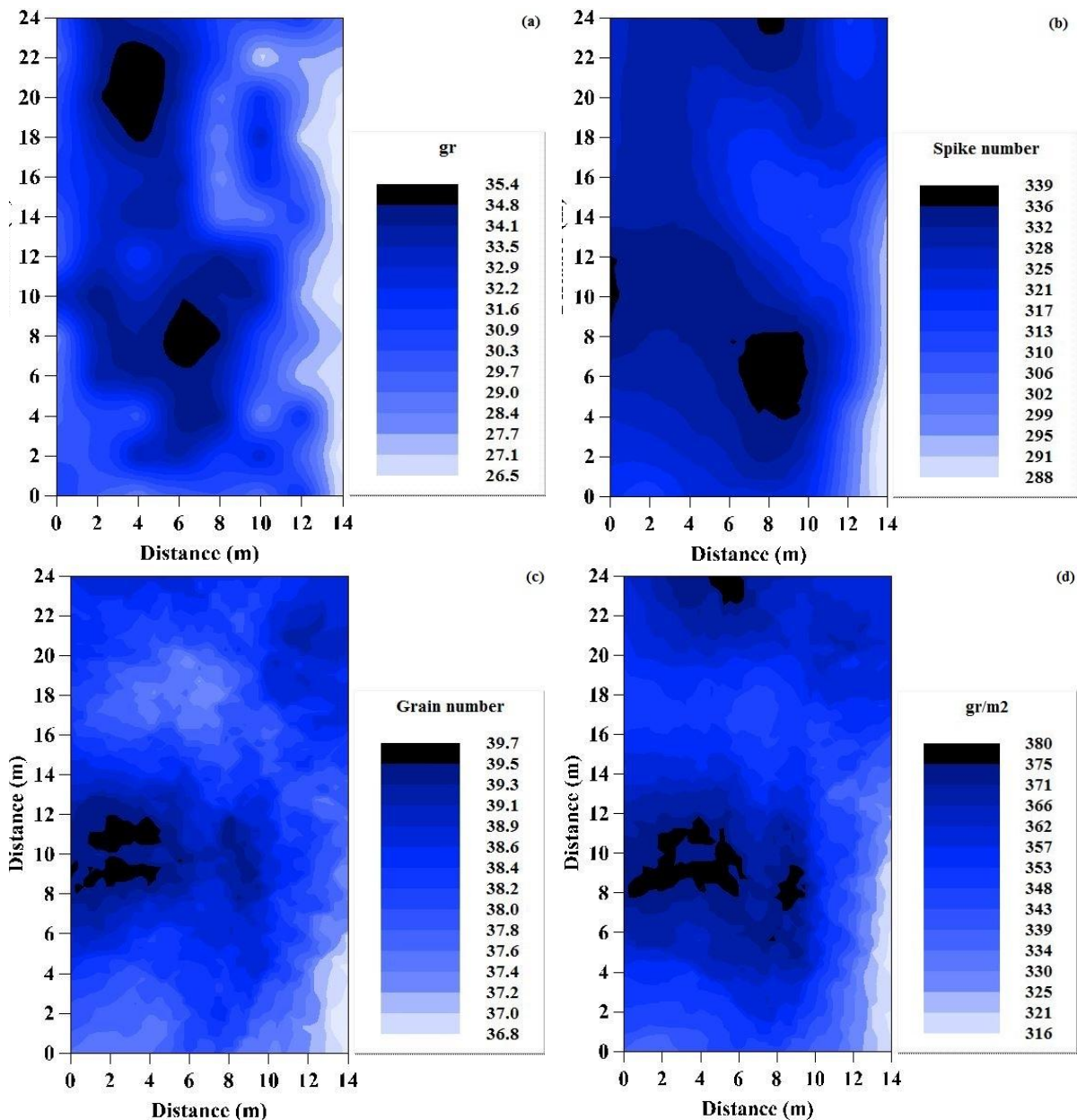
### توزیع مکانی عملکرد و اجزاء عملکرد گندم

نتایج آنالیز سمی واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه در سطح مزرعه دارای توزیع ناهمگون بود، به طوری که در بعضی نقاط عملکرد دانه بالا و در بعضی نقاط عملکرد دانه اندک بود. همبستگی مکانی متوسط ۵۰/۲ درصد نیز گویای توزیع لکه‌ای عملکرد دانه در سطح مزرعه بود. دامنه تأثیر ۳۳/۵۵ متر نیز نشان‌دهنده لکه‌های نسبتاً بزرگ بود که در سطح مزرعه وجود داشتند (جدول ۳ و شکل ۲).

در پژوهشی، نتایج نشان داد که عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه دارای توزیع لکه‌ای بود، به طوری که مدل سمی واریوگرام

تعداد سنبله در مترمربع به ترتیب برابر با  $3/04$  و  $14/92$  متر بود. دامنه تأثیر برای توزیع صفت تعداد دانه در سنبله حدود ۵۱ متر به دست آمد که نشان‌دهنده وجود لکه‌های پیوسته نسبتاً بزرگ می‌باشد (جدول ۳ و شکل ۲). نقشه‌های حاصل از درون‌یابی با کریجینگ، به‌خوبی وضعیت پراکنش عملکرد و اجزاء عملکرد گندم در سطح مزرعه را نشان می‌دهد. توزیع ناهمگون عملکرد و اجزای عملکرد در این شکل‌ها به خوبی مشهود است (شکل ۲).

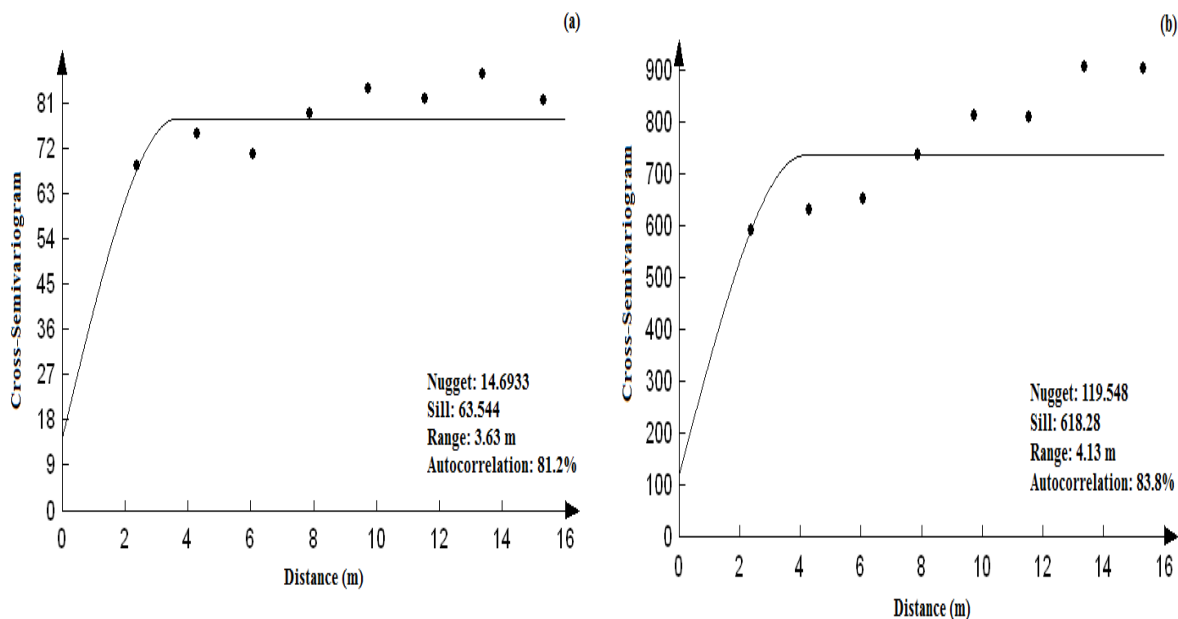
برای تعداد سنبله در مترمربع با مدل کروی مطابقت داشت (جدول ۳). اجزای سمی‌واریوگرام‌ها به‌منظور بررسی همبستگی مکانی مورد استفاده قرار گرفتند و همبستگی مکانی متوسط به میزان  $57/0$  و  $50/0$  درصد به ترتیب برای تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله مشاهده شد. عرض از مبدأ پایین‌تر وزن هزاردانه ( $0/0238$ ) نسبت به اجزای دیگر عملکرد، مؤید همبستگی مکانی قوی‌تر ( $82/1$  درصد) این صفت است (جدول ۳). دامنه تأثیر به دست آمده برای وزن هزاردانه و



شکل ۲- نقشه‌های توزیع وزن هزاردانه (a)، تعداد سنبله در مترمربع (b)، تعداد دانه در سنبله (c) و عملکرد دانه (d) گندم

Figure 2- Kriged maps of 1000-grain weight (a), number of spike (b), grain number per spike (c) and grain yield (d) of wheat

که از عملکرد دلنه پایینی برخوردار بود با نقاط دارای تعداد دلنه در سنبله کم مطابقت داشت (شکل ۲). از آنجا که با افزایش تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه گندم نیز افزایش می‌یابد؛ لذا می‌توان انتظار داشت که روی نقشه‌ها نیز تشابه مکانی بین این دو متغیر وجود داشته باشد (شکل ۲).



شکل ۳- برازش مدل‌های کرووی کراس سمی‌واریوگرام بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله (a) و عملکرد دانه و تعداد سنبله در مترمربع (b)

Figure 3- Fitting cross-semivariograms models between grain yield and grain number per spike (a) and grain yield and number of spike (b)

روی عملکرد دلنه مهم‌تر به نظر می‌رسد (Navabpour and Kazemi, 2013).

نتایج برازش مدل کراس واریوگرام نشان داد که همبستگی مکانی قوی  $83/8$  درصدی در دامنه تأثیر  $4/13$  متر بین الگوهای توزیع مکانی دو متغیر عملکرد دانه و تعداد سنبله در مترمربع وجود داشت (شکل ۳). نقشه‌ها نشان می‌دهد که لکه‌هایی با عملکرد دانه بالا با لکه‌های دارای تعداد سنبله بیشتر از نظر مکانی مطابقت داشتند (شکل ۲). با توجه به رابطه مثبت تعداد سنبله و عملکرد دانه گندم (جدول ۴)، می‌توان گفت در هر نقطه از مزرعه که وضعیت تعداد سنبله گندم مطلوب باشد میزان عملکرد نیز افزایش نشان می‌دهد (شکل ۲). در پژوهشی، نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که تعداد سنبله در واحد سطح بیشترین تأثیر را در بین اجزای عملکرد بر عملکرد نهایی گندم داشت (Baygi et al., 2017). در پژوهشی که با هدف بررسی

### همبستگی مکانی بین عملکرد دانه با اجزاء عملکرد

نتایج نشان داد که همبستگی مکانی قوی ( $81/2$  درصد) تا دامنه تأثیر  $3/63$  متر بین الگوهای توزیع تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه بوسیله برازش مدل کرووی کراس واریوگرام بدست آمد (شکل ۳). مقایسه نقشه‌های حاصل از درون‌یابی بوسیله کریجینگ نشان داد برخی از نقاط مزرعه

در پژوهشی، در بررسی همبستگی بین عملکرد دانه و اجزای آن نشان داده شد که بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت (Tavakoli et al., 2015). نتایج پژوهش دیگری حاکی از آن بود که تعداد دانه در سنبله با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری ( $r=0/79^{**}$ ) نشان داد (Maleki et al., 2012). در پژوهشی که با هدف بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر بقایای گیاهی، منابع نیتروژن و علف‌های هرز انجام شد، محققین گزارش دادند همبستگی بسیار معنی‌داری بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله مشاهده شد (Sohrabi et al., 2016). تعداد دانه در سنبله در گندم در محدوده وسیع‌تری از نظر زمانی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که هر عامل محدودکننده از شروع جوانه‌زنی تا مرحله گرده‌افشانی ممکن است موجب کاهش تعداد دانه شود؛ بنابراین تأثیر آن

نتایج حاصل از برآورد ضرایب همبستگی صفات حاکی از آن بود که وزن هزاردانه، همبستگی منفی و غیرمعنی‌داری ( $-0.08^{ns}$ ) با تعداد دانه در سنبله نشان داد (جدول ۴). در همین راستا، در پژوهشی که به منظور بررسی رابطه عملکرد با اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم انجام شد، همبستگی بین عملکرد دانه با صفات تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه مثبت و معنی‌دار بود و رابطه بین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه منفی و معنی‌دار بود (Neyestani et al., 2020). پژوهش‌گران گزارش دادند بین وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله همبستگی منفی وجود داشت که علت آن حالت جبرانی بین اجزای عملکرد بود، بدین مفهوم که با افزایش یک جزء عملکرد، اجزای دیگر عملکرد تا حدودی کاهش می‌یابند (Baygi et al., 2017). پژوهش‌گران با بررسی توانایی و تحمل رقابت ارقام گندم در حضور علف هرز خردل وحشی، گزارش دادند که وزن هزار دانه همبستگی منفی و معنی‌داری با تعداد دانه در سنبله و همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد کاهش وزن خشک خردل وحشی داشت (Abdollahi and MohammaddoustChamanabad, 2017). افزایش تعداد دانه در سنبله و ایجاد مخازن فتوسنتزی متعدد از یک طرف و محدودیت در تأمین مواد فتوسنتزی از طرف دیگر ممکن است از دلایل کاهش وزن دانه در اثر افزایش تعداد دانه در سنبله باشد (Askarinia et al., 2008).

اثر کم‌آبیری و تراکم یولاف وحشی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم انجام شد، محققین گزارش دادند تعداد سنبله در واحد سطح همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد داشت. وجود همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد، نشان‌دهنده اهمیت این عامل در تعیین میزان عملکرد می‌باشد (Barjasteh et al., 2019).

برآورد ضرایب همبستگی پیرسون نشان داد عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد سنبله در مترمربع ( $0.84^{**}$ ) و تعداد دانه در سنبله ( $0.82^{**}$ ) نشان داد. این در حالی بود که همبستگی بین عملکرد دانه و وزن هزاردانه در سطح احتمال پنج درصد ( $0.24^{**}$ ) معنی‌دار گردید (جدول ۴). با توجه به همبستگی مثبت و بالایی که بین عملکرد دانه با تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله مشاهده شد، به نظر می‌رسد یکی از دلایل احتمالی کاهش عملکرد گندم در اثر تداخل با علف هرز، ناشی از کاهش در این دو جزء از اجزای عملکرد باشد. در همین راستا، در مطالعه‌ای که با هدف بررسی اثر تاریخ کاشت بر ارقام گندم در شرایط رقابت با یولاف وحشی انجام شد، محققین گزارش دادند عملکرد دانه همبستگی بالایی با تعداد دانه در سنبله ( $0.81^{**}$ ) و نسبتاً خوب با وزن هزاردانه ( $0.59^{**}$ ) داشت (Asadnezhad et al., 2017). نتایج پژوهش دیگری نیز نشان داد وزن هزار دانه و تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله همبستگی بسیار معنی‌داری با عملکرد دانه داشت (Maleki et al., 2011).

جدول ۴- ضرایب همبستگی پیرسون برای تراکم و زیست توده علف هرز سلمه‌تره، عملکرد و اجزاء عملکرد گندم

Table 4- Pearson correlation coefficients for density and biomass of *Chenopodium album*, yield and yield components of *Triticum aestivum*

	1	2	3	4	5	6
تراکم سلمه‌تره	1					
1- <i>Chenopodium album</i> density						
زیست توده سلمه‌تره	0.97**	1				
2- <i>Chenopodium album</i> biomass						
وزن هزاردانه	-0.35**	-0.31**	1			
3- Thousand grain weight						
تعداد سنبله در مترمربع	-0.52**	-0.43**	0.29**	1		
4- Spike number						
تعداد دانه در سنبله	-0.29**	-0.24*	-0.08 <sup>ns</sup>	0.63**	1	
5- Grain number						
عملکرد دانه	-0.51**	-0.45**	0.24*	0.84**	0.82**	1
6- Grain yield						

\*\* و \* به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و <sup>ns</sup> عدم معنی‌داری می‌باشد.

\*\* and \*, correlation is significant at the 0.01 and 0.05 level respectively and <sup>ns</sup>: Non-significant.

عملکرد گندم تحت تأثیر بقایای گیاهی، منابع نیتروژن و علف‌های هرز انجام شد، محققین اظهار داشتند عدم وجود علف هرز باعث ایجاد تعداد دانه بیشتری در سنبله (۳۲/۷) نسبت به شرایط حضور علف هرز (۲۵/۸) شد که این امر ممکن است به دلیل عدم وجود رقابت قبل از دانه‌بندی گندم باشد (Sohrabi *et al.*, 2016). نتایج برآورد ضرایب همبستگی صفات حاکی از آن بود که صفت وزن هزاردانه، همبستگی منفی و معنی‌داری با تراکم (\*\*۰/۳۵-) و زیست‌توده (\*\*۰/۳۱-) علف هرز سلمه‌تره نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد با افزایش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز، تولنایی گیاه زراعی در جذب منابع مشترک (مانند مواد مغذی، رطوبت در دسترس و نور) کاهش می‌یابد، بنابراین فتوسنتز کمتر باعث می‌شود تا مواد غذایی کمتری به بذر سرازیر شده و در نتیجه وزن دانه‌ها کاهش می‌یابد. در پژوهشی که با هدف بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر بقایای گیاهی، منابع نیتروژن و علف‌های هرز انجام شد، نتایج نشان داد اثر وجود یا عدم وجود علف هرز بر صفت وزن هزار دانه معنی‌دار بود و بیشترین (۴۱/۳ گرم) و کمترین (۳۷/۹ گرم) وزن هزار دانه به ترتیب در شرایط کنترل و عدم کنترل علف هرز مشاهده شد (Sohrabi *et al.*, 2016). اگرچه وزن هزار دانه صفته ژنتیکی است، اما تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله رقابت علف‌های هرز تغییر می‌کند (Abdollahi and MohammaddoustChamanabad, 2017). دانه‌های گیاه زراعی به عنوان مخازن مواد فتوسنتزی گیاه به شمار می‌روند هرگاه تحت تنش‌های محیطی از جمله تداخل با علف هرز قرار گیرند به دلیل کاهش جذب منابع غذایی و توسعه کمتر دستگاه فتوسنتزی گیاه منابع تأمین ذخایر بذری کاهش یافته در نتیجه سبب کاهش اندازه بذر و به تبع آن وزن هزاردانه می‌گردد (Hasanvand, 2014).

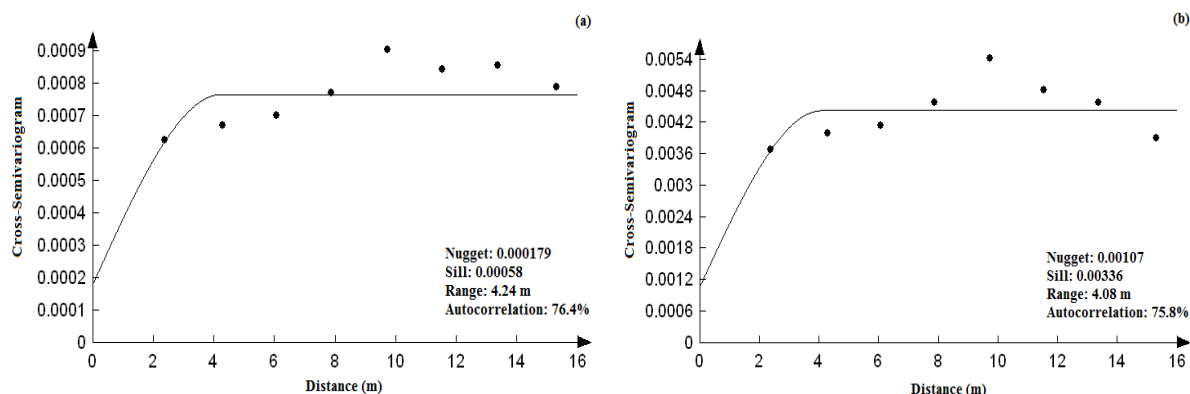
### همبستگی مکانی بین تراکم و زیست‌توده علف هرز با عملکرد دانه

نتایج حاصل از برازش مدل‌های کراس سمی‌واریوگرام بین جمعیت علف هرز سلمه‌تره با عکس عملکرد دانه گندم نشان داد که همبستگی مکانی قوی ۷۶/۴ درصدی بین الگوهای توزیع دو متغیر مذکور در دامنه تأثیر ۴/۲۴ متر وجود داشت (شکل ۴) یا به عبارتی نقاط با تراکم کم علف هرز با نقاط دارای عملکرد دانه بالای گندم در سطح مزرعه، مطابقت نسبتاً بالایی نشان دادند.

نتایج همبستگی صفات نشان داد در بین اجزاء عملکرد گندم، صفت تعداد سنبله در مترمربع بیشترین همبستگی منفی را با تراکم (\*\*۰/۵۲-) و زیست‌توده (\*\*۰/۴۳-) علف هرز سلمه‌تره دارا بود (جدول ۴). در همین راستا، در مطالعه‌ای که بر ارقام گندم صورت گرفت، محققین اظهار داشتند که در بین اجزای عملکرد، تعداد سنبله همبستگی منفی بالاتری نسبت به بقیه صفات با وزن خشک علف‌های هرز داشت که این موضوع ممکن است نتیجه تأثیر رقابت علف‌های هرز بر کاهش توان پنجه‌زنی و یا ممانعت از باروی آن‌ها در اثر تخلیه منابع رشد بویژه آب و عناصر غذایی باشد (Mozafari *et al.*, 2018). در پژوهشی که با هدف مطالعه توانایی و تحمل رقابت ارقام گندم در حضور علف هرز خردل وحشی انجام شد، بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که قدرت رقابتی ارقام گندم با تولید پنجه‌های بیشتر و در پی آن تعداد سنبله همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد کاهش وزن خشک علف هرز دارد (Abdollahi and MohammaddoustChamanabad, 2017).

در مطالعه دیگری که با هدف بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر بقایای گیاهی، منابع نیتروژن و علف‌های هرز انجام شد، محققین اظهار داشتند اختلاف بین کنترل و عدم کنترل علف هرز معنی‌دار بود و بیشترین تعداد سنبله (۲۷۰/۸) در صورت ایجاد شرایط عاری از علف هرز و کمترین تعداد سنبله در مترمربع (۲۱۰/۶) در صورت عدم کنترل علف هرز مشاهده شد (Sohrabi *et al.*, 2016).

مطابق با نتایج حاصل از برآورد ضرایب همبستگی، تعداد دانه در سنبله همبستگی منفی و معنی‌داری به میزان \*\*۰/۲۹- و \*\*۰/۲۴- به ترتیب با تراکم و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره نشان داد (جدول ۴). کاهش تعداد دانه در سنبله در اثر تداخل با علف‌های هرز را می‌توان به عقیمی گلچه‌ها، مرگ گلچه‌ها و اختلال در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه‌ها نسبت داد. در پژوهشی که با هدف مطالعه تولنایی و تحمل رقابت ۱۸ رقم گندم در حضور علف هرز خردل وحشی انجام شد، پژوهش‌گران گزارش دادند همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد دانه در سنبله و درصد کاهش وزن خشک خردل وحشی مشاهده شد (Abdollahi and MohammaddoustChamanabad, 2017). در تحقیق دیگری که با هدف بررسی عملکرد و اجزای



شکل ۴- برازش مدل‌های کراس سیمی‌واریوگرام بین داده‌های a: عکس عملکرد دانه گندم با تراکم سلمه‌تره، b: عکس عملکرد دانه گندم با زیست‌توده سلمه‌تره

Figure 4- Fitting cross-semivariograms models between a: grain yield of wheat and density of *Chenopodium album* b: grain yield of wheat and biomass of *Chenopodium album*

ارغوانی نشان داد. در سال دوم نیز واریوگرام متقاطع همبستگی منفی بین ذرت - تاج خروس ریشه قرمز و ذرت - تاج ریزی سیاه را نشان داد (Arianmehr, 2020).

مدل‌های برازش داده شده بر کراس سیمی‌واریوگرام‌ها بین زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره و عکس عملکرد دانه گندم (شکل ۴) و همچنین نقشه‌های ترسیم شده (شکل‌های ۱ و ۲)، نشان داد که الگوهای توزیع زیست‌توده علف هرز به مقدار قابل توجهی بر الگوهای تغییر عملکرد دانه گندم منطبق بودند. به طوری که تطابق مکانی بین این دو متغیر ۷۵/۸ درصد تا دامنه تأثیر ۴/۰۸ متر بود (شکل ۴). در همین راستا، در مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی اثر پراکنش مکانی علف‌های هرز بر عملکرد دانه عدس انجام شد، نقشه مربوط به وزن خشک علف‌های هرز و تطبیق آن با نقشه عملکرد دانه عدس نشان داد که در مناطقی که بیشترین وزن خشک علف‌های هرز وجود داشت، کمترین عملکرد دانه عدس نیز به دست آمد (Zargarian et al., 2020). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که تراکم علف‌های هرز با عکس عملکرد گندم دارای همبستگی ۹۱/۹۰ درصد بود. این بدان معنی است که بین تراکم علف هرز و عملکرد گیاه زراعی در سطح مزرعه یک رابطه معکوس وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی مکانی ۵۶/۲۵ درصد تا دامنه تأثیر ۶۲ متر بین زیست‌توده علف‌های هرز با عکس عملکرد دانه گندم وجود داشت (Moradi Kalbolandi, 2020).

با مقایسه نقشه‌های توزیع علف هرز و عملکرد دانه گندم، می‌توان اظهار داشت مناطقی که عملکرد گندم در آنجا کمتر بود غالباً منطبق بر مناطقی بود که تراکم و وزن خشک علف

در مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی اثر پراکنش مکانی علف‌های هرز بر عملکرد دانه عدس انجام شد، نقشه توزیع مکانی عملکرد دانه عدس و تراکم علف‌های هرز نشان داد که اکثر نقاط با تراکم بالای علف‌های هرز، منطبق بر نقاط با عملکرد محصول کمتر عدس بود (Zargarian et al., 2020). در پژوهشی که بر روی گندم انجام شد، مدل‌های برازش داده شده بر کراس سیمی‌واریوگرام‌ها بین تراکم کل گونه‌های علف هرز چیره در دو مرحله نمونه‌برداری و عکس وزن زیست‌توده خشک گندم در مترمربع و نیز نقشه‌های ترسیم شده، نشان داد که در هر دو مرحله نمونه‌برداری، الگوهای توزیع جمعیت کل علف‌های هرز به مقدار قابل توجهی بر الگوهای تغییر عملکرد زیست‌توده خشک گندم منطبق بودند. به طوری که همبستگی مکانی بین دو متغیر ذکر شده در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری به ترتیب ۸۹ و ۸۷/۴ درصد بود. این بدان معنی است که بین تراکم علف هرز و عملکرد گیاه زراعی در سطح مزرعه یک رابطه معکوس وجود دارد (Makarian and Hosseini, 2011). همبستگی مکانی قابل توجهی بین عملکرد برگ زعفران و تراکم کل علف‌های هرز توسط تجزیه تغییرنماهای متقاطع و ضریب همبستگی اسپیرمن در سطح مزارع و طی دو سال مشاهده شد (Makarian and Abbasdokht, 2014). در پژوهشی که با هدف ارزیابی اثر روش‌های مختلف مدیریت علف‌های هرز و منابع کود نیتروژن بر کنترل علف‌های هرز، خصوصیات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای و توزیع الگوی علف‌های هرز انجام شد نتایج نشان داد در سال اول آزمایش، واریوگرام متقاطع همبستگی منفی را بین عملکرد ذرت و تراکم گونه‌های تاج خروس ریشه قرمز، خرفه و اوپارسلام

هیچ همبستگی معنی‌دار مثبت یا منفی بین عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم با تراکم علف‌های هرز مشاهده نشد. برعکس، بین وزن خشک علف‌های هرز با عملکرد بیولوژیک، تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد دانه همبستگی منفی بسیار بالایی وجود داشت (Mozafari et al., 2018). در مطالعه دیگری، محاسبه ضرایب همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین تراکم کل علف‌های هرز در پایان فصل رشد و وزن برگ زعفران، همبستگی منفی  $0.78$  تا  $0.52$  درصد وجود داشت (Makarian, 2008).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد بخش‌های وسیعی از مزرعه فاقد علف هرز سلمه‌تره بود؛ بنابراین پتانسیل کاربرد لکه‌ای علف‌کش در این مزرعه وجود دارد. برآزش مدل‌های سمی‌واریوگرام نشان داد که جمعیت و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره در سطح مزرعه دارای الگوی توزیع لکه‌ای بود. لکه‌های علف هرز سلمه‌تره عمدتاً در امتداد حرکت ادوات، ردیف‌های کاشت و حرکت آب کشیدگی داشتند که نشان‌دهنده جابجایی بذور این علف هرز توسط عوامل مذکور است. با آگاهی از الگوی جهت‌دار لکه‌ها و هم‌چنین مدیریت مناسب مزرعه، می‌توان در کنترل علف‌های هرز در سال‌های زراعی آینده، به صورت مناسب‌تری عمل کرد. نتایج آنالیز سمی‌واریوگرام نشان داد که عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه دارای توزیع ناهمگون بود، به طوری که در بعضی نقاط عملکرد دانه بالا و در بعضی نقاط عملکرد دانه اندک بود. نتایج کراس سمی‌واریوگرام، برآورد ضرایب همبستگی پیرسون و هم‌چنین مقایسه نقشه‌ها، بیانگر رابطه معکوس عملکرد دانه گندم با علف هرز سلمه‌تره در مزرعه بود. در مجموع، می‌توان اظهار داشت که آرایش لکه‌ای علف‌های هرز باعث توزیع لکه‌ای وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله و در نهایت عملکرد دانه گندم در سطح مزرعه می‌گردد.

هرز در آنجا بیشترین میزان را دارا بود (شکل‌های ۱ و ۲). این نتیجه بیانگر وجود یک رابطه معکوس بین تراکم و زیست‌توده علف هرز با عملکرد گندم در سطح مزرعه بود. در همین راستا، نتایج پژوهشی نشان داد جمعیت و زیست‌توده علف‌های هرز با عملکرد بیولوژیک گندم همبستگی مکانی منفی  $0.89/75$  و  $0.50/62$  درصدی و با عملکرد دانه گندم همبستگی مکانی منفی  $0.91/9$  و  $0.25/56$  درصدی نشان داد (Moradi Kalbolandi et al., 2020). در بررسی پراکنش مکانی علف‌های هرز در مزرعه گندم، نتایج نشان داد آرایش لکه‌ای علف‌های هرز باعث توزیع لکه‌ای محتوای کلروفیل برگ، زیست‌توده گیاه زراعی و در نهایت عملکرد گیاه زراعی در سطح مزارع گردید (Ghiassi, 2013). نتایج مطالعه دیگری نشان داد وجود لکه‌های با عملکرد پایین برگ زعفران روی نقشه‌ها، با نقاط دارای تراکم بالای علف‌های هرز در نقاط مشابه، روی نقشه‌های علف‌های هرز تا حدودی منطبق بود (Makarian, 2008). تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز به بدلیل داشتن الگوی توزیع غیر یکنواخت و لکه‌ای بودن از طریق رقابت بیشتر بر سر منابع مورد نیاز با گندم در محل لکه‌ها می‌توانند ساختار ناهمگونی را برای رشد و عملکرد گندم رقم بزند (Moradi Kalbolandi, 2020).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد زمانی که ضریب همبستگی بالایی بین دو متغیر وجود داشت، کراس سمی‌واریوگرام مربوطه نیز بیانگر همبستگی مکانی بین دو متغیر بود. برآورد ضرایب همبستگی پیرسون نشان داد تراکم و زیست‌توده علف هرز سلمه‌تره، همبستگی منفی و معنی‌داری به ترتیب به میزان  $0.51$  و  $0.45$  با عملکرد دانه گندم دارا بودند (جدول ۴). در پژوهشی که با هدف مطالعه تولنایی و تحمل رقابت ارقام گندم در حضور علف هرز خردل وحشی انجام شد، پژوهش‌گران گزارش دادند رابطه مثبت و معنی‌داری بین درصد افت وزن خشک خردل وحشی و عملکرد دانه ( $r=0.62$ ) وجود داشت (Abdollahi and MohammaddoustChamanabad, 2017). در پژوهش دیگری، ضرایب همبستگی نشان داد که

### References

- Abdollahi, F. and MohammaddoustChamanabad, H.R., 2017. Competitive ability and tolerance of 18 wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). *Journal of Plant Protection*, 30(4), pp.629-638. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jpp.v30i4.50675>

- Alimoradi, L., 2010. Weed community structure in response to crop rotation and soil microclimatic conditions. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].
- Arianmehr, M., 2020. Spatial distribution of weed patches in corn (*Zea mays* L.) with agronomical, mechanical and chemical managements: an approach to precision agriculture. PhD Thesis, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].
- Asadnezhad, M., Farzaneh, M. and Meskarbashee, M., 2017. Planting date effect on yield and yield component of three wheat cultivars in competitive with wild oat. *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, 40(1), pp.55-68. [In Persian]. <https://doi.org/10.22055/ppd.2016.12431>
- Ashrafi, A., Banayan, M. and Rashed Mohasel, M.H., 2003. Spatial dynamics of weed populations in a corn field using geostatistics. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 1(2), pp.139-154. [In Persian].
- Askarina, P., Saeidi, G. and Rezai, A., 2008. Assessment genotype\*environment interaction in ten wheat cultivars with regression and path coefficient analysis. *Crop Production*, 1(1), pp.64-81. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.2008739.1387.1.1.5.6>
- Avarsegi, H., Khodarahmi, M., Diyanat, M., Majidi Heravan, E. and Soughi, H.A., 2023. Grouping bread wheat cultivars based on agronomic characteristics using multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), pp.239-252. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.239>
- Bagheri, A., Rashed Mohasel, M.H., Rezvani Moghadam, P., Nasiri Mahallati, M. and Nik Parast, Y., 2013. Spatial dynamic of weeds in a field with canola-fallow-wheat crop rotation history. *Weed Research Journal*, 5(2), pp.121-136. [In Persian].
- Barjasteh, A.R., Nezami, A., Khazaei, H.R. and Zand, E., 2019. Effects of deficit irrigation and wild oat (*Avena ludoviciana*) density on yield and yield components of wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(1), pp.1-14. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v17i1.57485>
- Baygi, Z., Saifzadeh, S., Shirani Rad, A.H., Valadabadi, S.A. and Jafarinejad, A., 2017. Seed yield and yield component of some spring wheat varieties as affected by different sowing dates in Neishabour. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(4), pp.905-922. [In Persian].
- Bhaskar, A. and Vyas, K.G., 1988. Studies on competition between wheat and *Chenopodium album* L. *Weed Research*, 28, pp.53-58.
- Cardina, J., Sparrow, D.H. and McCoy, E.L., 1996. Spatial relationships between seed bank and seedling populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) and annual grasses. *Weed Science*, 44, pp.298-308.
- Christopher, L.S., Shoup, D.E. and Al-Khatib, K., 2007. Response of common lambsquarters (*Chenopodium album*) to glyphosate as affected by growth stage. *Weed Science*, 55, pp.147-151. <https://doi.org/10.1614/WS-06-130.1>
- Colbach, N., Forcella, F. and Johnson, G.A., 2000a. Spatial and temporal stability of weed populations over five years. *Weed Science*, 48, pp.366-377. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0366:satsow\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0366:satsow]2.0.co;2)

- Colbach, N., Forcella, F. and Jonson, G.A., 2000b. Spatial and temporal stability of weed factors on the weed flora in crops in the Gadalyvir. *Valley*, 30, pp.375-382.
- Fakoor Sharghi, A.R., 2013. The effect of crop rotation on diversity and spatial distribution of weeds seed bank and seedling communities and arthropods fauna. M.Sc Thesis, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology. [In Persian].
- Ghiassi, Z., 2013. Effects of patchy and conventional herbicide application on spatial variability of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) weeds population. M.Sc. Thesis, Shahrood University of Technology. [In Persian].
- Hasanvand, F., 2014. Investigation of competition between wheat (*Triticum aestivum* L.) and Hoary cress (*Cardaria draba* L.) under different levels of nitrogen. M. Sc. Thesis, University of Birjand. [In Persian].
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M., 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. New York.561p.
- Jurado-Exposito, M., Lopez-Granados, F., Garcia-Torres, L., Garcia-Ferrer, A., Sanches de La Orden, M. and Atenciano, S., 2003. Multi-species weed spatial variability and sitespecific management maps in cultivated sunflower. *Weed Science*, 51, pp.319-328. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0319:mwsvas\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0319:mwsvas]2.0.co;2)
- Mahdavi, A.M., Babaeian Jelodar, N., Farshadfar, E. and Bagheri, N., 2022. Study of grain yield stability of bread wheat genotypes using nonparametric method and GGE biplot. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(2), pp.287-298. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.3527.1871>
- Makarian, H. and Abbasdokht, H., 2014. Effects of different weed management methods on spatial and temporal dynamic of weed populations and saffron above ground biomass. *Journal of Plant Production Research*, 21(2), pp.107-124. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.23222050.1393.21.2.6.8>
- Makarian, H. and Hosseini, R.S., 2011. Spatial distribution of weeds and its effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) biomass. *Crop Production*, 3(4), pp.31-47. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.2008739.1389.3.4.3.4>
- Makarian, H., 2008. Investigation of spatial and temporal dynamic of weed seed bank and seedling populations and its effect on saffron (*crocus sativus* L.) leaf dry weight under different weed management conditions. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].
- Makarian, H., Abbasdokht, H., Ghiassi, Z. and Rouhani, A., 2012. Effects of patchy and conventional herbicide application on spatial variability of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) weeds population. *Weed Research Journal*, 4(1), pp.1-15. [In Persian].
- Maleki, A., Bazdar, A., Lotfi, Y. and Tahmasebi, A., 2011. The effect of biofertilizer, azotobacter, and different levels of nitrogen application on yield and yield components of three bread wheat varieties. *Journal of Crop and Weed Ecophysiology*, 4(16), pp.121-132. [In Persian].
- Maleki, A., Seyedan, P. and Tahmasbi, A., 2012. Response of three bread wheat cultivars to different levels of seeding rates in Ilam region. *Journal of Crop Ecophysiology*, 6(1): pp.1-12. [In Persian].
- Mirsaveh, S.R., 2014. Effect of different cultivation methods on the spatial relationship of weeds seed bank and seedling populations. M.Sc. Thesis, Shahrood University. [In Persian].

- Mohammadi, J., 2002. Spatial variability of soil fertility, wheat yield and weed density in a one hectare field in Shahre Kord. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4, pp.83-92. <https://dor.org/20.1001.1.16807073.2002.4.1.7.7>
- Mohammadvand, E., Rashed Mohassel, M.H., Nasiri Mahallati, M. and Pourtousi, N., 2008. Study on infestation levels and spatial distributions of *Amaranthus blitoides*, *Chenopodium album* and *Solanum nigrum* in corn field. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(2), pp.419-432. [In Persian].
- Moradi Kalbolandi, M., 2020. The study of effective factors on the heterogeneity of spatial distribution of winter wheat yield using geostatistic and remote sensing methods. MS.c. Thesis in Agroecology, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology. [In Persian].
- Moradi Kalbolandi, M., Makarian, H., Baradaran Firouz Abadi, M. and Asghari, H.R., 2020. Spatial dependence of growth and yield of winter wheat and weeds using geostatistical and remote sensing methods. *Journal of Plant Protection*, 34(2), pp.259-271. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jpp.v34i2.85286>
- Mozafari, S.M., Mohamaddoust, H.R. and Nikkheh, H.R., 2018. Ranking the wheat cultivars based on competitive ability with weeds. *Journal of Plant Protection*, 32(2), pp.289-297. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jpp.v32i2.67996>
- Navabpour, S. and Kazemi, G., 2013. Study the relations between grain yield and related traits in wheat by path analysis. *Crop Production*, 6(1), pp.191-203. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.2008739.1392.6.1.11.7>
- Neyestani, E., Makarian, H., Ameri, A.A. and Haydari, M., 2020. Evaluation of yield relationship with yield components in different dry land wheat genotypes. *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(40), pp.82-90. [In Persian].
- Pannatier, Y., 1997. Variowin Software for Spatial Data Analysis in 2D. Springer Verlag, New York, U.S.A.
- Pourkarimi, F., 2017. Weeds demography in wheat fields under low and high input agricultural systems. M. Sc. Thesis, Shahed University. [In Persian].
- Roham, R., 2010. The study of seed bank of soil relation with weeds population in during of growth season in sugar beet (*Beta vulgaris*). M. Sc. Thesis, Lorestan University. [In Persian].
- Roham, R., Akbari, N., Abdollahian Noghabi, M., Eisvand, H.R. and Yaghubi, M., 2013. Spatial relationships between weed seed bank and population and their distribution models in sugar beet crop (*Beta vulgaris*). *Journal of Sugar Beet*, 28(2), pp.171-187. [In Persian].
- Sharma, S.D. and Singh, M., 2000. Optimizing foliar activity of glyphosate on *Bidens frondosa* and *Panicum maximum* with different adjuvant types. *Weed Research*, 40, pp.523-533.
- Siah-Marguee, A., Rashed-Mohassel, M.H., Nasiri-Mahallati, M., Banayan-Awal, M. and Rahimiyan-Mashhadi, H., 2006. Evaluation of spatial variation of weeds and their response to imposed managements in a sugar beet field in Mashhad. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 10(3), pp.361-374. [In Persian].

- Sohrabi, S.S., Fateh, E., Aynehband, A. and Rahnama, A., 2016. Assessment of yield and yield components of wheat under effect of residue, weed control and nitrogen sources. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(3), pp.115-130. [In Persian].
- Tavakoli, A.R., Mahdavi-Moghadam, M. and Salemi, H.R., 2015. Effects of supplemental irrigation and nitrogen fertilizer on correlation coefficient and drought tolerance indices of rainfed bread wheat. *Crop Production*, 7(4), pp.143-159. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.2008739.1393.7.4.8.7>
- Yan, S., Wu, Y., Fan, J., Zhang, F., Qiang, S., Zheng, J. and Zou, H., 2019. Effects of water and fertilizer management on grain filling characteristics, grain weight and productivity of drip-fertigated winter wheat. *Agricultural Water Management*, 213, pp.983-995. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.019>
- Zand, E., Baghestani, M.A., Mousavi, S.K., Oveisi, M., Ebrahimi, M., Rastgoo, M. and Labbafi Hoseinabadi, M.R., 2008. Weed Management Guide. Jahade Daneshgahi of Mashhad Press. [In Persian].
- Zargarian, N., Bagheri, A.R., Nosrati, I. and Mondani, F., 2020. Evaluation of the effect of spatial distribution of weeds on seed yield of lentil (*Lens culinaris* L.) in rainfed conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 22(2), pp.140-151. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/abj.22.2.140>

# Crop Science Research in Arid Regions

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

## Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 827-846

### Effect of biological and chemical fertilizers on yield and some agronomical traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress

Nasser Nourzadeh <sup>a</sup>, Asghar Rahimi <sup>\*a</sup>, Amir Dadrasi <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Genetics and Plant Production, Vali Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

<sup>b</sup> Charles University Environment Centre, Prague, Czech Republic

\*Corresponding Author: [rahimia@vru.ac.ir](mailto:rahimia@vru.ac.ir)

Received: 22 October 2024

Accepted: 29 December 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.484717.1445

#### How to cite this article:

Nourzadeh, N., Rahimi, A. and Dadrasi, A., 2025. Effect of biological and chemical fertilizers on yield and some agronomical traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 827-846. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.484717.1445>

#### Abstract

**Introduction:** Sesame, as the queen of oilseeds, is world-famous for its resistance to drought stress. This feature justifies its cultivation in arid and semi-arid regions and enables the production of high-quality oil. However, this crop, like other crops, is affected by drought stress, and its yield decreases under severe drought conditions. Nevertheless, proper nutritional management can reduce the adverse effects of drought on sesame yield. In this regard, the use of biological fertilizers alongside chemical fertilizers can improve soil quality, increase crop yields, and reduce the negative effects of chemical fertilizers. Consequently, the use of biofertilizers in sesame farming has received significant attention in recent years.

**Materials and Methods:** A factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was performed to investigate the effect of chemical and biological fertilizers application on yield and some agronomical traits under drought stress during the 2022-2023 season in two regions of Hormozgan province (Sarkahnan and Dashthouz). Treatments included two levels of drought stress (full irrigation (based on 90 mm evaporation from Class A evaporation pan) and drought stress (based on 150 mm evaporation from Class A evaporation pan)) and eight levels of fertilizer (bacteria (B), mycorrhizal fungus (MY), chemical fertilizer (NPK), bacteria + mycorrhizal fungus (B+MY), bacteria+ chemical fertilizer (B+NPK), mycorrhizal fungus + chemical fertilizer (NPK+MY), bacteria+ mycorrhizal fungus+ chemical fertilizer (B+MY+NPK) and control). In this experiment, *Pseudomonas putida* bacteria and a mixture of *Rhizophagos intraradices* and *Funneliformis mosseae* fungi. All plots were evenly irrigated with a pressurized system until they reached the 3-4 leaf stage. After thinning, drought stress was applied by carefully controlling the amount of water based on evaporation rates measured using evaporation pans and meteorological stations. The traits measured in this research included days to flowering, days to podding, chlorophyll



©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/).

index, plant height, stem dry weight, leaf dry weight, oil content of seeds, oil content of meal, grain yield, and biological yield. The relationship between these traits and grain yield was also examined. Finally, Statistical analysis of the collected data was conducted using ANOVA in SAS software. Significant differences between means were evaluated at the probability level of 0.05 by Duncan's test.

**Results and Discussion:** The results indicated an acceleration of phenology with the application of drought stress. Flowering and podding occurred 3 and 6 days earlier, respectively, in the stressed treatments. Drought stress also caused a decrease of 0.16%, 9.10%, and 3% in plant height, chlorophyll index, and oil percentage of the meal, and an increase of 4% in seed oil compared to the control treatment (full irrigation). The results also showed that the application of fertilizer treatments, especially the combination of bacteria + mycorrhizal fungi + chemical fertilizer, improved the traits under stress and non-stress conditions in sesame. The highest dry weight of leaves (390 g/m<sup>2</sup>), dry weight of stem (501 g/m<sup>2</sup>), seed yield (2960 kg/ha), and biological yield (20240 kg/ha) were observed in the Sarkahn region under non-stress conditions and treatment with bacteria + mycorrhizal fungi + chemical fertilizer. The lowest seed yield and biological yield were 953 and 4250 kg/ha, respectively, for crops under drought stress and no fertilizer application in the Dashthouz region. Correlation of traits also showed a high positive correlation of seed yield with dry weight of leaves (0.80\*\*), dry weight of stem (0.75\*\*), and biological yield (0.74\*\*), and a small negative correlation with days to podding (-0.21\*).

**Conclusion:** Based on these results, the combined use of biological and chemical fertilizers can be considered a suitable strategy to reduce the negative effects of drought stress in arid and semi-arid regions for sesame.

**Keywords:** Abiotic stress, Oil crop, Phenology, Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), Plant nutrition management

## بررسی استفاده از کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و برخی صفات زراعی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط تنش خشکی

ناصر نورزاده<sup>۱</sup>، اصغر رحیمی\*<sup>۱</sup>، امیر دادرسی<sup>۲</sup>

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

۲- مرکز علوم محیطی دانشگاه چالرز، پراگ، جمهوری چک

\* مسئول مکاتبه: [rahimia@vru.ac.ir](mailto:rahimia@vru.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.484717.1445

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱

### چکیده

برای ارزیابی استفاده از کودهای شیمیایی و زیستی بر صفات زراعی و عملکرد کنجد، پژوهشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مزرعه تحقیقاتی واقع در استان هرمزگان (سرکهنان و دشت حوض) در سال زراعی ۱۴۰۰ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل: تنش خشکی در دو سطح (آبیاری معمول (براساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش خشکی (براساس ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)) و کوددهی در هشت سطح (باکتری محرک رشد (B)، قارچ مایکوریز (MY)، کود شیمیایی (NPK)، باکتری محرک رشد+ قارچ مایکوریز (B+MY)، باکتری محرک رشد+ کود شیمیایی (B+NPK)، قارچ مایکوریز+ کود شیمیایی (NPK+MY)، باکتری محرک رشد+ قارچ مایکوریز+ کود شیمیایی (B+MY+NPK) و شاهد) بودند. نتایج نشان داد تنش خشکی سبب تسریع فنولوژی و کاهش ۱۶/۰، ۱۰/۹ و ۳/۰ درصدی ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل، درصد کنجاله و افزایش ۴ درصدی محتوای روغن نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نیز به ترتیب با ۲۹۶۰ و ۲۰۲۴۰ کیلوگرم در هکتار از تیمار باکتری محرک رشد+ قارچ مایکوریز+ کود شیمیایی و عدم تنش خشکی در منطقه سرکهنان حاصل شد. کمترین میزان نیز در تیمار تنش خشکی و عدم استفاده از کود در منطقه دشت حوض مشاهده گردید. نتایج همچنین مبنی بر همبستگی بالای عملکرد دانه با وزن خشک برگ (\*\*۰/۸۰) و وزن خشک ساقه (\*\*۰/۷۵) بود. براساس نتایج، استفاده تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند راهکاری مناسب جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی در مناطق کم‌آب برای گیاه کنجد در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد، تنش غیرزیستی، فنولوژی، گیاه روغنی، مدیریت تغذیه گیاهی

کند (Kouighat *et al.*, 2021).

### مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید کنجد به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Fang *et al.*, 2024; Ahmed *et al.*, 2024). به‌طوری‌که گزارشات نشان می‌دهند، تنش خشکی می‌تواند با تاثیر منفی بر اجزای عملکرد مانند تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول سبب کاهش عملکرد دانه و عملکرد روغن در کنجد گردد (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021). تنش خشکی (Hamedani *et al.*, 2022; Parsa *et al.*, 2024). همچنین از طریق تغییر در ترکیب اسیدهای چرب، می‌تواند سبب کاهش کیفیت روغن شود (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021). سایر پژوهش‌ها نیز اثر منفی تنش خشکی بر سنتز کلروفیل، فنولوژی گیاه و صفات رویشی گیاهان

کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده پدالیاسه می‌باشد. این گیاه یکی از قدیمی‌ترین گیاهان دانه روغنی و سازگار به نواحی گرم و نیمه‌گرم است و از دیرباز به عنوان ملکه‌ی گیاهان دانه روغنی شناخته شده است (Jeyaraj and Beevy, 2024). کنجد دارای ۵۰ درصد روغن، ۲۵ درصد پروتئین و همچنین سرشار از آهن، منیزیم، منگنز، مس و کلسیم و حاوی ویتامین B، A، E می‌باشد (Li *et al.*, 2024; Abbas *et al.*, 2024). برخلاف سایر گیاهان دانه روغنی، کنجد نسبت به خشکی تحمل بیشتری دارد. با این حال، در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش خشکی اغلب همراه با گرما یا دماهای بالا رخ می‌دهد (Fan *et al.*, 2024). تولید کنجد را می‌تواند به‌طور قابل توجهی مختل

دلنه روغنی را گزارش کرده‌اند (Bijani et al., 2023; Sima et al., 2024). علاوه بر آن افزایش جذب مواد غذایی به خصوص فسفر با گسترش هیف‌های قارچ میکوریزا نیز مورد تایید قرار گرفته است (Tiepo et al., 2024). بنابراین تعامل بین میکروارگانسیم‌های خاک‌زی مانند قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفر، می‌تواند به‌طور قابل توجهی در بهبود رشد گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، موثر واقع شود. با توجه به گستردگی مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران و اهمیت تولید کنگد در کشاورزی کشور، استفاده از این ریزجانداران در کنار کودهای شیمیایی به‌عنوان یک راهکار مناسب برای کاهش اثرات مخرب تنش خشکی بر این گیاه پیشنهاد می‌شود. این پژوهش با هدف تعیین بهترین روش کاربرد این ریزجانداران همراه با کود شیمیایی برای بهبود عملکرد کنگد در شرایط تنش خشکی انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد آزمایش و طرح آزمایشی

مطالعه حاضر در سال زراعی ۱۴۰۰ در مزرعه‌های تحقیقاتی متعلق به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان واقع در شهرستان رودان (دشت حوض و سرکه‌نجان) با فاصله تقریبی ۸۰ کیلومتر از یکدیگر اجرا شد. سرکه‌نجان در طول ۵۷/۱۲ درجه شرقی و عرض ۲۷/۲۵ درجه شمالی و دشت حوض در طول ۵۷/۱۰ درجه شرقی و عرض ۲۷/۴۰ درجه شمالی واقع شده است. براساس میانگین ۳۰ ساله هواشناسی، میانگین بارندگی سالانه در سرکه‌نجان و دشت حوض به‌ترتیب ۲۳۸ و ۲۱۸ میلی‌متر است. اطلاعات هواشناسی مناطق مورد بررسی نیز در طول دوره کشت در شکل ۱ ارائه شده است.

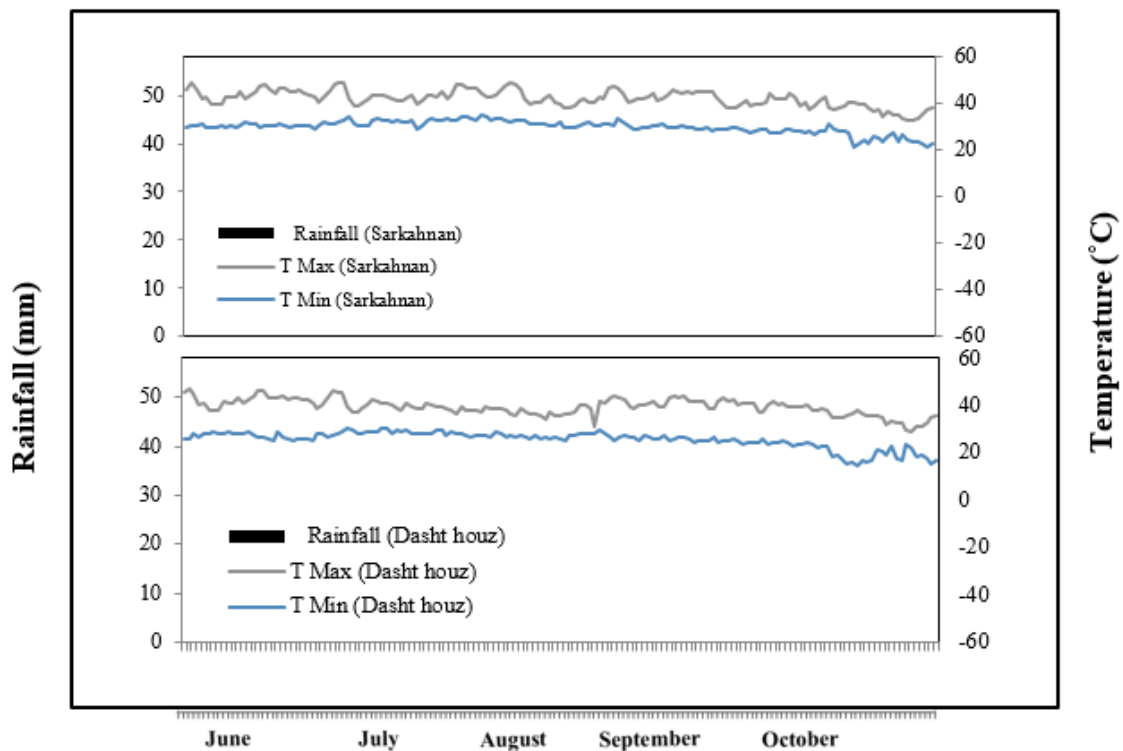
طرح آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. شایان ذکر است که در این تحقیق، هر دو فاکتور (تنش خشکی و کوددهی) از اهمیت یکسانی برخوردار بودند و باید اثرات آن‌ها با دقت مشابهی بررسی می‌شد. بنابراین، طرح فاکتوریل به‌دلیل هم‌وزن بودن هر دو فاکتور، انتخاب بهتری محسوب می‌شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در دو سطح (آبیاری معمول (براساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش خشکی

بنابراین جهت افزایش بهره‌وری تولید کنگد در مناطق خشک و نیمه‌خشک به ناچار باید از روش‌هایی استفاده کرد که اثرات منفی تنش را بر عملکرد دانه و روغن گیاه کاهش دهد. یکی از روش‌های مورد توجه در این زمینه استفاده از انواع کود در کشاورزی است. اگرچه استفاده از کودهای شیمیایی جهت بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان روغنی از دیرباز مورد توجه بوده است، اما تحقیقات در چند دهه اخیر نشان می‌دهند که کاربرد کودهای شیمیایی می‌تواند باعث تخریب خاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب شود و سلامت انسان، حیوانات و گیاهان را تهدید کند (Wang et al., 2018). بنابراین یک رویکرد مناسب، انتخاب یک روش بیولوژیکی فعال، پایدار و دوستانه است. چنین فرآیندی می‌تواند شامل استفاده همزمان از کودهای زیستی به‌خصوص قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در کنار استفاده متعادل از کود شیمیایی باشد (Pourhosseini et al., 2024). در این شرایط باکتری حل‌کننده فسفات به حل کردن فسفات معدنی پیچیده در خاک کمک می‌کند و قارچ‌های میکوریزا آنها را جذب کرده و به گیاه منتقل می‌کنند (Yadav et al., 2022; El-Shaboury et al., 2023). در پژوهشی نیز گزارش شد که استفاده از کودهای زیستی در کنار کود شیمیایی در شرایط تنش خشکی، شرایط مساعدتری را برای رشد گیاه فراهم می‌آورد که این موضوع می‌تواند از اثر هم‌افزایی کودهای مورد استفاده باشد (Chaharlang Badi et al., 2022).

باکتری‌های حل‌کننده فسفات نوعی از باکتری‌های محرک رشد محسوب می‌شوند (Luo et al., 2024). مطالعات نیز ثابت کرده‌اند که این باکتری‌ها بدون ایجاد روابط همزیستی، توانایی تحریک رشد گیاه میزبان را دارند. این باکتری‌ها با فعالیت در سطح ریشه یا داخل ریشه به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم با استفاده از یک یا چند مکانیسم خاص مانند تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن، تولید هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین، جیبرلین و سی‌توکنین، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، تولید ویتامین‌ها و دیگر ترکیبات مواد محرک رشد، عملکرد گیاه را در مقابل تنش‌های زنده و غیرزنده از جمله تنش خشکی بهبود می‌بخشند (Ahluwalia et al., 2021; Kálmán et al., 2021).

بر اساس *Fanliformis Mose* و *Rhizophagos intraradices* دستورالعمل شرکت سازنده مورد استفاده قرار گرفتند. قارچ میکوریزا از شرکت ریشه‌گستر ویرا و باکتری محرک رشد از شرکت زیست‌فناور روناک تهیه شد. قبل از انجام آزمایش نیز، نمونه‌گیری از خاک جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی انجام شد، که نتایج آنالیز خاک در جدول ۱ آورده شده است.

(بر اساس ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و کوددهی در هشت سطح (باکتری محرک رشد (B)، قارچ میکوریز (MY)، کود شیمیایی (NPK)، باکتری محرک رشد + قارچ میکوریز (B+MY)، باکتری محرک رشد + کود شیمیایی (B+NPK)، قارچ میکوریز + کود شیمیایی (NPK+MY)، باکتری محرک رشد + قارچ میکوریز + کود شیمیایی (B+MY+NPK) و شاهد) بودند. در این آزمایش، باکتری *Pseudomonas putida* و ترکیبی از قارچ‌های



شکل ۱- میانگین بارش و دما در مکان‌های مورد آزمایش در طول فصل رشد (۱۴۰۱-۱۴۰۲)

Figure 1- Average precipitation and temperature of the experimental sites during the growing season of 2022-2023

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مناطق دشت حوض و سرکهنان

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil of experimental sites

مکان Location	عمق خاک Soil depth (cm)	هدایت الکتریکی Ec (ds/m)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic matter (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	نیترژن N (%)	بافت خاک soil texture		
								رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
سرکهنان Sarkahnan	0-30	5.41	7.59	0.78	40.5	182	0.05	10	22	68
دشت حوض Dashthouz	0-30	2.1	7.95	0.64	5.2	208	0.04	4	16	80

## اجرای طرح آزمایشی و مدیریت زراعی

زمین آزمایش در نیمه اول فروردین شخم و در نیمه دوم خرداد دیسک زده شد. قبل از کشت و براساس نقشه طرح در منطقه سرکهنان و دشت حوض به ترتیب ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۲۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم در کرت‌های مورد نظر اعمال شد. کود اوره نیز براساس عرف منطقه به صورت سرک و در دو مرحله به خاک اضافه گردید. مرحله اول قبل از گلدهی (زمانی که بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر رشد کرده بودند) و مرحله دوم همزمان با شروع تشکیل کیسول‌ها در گیاه بود. مجموع کود اوره در منطقه سرکهنان و دشت حوض به ترتیب معادل با ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد.

قبل از کشت کنجد، کود حاوی قارچ میکوریزا با ماسه استریل مخلوط و به‌ازای هر بذر، یک‌دهم گرم در محل شیار ایجاد شده برای کشت کنجد پاشیده و سپس لایه‌ی نازکی از خاک بر روی آن ریخته شد. پس از آن، کشت بذر کنجد (رقم دشتستان ۲) با تراکم بالا به‌صورت جوی و پشت‌های در ردیف‌هایی به‌فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر در کرت‌هایی به ابعاد ۴×۲ متر با فاصله بین کرت ۱/۵ متر، در نیمه دوم تیرماه (۱۷ تیرماه در سرکهنان و ۲۶ تیرماه در دشت حوض) به‌صورت دستی انجام شد. عمل تنک‌کردن در مرحله ۳ تا ۴ برگی بوته‌ها برای رسیدن به تراکم مطلوب با فاصله ۸ سانتی‌متر مربع در روی هر ردیف صورت گرفت و پس از تنک‌کردن نیز تیمار باکتری اعمال شد. به این صورت که یک کیلوگرم باکتری در یک لیتر آب حل شد و سپس محلول به‌دست آمده در صد لیتر آب ریخته و کاملاً بهم‌زده شد تا محلول یکنواختی به‌دست آید. پس از آن محلول تهیه شده از طریق آبیاری به گیاهان داده شد.

آبیاری به‌صورت تحت فشار (میکرو) بود و اولین آبیاری پس از کشت انجام و تا مرحله ۴-۳ برگی گیاه، برای تمام کرت‌ها به‌صورت یکسان (براساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) انجام شد. پس از این مرحله تنش خشکی برای گیاه اعمال شد. جهت اعمال تنش، میزان تبخیر از طریق تشتک تبخیر (براساس ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) یا از طریق استعمال از ایستگاه‌های اداره‌ی هواشناسی تعیین‌شده و در میزان‌های مشخص تبخیر، حجم آبیاری محاسبه و به‌وسیله‌ی کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۱ مترمکعب

به کرت‌های مورد نظر داده شد. میزان آبیاری در شرایط تنش خشکی و عدم تنش خشکی در مجموع معادل با ۳۵۰۰ و ۴۵۰۰ مترمکعب بود (Jafari et al., 2019). علاوه‌برآن در طول فصل رشد، آفت مگس سفید مشاهده شد که با سم کنفیدور و استامی‌پراید کنترل گردید. وجین علف‌های هرز و یادداشت برداری‌های لازم نیز صورت گرفت.

## اندازه‌گیری صفات گیاهی

در طول دوره رشد، صفات فنولوژیک از جمله روز تا گلدهی و روز تا کیسول‌دهی ثبت گردید. در مرحله‌ی گلدهی نیز ۱۰ برگ توسعه یافته انتخاب و شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌متر (Minolta SPAD unit 502) اندازه‌گیری شد. پس از آن برگ و ساقه بوته‌های انتخابی جدا گردید و به‌صورت جداگانه به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار داده شد. در نهایت وزن خشک آن‌ها با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد.

دوره رسیدگی فیزیولوژیکی گیاهان در تیمارهای مختلف بین ۲۵ مهرماه تا ۱۷ آبان‌ماه متغیر بود. در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی، ۴ مترمربع از هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد. پس از آن ده بوته از میان آنها انتخاب و ارتفاع بوته ثبت گردید. در مرحله آخر نیز تمام بوته‌ها به‌طور جداگانه کف‌بر شدند و پس از خشک شدن در هوای آزاد، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد.

برای تعیین درصد روغن، ۱۰ گرم از هر نمونه پودر شده را درون کاغذ صافی قرار داده و روغن آن با استفاده از دستگاه سوکسله و افزودن حلال پترولیوم اتر استخراج گردید. برای حذف حلال از نمونه‌ها، از دستگاه روتاری استفاده شد. درصد روغن نمونه‌ها، پس از توزین روغن به‌دست آمده از هر نمونه محاسبه گردید.

## آنالیزهای آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها نیز براساس آزمون دانکن انجام شد و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید. شایان ذکر است که با توجه به نتایج آزمون بارتلت که نشان‌دهنده عدم همگنی واریانس‌ها بود، برای تحلیل داده‌ها از روش تجزیه مرکب استفاده شد.

## نتایج و بحث

## روز تا گلدهی و کپسول‌دهی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده مکان، تنش خشکی و کودهای مورد استفاده بر روز تا گلدهی و روز تا کپسول‌دهی معنی‌داری ( $p \leq 0.01$ ) بود (جدول ۲). اما برهم‌کنش دوگانه و سه‌گانه اثر معنی‌داری بر فنولوژی کنگد نداشتند (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده مکان مبنی بر آن بود که گلدهی و کپسول‌دهی کنگد در منطقه سرکهنان به ترتیب ۶ و ۵ روز دیرتر از منطقه دشت حوض رخ داد (جدول ۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تنش خشکی نشان داد که اعمال تنش خشکی سبب تسریع مراحل فنولوژی در گیاه گردید، به طوری که روز تا گلدهی و روز تا کپسول‌دهی در گیاهان تیمار یافته با تنش خشکی به ترتیب ۳ و ۶ روز نسبت به تیمار عدم تنش کاهش نشان داد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد کود نیز حاکی از برتری گیاهان تیمار یافته با کودهای زیستی و شیمیایی در مقایسه با تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) بود. به طوری که بیشترین تعداد روز تا گلدهی و کپسول‌دهی به ترتیب با مقادیر ۵۵/۴۶ و ۶۲/۰۰ روز مربوط به تلفیق باکتری محرک رشد و کود شیمیایی بود (جدول ۳)، که با تیمار میکوریزا+ کود شیمیایی و گیاهان تیمار یافته با کود شیمیایی در گروه‌های آماری یکسان قرار گرفتند. کمترین تعداد روز تا گلدهی و کپسول‌دهی نیز به ترتیب با مقادیر ۵۰/۳۵ و ۵۹/۲۰ روز در تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) مشاهده شد (جدول ۳).

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که کمبود آب و عناصر غذایی، باعث تحریک تولید هورمون‌های اتیلن و اسید آسبیزیک در گیاه می‌شود که دوره رشد و نمو گیاه را تسریع می‌کنند (Karimzadeh et al., 2019). این پاسخ فیزیولوژیکی که به عنوان زودرسی شناخته می‌شود، به گیاه اجازه می‌دهد تا در کوتاه‌ترین زمان ممکن چرخه زندگی خود را تکمیل کرده و نسل بعدی را تضمین کند (Yashavanthakumar et al., 2021). به نظر می‌رسد که در پژوهش حاضر نیز تسریع دوره گلدهی و کپسول‌دهی با همین موضوع مرتبط باشد که با سایر پژوهش‌ها نیز همخوانی دارد (Bijani et al., 2023). این در

حالی است که یافته‌ها این موضوع را ثابت می‌کنند که مدیریت تغذیه گیاه می‌تواند سبب تاخیر در مراحل فنولوژی گیاه گردد (Parande et al., 2019). زیرا باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا، برخی آنزیم‌های فسفاتاز ترشح می‌کنند که ارتوفسفات‌ها را حل می‌کنند، بنابراین نه تنها جذب فسفر، بلکه جذب سایر مواد مغذی مانند Mg، N، Zn، Cu، Fe، Ca، Se نیز افزایش می‌یابد (Shivhare et al., 2024). مواد معدنی جذب‌شده می‌توانند مستقیماً بر فیتوهورمون‌ها تأثیر گذاشته و با تغییر هورمون‌های رشد سبب تغییر در فنولوژی گیاه گردند (Shivhare et al., 2024). طولانی‌شدن دوره زندگی گیاه، امکان انجام کامل‌تر مراحل فنولوژیکی و در نتیجه بهبود عملکرد گیاه را فراهم می‌کند. علاوه بر آن از دیگر عوامل مؤثر بر دوره فنولوژی می‌توان شرایط محیطی را مطرح نمود. چرا که مساعد بودن شرایط محیطی در منطقه سرکهنان سبب طولانی‌تر بودن فنولوژی در کنگد نسبت به دشت حوض گردیده است. منطقه سرکهنان به دلیل وجود باغات متعدد در اطراف زمین‌های زیر کشت و همچنین چرخش تناوبی محصولات کشاورزی و باقی‌ماندن بقایای گیاهی، از پتانسیل بالایی برای حفظ رطوبت خاک برخوردار است. این امر سبب طولانی‌تر شدن دوره فنولوژی کنگد در این منطقه، حتی در شرایط تنش خشکی شده است. نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) نیز نشان می‌دهد که میزان کربن آلی، فسفر و نیتروژن خاک در منطقه سرکهنان به طور قابل توجهی بیشتر از دشت حوض است. این تفاوت می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر طولانی‌شدن دوره فنولوژی و بهبود عملکرد گیاهان در منطقه سرکهنان باشد. کربن آلی علاوه بر بهبود ساختار خاک، به افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی در خاک نیز کمک می‌کند. گزارشات نیز حاکی از تاثیر شرایط محیطی بر فنولوژی گیاهان دانله روغنی است (Bijani et al., 2023).

## ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش خشکی و کود بر شاخص کلروفیل و ارتفاع بوته و اثر ساده مکان تنها بر ارتفاع بوته کنگد معنی‌دار ( $p \leq 0.01$ ) بود (جدول ۲). در بررسی برهم‌کنش تیمارها نیز مشخص شد که به جز اثر دوگانه مکان × کود بر ارتفاع بوته ( $p \leq 0.05$ ) سایر برهم‌کنش‌ها بر

کلروفیل نسبت به گیاهان شاهد (عدم استفاده از کود) شده است. گیاهان تیمار یافته با کود شیمیایی نیز با بهبود ۸/۶ درصدی در ارتفاع بوته و ۲۱/۳ درصدی در شاخص کلروفیل، در گروه‌های آماری یکسان با تیمار ترکیبی کودهای شیمیایی + قارچ میکوریز قرار گرفت (جدول ۳). کمترین ارتفاع بوته با ۱۲۶/۵۶ و ۱۲۲/۱۸ سانتی‌متر به ترتیب به تیمار شاهد و تیمار باکتری تعلق داشت. کمترین شاخص کلروفیل نیز با ۴۰/۷۷، ۴۲/۶۱ و ۴۲/۲۷ به ترتیب در تیمار شاهد (عدم استفاده از کود)، تیمار باکتری و تیمار کود شیمیایی + باکتری + میکوریز مشاهده شد (جدول ۳).

صفات مورد بررسی معنی‌دار نبودند (جدول ۲). نتایج اثر ساده تنش خشکی حاکی از آن بود که گیاهان تیمار یافته با تنش خشکی از کاهش ۱۶/۰ و ۱۰/۹ درصدی به ترتیب در ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تنش خشکی) برخوردار بودند (جدول ۳). با این حال نتایج اثر ساده کود نشان داد که کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی سبب افزایش ارتفاع بوته و بهبود سنتر کلروفیل در گیاه گردید. تیمار ترکیبی کود شیمیایی و قارچ میکوریز بیشترین تاثیر مثبت را بر ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل در کنجد داشته است. این تیمار باعث افزایش ۷/۹ درصدی ارتفاع بوته و ۲۰ درصدی شاخص

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گیاه روغنی کنجد

Table 2- Analysis of variance (mean squares) of some measured characteristics of sesame

منابع تغییرات	درجه آزادی	روز تا گلدهی	روز تا کپسول‌دهی	شاخص کلروفیل	ارتفاع بوته	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	درصد روغن	درصد کنجاله	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
Source of variation	df	Days to flowering	Days to poding	Chlorophyll index	Plant height	Stem dry weight	Leaf dry weight	Oil content	meal	Grain yield	Biological yield
مکان	1	854.42**	647.92**	49.30 <sup>ns</sup>	88567.42**	185847.2**	81672.5**	91.65**	91.45**	8886534**	582051278**
Site											
تکرار (مکان)	4	8.49	4.22	26.54	369.60	38567.4	778.6	0.81	0.82	84459	3173191
(Site) Replication											
تنش خشکی	1	29.26*	20.16**	193.75**	9284.63**	230623.4**	55185.6**	72.10**	71.24**	7773678**	41216535**
Drought stress											
کود	7	44.81**	10.99**	278.52**	511.93**	69789.3**	54643.5**	8.93 <sup>ns</sup>	8.89 <sup>ns</sup>	3716419**	109067807**
Fertilizer											
مکان * تنش خشکی	1	0.09 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	3.68 <sup>ns</sup>	140.40 <sup>ns</sup>	27367.8**	4627.3*	1.81 <sup>ns</sup>	1.78 <sup>ns</sup>	2202204**	16118745**
Drought stress*Site											
مکان * کود	7	0.13 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	11.58 <sup>ns</sup>	183.68*	13127.8**	1450.2 <sup>ns</sup>	1.16 <sup>ns</sup>	1.15 <sup>ns</sup>	109591 <sup>ns</sup>	20053739**
Fertilizer*Site											
تنش خشکی * کود	7	2.37 <sup>ns</sup>	2.71 <sup>ns</sup>	14.56 <sup>ns</sup>	18.83 <sup>ns</sup>	19905.8**	7918.6**	3.48 <sup>ns</sup>	3.52 <sup>ns</sup>	472896**	3528397*
*Drought stress											
Fertilizer											
مکان * تنش خشکی *	7	0.08 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	20.91 <sup>ns</sup>	43.58 <sup>ns</sup>	13865.8*	3313.97*	3.32 <sup>ns</sup>	3.35 <sup>ns</sup>	263178*	6251700**
Drought *Site											
Fertilizer*stress											
خطا	60	5.65	1.99	18.22	79.02	2508.9	1122.5	5.75	5.74	124736	1579801
Error											
ضریب تغییرات	-	4.51	2.33	9.14	6.70	14.68	15.28	5.35	4.33	16.89	11.54
CV (%)											

ns, \*, \*\* و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی داری می باشد

ns, \*, \*\* are non-significantly different and significantly different at 5 and 1 percent, respectively.

سرکهنان به دست آمد (شکل ۲). این تیمار با تیمارهای کود شیمیایی (۱۷۱ سانتی‌متر)، کود شیمیایی + میکوریز (۱۷۰ سانتی‌متر)، باکتری + کود شیمیایی (۱۶۷ سانتی‌متر) در منطقه

نتایج برهم‌کنش مکان × کود بر ارتفاع بوته حاکی از آن بود که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۷۷ سانتی‌متر از تیمار کاربرد تلفیقی باکتری + میکوریز + کود شیمیایی در منطقه

قرار گرفتند. از این نتیجه می‌توان استنباط نمود که هر کدام از کودهای مورد استفاده در این منطقه به‌صورت جداگانه و یا تلفیقی در منطقه دشت حوض می‌تواند اثرات یکسانی بر افزایش ارتفاع بوته اعمال نمایند (شکل ۲).

سرکه‌نجان اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲). کمترین ارتفاع بوته نیز با میانگین ۹۱ سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) در منطقه دشت حوض بود (شکل ۲). شایان ذکر است که در منطقه دشت حوض به‌جز تیمار شاهد (عدم استفاده از کود)، سایر تیمارها در گروه‌های آماری یکسان

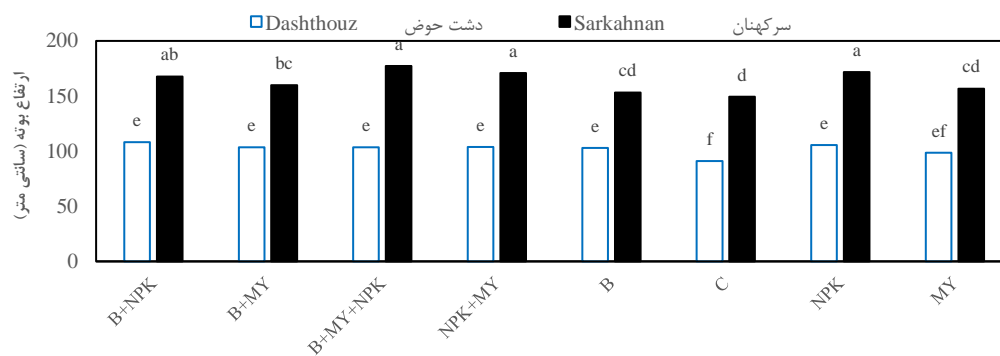
جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در گیاه روغنی کنجد

Table 3- Mean comparison of of some measured characteristics of sesame

تیمارها Treatment	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا کپسول‌دهی Days to capsule	ارتفاع بوته Plant height (cm)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g.m <sup>2</sup> )	درصد کنجاله وزن خشک ساقه Stem dry weight (g.m <sup>2</sup> )	درصد روغن Oil content (%)	عملکرد دانه Grain yield (g.m <sup>2</sup> )	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m <sup>2</sup> )	
مکان										
سرکه‌نجان Sar Kahnan	55.69 <sup>a</sup>	63.13 <sup>a</sup>	162.98 <sup>a</sup>	47.37 <sup>a</sup>	248.4 <sup>a</sup>	385.1 <sup>a</sup>	54.26 <sup>b</sup>	45.75 <sup>a</sup>	2395.0 <sup>a</sup>	13348.6 <sup>a</sup>
دشت حوض Dasht Hoz	49.72 <sup>b</sup>	57.93 <sup>b</sup>	102.23 <sup>b</sup>	45.94 <sup>a</sup>	190.0 <sup>b</sup>	297.1 <sup>a</sup>	56.21 <sup>a</sup>	43.80 <sup>b</sup>	1786.5 <sup>b</sup>	8424.0 <sup>b</sup>
تنش خشکی										
شاهد (عدم تنش خشکی) Control (no stress)	55.26 <sup>a</sup>	63.99 <sup>a</sup>	142.44 <sup>a</sup>	46.97 <sup>a</sup>	243.2 <sup>a</sup>	390.1 <sup>a</sup>	56.10 <sup>a</sup>	43.91 <sup>b</sup>	2375.3 <sup>a</sup>	11541.5 <sup>a</sup>
تنش خشکی Drought stress	52.16 <sup>b</sup>	58.07 <sup>b</sup>	122.77 <sup>b</sup>	42.33 <sup>b</sup>	195.2 <sup>b</sup>	292.0 <sup>b</sup>	54.37 <sup>b</sup>	45.64 <sup>a</sup>	1806.2 <sup>b</sup>	10231.1 <sup>b</sup>
کود										
باکتری + کود شیمیایی Bacteria+ Chemical fertilizer	55.46 <sup>a</sup>	62.00 <sup>a</sup>	137.92 <sup>a</sup>	50.92 <sup>a</sup>	270.3 <sup>b</sup>	414.4 <sup>a</sup>	56.40 <sup>a</sup>	43.59 <sup>a</sup>	2524.6 <sup>a</sup>	13757.4 <sup>a</sup>
باکتری + میکوریزا Bacteria+ mycorrhiza	51.41 <sup>cd</sup>	59.73 <sup>bc</sup>	131.56 <sup>ab</sup>	42.27 <sup>b</sup>	211.9 <sup>c</sup>	297.6 <sup>c</sup>	55.89 <sup>a</sup>	44.12 <sup>a</sup>	1848.2 <sup>b</sup>	8490.6 <sup>b</sup>
باکتری + میکوریزا + کود شیمیایی Bacteria+ mycorrhiza+ Chemical fertilizer	53.35 <sup>bc</sup>	60.95 <sup>ab</sup>	139 <sup>a</sup>	51.01 <sup>a</sup>	302.3 <sup>a</sup>	437.7 <sup>a</sup>	54.37 <sup>a</sup>	45.62 <sup>a</sup>	2624.5 <sup>a</sup>	13940.6 <sup>a</sup>
میکوریزا + کود شیمیایی Mycorrhiza+ Chemical fertilizer	55.11 <sup>ab</sup>	61.47 <sup>a</sup>	137.40 <sup>a</sup>	50.65 <sup>a</sup>	254.5 <sup>b</sup>	423.3 <sup>a</sup>	56.39 <sup>a</sup>	43.63 <sup>a</sup>	2526.7 <sup>a</sup>	12956.3 <sup>a</sup>
باکتری Bacteria	51.05 <sup>d</sup>	60.07 <sup>bc</sup>	122.18 <sup>c</sup>	42.61 <sup>b</sup>	126.76 <sup>e</sup>	247.1 <sup>d</sup>	55.08 <sup>a</sup>	44.92 <sup>a</sup>	1502.0 <sup>c</sup>	8339.9 <sup>b</sup>
شاهد (بدون مصرف کود) Control (no fertilizer)	50.35 <sup>d</sup>	59.20 <sup>c</sup>	126.56 <sup>bc</sup>	40.77 <sup>b</sup>	137.0 <sup>e</sup>	264.8 <sup>cd</sup>	54.60 <sup>a</sup>	45.41 <sup>a</sup>	1491.7 <sup>c</sup>	7743.3 <sup>b</sup>
کود شیمیایی Chemical fertilizer	53.53 <sup>ab</sup>	60.95 <sup>ab</sup>	138.58 <sup>a</sup>	51.84 <sup>a</sup>	278.7 <sup>ab</sup>	353.3 <sup>b</sup>	54.48 <sup>a</sup>	45.54 <sup>a</sup>	2712.8 <sup>a</sup>	14066.4 <sup>a</sup>
میکوریزا Mycorrhiza	51.40 <sup>cd</sup>	59.90 <sup>bc</sup>	127.65 <sup>bc</sup>	43.15 <sup>b</sup>	172.2 <sup>d</sup>	289.2 <sup>cd</sup>	54.67 <sup>a</sup>	45.35 <sup>a</sup>	1496.2 <sup>c</sup>	7795.8 <sup>b</sup>

در هر ستون تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

\*, \*\* and Ns are significant at the level of 0.05 and 0.01 and non-significant, respectively.



شکل ۲- نتایج مقایسه برهم کنش مکان × کود بر ارتفاع بوته

تیمارها به ترتیب شامل: باکتری + کود شیمیایی (B+NPK)، باکتری + میکوریزا (B+MY)، باکتری + میکوریزا + کود شیمیایی (B+MY+NPK)، کود شیمیایی + میکوریزا (NPK+MY)، باکتری (B)، شاهد (C)، کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا (MY) می باشد.

Figure 2- Interaction effect of site × fertilizer on plant height of Sesame (The treatments include: bacteria+chemical fertilizer (B+NPK), bacteria+mycorrhiza (B+MY), bacteria+mycorrhiza+chemical fertilizer (B+MY+NPK), chemical fertilizer+mycorrhiza (NPK+MY), bacteria (B), control (C), chemical fertilizer (NPK) and mycorrhiza (MY).)

آوردن آب و در نتیجه کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه مرتبط باشد (Ghasemipamah *et al.*, 2020). با این حال پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی استفاده از کودهای شیمیایی به دلیل تامین عناصر غذایی گیاه و کودهای زیستی به عنوان میکروارگانیسم‌های مفید خاک می‌توانند به طور قابل توجهی بر سنتز کلروفیل و رشد گیاهان تأثیر بگذارند (Li *et al.*, 2024). این میکروارگانیسم‌ها با ایجاد همزیستی با ریشه گیاه به بهبود جذب مواد مغذی، افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و در نهایت افزایش رشد رویشی و بهبود تولید کلروفیل در گیاه کمک می‌کنند (Basyal, 2024). در پژوهشی بر روی کنجد گزارش شد که اثر هم‌افزایی کودهای شیمیایی در تلفیق با کودهای زیستی می‌تواند سبب بهبود رشد رویشی گیاه و افزایش ارتفاع بوته در کنجد گردد (Rezaei *et al.*, 2018).

شایان ذکر است که بالاتر بودن ارتفاع بوته در منطقه سرکهنان می‌تواند علاوه بر شرایط آب‌وهوایی مناسب‌تر با خاک منطقه مورد مطالعه نیز مرتبط باشد (جدول ۱). در واقع فسفر موجود در کودهای شیمیایی در خاک‌های مختلف به ترکیبات نامحلول تبدیل می‌شود و در نتیجه از دسترس گیاه خارج می‌گردد. در خاک‌های آهکی، فسفر به صورت تری کلسیم فسفات و در خاک‌های اسیدی به صورت فسفات آهن و آلومینیوم تثبیت می‌شود (Van Doorn *et al.*, 2024). این در حالی است که خاک منطقه سرکهنان تقریباً خنثی و خاک منطقه دشت حوض

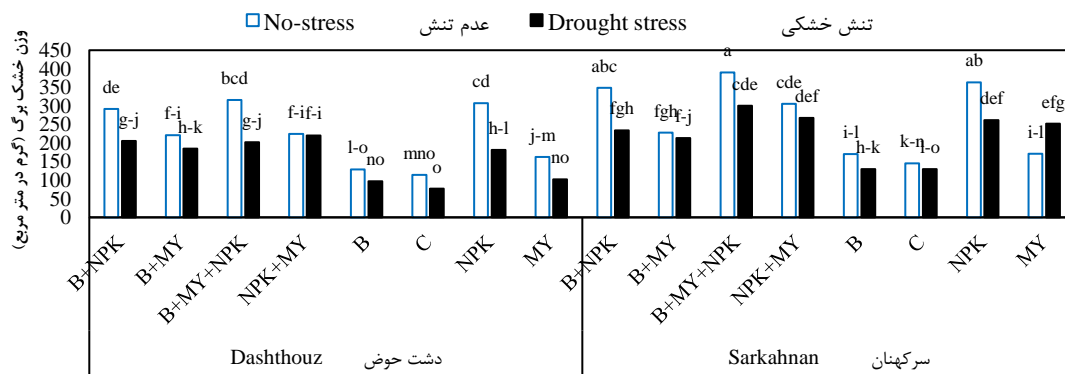
عوامل نامساعد محیطی از جمله تنش خشکی سبب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان زراعی و روغنی می‌گردد (Hao *et al.*, 2024). این عناصر قدرت تخریب بالایی داشته و می‌توانند به ساختارهای سلولی از جمله کلروپلاست حمله کرده و اثر سوء بر سنتز و پایداری کلروفیل داشته باشند (Hao *et al.*, 2024). تخریب کلروفیل به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن در کنجد پیش از این نیز مورد تایید پژوهشگران قرار گرفته است (Fang *et al.*, 2024). از دیگر عوامل تخریب کلروفیل می‌تواند با این موضوع مرتبط باشد که در شرایط تنش خشکی گلوتامات به عنوان ماده پیش‌ساز کلروفیل و پرولین، جهت تولید پرولین مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه سنتز کلروفیل در گیاه کاهش می‌یابد (Nazar Nezhad, 2024). کلروفیل در برگ نشان‌دهنده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است و بنابراین با کاهش آن، فتوسنتز نیز کاهش یافته و رشد رویشی گیاه نیز کم می‌شود. به نظر می‌رسد که یکی از عوامل کاهش ارتفاع بوته نیز این مورد باشد. برخی دیگر از مطالعات کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش را با اختلال در میتوز عنوان نمودند (Anwar *et al.*, 2022; Dan *et al.*, 2024; Nazar Nezhad, 2024). در پژوهشی جهت بررسی اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته کنجد گزارش شد که تنش خشکی سبب کاهش ۲۳ درصدی ارتفاع گیاه در مقایسه با تیمار شاهد (آبیاری کامل) شد (Ghasemipamah *et al.*, 2020). آنها اذعان داشتند که این مورد می‌تواند با رقابت بیش از حد بین بوته‌ها جهت به دست

برگ و بهبود ۲۸، ۳۶ و ۲۱ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به تیمار متناظر خود در تنش خشکی، بیشترین میزان از این لحاظ را به خود اختصاص دادند (شکل‌های ۳ و ۴). چنین به نظر می‌رسد که منطقه سرکه‌هان با توجه به شرایط اقلیمی و خاکی از لحاظ صفات رشدی نسبت به منطقه دشت حوض برتری داشته است. به طوری که کمترین میزان از این لحاظ در تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) و تیمار باکتری با وزن خشک برگ به ترتیب ۷۷ و ۹۶ گرم در مترمربع و وزن خشک ساقه به ترتیب ۱۵۶ و ۱۸۰ گرم در مترمربع در شرایط تنش خشکی و در منطقه دشت حوض مشاهده شد (شکل‌های ۳ و ۴). علاوه بر آن چنین به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی در شرایط تنش خشکی و عدم تنش خشکی مکمل یکدیگر بوده و استفاده همزمان از آن‌ها منجر به بهبود قابل توجه وزن خشک بخش‌های هوایی گیاه شده است. این موضوع در مقایسه بین تیمار باکتری + میکوریزا + کود شیمیایی با تیمار منفرد باکتری به خوبی قابل مشاهده است (شکل‌های ۳ و ۴). این نتیجه این مورد را گوشزد می‌کند که برای دستیابی به کشاورزی پایدار و تولید محصولاتی با کیفیت و کمیت مناسب، ترکیب کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند یک رویکرد مناسب در نظر گرفته شود.

به سمت قلیایی تمایل دارد، به نظر می‌رسد که استفاده توأم از باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ‌های میکوریزا و کودهای شیمیایی به افزایش دسترسی کنگد به فسفر و در نتیجه افزایش رشد آن‌ها کمک گیاه شایانی نموده است.

### وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه

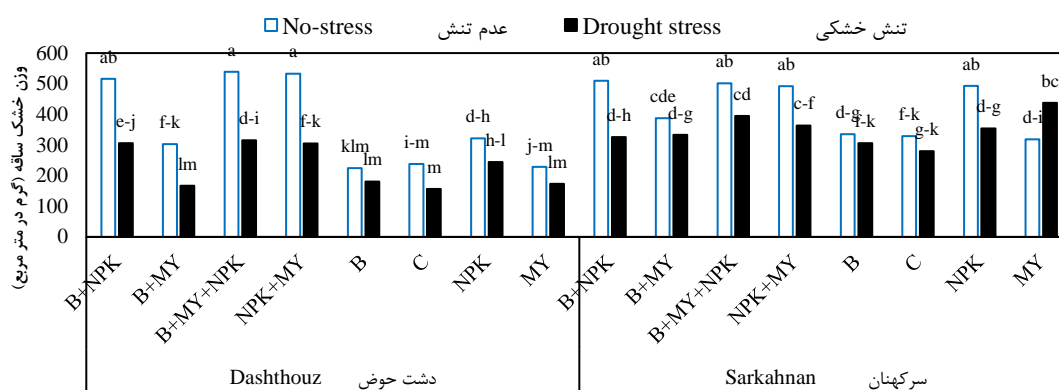
نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی کنگد حاکی از معنی‌داری ( $p \leq 0.01$ ) اثر ساده مکان، تنش خشکی و کود بر وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه بود (جدول ۲). برهم‌کنش تیمارها نیز نشان داد به جز اثر دوگانه مکان  $\times$  کود بر وزن خشک برگ، سایر اثرات دوگانه ( $p \leq 0.01$ ) و سه‌گانه ( $p \leq 0.05$ ) معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر مکان  $\times$  تنش خشکی  $\times$  کود نشان داد که در گیاهان پرورش یافته با تیمار تنش خشکی صفات مورد بررسی از افت قابل توجهی برخوردار بودند. با این حال اضافه کردن کودهای زیستی و شیمیایی به خصوص در منطقه سرکه‌هان با بهبود رشد و افزایش وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه همراه بوده است. نتایج نشان داد که در شرایط عدم تنش، تیمار کود شیمیایی، تیمار باکتری + کود شیمیایی، تیمار باکتری + میکوریزا + کود شیمیایی در منطقه سرکه‌هان با بهبود ۲۸ و ۳۲ و ۲۳ درصدی وزن خشک



شکل ۳- اثر برهم‌کنش مکان  $\times$  تنش خشکی  $\times$  کود بر وزن خشک برگ

تیمارها به ترتیب شامل: باکتری + کود شیمیایی (B+NPK)، باکتری + میکوریزا (B+MY)، باکتری + میکوریزا + کود شیمیایی (B+MY+NPK)، کود شیمیایی + میکوریزا (NPK+MY)، باکتری (B)، کنترل (C)، کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا (MY) می‌باشد.

Figure 3- Interaction effect of site  $\times$  drought stress  $\times$  Fertilizer on Leaf dry weight of Sesame (The treatments include: bacteria+chemical fertilizer (B+NPK), bacteria+mycorrhiza (B+MY), bacteria+mycorrhiza+chemical fertilizer (B+MY+NPK), chemical fertilizer+mycorrhiza (NPK+MY), bacteria (B), control (C), chemical fertilizer (NPK) and mycorrhiza (MY).)



شکل ۴- اثر برهمکنش مکان × تنش خشکی × کود بر وزن خشک ساقه

تیمارها به ترتیب شامل: باکتری + کود شیمیایی (B+NPK)، باکتری + میکوریزا (B+MY)، باکتری + میکوریزا + کود شیمیایی (B+MY+NPK)، کود شیمیایی + میکوریزا (NPK+MY)، باکتری (B)، کنترل (C)، کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا (MY) می باشد.

Figure 4- Interaction effect of site × drought stress × Fertilizer on Stem dry weight of Sesame (The treatments include: bacteria+chemical fertilizer (B+NPK), bacteria+mycorrhiza (B+MY), bacteria+mycorrhiza+chemical fertilizer (B+MY+NPK), chemical fertilizer+mycorrhiza (NPK+MY), bacteria (B), control (C), chemical fertilizer (NPK) and mycorrhiza (MY).)

در گیاه کنگد به طور قابل توجهی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Ahmed et al., 2023). آنها اذعان داشتند که با افزایش انحلال عناصر غذایی به خصوص فسفر توسط قارچ میکوریزا و افزایش جذب آن به وسیله هیفهای گسترش یافته، سنتز اسید نوکلئیک افزایش یافته و این عامل سبب بهبود رشد رویشی گیاه می گردد. این نتیجه در سایر پژوهشها نیز مورد تایید قرار گرفته است که با پژوهش حاضر همخوانی کامل دارد (Tiepo et al., 2024; Ru et al., 2024). شایان ذکر است که بالاتر بودن رشد در منطقه سرکهنان علاوه بر شرایط آبوهوایی می تواند با حاصلخیزی بیشتر و اسیدیته مناسب تر خاک (جدول ۱) جهت کشت کنگد مرتبط باشد. در سایر پژوهشها نیز به موثر بودن ویژگیهای خاک بر رشد و عملکرد گیاه کنگد اشاره شده است (Noor et al., 2020).

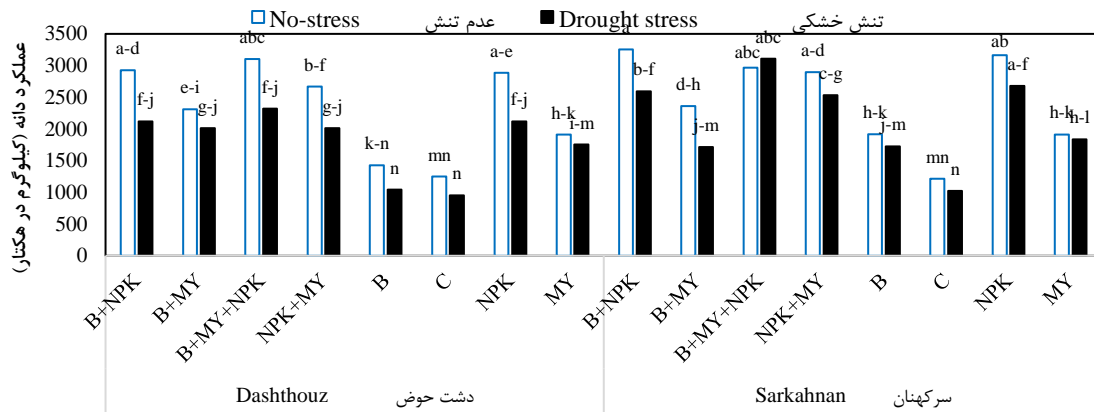
#### عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس دادهها نشان داد که اثر ساده مکان، تنش خشکی و کود بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی دار ( $p \leq 0.01$ ) بود (جدول ۲). برهم کنش تیمارها نیز حاکی از آن بود که به غیر از اثر دوگانه مکان × کود، سایر برهم کنشها اثر معنی دار بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گیاه داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۳۲۵۵ کیلوگرم در

اگرچه تنش خشکی از طریق تاثیر سوء بر محتوای کلروفیل، کاهش تقسیم سلولی، کاهش سطح برگ، افزایش تولید گونه های فعال اکسیژن، افزایش میزان پرولین و مالون دی آلدئید سبب کاهش رشد گیاه می گردد (Bijani et al., 2023; Nazar Nejad, 2024). اما مدیریت صحیح تغذیه می تواند در این شرایط به بهبود رشد گیاه کمک نماید. همان طور که در نتایج مشخص شد استفاده از کودهای شیمیایی در کنار کودهای زیستی وزن خشک بالاتر برگ و ساقه را به خود اختصاص دادند. به نظر می رسد که اثر متقابل مثبت بین کودهای شیمیایی، قارچ میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر یکدیگر، منجر به بهبود قابل توجه میکروبیولوژی خاک، افزایش تولید ترکیبات مفید مانند اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز و در نهایت بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه می شود (Yadav et al., 2022; Shivhare et al., 2024; Tiepo et al., 2024). این ترکیبات، شرایط رشد گیاه را به مراتب بهتر از زمانی که هر یک از این عوامل به تنهایی استفاده شود، بهبود می بخشد. بنابراین در تیمارهای تلفیقی از کودهای شیمیایی، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات (*Pseudomonas putida*) رشد گیاه در شرایط تنش و غیرتنش به طور قابل توجهی بالاتر از سایر تیمارها بود. در پژوهشی مشخص شد که با کاربرد قارچ میکوریزا و کوددهی با سوپرفسفات تریپل، صفات مورفولوژیکی به خصوص وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ساقه و وزن خشک ریشه

میانگین ۹۵۳/۰ و ۱۰۲۵/۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار تنش خشکی و عدم کاربرد کود به ترتیب به منطقه دشت حوض و سرکههان تعلق داشت (شکل ۵). عملکرد دانه در تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) در شرایط غیرتنش در منطقه دشت حوض و سرکههان به ترتیب ۲۳ و ۱۵ درصد بالاتر از شرایط تنش بود (شکل ۵).

هکتار مربوط به تیمار عدم تنش خشکی و کاربرد تلفیقی باکتری+ کود شیمیایی بود که در منطقه سرکههان مشاهده شد (شکل ۵). شالیان ذکر است که تیمار مذکور با تیمار کود شیمیایی به تنهایی و ترکیب کود شیمیایی+ میکوریزا+ باکتری در منطقه سرکههان و با تیمارهای مشابه در منطقه دشت حوض اختلاف معنی داری نشان ندادند. کمترین عملکرد دانه نیز با



شکل ۵- اثر برهمکنش مکان × تنش خشکی × کود بر عملکرد دانه کنجد

تیمارها به ترتیب شامل: باکتری+ کود شیمیایی (B+NPK)، باکتری+ میکوریزا (B+MY)، باکتری+ میکوریزا+ کود شیمیایی (B+MY+NPK)، کود شیمیایی+ میکوریزا (NPK+MY)، باکتری (B)، کنترل (C)، کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا (MY) می باشد.

Figure 5- Interaction effect of site × drought stress × fertilizer on grain yield of Sesame (The treatments include: bacteria+chemical fertilizer (B+NPK), bacteria+mycorrhiza (B+MY), bacteria+mycorrhiza+chemical fertilizer (B+MY+NPK), chemical fertilizer+mycorrhiza (NPK+MY), bacteria (B), control (C), chemical fertilizer (NPK) and mycorrhiza (MY).)

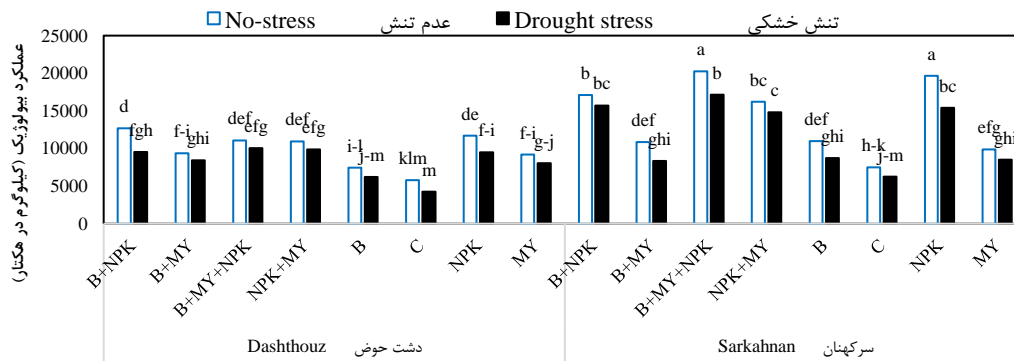
کاهش عملکرد بیولوژیک گیاه گردید. به نظر می رسد که تیمار باکتری نیز در هر دو منطقه سبب افزایش قابل توجهی در عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی نگردید. به طوری که کمترین عملکرد بیولوژیک با ۴۲۵۸ و ۶۲۳۹ کیلوگرم در هکتار به شرایط تنش خشکی در تیمارهای شاهد (عدم استفاده از کود) و تیمار باکتری در منطقه دشت حوض اختصاص یافت (شکل ۶).

پژوهش‌ها نشان می دهد که برای دستیابی به عملکرد مطلوب و پایدار در کشاورزی، لازم است به طور همزمان به عوامل مختلفی مانند مکان کشت، مدیریت آبیاری و نوع کوددهی مناسب توجه شود. این سه عامل به طور مستقل و همزمان بر یکدیگر تأثیر می گذارند. برای مثال تنش خشکی از طریق کاهش جذب عناصر غذایی و تأثیر منفی بر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، سبب تأثیر منفی بر متابولیسم عناصر و تنظیم کننده های رشد گیاه و در نهایت سبب کاهش

نتایج برهم کنش سه گانه مکان × تنش خشکی × کود بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که منطقه سرکههان نسبت به منطقه دشت حوض در تمامی تیمارهای کودی و حتی تیمار شاهد عملکرد بیولوژیک بالاتری را به خود اختصاص داد (شکل ۶). بیشترین عملکرد بیولوژیک بدون وجود اختلاف معنی دار مربوط به تیمار عدم تنش خشکی و کاربرد تلفیقی کود شیمیایی+ باکتری+ میکوریزا (۲۰۲۴۰ کیلوگرم در هکتار) و تیمار کود شیمیایی (۱۹۶۷۰ کیلوگرم در هکتار) در منطقه سرکههان بود (شکل ۶). جهت مقایسه عملکرد بیولوژیک در دو منطقه مورد بررسی می توان چنین گزارش کرد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در منطقه دشت حوض در شرایط عدم تنش خشکی و تیمار کود شیمیایی مشاهده شد که ۶۹ درصد کمتر از تیمار متناظر خود در منطقه سرکههان بود. علاوه بر آن در نتایج به وضوح می توان مشاهده نمود که اعمال تنش خشکی در تمام تیمارها به خصوص تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) سبب

افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در گیاهان زراعی و روغنی شود، که این عامل می‌تواند یکی از عوامل کلیدی در برتری عملکرد در منطقه سرکهنان نسبت به دشت حوض باشد.

فتوسنتز، تنفس و انتقال مواد فتوسنتزی و کاهش عملکرد گیاه می‌گردد (Hamedani *et al.*, 2022; Fang *et al.*, 2024). با این حال انتخاب مکانی با شرایط آب‌وهوایی و خاکی مناسب و استفاده بهینه از کودهای شیمیایی و زیستی می‌تواند منجر به



شکل ۶- اثر برهم‌کنش مکان × تنش خشکی × کود بر عملکرد بیولوژیک کنجد

تیمارها به ترتیب شامل: باکتری + کود شیمیایی (B+NPK)، باکتری + میکوریزا (B+MY)، باکتری + میکوریزا + کود شیمیایی (B+MY+NPK)، کود شیمیایی + میکوریزا (NPK+MY)، باکتری (B)، کنترل (C)، کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا (MY) می‌باشد.

Figure 6- Interaction effect of site × drought stress × fertilizer on grain yield of Sesame (The treatments include: bacteria+chemical fertilizer (B+NPK), bacteria+mycorrhiza (B+MY), bacteria+mycorrhiza+chemical fertilizer (B+MY+NPK), chemical fertilizer+mycorrhiza (NPK+MY), bacteria (B), control (C), chemical fertilizer (NPK) and mycorrhiza (MY).)

بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای کود شیمیایی حاصل شد، درحالی‌که در شرایط تنش خشکی بیشترین عملکرد دانه در کنجد در استفاده از کودهای زیستی قابل مشاهده بود (Rezaee *et al.*, 2018). آن‌ها اذعان داشتند که در شرایط تنش خشکی، کاربرد کودهای زیستی می‌تواند یک راه‌حل مناسب جهت افزایش تولید کنجد در نظر گرفته شود (Rezaee *et al.*, 2018). در پژوهشی دیگر مشخص شد که استفاده از باکتری محرک رشد می‌تواند در افزایش عملکرد گیاه در شرایط خشک و نیمه‌خشک که آب عامل اصلی در تعیین عملکرد محصول است، حیاتی باشد (Thuc *et al.*, 2023). سایر پژوهش‌ها نیز استفاده همزمان از کودهای زیستی و شیمیایی را جهت افزایش عملکرد گیاهان روغنی مورد تایید قرار داده‌اند (Yousefpoor and Yadav, 2014).

### درصد روغن و کنجاله

درصد روغن و کنجاله تنها تحت تاثیر اثر ساده مکان و تنش خشکی قرار گرفتند (جدول ۲). برهم‌کنش تیمارها نیز اثر معنی‌داری بر درصد روغن و کنجاله نداشتند (جدول ۲). نتایج

مطالعات نشان می‌دهد با تامین عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر عناصر ریزمغذی، می‌توان به تقویت سیستم ایمنی گیاه، بهبود رشد ریشه، افزایش فتوسنتز و در نهایت افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی کمک نمود (Basal and Szabó, 2020). چنین به نظر می‌رسد که استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد با ترشح آنزیم‌هایی سبب تعدیل اسیدیته خاک گردیده و با افزایش انحلال عناصر غذایی در خاک از تخلیه آن از منطقه ریشه جلوگیری به عمل آورده است (Yadav *et al.*, 2021). هم‌افزایی استفاده از کود شیمیایی در کنار میکروارگانیسم‌ها زمانی نمودارتر می‌شود که این عناصر غذایی توسط هیف‌های گسترش یافته میکوریز جذب گیاه می‌گردد و به بهبود عملکرد کمک می‌کند. به‌طوری‌که برخی از پژوهش‌های کاربرد همزمان قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات را به‌عنوان فرصت امیدوارکننده برای بهبود رشد و عملکرد کنجد مطرح کرده‌اند (Yadav *et al.*, 2021). در پژوهشی بر روی عملکرد و اجزای عملکرد کنجد تحت تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی و کودهای زیستی و شیمیایی گزارش شد که در شرایط بدون تنش

تنش خشکی می‌تواند تأثیر پیچیده و متناقضی بر درصد روغن در گیاهان روغنی داشته باشد. این تأثیر به عوامل مختلفی از جمله رقم گیاه، میزان و شدت تنش، مرحله رشد، شرایط محیطی و تغذیه گیاه بستگی دارد. در پژوهشی گزارش شد در شرایط تنش خشکی، برخی ارقام سویا (مانند L17 و Ds2) افزایش درصد روغن را تجربه کردند، در حالی که در ارقام دیگر (مانند سحر، ویلیامز) این روند کاهشی بود. دلیل اصلی افزایش درصد روغن در ارقام مذکور، کاهش اندازه دانه و تخصیص یافتن حجم بیشتری از فضای دانه به روغن در شرایط تنش خشکی گزارش شد. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که تنش ملایم منجر به افزایش درصد روغن در سویا می‌شود (Navabpour et al., 2017).

مقایسه میانگین مربوط اثر ساده مکان بر درصد روغن نشان داد که درصد روغن در منطقه سرکهنان ۵ درصد بالاتر از دشت حوض بود (جدول ۳). از آنجایی که بین درصد روغن و کنجاله خاصیت جبرانی وجود دارد، بنابراین بالاترین درصد کنجاله با میانگین ۵۶/۲۱ درصد مربوط به منطقه دشت حوض و کمترین میزان نیز با میانگین ۵۴/۲۶ درصد مربوط به منطقه سرکهنان بود (جدول ۳). اثر ساده تنش خشکی نیز حاکی از افزایش ۴ درصدی روغن و کاهش ۳ درصدی کنجاله در گیاهان تیمار یافته با تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۳). یافته‌ها حاکی از آن است که درصد روغن توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود، اما می‌تواند تحت تاثیر شرایط محیطی از جمله شرایط آب‌وهوایی و تنش خشکی قرار گیرد (Safavi Fard et al., 2018).

جدول ۴- ضرایب همبستگی صفات اندازه گیری شده در کنگد تحت تنش خشکی

Table 4- Correlation coefficients among the measured traits of sesame under drought stress

	ارتفاع بوته PH	شاخص کلروفیل SP	روز تا گلدهی DF	روز تا کپسول دهی DP	عملکرد دانه GY	عملکرد بیولوژیک BY	درصد روغن OS	درصد کنجاله M	وزن خشک برگ DWL	وزن خشک ساقه DWS
ارتفاع بوته PH	1									
شاخص کلروفیل SP	0.23 *	1								
روز تا گلدهی DF	-0.60 **	0.14 ns	1							
روز تا کپسول دهی DP	-0.75 **	0.08 ns	0.71 **	1						
عملکرد دانه GY	0.59 **	0.58 **	-0.11 ns	-0.21 *	1					
عملکرد بیولوژیک BY	0.73 **	0.60 **	-0.21 **	-0.34 **	0.74 **	1				
درصد روغن OS	0.21 *	-0.004 ns	-0.37 **	-0.38 **	-0.04 ns	0.11 ns	1			
درصد کنجاله M	-0.21 *	0.004 ns	0.37 **	0.38 **	0.04 ns	-0.11 ns	-1.00 **	1		
وزن خشک برگ DWL	0.54 **	0.59 **	-0.08 ns	-0.16 ns	0.80 **	0.73 **	-0.05 ns	0.05 ns	1	
وزن خشک ساقه DWS	0.56 **	0.39 **	-0.07 ns	-0.18 ns	0.75 **	0.61 **	-0.14 ns	0.14 ns	0.74 **	1

ns, \*, \*\* are non-significantly different and significantly different at 5 and 1 percent. Respectively.

صفات به ترتیب شامل: ارتفاع بوته (PH)، شاخص کلروفیل (SP)، روز تا گلدهی (DF)، روز تا کپسول دهی (DP)، عملکرد دانه (GY)، عملکرد بیولوژیک (BY)، درصد روغن (OS) و درصد کنجاله (M)، وزن خشک برگ (DWL) و وزن خشک ساقه (DWS) می‌باشد.

Traits include: plant height (PH), chlorophyll index (SP), days to flowering (DF), days to podding (DP), Grain yield (GY), biological yield (BY), seed oil percentage (OS), and meal oil percentage (M), leaf dry weight (DWL) and stem dry weight (DWS).

را در مورد روابط بین این صفات فراهم می‌کند که برای بهینه‌سازی رشد و بهره‌وری گیاه در زمینه‌های کشاورزی حیاتی است.

### نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در دو منطقه مورد مطالعه (سرکه‌نان و دشت حوض) تنش خشکی سبب تسریع در فنولوژی (روز تا کپسول‌دهی و روز تا گلدهی)، کاهش شاخص کلروفیل، کاهش وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه در گیاه روغنی کنگد شد. علاوه بر آن کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد کنگاله نیز در گیاهان تیمار یافته با تنش خشکی قابل مشاهده بود. با این حال درصد روغن با اعمال تنش خشکی افزایش یافت. اما به نظر می‌رسد در شرایط تنش، کاربرد تلفیقی کودهای زیستی (باکتری حل‌کننده فسفات و میکوریز) در کنار استفاده از کودهای شیمیایی به خصوص در منطقه سرکه‌نان تا حد مناسبی از تاثیر سوء تنش خشکی و کاهش عملکرد دانه جلوگیری به عمل آورد. اثر هم‌افزایی کودهای مورد استفاده بر بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط عدم تنش نیز به وضوح قابل مشاهده بود. بنابراین استفاده از کودهای زیستی در کنار کاربرد مناسب کود شیمیایی، می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب جهت بهبود تولید کنگد در مناطق خشک و نیمه‌خشک در نظر گرفته شود.

برخی دیگر از مطالعات نیز حاکی از افزایش درصد روغن در شرایط تنش خشکی است که با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد (Rahmani et al., 2008). علاوه بر آن چنین به نظر می‌رسد که شرایط آب‌وهوایی نیز می‌تواند بر درصد روغن گیاه موثر واقع شود. در پژوهشی گزارش شد که اعمال تنش خشکی در سال ۲۰۱۷ با افزایش درصد روغن و تکرار آزمایش در سال ۲۰۱۸ با کاهش درصد روغن همراه بود (Naservafaei et al., 2024).

### همبستگی صفات

نتایج مرتبط با همبستگی صفات اندازه‌گیری شده در کنگد نشان داد بالاترین همبستگی معنی‌دار و مثبت در وزن خشک برگ با صفات‌های عملکرد دانه ( $0/80^{**}$ )، عملکرد بیولوژیک ( $0/73^{**}$ ) و وزن خشک ساقه ( $0/74^{**}$ ) مشاهده شد (جدول ۴). همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز بین شاخص کلروفیل با صفات‌های عملکرد دانه ( $0/58^{**}$ ) و عملکرد بیولوژیک ( $0/60^{**}$ ) قابل مشاهده بود. این نتیجه مبنی بر سهم قابل توجه وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و شاخص کلروفیل بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در کنگد است. این در حالی است که ارتفاع بوته همبستگی منفی و معنی‌داری با روز تا گلدهی ( $-0/60^{**}$ ) و روز تا کپسول‌دهی ( $-0/75^{**}$ ) و همبستگی مثبت و معنی‌دار با وزن خشک برگ ( $0/54^{**}$ ) و وزن خشک ساقه ( $0/56^{**}$ ) داشت. درک این همبستگی‌ها بینش‌های ارزشمندی

### References

- Abbas, M.S., Doweidar, M.M. and Saleh, S.A., 2024. Evaluation of healthy pan bread enriched with sesame, peanut and sun flower seeds. *Egyptian Journal of Chemistry*, 67, pp.89-108. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2024.244716.8782>
- Ahluwalia, O., Singh, P.C. and Bhatia, R., 2021. A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. *Resources, Environment and Sustainability*, 5, pp.1-14. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100032>
- Ahmed, H.A., Amro, A., Mahdy, A.Y. and Imara, D.A., 2023. Potential of arbuscular mycorrhizal fungi against charcoal rot of sesame and optimized fertilization for enhancing growth, productivity, and nutrient uptake. *Egyptian Journal of Phytopathology*, 51, pp.76-89. <https://doi.org/10.21608/ejp.2023.229040.1102>
- Ahmed, N.J. and Ali, K.A., 2024. Effect of exogenous salicylic acid foliar spray on growth, yield and chemical content of sesame crop (*Sesamum Indicum* L.) under drought stress. *Sarhad Journal of Agriculture*, 40, pp.702-712. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2024/40.3.702.712>

- Anwar, M., Saleem, M.A., Dan, M., Malik, W., Ul-Allah, S., Ahmad, M.Q., Abdul Qayyum, A., Amjid, M.W., Ullah Zia, Z., Afzal, H., Asif, M., Ur Rahman, M.A. and Hu, Z., 2022. Morphological, physiological and molecular assessment of cotton for drought tolerance under field conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29, pp.444-452. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.009>
- Basal, O. and Szabó, A., 2020. The combined effect of drought stress and nitrogen fertilization on soybean. *Agronomy*, 10, pp.1-18. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030384>
- Basyal, B., 2024. Plant-arbuscular mycorrhizal fungi association under drought stress. in arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable agriculture: nutrient and crop management. *Springer Nature Singapore*, pp.211–221. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-0300-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-97-0300-5_10)
- Bijani, M., Soufizadeh, S., Shiranirad, A., Jabbari, S., 2023. Evaluation of spring oilseed rape cultivars response to terminal drought stress in Karaj. *Journal of Crops Improvement*, 25, pp.920-933. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2022.347418.2740>
- Chaharlang Badil, F., Azizi, K., Eisvand, H., Nasrollahi, A. and Ismaili, A., 2022. Effect of biological and chemical fertilizers and salicylic acid spraying on yield and some physiological traits of wheat under drought stress. *Plant Productions*, 45, pp.397-408. <https://doi.org/10.22055/ppd.2022.40567.2026>
- Dan, L., Huibo, Z., Zian, W., Jing, X., Yiting, L., Jiajia, W., Ren Deyong, R., Zhenyu, G., Guojun, D., Qiang, Z., Lan, S., Qing, L., Qian, Q., Songping, H. and Guangheng, Z., 2024. Leaf morphology genes SRL1 and RENL1 Co-regulate cellulose synthesis and affect plant drought tolerance. *Rice Science*, 13, pp.103-117. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.10.001>
- El-Shaboury, H.A., El-Emshaty, A.M. and Baddour, A.G., 2023. an investigation of the effect of phosphate dissolving bacteria, arbuscular mycorrhizal fungi, dry yeast, and their stimulating effects on faba bean plants and plant uptake of nutrients. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 14, pp.363-370. <https://doi.org/10.21608/jssae.2023.249010.1199>
- Fan, X., Hu, X., Ma, Y., Pang, Y., Sun, J. and Hou, P., 2024. Influence of high temperature and drought stress at jointing stage on crop physiological responses and growth in summer maize plants (*Zea mays* L.). *Frontiers in Plant Physiology*, 2, pp.1-18. <https://doi.org/10.3389/fphgy.2024.1331421>
- Fang, S., Yang, H., Tao, Y., Shi, J. and Wang, M., 2024. Sesame (*Sesamum indicum* L.) growth properties and yield attributes are associated with potassium level in response to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 47, pp.1364-1377. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2308194>
- Ghasemipamah, M., Aminian, R., Gholamhoseini, M., Farhad Habibzadeh, F., 2020. Sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars response to full and low irrigation regimes. *Field crop science*, 51, pp.151-163. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2019.250447.654439>
- Gholinezhad, E. and Darvishzadeh, R., 2021. Influence of arbuscular mycorrhiza fungi and drought stress on fatty acids profile of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Field Crops Research*, 262, pp.1-15. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108035>

- Hamedani, N.G., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F. and Amiri, B., 2022. Yield, irrigation water productivity and nutrient uptake of arbuscular mycorrhiza inoculated sesame under drought stress conditions. *Agricultural Water Management*, 266, pp.1-16. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107569>
- Hao, X., Cao, H., Wang, Z., Jia, X., Jin, Z. and Pei, Y., 2024. Hydrogen sulfide improves plant drought tolerance by regulating the homeostasis of reactive oxygen species. *Plant Growth Regulation*, 104(2), pp.803-821. <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01197-z>
- Jafari, H., Noorgholipour, F. and Rajaei, M., 2019. Determination of the optimal irrigation interval on yield and yield components of sesame in Sesame field region of Iran using class A evaporation pan. *Iranian of Irrigation & Water Engineering*, 9, pp.208-222. [In Persian]. <https://doi.org/10.22125/iwe.2019.90264>
- Jeyaraj, S. and Beevy, S.S., 2024. Insights into the drought stress tolerance mechanisms of sesame: the queen of oilseeds. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43, pp.3370-3391. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11353-4>
- Kálmán, C.D., Nagy, Z., Berényi, A., Kiss, E. and Posta, K., 2024. Investigating PGPR bacteria for their competence to protect hybrid maize from the factor drought stress. *Cereal Research Communications*, 52, pp.129-150. <https://doi.org/10.1007/s42976-023-00388-0>
- Karimzadeh Soureshjani, H.K., Nezami, A., Kafi, M. and Tadayon, M., 2019. Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 213, pp.270-279. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.038>
- Kouighat, M., Hanine, H., El Fechtali, M. and Nabloussi, A., 2021. First report of sesame mutants tolerant to severe drought stress during germination and early seedling growth stages. *Plants*, 10, pp.1-18. <https://doi.org/10.3390/plants10061166>
- Li, M., Luo, J., Nawaz, M.A., Stockmann, R., Buckow, R., Barrow, C., Dunshea, F. and Rasul Suleria, H.A., 2024. Phytochemistry, bioaccessibility, and bioactivities of sesame seeds: An overview. *Food Reviews International*, 40, pp.309-335. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2168280>
- Luo, D., Shi, J., Li, M., Chen, J., Wang, T., Zhang, Q., Yang, L., Zhu, N. and Wang, Y., 2024. Consortium of phosphorus-solubilizing bacteria promotes maize growth and changes the microbial community composition of rhizosphere soil. *Agronomy*, 14, pp.1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071535>
- Naservafaei, S., Sohrabi, Y., Moradi, P. and Weisany, W., 2024. Improving oil content and fatty acid composition in dragon's head grain under drought stress with exogenous salicylic acid application. *Journal of Agriculture and Food Research*, 17, pp.1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101232>
- Navabpour, S., Hezarjaribi, E. and Mazandarani, A., 2017. Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10, pp.491-503. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.61.102>
- Nazar Nezhad., G., 2024. Effect of organic fertilizer and planting date on yield, physiological and qualitative traits of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) under drought and salinity stresses. PhD thesis, Faculty of Agriculture, University of shahrekord. [In Persian].

- Noor, R.S., Hussain, F., Abbas, I., Umair, M. and Sun, Y., 2020. Effect of compost and chemical fertilizer application on soil physical properties and productivity of sesame (*Sesamum Indicum* L.). *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13, pp.905-915. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01066-5>
- Parande, S., Eslami., V. Al-Ahmadi, M., 2019. Effects of shading and nitrogen on phenology and yield of foxtail millet (*Setaria italica* L.) in competition with white pigweed (*Amaranthus albus* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12, pp.961-972. [In persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1338.1280>
- Parsa Motlagh, B., Shahdadi, F., Salehi Sardoei, A., Parviz, L. and Ghorbanpour, M., 2024. Foliar-applied melatonin alters grain yield and the fatty acid profile of sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. *Journal of Crop Health*, 76, pp.725–73. <https://doi.org/10.1007/s10343-024-00977-x>
- Pourhosseini, S.H., Azizi, A., Seyedi, F.S. and Hadian, J., 2024. Bio-fertilizer as a pathway to minimize nitrate leaching from chemical fertilizer in high yield peppermint production. *Journal of Cleaner Production*, 41, pp.1417–1437. <https://doi.org/10.1007/s00299-022-02866-x>
- Rahmani, N., Valadabadi, S., Daneshian, J. and Bigdeli, M., 2008., The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 24, pp.101-108. [In Persian].
- Rezaee, P., Kochaki, A., Nasiri, M. and Jahan, M., 2018. Yield and yield components of sesame influenced by chemical and biological fertilizers and irrigation levels. *Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production*, 27, pp.172-189. [In Persian].
- Ru, C., Hu, X., Wang, W. and Yan, H., 2024. Impact of nitrogen on photosynthesis, remobilization, yield, and efficiency in winter wheat under heat and drought stress. *Agricultural Water Management*, 302, pp.1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109013>
- Safavi Fard, N.S., Abad, H.H.S., Rad, A.S., Heravan, E.M. and Daneshian, J., 2018. Effect of drought stress on qualitative characteristics of canola cultivars in winter cultivation. *Industrial Crops and Products*, 114, pp.87-92. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.082>
- Shivhare, R., Semwal, P., Mishra, S.K. and Chauhan, P.S., 2024. *Pseudomonas putida* facilitates pearl millet growth in cold environments and alleviates drought stress by modulating phytohormone, antioxidant, and secondary metabolite pathways. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43(11), pp.4199-4218. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11384-x>
- Sima, N.A.K., Jabbari, H., Ebadi, A., Ghaffari, M.R. and Koobaz, P., 2024. Comparative analysis of exogenous hormone application on contrasting canola (*Brassica napus* L.) genotypes under drought stress conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24, pp.308-317. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01527-6>
- Thuc, L. V., Thu, L.T.M., Huu, T.N., Nghi, P.H., Quang, L.T., Xuan, D.T. and Khuong, N.Q., 2023. Effects of phosphorus fertilizers and phosphorus-solubilizing rhizosphere bacteria on soil fertility, phosphorus uptake, growth, and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivated on alluvial soil in dike. *Geomicrobiology Journal*, 40, pp.527-537. <https://doi.org/10.1080/01490451.2023.2204860>

- Tiepo, A.N., Fávoro, M.H., Amador, T.S., Tavares, L.F., Hertel, M.F., Calzavara, A.K. and Stolf-Moreira, R., 2024. Associative bacteria and arbuscular mycorrhizal fungus increase drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) through morphoanatomical, physiological, and biochemical changes. *Plants*, 13, pp.1-14. <https://doi.org/10.3390/plants13121667>
- Van Doorn, M., van Rotterdam, D., Ros, G., Koopmans, G.F., Smolders, E. and de Vries, W., 2024. The phosphorus saturation degree as a universal agronomic and environmental soil P test. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 54, pp.385-404. <https://doi.org/10.1080/10643389.2023.2240211>
- Wang, Y., Zhu, Y., Zhang, S. and Wang, Y., 2018. What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers?. *Journal of Cleaner Production*, 199, pp.882-890. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222>
- Yadav, R., Chakraborty, S. and Ramakrishna, W., 2022. Wheat grain proteomic and protein–metabolite interactions analyses provide insights into plant growth promoting bacteria–arbuscular mycorrhizal fungi–wheat interactions. *Plant Cell Reports*, 41, pp.1417-1437. <https://doi.org/10.1007/s00299-022-02866-x>
- Yashavanthakumar, K.J., Baviskar, V.S., Navathe, S., Patil, R.M., Bagwan, J.H., Bankar, D.N. and Singh, G.P., 2021. Impact of heat and drought stress on phenological development and yield in bread wheat. *Plant Physiology Reports*, 26, pp.357-367. <https://doi.org/10.1007/s40502-021-00586-0>
- Yousefpoor, Z. and Yadavi, A., 2014. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative yield of sunflower. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24, pp.95-112. [In Persian].

# Crop Science Research in Arid Regions

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

## Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 847-865

### Investigating the growth and physiological response of marjoram to the application of mycorrhiza and salicylic acid under drought stress conditions

Babak Modara <sup>a</sup>, Mohammad Mehdi Rahimi <sup>\*b</sup>, Moslem Abdipur <sup>c</sup>, Mehdi Hosseinifarahi <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Ph.D. Student of Agronomy, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

<sup>b</sup> Department of Agrotechnology, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

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

<sup>d</sup> Department of Horticultural Science, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

\*Corresponding Author: [mm.rahimi@iau.ac.ir](mailto:mm.rahimi@iau.ac.ir)

Received: 15 December 2024

Accepted: 28 March 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.493403.1458

#### How to cite this article:

Modara, B., Rahimi, M. M., Abdipur, M. and Hosseinifarahi, M., 2025. Investigating the growth and physiological response of marjoram to the application of mycorrhiza and salicylic acid under drought stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 847-865. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.493403.1458>

#### Abstract

**Introduction:** Marjoram, with its scientific name (*Origanum majorana* L.), is considered one of the most important and best-selling medicinal and spice plants in Iran and the world. Environmental stresses are one of the important factors in reducing the production of agricultural products in the world. Under natural and agricultural conditions, plants are constantly exposed to various stresses, which is one of the obstacles to the potential production of water deficit, which has a negative effect on the growth and physiological traits of plants. Therefore, one of the possible ways to increase tolerance to drought stress is inoculation with useful microorganisms. These organisms form a colony in the rhizosphere of the plant and increase the growth of the plant through direct and indirect mechanisms. Arbuscular mycorrhizal fungi increase host plant drought tolerance through physiological mechanisms of nutrient uptake and biochemical mechanisms related to hormone synthesis, osmotic regulation, and antioxidant systems. Salicylic acid is a phenolic compound and an essential plant hormone that plays an important role in stress defense and growth regulation. Several studies have investigated the effect of using salicylic acid in plants and have come to the conclusion that salicylic acid causes resistance to a variety of non-biological stresses. The increase in salicylic acid production, along with the decrease in auxin biosynthesis, coordinates plant defense responses, reduces the adverse effects of drought and salinity stress by improving physiological parameters, membrane integrity, and photosynthetic efficiency. For this purpose, an experiment was conducted with the aim of investigating the growth and physiological response of marjoram to the application of mycorrhiza and salicylic acid under drought stress conditions.



©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/).

**Materials and Methods:** This experiment was carried out as a split-factorial design in the form of a basic randomized complete block design with three replications. The experimental factors include the main plot of different levels of drought stress (35, 70, and 90% of the field capacity) and the secondary plot with two factors, the first factor including mycorrhizal fungus with two levels (without inoculation and inoculation with *Glomus hoi* species) and the second factor of concentrations Salicylic acid was different at three levels (zero, 100 and 300 mg/L). One month after planting, salicylic acid treatment was done as foliar spraying. The foliar spraying was repeated twice on the aerial parts of marjoram plants before flowering. The control treatment was considered without foliar spraying and with distilled water.

**Results and Discussion:** In this study, the traits of plant height, shoot dry weight, shoot fresh weight, number of lateral branches, ion leakage, relative leaf water content, proline, and soluble sugar were investigated. In the 70% field capacity treatment, the application of mycorrhizal fungus and foliar spraying with 300 mg/L salicylic acid increased shoot dry weight by 25.2% and the shoot fresh weight by 6.1% compared to the control (no application). The results showed that ion leakage decreased by 25.5% in the treatment with mycorrhizal fungus application and foliar spraying with 100 mg/L salicylic acid compared to the control. The highest amount of proline was obtained in the 35% field capacity treatment, measuring 2.15 mg/g, which showed an increase of 29.15% compared to the 90% field capacity treatment.

**Conclusion:** In general, the results of this study indicate that the application of mycorrhiza and foliar spraying with salicylic acid can help improve the growth and performance of marjoram under drought stress conditions. Therefore, it is recommended to use inoculation with the mycorrhizal fungus *G. hoi* and foliar spraying with a concentration of 300 mg/L salicylic acid for marjoram production in areas with water scarcity.

**Keywords:** Ion leakage, Proline, Relative water content, Shoot, Water deficit

## بررسی پاسخ رشدی و فیزیولوژیکی مرزنجوش به کاربرد میکوریزا و سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش خشکی

بابک مدارا<sup>۱</sup>، محمد مهدی رحیمی<sup>۲\*</sup>، مسلم عبدی پور<sup>۳</sup>، مهدی حسینی فرهی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، یاسوج، ایران

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، یاسوج، ایران

۳- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، ایستگاه تحقیقاتی گچساران، گچساران، ایران

۴- گروه علوم باغبانی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

\* مسئول مکاتبه: [mm.rahimi@iau.ac.ir](mailto:mm.rahimi@iau.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.493403.1458

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵

### چکیده

مرزنجوش با نام علمی (*Origanum majorana* L.) به‌عنوان یکی از مهمترین گیاهان ادویه‌ای و دارویی در ایران و جهان به‌شمار می‌رود. آزمایشی با هدف بررسی پاسخ رشدی و فیزیولوژیکی مرزنجوش به کاربرد میکوریزا و سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش خشکی انجام گرفت. این آزمایش به‌صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در شهرستان کازرون از توابع استان فارس انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح مختلف تنش خشکی (۳۵، ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) در کرت اصلی و کرت فرعی با دو فاکتور، فاکتور اول شامل قارچ میکوریزا با دو سطح (بدون تلقیح و تلقیح با گونه *Glomus hoi*) و فاکتور دوم غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد که نشت یونی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم سالیسیلیک اسید نسبت به عدم کاربرد ۲۵/۵ درصد کاهش نشان داد. بیشترین میزان پرولین در تیمار ۳۵ درصد ظرفیت زراعی به‌میزان ۲/۱۵ میلی‌گرم در گرم در گرم به‌دست آمد که نسبت به تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی ۲۹/۱۵ درصد افزایش نشان داد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید می‌تواند به بهبود رشد و عملکرد مرزنجوش تحت شرایط تنش خشکی کمک کند. بنابراین، برای تولید مرزنجوش در مناطق با محدودیت آب، از تلقیح با قارچ میکوریزا *G. hoi* و محلول‌پاشی با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** اندام هوایی، پرولین، کم‌آبی، محتوای نسبی آب، نشت یونی

### مقدمه

خاک، به‌همراه آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، به‌طور نامطلوبی روی جوله‌زنی، رشد گیاه و در نهایت تولید محصول تأثیر می‌گذارد (Hafeez et al., 2023). گیاهان در شرایط طبیعی و زراعی به‌طور مداوم با تنش‌های مختلفی روبه‌رو هستند. یکی از مهم‌ترین موانع برای دستیابی به عملکرد بالقوه، کم‌آبی است که تأثیر منفی بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاهان دارد (Ghadirmezahd Shiade et al., 2023). با اینکه تحقیقات متعددی در زمینه تأثیر تنش‌های محیطی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان دارویی صورت گرفته است. اما شواهد نشان می‌دهد تحقیقات اندکی بر روی گیاه مرزنجوش انجام شده است. پژوهشگران به بررسی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های کمی و کیفی مرزنجوش پرداختند که نتایج آنها نشان داد، تنش

مرزنجوش از خانواده نعنائیان (Labiatae) و بومی جنوب‌شرقی ناحیه مدیترانه به‌شمار می‌رود. این گیاه در کشورهای مختلفی از جمله نواحی شمالی ایران کشت می‌شود و از اهمیت اقتصادی و صنعتی بالایی بهره‌مند است (Cala et al., 2020; Farsi et al., 2021). مرزنجوش در سراسر جهان به‌عنوان یک گیاه دارویی و طعم‌دهنده محبوب شناخته شده است، حاوی طیف گسترده‌ای از اجزای فعال دارویی از جمله گلوکوزیدهای فنلی، فلاونوئیدها، تانن‌ها، استرول‌ها و مقادیر زیادی ترپنوئید است (Elfiky et al., 2022). تنش‌های محیطی از عوامل اصلی کاهش تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان به‌شمار می‌روند. شرایطی چون خشکی و شوری

غشاه و کارایی فتوسنتزی کاهش می‌دهد ( *Ahmad et al., 2021*). تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر گیاهان بسته به گونه‌های گیاهی و شرایط آزمایشی متفاوت است ( *Moustakas et al., 2022*). نتایج نشان داده است که محلول پاشی یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید با کاهش محتوای کلروفیل و محافظت از فتوسیستم II، تنش را کاهش می‌دهد و در نتیجه عملکرد فتوسنتزی را بهبود می‌بخشد ( *Moustakas et al., 2022*).

گزارش شده است کاربرد خارجی سالیسیلیک‌اسید در غلظت‌های کم اثر تعیین‌کننده‌ای بر القای تحمل در گیاهان در معرض تنش آبی دارد، زیرا سالیسیلیک‌اسید به تنظیم رشد، جوانه‌زنی، تعرق، بسته شدن روزنه، گلیکولیز و تولید گل و میوه کمک می‌کند ( *Nassef et al., 2017*). از آنجا که تنش خشکی از بزرگترین چالش‌های تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، شناخت واکنش‌های گیاهان به‌ویژه گیاهان دارویی به کمبود آب اهمیت زیادی دارد. با توجه به نیاز کشت مرزنجوش در ایران و خلاء تحقیقاتی در مورد اثرات سالیسیلیک‌اسید و کاربرد قارچ میکوریزا در رابطه با واکنش این گیاه دارویی در شرایط تنش خشکی، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر کاربرد سالیسیلیک‌اسید و قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی مرزنجوش در شرایط تنش خشکی انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش، در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان کازرون از توابع استان فارس با مختصات عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۸۶۰ متر از سطح دریا، انجام شد. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرا، نمونه‌گیری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ گزارش شده است.

خشکی در سطوح متوسط و شدید به‌طور معنی‌داری باعث کاهش وزن خشک این گیاه می‌شود ( *Morshedloo et al., 2017*). همچنین مطالعات نشان داده است که تلقیح با ریزجانداران خاک، رشد گیاهان را در شرایط تنش بهبود می‌بخشد. از این‌رو یکی از راه‌های ممکن برای افزایش تحمل تنش خشکی تلقیح با ریزجانداران مفید می‌باشد ( *Ansari et al., 2023; Fathi et al., 2024*). این جانداران در ریزوسفر گیاه کلونی تشکیل داده و از طریق سازوکارهای مستقیم و غیرمستقیم رشد گیاه را افزایش می‌دهند ( *De Andrade et al., 2023*). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار تقریباً با ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی همزیست شده و در تمامی اکوسیستم‌های خشکی وجود دارند. توسعه میکوریزایی و کلونیزاسیون ریشه به‌میزان زیادی سبب بهبود رشد و افزایش بقای گیاه در تنش خشکی می‌شود ( *Lee et al., 2013; Shi et al., 2023*). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار تحمل خشکی گیاه میزبان را از طریق سازوکارهای فیزیولوژیکی جذب مواد غذایی و سازوکارهای بیوشیمیایی مرتبط با سنتز هورمون‌ها، تنظیم اسمزی و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌دهند ( *Nadeem et al., 2014*). در دو دهه گذشته، شواهد فزاینده نشان داده است که سالیسیلیک‌اسید با تأثیر بر تقسیم سلولی و گسترش سلولی، نقش اساسی در تنظیم رشد گیاه ایفا می‌کند ( *Fujikura et al., 2020*). سالیسیلیک‌اسید یک ترکیب فنلی و هورمون گیاهی ضروری است که نقش مهمی در دفاع از تنش و تنظیم رشد ایفا می‌کند ( *Zhang and Li, 2019*). پژوهش‌های متعددی تأثیر کاربرد سالیسیلیک‌اسید را در گیاهان، مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که سالیسیلیک‌اسید سبب مقاومت به انواع تنش‌های غیرزیستی می‌شود ( *Ghadirnezhad Shiade et al., 2023*). افزایش تولید سالیسیلیک‌اسید، همراه با کاهش بیوسنتز اکسین، پاسخ‌های دفاعی گیاه را هماهنگ می‌کند، اثرات نامطلوب تنش خشکی و شوری را با بهبود پارامترهای فیزیولوژیکی، یکپارچگی

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Results of physical and chemical analysis of soil at the test site

واکنش خاک	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	شن	سیلت	رس	بافت خاک
pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	OC (%)	N (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
7.04	0.79	1.46	0.15	18	213	29	45	26	سیلتی Silty

نصب کنتور حجمی میزان آب مورد نیاز به دست آمد. جهت اعمال تیمار آبیاری با داشتن ظرفیت زراعی منطقه (FC) و نقطه پژمردگی (PWP) میزان آب قابل استفاده خاک (AW) مشخص شد. جهت اعمال تیمار آبیاری از رابطه ۱ استفاده شد:

$$V = (FC - Mt) \times pb \times Droot \times AEi \quad (1)$$

V: حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب

FC: درصد رطوبت ظرفیت وزنی خاک در حد ظرفیت

زراعی

Mt: درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری

pb: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)

Droot: عمق توسعه ریشه بر حسب متر

AEi: راندمان آبیاری

در مرحله گلدهی بوته‌های مربوط به هر تیمار از سطح خاک برداشت، بسته‌بندی و درون محفظه‌ای خنک و مملو از یخ به آزمایشگاه انتقال یافتند. در آزمایشگاه نمونه‌های جمع‌آوری شده به منظور بررسی صفات فیزیولوژیک به تعداد یکسان و به صورت تصادفی به دو نمونه گیاهی تر و خشک تقسیم‌بندی شد. نمونه‌های تر را درون زیپ‌کیپ بسته‌بندی و در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی، بوته‌ها از سطح خاک قطع شد و اندام کل شامل طوقه، شاخه‌های فرعی و برگ مورد ارزیابی قرار گرفت. توزین لندام هوایی توسط ترازو با دقت ۰/۰۰۱ انجام شد. پس از اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی، نمونه‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت و دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفت.

از معادله ۲ محتوای نسبی آب برگ ارزیابی شد:

(۲)

وزن خشک برگ - وزن تر

$$= \frac{\text{برگ}}{\text{وزن خشک برگ - وزن تر}} \times 100 = \text{محتوای نسبی آب (\%)}$$

تورژانس برگ

برای تعیین نشست یونی (Kumar and Dey, 2011) ۰/۱

گرم از بافت برگ تازه گیاه را پس از شستشو درون لوله‌های آزمایش در پیچ‌دار قرار داده و ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آنها اضافه شد. بعد از ۲۴ ساعت میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC<sub>۱</sub>) با استفاده از EC متر ارزیابی شد. سپس نمونه‌ها به مدت

این آزمایش به صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کرت اصلی سطوح مختلف تنش خشکی (۳۵، ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) و کرت‌های فرعی با دو فاکتور، فاکتور اول شامل قارچ میکوریزا با دو سطح (بدون تلقیح و تلقیح با گونه *Glomus hoi*) و فاکتور دوم غلظت‌های مختلف سالیسیلیک‌اسید در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. بلافاصله پس از آماده‌سازی زمین، اقدام به کاشت نشاءهای مرزنجوش شد. کاشت نشاءهای مرزنجوش در چهارم آبان‌ماه ۱۴۰۱ و برداشت در ۲۰ فروردین ۱۴۰۲ انجام شد. در تمام کرت‌ها، نشاء گیاه مرزنجوش در مساحت ۹ مترمربع (۳ در ۳ متر) به طور همزمان کشت شدند. هر کرت شامل ۸ خط کاشت با فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر و بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر بود. فاصله هر کرت با کرت مجاور ۱ متر و بین هر تکرار ۳ متر در نظر گرفته شد. مراقبت‌های پس از کاشت شامل وجین، آبیاری و سله‌شکنی به طور منظم انجام داده و در طول دوره رشد از هیچ نوع علف‌کشی استفاده نشد. قارچ میکوریزا (۱۰۰ اندام فعال در گرم به صورت پودر و مخلوطی از اسپوره‌ها، ریشه‌ها، ماسه) مصرف شد و روی هر ردیف کاشت در عمق ۱۰- ۵ سانتی‌متری توزیع گردید، سپس اولین آبیاری انجام گردید. در مرحله ۸ برگی، نشاءها به زمین اصلی انتقال یافت و پس از استقرار کامل نشاءها (یک هفته بعد) سطوح تنش اعمال شد. یک ماه پس از کاشت، تیمار سالیسیلیک‌اسید به صورت محلول‌پاشی انجام شد. محلول‌پاشی به صورت اسپری بر بخش‌های هوایی بوته‌های مرزنجوش، تا قبل از گلدهی دوبار تکرار شد. تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی و با آب مقطر در نظر گرفته شد. ظرفیت زراعی خاک با استفاده از دستگاه دیسک صفحه فشاری مشخص شد، و سطوح تنش ۳۵، ۷۰ و ۹۰ درصد این مقدار تعیین شد. به منظور تعیین دقیق زمان آبیاری از دستگاه رطوبت‌سنج خاک (TDR) که درصد حجمی رطوبت خاک را در عمق مورد نظر (۴۰ سانتی‌متر) تعیین می‌کند، استفاده شد. آبیاری به صورت نوار تیپ بود. تمامی کرت‌ها تا استقرار کامل گیاه در وضعیت یکنواخت آبیاری قرار داشت و بعد از آن تیمارهای متفاوت آبیاری براساس نقشه کاشت تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه اعمال شد. با توجه به مساحت هر کرت حجم مورد نیاز برای هر تیمار محاسبه و با

خشکی، میکوریزا و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی دار بود. همچنین اثر متقابل تنش خشکی × سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد بر ارتفاع بوته معنی داری بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته (۳۹ سانتی متر) در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد ۳۰۰ میلی گرم سالیسیلیک اسید مشاهده شد. محلول پاشی با سالیسیلیک اسید باعث افزایش ارتفاع بوته در تیمارهای مصرف سالیسیلیک اسید گردید و با افزایش تنش خشکی و کاهش مصرف سالیسیلیک اسید ارتفاع بوته مرزنجوش کاهش پیدا کرد (شکل ۱). استفاده از سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی، می تواند موجب بهبود وضعیت رشد و نمو گیاهان گردد. گزارش ها نشان می دهد، مصرف سالیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر بیشترین تأثیر را بر نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L. داشته است که می تواند باعث افزایش فتوسنتزی در گیاه شود (Abpaykar et al., 2021). همچنین محققان بیان کردند که تنش خشکی با کاهش رشد و تقسیم سلولی باعث کاهش ارتفاع بوته می شود. کاهش رطوبت خاک را می توان به اختلال در فتوسنتز ناشی از تنش کم آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای تأمین قسمت های در حال رشد گیاه و در نهایت عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع دانست (Shahghasi et al., 2023). از طرفی سالیسیلیک اسید، به عنوان یک مولکول سیگنال دهنده مهم، بر رشد گیاه و افزایش مقاومت در برابر تنش خشکی تأثیر می گذارد و منجر به افزایش تقسیم سلولی در نواحی مریستمی و رشد سلولی می شود (Barjas et al., 2022).

۴۸ ساعت در فریزر قرار خواهد گرفت و بعد از آن، نمونه ها در دمای معمولی آزمایشگاه قرار گرفت و میزان هدایت الکتریکی (EC<sub>2</sub>) دوباره اندازه گیری شد و درصد نشت یونی از رابطه ۳ محاسبه شد (Kumar and Dey, 2011):

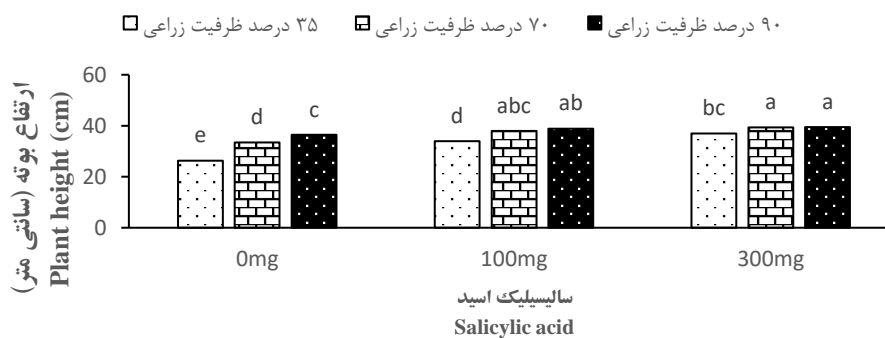
$$EC (\%) = (EC_1 / EC_2) \times 100 \quad (3)$$

برای استخراج پرولین پس از برداشت بوته، بلافاصله در داخل فویل آلومینیومی پیچیده شد و درون ظرف پر از یخ به آزمایشگاه منتقل شد و تا زمان اندازه گیری در دمای ۲۰- درجه سلسیوس قرار گرفت. محتوای پرولین در بخش هوایی با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه گیری و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه گردید (Bates et al., 1973). برای اندازه گیری قند محلول به نمونه های خشک برگ، الکل ۸۰ درصد افزوده شد، سپس یک میلی لیتر از محلول رویی برداشته، یک میلی لیتر فنل پنج درصد و پنج میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به نمونه ها اضافه گردید و جذب نوری آنها در طول موج ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. رسم منحنی استاندارد با استفاده از گلوکز و تعیین میزان قند بر حسب میلی گرم در گرم وزن خشک انجام شد (Kochert, 1978). اطلاعات به دست آمده با استفاده از نرم افزار آماری SAS V9.1 تجزیه و تحلیل آماری شد و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### ارتفاع بوته

نتایج تجزیه آماری داده ها نشان داد اثرات ساده تنش



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته مرزنجوش

Figure 1- Comparison of the average interaction effect of drought stress and salicylic acid on plant height of Marjoram

میانگین های دارای حروف یکسان براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

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

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی مرزنجوش با کاربرد میکوریزا و محلول پاشی سالیسیلیک اسید تحت شرایط خشکی

Table 2- Analysis of variance of studied traits of marjoram with mycorrhiza application and salicylic acid foliar spraying under drought conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات M.S							
		ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک اندام هوایی Dry weight of shoot	وزن تر اندام هوایی Fresh weight of shoot	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	نشست یونی Ion leakage	نسبی آب برگ Relative leaf water content	پرولین Proline	قند محلول Soluble sugar
تکرار R	2	1.89 <sup>ns</sup>	4392 <sup>ns</sup>	785624.7 <sup>ns</sup>	12.96 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	34.91 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>	0.0000007 <sup>ns</sup>
تنش خشکی (D)	2	192.31 <sup>**</sup>	3672944 <sup>**</sup>	55086404 <sup>**</sup>	793.4 <sup>**</sup>	281.07 <sup>**</sup>	3443.41 <sup>**</sup>	1.09 <sup>**</sup>	0.000011 <sup>**</sup>
خطای تنش خشکی Error D	4	1.66	6413.89	947790	6.82	33.66	45.65	0.014	0.000000039
میکوریزا (M)	1	48.17 <sup>**</sup>	448084 <sup>**</sup>	14760356 <sup>**</sup>	66.67 <sup>ns</sup>	468.7 <sup>ns</sup>	982.41 <sup>**</sup>	0.296 <sup>**</sup>	0.00000006*
D*M	2	0.43 <sup>ns</sup>	37078.3 <sup>ns</sup>	2411372 <sup>ns</sup>	14.22 <sup>ns</sup>	51.04*	101.52 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.000000001 <sup>ns</sup>
سالیسیلیک اسید (S)	2	145.57 <sup>**</sup>	2382736 <sup>**</sup>	31722766 <sup>**</sup>	467.55 <sup>**</sup>	227.6 <sup>**</sup>	1320.69 <sup>**</sup>	0.33 <sup>**</sup>	0.0000002 <sup>**</sup>
D×S	4	31.89 <sup>**</sup>	42637.5*	5343778 <sup>ns</sup>	50.19 <sup>**</sup>	69.26*	149.34*	0.009 <sup>ns</sup>	0.0000012 <sup>**</sup>
M×S	2	1.06 <sup>ns</sup>	8293.41 <sup>ns</sup>	516343 <sup>ns</sup>	41.72 <sup>ns</sup>	101.01*	33.28 <sup>ns</sup>	0.023 <sup>ns</sup>	0.000000002 <sup>ns</sup>
D×M×S	4	0.55 <sup>ns</sup>	63700 <sup>**</sup>	6751169 <sup>**</sup>	25.11*	46.21 <sup>ns</sup>	35.34 <sup>ns</sup>	0.035 <sup>ns</sup>	0.000000007 <sup>ns</sup>
خطای آزمایشی Error	30	2.64	13371.2	1346209	8.11	17.19	46.3	0.018	0.000000021
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		4.9	13.3	9.9	6.7	16.4	8.7	6.4	6.6

<sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی دار، و اثر معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می باشد.

<sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> and <sup>\*</sup> represent not significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively

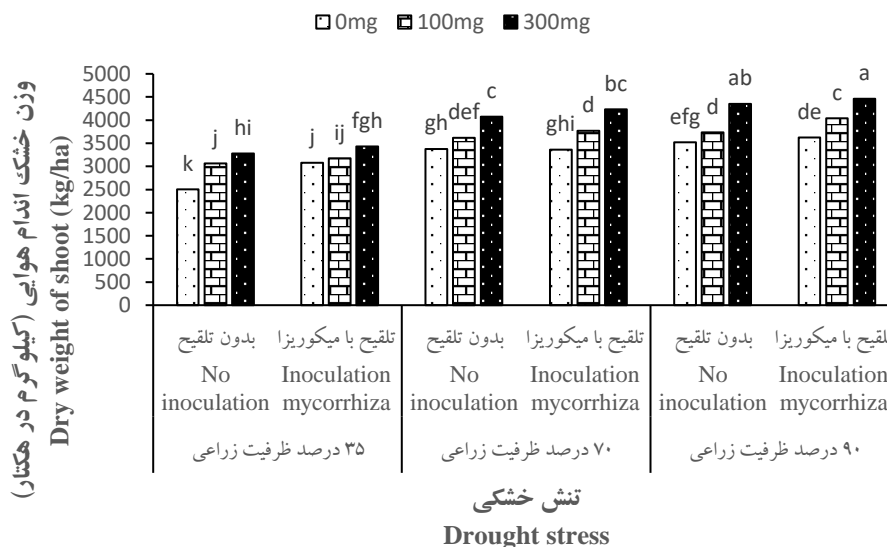
## وزن خشک اندام هوایی

اثرات ساده تنش خشکی، میکوریزا و محلول پاشی سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک اندام هوایی مرزنجوش معنی دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد اثر متقابل میکوریزا و سالیسیلیک اسید معنی دار نبود ولی سایر اثرات دوگانه و سه گانه بر وزن خشک اندام هوایی معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به همراه تلقیح میکوریزا و محلول پاشی ۳۰۰ میلی گرم سالیسیلیک اسید به میزان ۴۴۵۹/۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید که نسبت به تیمار ۳۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم تلقیح میکوریزا و عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید ۴۳/۸ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲).

محققان اظهار داشتند عملکرد خشک آویشن (*Thymus vulgaris* L.) تحت تنش کم آبی متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) به طور معنی داری کاهش یافت (Amani Machiani et al., 2023). آنها بیان داشتند که کاهش در عملکرد خشک آویشن به دلیل کمبود رطوبت کافی در اطراف ناحیه ریشه است. این موضوع منجر به کاهش در توسعه زیست توده ریشه شده و به دنبال آن، جذب مواد مغذی و آب نیز کاهش می یابد. این اثرات منفی فتوسنتز، تمایز و تقسیم سلولی را مختل کرده و در نهایت باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه می شوند (Amani Machiani et al., 2023). بنابراین، رشد گیاهی نتیجه ای از تلفیق و تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی است (Shiade et al., 2024). احتمالاً

در شرایط تنش خشکی گردیده است. علت بهبود در رشد را نمی‌توان به توانایی این قارچ در جذب فسفر محدود نمود بلکه سایر اثرات این قارچ مانند افزایش جذب آب و عناصر غذایی ماکرو و ریزمغذی‌ها توسط گیاه که ناشی از گسترش سیستم ریشه گیاه توسط این قارچ است را می‌توان نام برد (Mirzaei & Heydari *et al.*, 2024).

میکوریزا با جذب فسفر و تولید مواد افزایش‌دهنده رشد باعث بهبود رشد ریشه و در نتیجه بهبود سرعت جذب عناصر غذایی و آب شده باعث افزایش ارتفاع بوته شده است. گزارش شده است کاربرد میکوریزا منجر به افزایش رشد و نمو گیاهانی مانند آویشن (Amani Machiani *et al.*, 2023)، بالنگو (Paravar *et al.*, 2021)، بادرنجبویه (Eshaghi Gorgi *et al.*, 2022)



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، میکوریزا و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر وزن خشک اندام هوایی مرزنجوش

Figure 2- Comparison of mean interactions of drought stress, mycorrhiza, and salicylic acid foliar application on the dry weight of marjoram shoots

میانگین‌های دارای حروف یکسان براساس 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

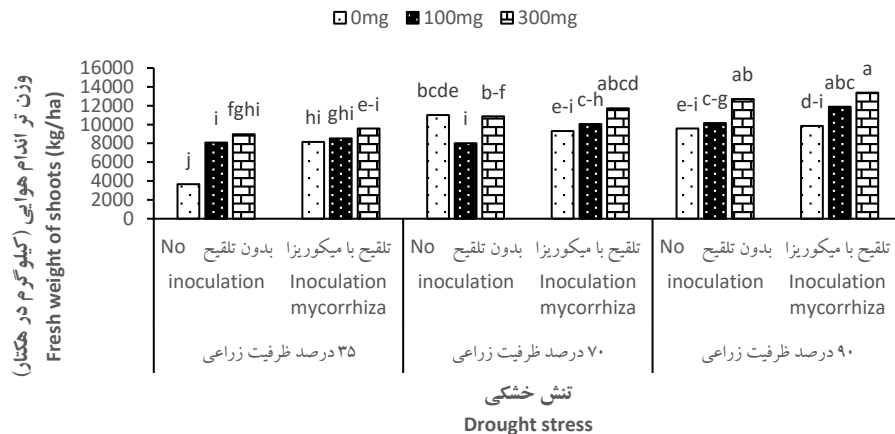
فتوسنتزی، جذب عناصر غذایی و متابولیسم نیتروژن دانست. رشد و نمو یک گیاه به تقسیم سلولی، رشد و تمایز سلول‌ها وابسته است (Fathi *et al.*, 2024).

رشد سلولی یکی از حساس‌ترین واکنش‌های گیاهی در برابر کم‌آبی می‌باشد. نتیجه کاهش اندازه سلول در رابطه با الگوی رشد گیاه به زمان وقوع تنش خشکی از نظر فنولوژی گیاه بستگی دارد. اگر کم‌آبی در ابتدای چرخه رشد گیاه اتفاق افتد، سطح برگ کاهش یافته و در نتیجه فتوسنتز در فصل رشد کاهش خواهد یافت (Fathi *et al.*, 2024).

در شرایط تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا زیست توده رازیانه افزایش داشت و دلیل افزایش را سیستم ریشه قوی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا بیان کردند (Zardak *et al.*, 2017).

## وزن تر اندام هوایی

نتایج نشان داد اثرات ساده تنش خشکی، میکوریزا و سالیسیلیک اسید بر وزن تر اندام هوایی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تنش خشکی، میکوریزا و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به همراه تلقیح میکوریزا و محلول پاشی سالیسیلیک اسید به میزان ۱۳۳۶۹/۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. کمترین وزن تر اندام هوایی در تیمار ۳۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم تلقیح با میکوریزا و عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید به میزان ۳۶۷۵/۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۳). مهم‌ترین دلایل کاهش در وزن گیاه در طول دوره کم‌آبی را می‌توان به اثرات سوء تنش بر رشد و فیزیولوژی گیاه شامل رشد رویشی، سیستم



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، میکوریزا و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر وزن تر اندام هوایی مرزنجوش

Figure 3- Comparison of mean effects of drought stress, mycorrhiza, and salicylic acid foliar application on fresh weight of marjoram shoots

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

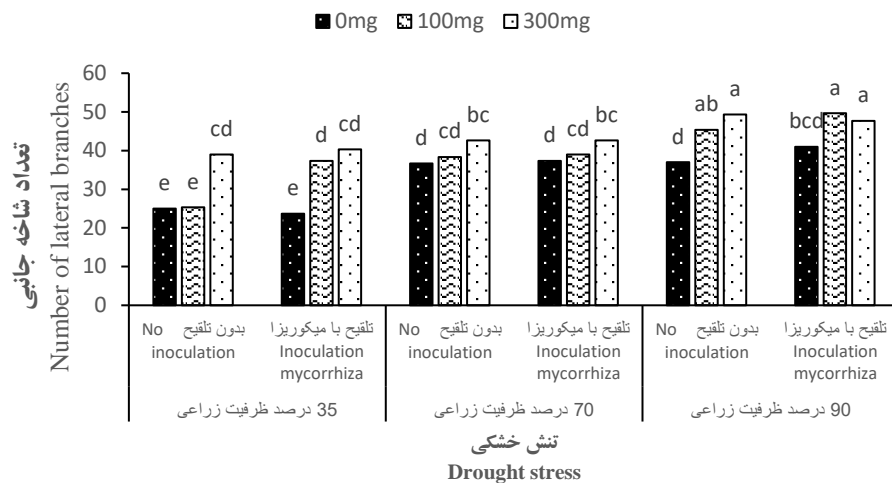
Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

## تعداد شاخه جانبی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش خشکی، میکوریزا و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد و اثرات دوگانه تنش خشکی × سالیسیلیک اسید و سالیسیلیک اسید × میکوریزا در سطح احتمال یک درصد و اثر سه‌گانه تنش خشکی × میکوریزا × سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد شاخه جانبی مرزنجوش معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین تعداد شاخه جانبی در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود که در شرایط محلول پاشی با سالیسیلیک اسید و تلقیح یا عدم تلقیح میکوریزا اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین نتایج نشان داد با تلقیح میکوریزا و محلول پاشی سالیسیلیک اسید در همه سطوح افزایش در تعداد شاخه جانبی مشاهده شد. کمترین شاخه جانبی در ۳۵ درصد ظرفیت زراعی و بدون تلقیح میکوریزا و عدم استفاده از سالیسیلیک اسید به دست آمد (شکل ۴). در شرایط تنش خشکی، محدودیت در رشد شاخساره به احتمال زیاد به دلیل تخصیص مجدد کربوهیدرات به نفع رشد ریشه یا کاهش بازده فتوسنتز می‌تواند باشد (Guo et al., 2020; Plouznikoff et al., 2016). محققان اظهار داشتند که تنش رطوبتی با کاهش طول دوره رشد گیاه و همچنین تسریع در ورود به فاز زایشی، مانع رشد جوانه‌های جانبی شده و تعداد شاخه‌های جانبی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Nuñez Barrios et al., 2005).

## نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثرات ساده تیمار تنش خشکی، میکوریزا و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل دوگانه تنش خشکی × سالیسیلیک اسید و میکوریزا × سالیسیلیک اسید و تنش خشکی × میکوریزا بر نشت یونی با سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میزان نشت یونی در تیمار ۳۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم تلقیح میکوریزا به میزان ۴۸/۸ درصد و کمترین میزان در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و تلقیح با میکوریزا به میزان ۱۸/۷ درصد به دست آمد (شکل ۵). نتایج به دست آمده با نتایج پژوهش‌های پیشین مبنی بر افزایش نشت یونی با افزایش تنش خشکی هم‌خوانی داشتند (Ramzan et al., 2023). تنش خشکی سبب اختلال در فعالیت غشای سلول می‌شود و به دنبال آن، شاخص‌های پایداری غشای سلول در گیاهان کاهش می‌یابد که باعث نشت یونی از داخل سلول به بیرون آن می‌شود (Sun et al., 2020). تنش خشکی با القای تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی را تولید می‌کند و نفوذپذیری غشا و نشت یونی را افزایش می‌دهد (Ansari et al., 2019; Shiade et al., 2024).

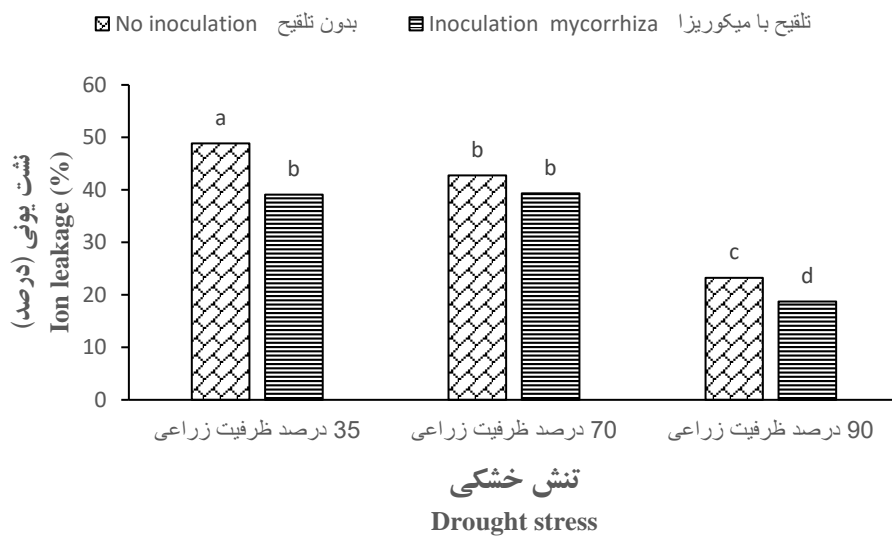


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، میکوریزا و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر تعداد شاخه جانبی مرزنجوش

Figure 4- Comparison of mean interactions of drought stress, mycorrhiza, and salicylic acid foliar application on the number of lateral branches of marjoram

میانگین‌های دارای حروف یکسان براساس 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 ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و میکوریزا بر درصد نشت یونی مرزنجوش

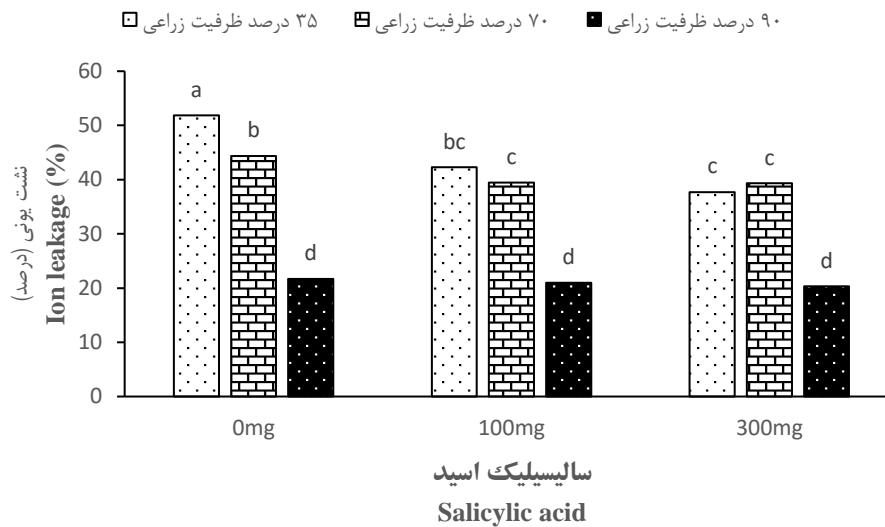
Figure 5- Comparison of the average interaction effect of drought stress and mycorrhiza on the percentage of ion leakage of marjoram

میانگین‌های دارای حروف یکسان براساس 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.

محققان اظهار داشتند محلول پاشی سالیسیلیک اسید به‌طور قابل توجهی باعث وضعیت بهتر آب گیاه، هموستاز یونی و کاهش آسیب اکسیداتیو و معکوس کردن مهار رشد ناشی از تنش می‌شود. بنابراین کاربرد سالیسیلیک اسید سبب فعال کردن سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و مقاومت گیاه به تنش خشکی می‌شود (Pai and Sharma, 2024).

نتایج نشان داد بیشترین نشت یونی در تیمار ۳۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید به میزان ۵۱/۸ درصد به دست آمد و کمترین میزان نشت یونی در همه سطوح با مصرف سالیسیلیک اسید به دست آمد (شکل ۶). به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیک باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی می‌شود. در همین راستا،



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر درصد نشت یونی مرزنجوش

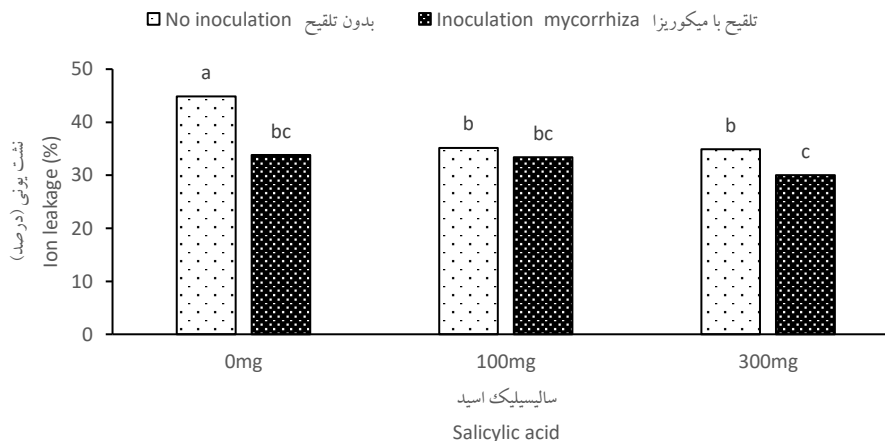
Figure 6- Comparison of the average interaction effect of drought stress and salicylic acid on the percentage of ion leakage of marjoram

میانگین‌های دارای حروف یکسان براساس 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.

داشتند که نشت یونی گیاهان تحت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و کاربرد قارچ میکوریزا باعث کاهش نشت یونی در شرایط تنش نسبت به شرایط عدم تلقیح شد. این پژوهشگران بیان کردند که علت کاهش نشت یونی به‌وسیله تیمار کردن گیاه با قارچ می‌توان به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی و در نتیجه تنظیم فشار اسمزی سلول مرتبط دانست (Asrar et al., 2012).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین نشت یونی در تیمار بدون تلقیح میکوریزا و عدم مصرف سالیسیلیک اسید به میزان ۴۸/۸ درصد و کمترین میزان در تیمار تلقیح میکوریزا و مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم سالیسیلیک اسید به میزان ۳۰ درصد به‌دست آمد (شکل ۷). به نظر می‌رسد میکوریزا با افزایش سیستم ریشه‌ای در گیاه و جذب عناصر در خاک سبب افزایش توان گیاه به شرایط تنش خشکی می‌شود. محققان اظهار



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سالیسیلیک اسید و میکوریزا بر درصد نشت یونی مرزنجوش

Figure 7- Comparison of mean interactions of salicylic acid\*mycorrhiza on the percentage of ion leakage of marjoram

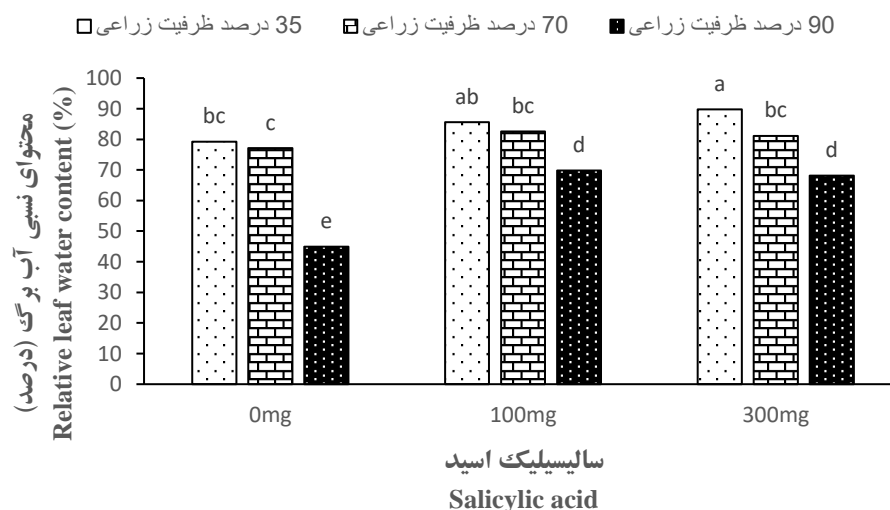
میانگین‌های دارای حروف یکسان براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

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

اظهار داشتند که کاربرد سالیسیلیک اسید بر میزان محتوای نسبی آب برگ افزوده است که علت آن را به افزایش توان جذب آب توسط ریشه و در نهایت افزایش در آن می‌شود (Yan et al., 2023). محتوای آب نسبی برگ ممکن است نشان‌دهنده تأثیر متفاوت تیمارها برای جذب آب از خاک و یا توانایی کنترل هدر روی آب از طریق روزنه‌ها و یا اختلاف در توانایی گیاهان برای تجمع و تنظیم اسمزی برای حفظ تورژسانس بافت و افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی باشد. یکی از اثرات گزارش شده سالیسیلیک اسید افزایش طول ریشه و افزایش توان استخراج آب است. این اثرات مثبت، ممکن است با بهبود و افزایش سرعت رشد ریشه‌ها در ابتدای زندگی گیاه، دلیلی برای افزایش محتوای نسبی آب گیاهان باشد (Altaf et al., 2021).

## محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات ساده تیمار تنش خشکی، میکوریزا و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر دوگانه تنش خشکی × سالیسیلیک اسید بر محتوای نسبی آب برگ با سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۸۹/۸ درصد) در تیمار ۳۵ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم سالیسیلیک اسید مشاهده شد. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای مصرف سالیسیلیک اسید گردید (شکل ۸). یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی پاسخ‌دهنده به کم‌آبی، محتوای نسبی آب برگ است که همبستگی خوبی با تحمل به خشکی نشان می‌دهد (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023). محققان



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر محتوای نسبی آب برگ مرزنجوش

Figure 8- Comparison of the average interaction effect of drought stress and salicylic acid on relative water content of marjoram leaves

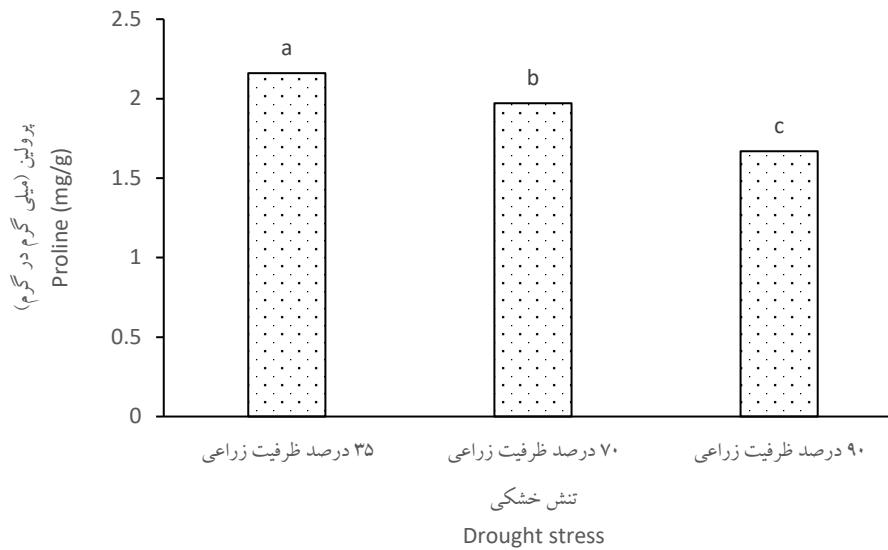
میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

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

افزایش سطح پرولین در شرایط تنش به این علت است که پرولین، اسمولیت سازگاری است که اکسیژن‌های آزاد تولید شده در تنش‌های محیطی را حذف و از مولکول‌های بزرگ حفاظت می‌کند (Parvaneh et al., 2012). پرولین علاوه بر تنظیم اسمزی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با ماکرومولکول‌ها اثر متقابل داشته و به حفظ شکل و ساختار طبیعی آنها در شرایط تنش کمک می‌کند (Koç et al., 2010).

## پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات ساده تیمار تنش خشکی، میکوریزا و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین میزان پرولین در تیمار ۳۵ درصد ظرفیت زراعی به‌میزان ۲/۱۵ میلی‌گرم در گرم به‌دست آمد که نسبت به تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی ۲۹/۱۵ درصد افزایش نشان داد (شکل ۹).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر میزان پرولین مرزنجوش

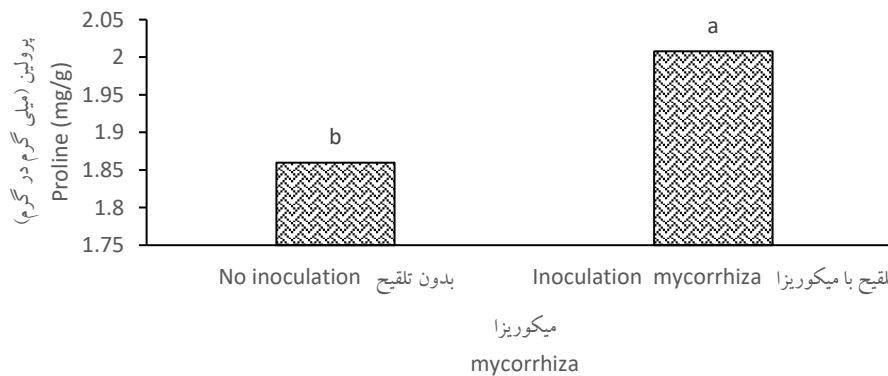
Figure 9- Comparison of the average effect of drought stress on the proline content of marjoram

میانگین‌های دارای حروف یکسان براساس 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.

(Xiong, 2015). معمولاً گیاهان میکوریزایی با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون میکوریز می‌توانند به‌طور موقت از شرایط تنش خشکی فرار کنند و کمتر دچار آسیب شوند و در نتیجه، میزان پرولین نسبت به گیاهان بدون میکوریز افزایش کمتری نشان می‌دهد (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004).

نتایج نشان داد بیشترین میزان پرولین در تیمار تلقیح میکوریزا به میزان ۲ میلی‌گرم در گرم به‌دست آمد که نسبت به حالت عدم تلقیح ۸/۱ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱۰). پرولین نقش محافظت‌کنندگی آنزیم‌های سیتوزولی (حفاظت از آنزیم کربوکسیلاز) و ساختار سلولی را بر عهده دارد؛ از این‌رو، پرولین طی شرایط تنش در سلول انباشت می‌شود (Fang and



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر میکوریزا بر میزان پرولین مرزنجوش

Figure 10- Comparison of the average effect of mycorrhiza on the proline content of marjoram

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

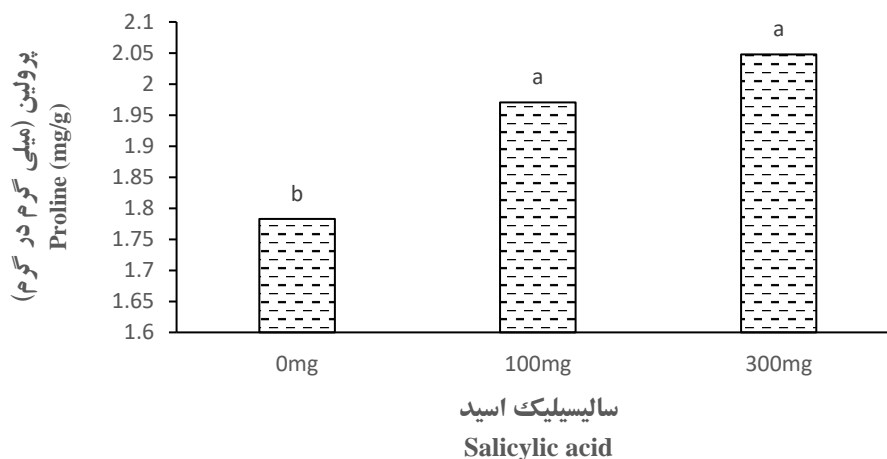
Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

عدم محلول‌پاشی کمترین میزان ۱/۷۸ میلی‌گرم در گرم پرولین به‌دست آمد (شکل ۱۱). پرولین به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی

نتایج نشان داد با افزایش مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم سالیسیلیک‌اسید ۲/۰۴ میلی‌گرم پرولین افزایش پیدا کرد و با

فعال و افزایش فعالیت، آسیب به دستگاه فتوسنتزی را تحت شرایط تنش کاهش می‌دهد (Nazar *et al.*, 2015; Shemi *et al.*, 2021).

باعث حفاظت از اندامک‌های سلولی مانند میتوکندری و کلروپلاست است که از تخریب اکسیداتیو آن جلوگیری می‌کند. محققان اظهار داشتند سالیسیلیک‌اسید با تجمع املاح سازگار (مانند پرولین)، کاهش سطوح رادیکال سمی گونه‌های اکسیژن



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر سالیسیلیک‌اسید بر میزان پرولین مرزنجوش

Figure 11- Comparison of the average effect of salicylic acid on the proline content of marjoram

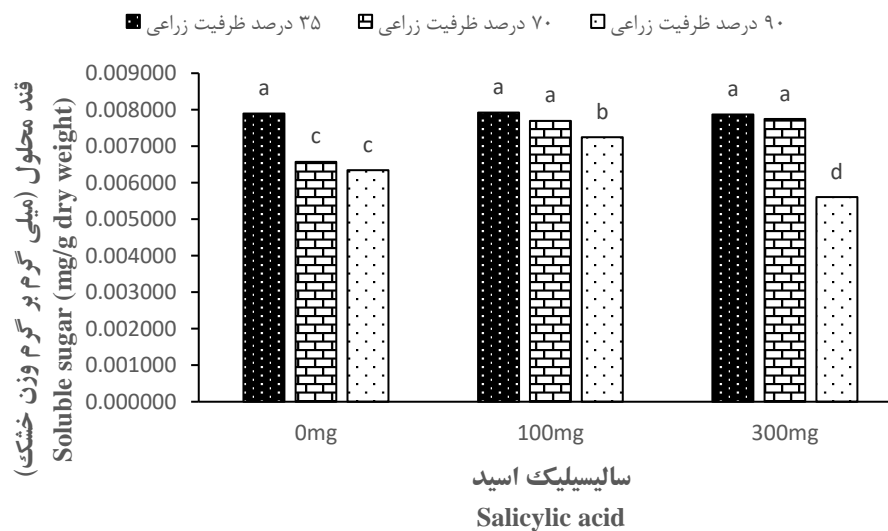
میانگین‌های دارای حروف یکسان براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

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

موجب کاهش قند محلول به میزان ۱/۶۹ درصد نسبت به شاهد در عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) شد (Siahmansour *et al.*, 2022). اما برخی محققان گزارش کردند، محلول پاشی سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش کم‌آبی در غلظت ۲ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری باعث افزایش قند محلول در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) شد (Erfani *et al.*, 2022). یکی از سازوکارهای کاهش اثرات تنش خشکی تجمع اسمولیت‌های حل‌شونده مانند قند محلول در سلول می‌باشد که باعث ثبات غشاء سلولی و حفظ تورژسانس سلول‌ها می‌شود (Shiade *et al.*, 2024). ثابت شده است که گیاهان در شرایط تنش، سنتز ترکیباتی مانند کربوهیدرات‌ها را برای حفظ تعادل اسمزی و بهبود جذب آب از محیط ریشه تقویت می‌کنند (Abdalla and El-Khoshiban, 2007). تنش خشکی همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز می‌شود که منجر به افزایش هیدرولیز نشاسته و در نتیجه غلظت بالاتر قندهای محلول می‌شود (Ghadirnezhad *et al.*, 2024; Setter *et al.*, 2001).

## قند محلول

نتایج نشان داد قند محلول تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی ( $P < 0.01$ )، میکوریزا ( $P < 0.05$ )، محلول پاشی سالیسیلیک‌اسید ( $P < 0.01$ ) و اثر متقابل تنش خشکی × محلول پاشی سالیسیلیک‌اسید در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین قند محلول (۰/۰۰۷۹۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار ۳۵ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم سالیسیلیک‌اسید مشاهده شد. اما بین محلول پاشی و عدم محلول پاشی سالیسیلیک‌اسید اختلاف معنی‌دار وجود نداشت که به نظر این اختلاف مربوط به محلول پاشی نیست و مربوط به تنش است. در تیمار ۷۰ و ۹۰ درصد زراعی محلول پاشی در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم توانست میزان قند محلول را افزایش دهد (شکل ۱۲). در شرایط تنش، سالیسیلیک با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان فنولی و آنتوسانین‌ها به‌طور مستقیم موجب حذف رادیکال‌های آزاد می‌شود، به همین علت تجمع موادی مانند پرولین و قند محلول را کاهش می‌دهد (Nouri *et al.*, 2017). گزارش شده است کاربرد ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش ۷۵ درصد ظرفیت زراعی،



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر میزان قند محلول مرزنجوش

**Figure 12- Comparison of the average interaction effect of drought stress and salicylic acid on the soluble sugar content of marjoram**  
میانگین‌های دارای حروف یکسان براساس 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.

ظرفیت زراعی کارایی قارچ میکوریزا مشهود بود. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی کاربرد قارچ میکوریزا و محلول پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم سالیسیلیک اسید نسبت به عدم مصرف توانست به میزان ۲/۳۵ درصد وزن خشک اندام هوایی را افزایش دهد. بنابراین، برای تولید مرزنجوش در مناطق با محدودیت آب، از تلقیح با قارچ میکوریزا *G. hoi* و محلول پاشی با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید استفاده شود.

## نتیجه گیری

براساس نتایج این پژوهش، گیاه دارویی مرزنجوش نسبت به سطوح مختلف تنش خشکی واکنش متفاوتی را نشان داد. با افزایش تنش خشکی در تیمار ۳۵ درصد ظرفیت زراعی، کمترین ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر اندام هوایی و تعداد شاخه جانبی مشاهده گردید. در شرایط آبیاری در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، کاربرد قارچ میکوریزا خسارت ناشی از تنش خشکی را جبران نمود و عملکرد گیاه را تا سطح آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش داد. در تیمار ۳۵ درصد

## References

- Abdalla, M.M. and El-Khoshiban, N.H., 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(12), pp.2062- 2074.
- Abpaykar, M., Ganjali, S., Fahmideh, L. and Heidari, F., 2021. Effect of different levels of salicylic acid foliar application on phenols, flavonoids, antioxidant activity, and photosynthetic pigments of peppermint. *Crop Science Research in Arid Regions*, 3(1), pp.97-110. <https://doi.org/10.22034/csrar.2021.288792.1095>
- Ahmad, A., Aslam, Z., Naz, M., Hussain, S., Javed, T., Aslam, S. and Jamal, M.A., 2021. Exogenous salicylic acid-induced drought stress tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under hydroponic culture. *Plos One*, 16(12), e0260556. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260556>

- Altaf, A., Gull, S., Zhu, X., Zhu, M., Rasool, G., Ibrahim, M.E.H. and Chen, L., 2021. Study of the effect of peg-6000 imposed drought stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using relative water content (RWC) and proline content analysis. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 58(1), pp.357-367. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.953>
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A. and Alizadeh, K., 2023. Improvement in essential oil quantity and quality of thyme (*Thymus vulgaris* L.) by integrative application of chitosan nanoparticles and arbuscular mycorrhizal fungi under water stress conditions. *Plants*, 12(7), 1422. <https://doi.org/10.3390/plants12071422>
- Ansari, W.A., Atri, N., Pandey, M., Singh, A.K., Singh, B. and Pandey, S., 2019. Influence of drought stress on morphological, physiological and biochemical attributes of plants: A review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 16(4), pp.697-709. <https://doi.org/10.13005/bbra/2785>
- Asrar, A.A., Abdel-Fattah, G.M. and Elhindi, K.M., 2012. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) plants grown under well-watered and water-stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. *Photosynthetica*, 50, pp.305-316. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0024-8>
- Barjas, M., Mehravaran, L., Allahdou, M. and Ganjali, S., 2022. Effects of application of salicylic acid under the drought stress on morphophysiological and biochemical traits of two varieties of mung bean. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), pp.153-171. <https://doi.org/10.22034/csrar.2022.309460.1139>
- Bates, L.S., Waldren, R.P.A. 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>
- Cala, A., Salcedo, J.R., Torres, A., Varela, R.M., Molinillo, J.M. and Macías, F.A., 2021. A study on the phytotoxic potential of the seasoning herb marjoram (*Origanum majorana* L.) leaves. *Molecules*, 26(11), 3356. <https://doi.org/10.3390/molecules26113356>
- De Andrade, L.A., Santos, C.H.B., Frezarin, E.T., Sales, L.R. and Rigobelo, E.C., 2023. Plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agricultural production. *Microorganisms*, 11(4), 1088. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041088>
- Elfiky, A.M., Shawky, E., Khattab, A.R. and Ibrahim, R.S., 2022. Integration of NIR spectroscopy and chemometrics for authentication and quantitation of adulteration in sweet marjoram (*Origanum majorana* L.). *Microchemical Journal*, 183, 108125. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.108125>
- Erfani, S., Rezaei, M., Farahvash, F. and Mahmoudjanlo, M., 2022. The effect of nano potassium fertilizer, potassium sulfate and salicylic acid on physiological characteristics of *Calendula officinalis* L. under water stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 17(65), pp.66-85. <https://doi.org/10.30495/iper.2021.679554>
- Eshaghi Gorgi, O., Fallah, H., Niknejad, Y. and Barari Tari, D., 2022. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizal fungi inoculations on essential oil in *Melissa officinalis* L. under drought stress. *Biologia*, 77(1), pp.11-20. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00919-2>

- Fang, Y. and Xiong, L., 2015. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72, pp.673-689. <https://doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0>
- Farsi, M., Abdollahi, F., Salehi, A. and Ghasemi, S., 2020. Effect of methyl jasmonate on growth and essential oil content of marjoram (*Origanum majorana* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(3), pp.698-712. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1399.33.3.14.8>
- Fathi, A., Shiade, S.R.G., Kianersi, F., Altaf, M.A., Amiri, E. and Nabati, E., 2024. Photosynthesis in cereals under drought stress. In *Handbook of Photosynthesis* (4th ed.). Taylor & Francis, Boca Raton, USA. 826p. <https://doi.org/10.1201/b22922>
- Fujikura, U., Ezaki, K., Horiguchi, G., Seo, M., Kanno, Y., Kamiya, Y. and Tsukaya, H., 2020. Suppression of class I compensated cell enlargement by xs2 mutation is mediated by salicylic acid signaling. *PLoS Genetics*, 16(6), e1008873. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1010775>
- Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E. and Pessarakli, M. 2023. Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—A review. *Journal of Plant Nutrition*, 46(9), pp.2198-2230. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2105720>
- Ghadirnezhad Shiade, S.R., Rahimi, R., Zand-Silakhoor, A., Fathi, A., Fazeli, A., Radicetti, E. and Mancinelli, R., 2024. Enhancing seed germination under abiotic stress: exploring the potential of nano-fertilization. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, pp.1-23. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01910-x>
- Guo, T., Tian, C., Chen, C., Duan, Z., Zhu, Q. and Sun, L.Z., 2020. Growth and carbohydrate dynamic of perennial ryegrass seedlings during PEG-simulated drought and subsequent recovery. *Plant Physiology and Biochemistry*, 154, pp.85-93. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.008>
- Hafeez, A., Ali, B., Javed, M.A., Saleem, A., Fatima, M., Fathi, A. and Soudy, F.A., 2023. Plant breeding for harmony between sustainable agriculture, the environment, and global food security: an era of genomics-assisted breeding. *Planta*, 258(5), 97. <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04252-7>
- Koç, E., İşlek, C. and Üstün, A.S., 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. *Gazi University Journal of Science*, 23(1), pp.1-6.
- Kochert, G. 1978. Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric acid method. *Handbook Of Phycological Methods, Physiological And Biochemical Methods.*, 95.
- Kumar, S. and Dey, P., 2011. Effects of different mulches and irrigation methods on root growth, nutrient uptake, water-use efficiency and yield of strawberry. *Scientia Horticulturae*, 127(3), pp.318-324. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.10.023>
- Lee, E.H., Eo, J.K., Ka, K.H. and Eom, A.H., 2013. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems. *Mycobiology*, 41(3), pp.121-125. <https://doi.org/10.5941/myco.2013.41.3.121>
- Li, A., Sun, X. and Liu, L., 2022. Action of salicylic acid on plant growth. *Frontiers in Plant Science*, 13, 878076. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.878076>

- Mirzaei Heydari, M., Brook, R.M. and Jones, D.L., 2024. Barley growth and phosphorus uptake in response to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus solubilizing bacteria. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(6), pp.846-861. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2282996>
- Morshedloo, M.R., Craker, L.E., Salami, A., Nazeri, V., Sang, H. and Maggi, F., 2017. Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono- and sesquiterpene synthesis in two oreganos (*Origanum vulgare* L.) subspecies. *Plant physiology and biochemistry*, 111, pp.119-128. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.11.023>
- Moustakas, M., Sperdouli, I., Adamakis, I.D.S., Moustaka, J., İşgören, S. and Şaş, B., 2022. Harnessing the role of foliar applied salicylic acid in decreasing chlorophyll content to reassess photosystem II photoprotection in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(13), 7038. <https://doi.org/10.3390/ijms23137038>
- Nadeem, S.M., Ahmad, M., Zahir, Z.A., Javaid, A. and Ashraf, M., 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32(2), pp.429-448. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
- Nassef, D.M., 2017. Impact of irrigation water deficit and foliar application with salicylic acid on the productivity of two cowpea cultivars. *Egyptian Journal of Horticulture*, 44(1), pp.75-90. <https://doi.org/10.21608/ejoh.2017.1170.1010>
- Nazar, R., Umar, S. and Khan, N.A., 2015. Exogenous salicylic acid improves photosynthesis and growth through increase in ascorbate-glutathione metabolism and S assimilation in mustard under salt stress. *Plant Signaling & Behavior*, 10(3), e1003751. <https://doi.org/10.1080/15592324.2014.1003751>
- Nouri, A., Nezami, A., Kafi, M. and Hassanpanah, D., 2017. Evaluation of water deficit tolerance of 10 potatoes (*Solanum tuberosum* L.) cultivars based on some physiological traits and tuber yield in Ardabil region. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(1), pp.234-268. <https://doi.org/10.55006/biolsciences.2022.2305>
- Núñez Barrios, A., Hoogenboom, G. and Nesmith, D.S., 2005. Drought stress and the distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. *Scientia Agricola*, 62, pp.18-22.
- Pai, R. and Sharma, P.K., 2024. Exogenous supplementation of salicylic acid ameliorates salt-induced membrane leakage, ion homeostasis and oxidative damage in Sorghum seedlings. *Biologia*, 79(1), pp.23-43. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01554-9>
- Paravar, A., Farahani, S.M. and Rezazadeh, A., 2021. Lallemandia species response to drought stress and Arbuscular mycorrhizal fungi application. *Industrial Crops and Products*, 172, 114002. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114002>
- Parvaneh, R., Shahrokh, T. and Meysam, H.S., 2012. Studying of salinity stress effect on germination, proline, sugar, protein, lipid and chlorophyll content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 8(1), pp.182-193.
- Plouznikoff, K., Declerck, S. and Calonne-Salmon, M., 2016. Mitigating abiotic stresses in crop plants by arbuscular mycorrhizal fungi. *Belowground Defence Strategies in Plants*, pp.341-400. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42319-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42319-7_15)

- Porcel, R. and Ruiz-Lozano, J.M., 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 55(403), pp.1743-1750. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh188>
- Ramzan, T., Shahbaz, M., Maqsood, M.F., Zulfiqar, U., Saman, R.U., Lili, N. and Haider, F.U., 2023. Phenylalanine supply alleviates the drought stress in mustard (*Brassica campestris*) by modulating plant growth, photosynthesis, and antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry*, 201, 107828. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107828>
- Setter, T.L., Flannigan, B.A. and Melkonian, J., 2001. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize: carbohydrate supplies, abscisic acid, and cytokinins. *Crop Science*, 41(5), pp.1530-1540. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4151530x>
- Shahghasi, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, S.G. and Nakhaei, F., 2023. To study the effect of irrigation, plant density and salicylic acid on yield and yield components of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2), pp.487-502. <https://doi.org/10.22034/csrar.2023.326353.1184>
- Shemi, R., Wang, R., Gheith, E.S.M., Hussain, H.A., Hussain, S., Irfan, M. and Wang, L., 2021. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*, 11(1), 3195. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82264-7>
- Shi, J., Wang, X. and Wang, E., 2023. Mycorrhizal symbiosis in plant growth and stress adaptation: from genes to ecosystems. *Annual review of plant biology*, 74(1), pp.569-607. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-061722-090342>
- Shiade, S.R.G., Zand-Silakhoor, A., Fathi, A., Rahimi, R., Minkina, T., Rajput, V.D. and Chaudhary, T., 2024. Plant metabolites and signaling pathways in response to biotic and abiotic stresses: Exploring bio stimulant applications. *Plant Stress*, 100454. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100454>
- Siahmansour, S., Ehtesham Nia, A. and Rezaei Nejad, A., 2022. Effect of salicylic acid application on morphophysiological traits of *Physalis peruviana* L. under deficit water stress. *Journal of Horticultural Science*, 36(3), pp.643-655. <https://doi.org/10.22067/jhs.2022.72985.1096>
- Sun, M., Peng, F., Xiao, Y., Yu, W., Zhang, Y. and Gao, H., 2020. Exogenous phosphatidylcholine treatment alleviates drought stress and maintains the integrity of root cell membranes in peach. *Scientia Horticulturae*, 259, 108821. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108821>
- Yan, S., Weng, B., Jing, L. and Bi, W., 2023. Effects of drought stress on water content and biomass distribution in summer maize (*Zea mays* L.). *Frontiers in Plant Science*, 14, 1118131. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1118131>
- Zardak, S.G., Dehnavi, M.M., Salehi, A. and Gholamhoseini, M., 2017. Responses of field grown fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to different mycorrhiza species under varying intensities of drought stress. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 5, 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.09.004>
- Zhang, Y. and Li, X., 2019. Salicylic acid: biosynthesis, perception, and contributions to plant immunity. *Current Opinion in Plant Biology*, 50, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.02.004>



# Crop Science Research in Arid Regions

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

## Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 867-886

### The effect of plasticulture and nitrogen application on seed yield and morpho-physiological characteristics of camelina (*Camelina sativa* L.)

Ali Nouri <sup>a</sup>, Hassan Heidari <sup>\*b</sup>, Farzad Mondani <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

<sup>b</sup> Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

\*Corresponding Author: [h.heidari@razi.ac.ir](mailto:h.heidari@razi.ac.ir)

Received: 26 March 2025

Accepted: 19 September 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.513124.1477

#### How to cite this article:

Nouri, A., Heidari, H. and Mondani, F., 2025. The effect of plasticulture and nitrogen application on seed yield and morpho-physiological characteristics of camelina (*Camelina sativa* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 867-886. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.513124.1477>

#### Abstract

**Introduction:** Producing oil from plant sources such as oil crops and obtaining a high level of oil from them is influenced by many factors, among which the physical and chemical properties of the soil are of great importance. For this purpose, the recommendation to use the optimal amount of fertilizers to achieve the highest yield should be considered. *Camelina sativa* has attracted the attention of many researchers, especially in semi-arid regions, due to its adaptive characteristics such as tolerance to cold and drought stress. It has been reported that camelina can survive temperatures below -11°C and can also be grown in areas with moderate rainfall throughout the growing season. Plastic mulch (polyethylene, PE), which has been a favorite of many producers in the past decades, is among the agronomic practices through which moisture is conserved for use during the expected dry season.

**Material and methods:** This study was conducted in two counties located in Kermanshah province (County 1: Kermanshah and County 2: Kangavar); a split-plot experimental design was used. The cumulative rainfall during the growing season was 476.5 mm in County 1 and 343.6 mm in County 2. The planting date in the fall was determined based on surveys so that the plants would escape the heat of the end of the growing season. Camelina seeds were planted after performing a germination test, resulting in a germination percentage of 89%. In order to find the optimal rate of nitrogen fertilizer utilization, four levels of nitrogen input (urea), including 0, 40, 80, and 120 kilograms per hectare, were applied (F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>). To find the best way of applying plastic mulch for camelina cropping, three levels of polyethylene plastic mulch (PE), including no PE, PE on the plants, and PE on the soil surface, were surveyed (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>). Nitrogen was applied in three phenological stages, including 4 leaves appearing, the beginning of stem growth, and the beginning of the reproductive stage. In this research, transparent polyethylene plastic with a UV grade of 10 and a thickness of 40 microns was



©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/).

used. Some morphophysiological aspects of camelina growth were evaluated, including: plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), number of lateral shoots, yield components, and seed yield. Sampling for evaluating the morphological properties of camelina was conducted when 50% of the panicles appeared.

**Results and Discussion:** The results of this study indicated that using plastic mulch and applying an optimal rate of nitrogen fertilizers can be useful to achieve satisfying values of production in camelina cropping systems. The highest plant height was recorded when using PE mulch on the soil with applying 120 kilograms of nitrogen per hectare (118.2 cm), while the lowest plant height was recorded when no PE and no nitrogen was used (control treatment). Applying 80 and 120 kilograms per hectare of nitrogen enhanced the stem diameter significantly. The highest leaf area index was recorded using 120 kg/ha of nitrogen and polyethylene mulch at the soil surface (4.03). The leaf area index was significantly lower in conditions where there was no nitrogen and polyethylene mulching treatment (control treatment). Minimum seed yield was recorded under the control treatment (68 gr/m<sup>2</sup>), and the maximum value was recorded when using PE mulch on the soil surface and applying 120 kg/ha nitrogen input.

**Conclusion:** The overall results of this study indicate that to achieve the highest seed yield of *C. sativa* in climatic conditions such as the two counties in this study, the use of nitrogen fertilizer at a rate of 120 kg/ha with the use of polyethylene mulch on the soil surface is recommended.

**Keywords:** Leaf area index, Plant height, Seed yield, Stem diameter, Transparent mulch

## اثر کشت زیر پلاستیک و کاربرد نیتروژن بر عملکرد دانه و خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی کاملینا (*Camelina sativa* L.)

علی نوری<sup>۱</sup>، حسن حیدری<sup>۲\*</sup>، فرزاد مندنی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

\* مسئول مکاتبه: [h.heidari@razi.ac.ir](mailto:h.heidari@razi.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.513124.1477

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۶

### چکیده

به منظور بررسی اثرات کاربرد نیتروژن و مالچ پلاستیکی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و نیز عملکرد دانه گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.)، آزمایشی در شرایط اقلیمی شهرستان‌های کرمانشاه و کنگاور اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل مقدار مصرف کود نیتروژنه در چهار سطح: صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره و کاربرد پلاستیک شفاف در سه سطح: بدون پلاستیک، پلاستیک روی گیاه و پلاستیک روی خاک بودند. نتایج این آزمایش نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره و مالچ پلاستیکی روی خاک (ارتفاع ۱۱۸/۲ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع بوته (۵۴/۳ سانتی‌متر) در تیمار شاهد (بدون مالچ پلاستیک، بدون مصرف نیتروژن) مشاهده شد. برهم‌کنش اثرات مصرف نیتروژن و مالچ بر قطر ساقه نشان داد که استفاده از مالچ پلاستیکی همراه با کاربرد مقادیر ۱۲۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار اوره، قطر ساقه را به صورت معنی‌دار نسبت به تیمار بدون اوره افزایش داده است. بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۰۳) در تیمار پوشش پلاستیکی روی خاک و کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره ثبت شد. تیمار شاهد (عدم مصرف نیتروژن و عدم پوشش پلاستیک) در هر دو مکان آزمایش پایین‌ترین میزان شاخص سطح برگ را نشان داد که از لحاظ آماری با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود. کمترین میزان عملکرد دانه در تیمار شاهد با میانگین ۶۸ گرم در متر مربع و بیشترین مقدار آن در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره و کاربرد مالچ پلاستیک بر روی خاک (۲۲۱ گرم در مترمربع) ثبت شد. **واژه‌های کلیدی:** ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، قطر ساقه، مالچ شفاف

### مقدمه

بیشتری دارد (Hunter, 2010). از میان فاکتورهای موثر در تولید محصولات زراعی به خصوص گیاهان روغنی، کیفیت خاک شامل ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و بیولوژیک خاک حائز اهمیت می‌باشد. افزایش مواد آلی در خاک و در نتیجه حفظ حاصلخیزی خاک در طول زمان را می‌توان از نتایج روابط متقابل گسترده بین عوامل زیستی و غیرزیستی در خاک دانست (Gregorich, 2006).

در بسیاری موارد، اضافه نمودن کودهای شیمیایی جهت نیل به تولید محصول بالاتر از حد آستانه اقتصادی اجتناب‌پذیر می‌باشد؛ لکن آنچه در این میان حائز اهمیت است، تعیین مقادیر بهینه کودهای شیمیایی است تا هم میزان تولید افزایش یابد و هم از ورود بیش از حد این نهاده‌ها به مزرعه خودداری شود و در نتیجه ویژگی‌های کیفی خاک دست‌خوش تغییرات نامطلوب نگردد (Correa et al., 2006).

کاملینا گیاه مقاوم به تنش‌های محیطی ارزیابی می‌شود. کاملینا به شرایط نامطلوب خاک و اقلیمی از کلزا مقاوم‌تر است و این گیاه در خاک‌های فقیر از لحاظ حاصلخیزی، که برای بسیاری گیاهان زراعی نامناسب است، می‌تواند رشد و تولید داشته باشد (Seguin-Swartz et al., 2009 Vollmann et al., 2015).

احتمالاً این گیاه بیشترین سازگاری را به مناطق خنک‌تر داشته که در فصل گلدهی با گرمای خیلی زیاد هوا مواجه نگردد. در ایالت مونتانا هیچ‌گونه خسارت به گیاهچه‌های کاملینا حتی تا ۱۲ درجه فارنهایت (۱۱- درجه سانتی‌گراد) هم گزارش نشده است (Ehrensing et al., 2008). گیاه کاملینا به خوبی به شرایط کم‌آبی و اقلیم‌های با میزان بارندگی پایین سازگار بوده و از این نظر نسبت به سایر گیاهان زراعی روغنی، سازگاری

تاثیر مثبت بر جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، در افزایش عملکرد دانه ذرت نسبت به تیمار شاهد (بدون مالچ و بدون کود) به صورت معنی دار موثر بوده است (Ma et al., 2021).

با توجه به مشکلات به وجود آمده در کیفیت خاک اراضی کشاورزی ایران، می توان عنوان نمود که یکی از علل بارز آن استفاده بدون قاعده و بعضاً افراطی از کودهای شیمیایی به ویژه کود نیتروژنه می باشد. از سویی با عنایت به خشکسالی های پی در پی در طول چند دهه اخیر، کاربرد روش های جدید و نوآورانه در تولید محصولات زراعی مقاوم به شرایط تنش خشکی و نیز استفاده بهینه از نهاده های شیمیایی در تولید آنها اجتنابناپذیر است. یکی از اهداف این مطالعه تعیین بهترین ترکیب از کشت زیر پلاستیک و مقدار مصرف نیتروژن بود که بالاترین عملکرد دانه را داشته باشد. هدف دیگر این تحقیق تعیین خصوصیات مورفوفیزیولوژیک کاملینا تحت کشت زیرپلاستیک و مصرف نیتروژن بود.

## مواد و روش ها

### محدوده جغرافیایی، شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک

این مطالعه در دو مکان: ۱- پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی واقع در شهرستان کرمانشاه استان کرمانشاه با مختصات طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۹ متر. ۲- روستای سلطان آباد شهرستان کنگاور، استان کرمانشاه با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹۸ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۱۴۵۶ متر اجرا شد. با توجه به اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ داده های اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۱ و ویژگی های خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

### طرح آزمایشی و زمان کشت

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش ۳۶ کرت آزمایشی ایجاد گردید؛ تکرارها به فاصله دو متر و فاصله بین کرت ها یک متر در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، نوزدهم آبان ماه و در

در مطالعه ای روی کاملینا و اثرات کاربرد کودهای نیتروژن و سولفور بر رشد و عملکرد آن گزارش شده است که کاربرد ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کاربرد ۱۱ کیلوگرم در هکتار سولفور مقادیر بهینه کودی برای حصول حداکثر عملکرد بوده و این تیمارها نسبت به تیمار شاهد عملکرد بالاتری نشان داده اند (Mohammed et al., 2017). در مطالعه دیگری با موضوع بررسی اثرات سطوح مختلف تیمار کود نیتروژن بر کاملینا، عنوان شده است که اثرات نیتروژن در سطوح بالاتر از ۴۵ کیلوگرم در هکتار بر افزایش عملکرد دانه کاملینا بی تاثیر است (Afshar et al., 2016)؛ آنها دریافتند که جهت حصول بیشترین عملکرد، تعیین سطوح بهینه کودی به سبب آنکه مقادیر بالاتر از حد نیاز باعث بروز آلودگی های محیطی و نیز کاهش بهره روری استفاده از نهاده های شیمیایی می گردد، ضروری است. در مطالعاتی نیز گزارش شده است که بسته به زمان کشت و دسترسی به منابع آب برای آبیاری و یا زمان بارش باران، از ۲۸ تا ۵۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه جهت تولید کاملینا کفایت می کند (Sintim et al., 2016).

نتایج مطالعه جامع جهت ارزیابی مقادیر بهینه کود نیتروژن و ارتباط آن با رشد گیاه کاملینا در مناطق مختلف مانند پندلتون، مسکو/ پولمن و کوروالیس در آمریکا نشان داده که مقادیر کود نیتروژنه لازم از ۱۷/۶ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است (Wysocki et al., 2013).

استفاده از پوشش پلاستیک در برخی محصولات به عنوان یک عامل کلیدی در افزایش کیفیت محصولات تولیدی در نظر گرفته می شود و نیز به عنوان یک مانع عمل کرده و گیاه را از تماس مستقیم با خاک محافظت می کند. این پوشش ها از پراکنده شدن عوامل بیماری زا و حتی از حرکت برخی جانوران چوننده در سطح خاک مزرعه ممانعت به عمل می آورد و با تنظیم و بهبود تعادل رطوبتی و دمایی خاک، به تولید محصولات زراعی کمک می کند (Caruso et al., 2015; Kim and An, 2019).

در مطالعه ای در چین روی کاربرد مالچ پلاستیک و استفاده از کودهای شیمیایی و اثرات آن بر جذب عناصر غذایی غلات گزارش شده است که عملکرد دانه غلات دانه ریز تحت تاثیر کاربرد توامان کودهای شیمیایی و مالچ پلاستیک قرار گرفت (Luo et al., 2022). همچنین گزارش شده است که افزایش ظرفیت رطوبتی خاک در اثر استفاده از مالچ پلاستیک، علاوه بر

در داخل جویچه‌ها انجام گرفت. در هر کرت شش خط کاشت به جهت شمالی- جنوبی ایجاد شد به‌صورتی که طول هر خط کاشت ۴ متر و فاصله بین خطوط ۲۰ سانتی‌متر و فاصله روی خطوط ۵ سانتی‌متر (۱۰۰ بوته در متر مربع) بود. روش کاشت به‌صورت دستی و داخل جویچه با فاصله بین ردیف‌های کشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بذور روی ردیف ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذرها به‌صورت سطحی و در عمق یک سانتی‌متری خاک در داخل جویچه‌ها کشت شدند. کشت کاملینا در این آزمایش به‌صورت دیم بوده است.

شهرستان کنگاور، بیست‌وپنجم آبان‌ماه سال ۱۴۰۱ تعیین گردید. گیاه زراعی مورد مطالعه گیاه کاملینا بود که به‌منظور تولید روغن خوراکی از دانه‌های آن مورد کشت قرار می‌گیرد و بذر مورد استفاده نیز بذر کاملینا رقم سهیل بود که از شرکت دانش‌بنیان بیستون شفا تهیه گردید. به‌منظور اطمینان از درصد جوانه‌زنی بذر در مزرعه ابتدا آزمون جوانه‌زنی بذر در آزمایشگاه به روش کشت بین کاغذ<sup>۱</sup> انجام شد. تعداد بذور جوانه‌زده شمارش و درصد جوانه‌زنی در نهایت ۸۹ درصد برآورد گردید. پس از آماده‌سازی زمین و ایجاد کرت‌های آزمایشی عملیات کاشت بذرها گیاه کاملینا به روش دستی و به‌صورت کاشت

جدول ۱- وضعیت باران و دمای متوسط هوا در طی فصل رشد گیاه

Table 1- Precipitation and temperature condition during the plant growth period

شهرستان County	باران Precipitation (mm)								
	مجموع Sum	۱۴۰۲			۱۴۰۱				
		خرداد June	اردیبهشت May	فروردین April	اسفند March	بهمن February	دی January	آذر December	آبان November
کرمانشاه Kermanshah	404	12.9	60.7	100.6	58.1	60.7	80.6	9.8	20.8
کنگاور Kangavar	349.6	37.9	58.8	49.2	58.2	61.7	63.7	6.1	13.8
شهرستان County	دمای متوسط Mean temperature (centigrade)								
	میانگین Mean	۱۴۰۲			۱۴۰۱				
		خرداد June	اردیبهشت May	فروردین April	اسفند March	بهمن February	دی January	آذر December	آبان November
کرمانشاه Kermanshah	11.05	22.9	17	12.1	10.8	2	2.6	8	13
کنگاور Kangavar	8.59	20.8	14.8	10.7	9	-2.2	-0.5	5.1	11

فرعی و مقدار مصرف نیتروژن در کرت‌های اصلی قرار گرفتند. کود به‌صورت دستی و به روش پاشش مستقیم به سطح خاک استفاده شد. کود نیتروژنه در چهار سطح مذکور در سه مرحله فنولوژیک چهار برگی حقیقی، ابتدای ساقه‌دهی و ابتدای ظهور خورجینک‌ها و بلافاصله بعد از بارندگی در سطح کرت‌های آزمایشی پخش شد. مبارزه با علف‌های هرز در چندین مرحله به‌صورت وجین دستی در طول دوره رشد انجام شد. در خصوص اعمال تیمار پوشش پلاستیکی شایان ذکر است که با توجه به اهمیت کیفیت پوشش به‌کار رفته بر روی خاک یا گیاه جهت

### تیمار بندی و عملیات کشاورزی

از آنجایی که هدف اصلی این مطالعه تعیین بهترین میزان مصرف نیتروژن و مدیریت کشت گیاه کاملینا در زیر پلاستیک جهت دستیابی به بالاترین عملکرد روغن بود، لذا مقدار مصرف کود نیتروژنه اوره در چهار سطح صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار (به‌ترتیب تیمارهای F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>) و کاربرد مالچ پلاستیکی با استفاده از پلاستیک شفاف در سه سطح: بدون پلاستیک، پلاستیک روی گیاه و پلاستیک روی خاک (به‌ترتیب M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>) اعمال شدند. کاربرد مالچ پلاستیکی در کرت‌های

1. Between paper (BP)

### صفات گیاهی مورد ارزیابی

ارتفاع بوته بر حسب سانتی متر در مرحله ظهور گل آذین و زمانی که گل آذین حداقل ۵۰ درصد بوته‌ها ظاهر شد، از پائین ترین قسمت (سطح خاک) تا بالاترین قسمت رشد گیاه (گل آذین) با استفاده از یک خط کش چوبی بلند، اندازه‌گیری و یادداشت شد. در هر کرت، ارتفاع ۱۰ گیاه اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به عنوان ارتفاع گیاه متناظر با کاربرد هر تیمار منظور شد. جهت ارزیابی قطر ساقه از قطورترین بخش ساقه بوته‌های موجود در هر کرت برای اندازه‌گیری قطر ساقه نمونه‌گیری شد. میانگین قطر ۱۰ ساقه با استفاده از کولیس دیجیتال فک بلند محاسبه و به عنوان قطر ساقه متناظر با هر تیمار در نظر گرفته شد. این مرحله نیز در زمان ظهور حداقل ۵۰ درصد گل آذین‌ها انجام شد.

حصول نتیجه مطلوب از پلاستیک شفاف با عنوان نایلون مالچ بر پایه پلی اتیلن (PE) با ضخامت ۴۰ میکرون و با افزودنی UV در گرید ۱۰ استفاده شد. جهت اجرای مالچ روی خاک پس از جوانه‌زنی بذر و مشخص شدن خطوط کاشت، بلافاصله مالچ پلاستیکی در تیمارهای مالچ روی خاک، مالچ روی کرت قرار گرفته و پس از برش مالچ در روی خطوط کاشت، مالچ به وسیله خاک در چهار طرف کرت مهار گردید، یعنی به نوعی مالچ در بین ردیف‌های کشت قرار گرفت. جهت اجرای مالچ روی گیاه پس از کاشت محصول، در چهار طرف و وسط کرت‌ها میخ‌های چوبی جهت مهار مالچ پلاستیکی، در داخل خاک قرار گرفته و پس از کشیدن نایلون روی میخ‌ها، جهت تثبیت مالچ روی کرت، مالچی که در اطراف کرت قرار گرفته بود روی آن را خاک قرار گرفت.

جدول ۲- نتایج آزمایش ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک

Table 2- Results of testing the physical-chemical properties of the soil

ویژگی های فیزیکی								
Physical properties								
شهرستان County	نقطه پژمردگی Wiltng point (%)	هدایت آبی Hydraulic conductivity (mm/h)	جرم مخصوص Bulk density (gr/cm <sup>3</sup> )	ظرفیت زراعی Field capacity (%)	نوع بافت Texture	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)
کرمانشاه Kermanshah	26.30	5	1.21	40.9	سیلتی-رسی- لومی	40.8	19.8	39.4
کنگاور Kangavar	24.5	11.9	1.2	37	سیلتی-رسی- لومی	42.1	18.6	39.3
ویژگی های شیمیایی								
Chemical properties								
شهرستان County	نیتروژن کل Nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	ماده آلی Organic matter (%)	کلسیم کربنات (CaCO <sub>3</sub> ) %	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds/m)	پتاسیم Potassium (mg/kg)	اسیدیته pH	
کرمانشاه Kermanshah	0.18	1.01	1.7	22.21	0.41	331	7.23	
کنگاور Kangavar	0.15	1.83	2.92	19.28	0.52	368	7.15	

بوته نیز در مرحله ظهور حداقل ۵۰ درصد گل آذین‌ها و با انتخاب بوته‌ها در هر کرت به صورت تصادفی صورت گرفت؛

تعداد برگ در بوته، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ نیز از صفات گیاهی مورد ارزیابی بودند. محاسبه تعداد برگ در

تعداد ده نمونه صددانه‌ای شمارش و وزن آنها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد و وزن هزاردانه با تناسب محاسبه گردید (Wittenberg et al., 2020).

عملکرد دانه پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و تقریباً ۲۰ روز بعد از مرحله شیری و زمانی که دانه‌ها قابلیت جدا شدن از گل‌آذین را داشتند، اندازه‌گیری شد. روش کار به این صورت بود که بوته‌های دو ردیف وسط هر کرت آزمایشی (ردیف‌های ۳ و ۴) به طول چهار متر، در سطح یک‌متر مربع و با در نظر گرفتن ۲۰ سانتی‌متر حاشیه از ابتدا و انتهای خطوط کشت، انتخاب و عملیات برداشت انجام شد. در مرحله بعدی بوته‌های برداشت‌شده به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ گرم) اقدام به توزین گردید و به‌عنوان عملکرد دانه (بر مبنای رطوبت تقریبی ۱۱ درصد) برحسب کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد (Ahmad Waraich et al., 2020).

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از آزمون نرمال بودن، داده‌های جمع‌آوری شده و اطمینان از عدم وجود داده‌ی پرت و نیز اجرای آزمون Levenstest جهت سنجش تجانس واریانس انجام و با عنایت به p value به‌دست آمده (۰.۲۵۲)، تجانس واریانس‌ها تایید شد و سپس تجزیه داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹.۲) انجام و اشکال مرتبط با آن به‌وسیله نرم‌افزار اکسل در محیط ویندوز استخراج گردیدند.

### نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر مکان و مالچ (به‌جز در مورد دوام سطح برگ) و نیتروژن بر تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. برهم‌کنش کود نیتروژن در مالچ بر صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ و دوام سطح برگ تاثیر معنی‌داری داشت. برهم‌کنش سه‌گانه مکان در کود نیتروژن در مالچ تنها بر شاخص سطح برگ اثر معنی‌داری داشت ( $P \leq 0.01$ ، جدول ۳).

در جدول ۴ مقایسه میانگین اثر مکان بر شاخص‌های ارتفاع و قطر ساقه و تعداد برگ در بوته ارائه شده است. مطابق این نتایج شاخص‌های مذکور در کاشت مربوط به شهرستان

بدین منظور تعداد ۱۰ بوته در هر کرت انتخاب و میانگین تعداد برگ برداشت شده از هر بوته به‌عنوان تعداد برگ در بوته مربوط به هر تیمار، محاسبه و منظور شد. شاخص سطح برگ نیز پس از محاسبه سطح برگ به‌وسیله دستگاه سطح‌برگ‌سنج لیکور (Likour) و سطح زمین اشغال شده توسط بوته، با استفاده از فرمول ۱، محاسبه شد:

$$LAI = LA/A \quad (1)$$

در فرمول فوق LAI: شاخص سطح برگ، LA: سطح برگ (سانتی‌مترمربع)، A: سطح زمین (سانتی‌مترمربع) می‌باشد. دوام سطح برگ (LAD)، بیان‌کننده بزرگی و دوام سطح برگ یا پربری در طول زمان رشد محصول است. LAD وسعت یا جمع نور دریافت شده در طول فصل را منعکس می‌کند. میانگین دوام سطح برگ، از سطح برگ حاصل از تک‌بوته‌ها محاسبه می‌شود. اگر منحنی LAI نسبت به زمان ترسیم شود تابعی به‌دست می‌آید که بیانگر ظرفیت ساخت مواد فتوسنتزی محصولات زراعی در طول مدت مورد نظر می‌باشد.

$$LAD = (LA1 + LA2)(T2 - T1)/2 \quad (2)$$

در فرمول LA نمایانگر سطح برگ و T نمایانگر زمان می‌باشد (Fakoredet and Mock, 1980).

تعداد شاخه‌های فرعی در بوته نیز مورد بررسی قرار گرفت. پس از شمارش تعداد برگ‌ها و در همان مرحله تعداد شاخه‌های فرعی در هر بوته مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، میانگین تعداد شاخه‌های فرعی ۱۰ بوته در هر کرت به‌عنوان تعداد شاخه‌های فرعی در هر بوته، محاسبه و منظور گردید.

بعد از نمونه‌برداری در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد پنج بوته برای اندازه‌گیری تعداد خورجین در بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب و تعداد خورجین‌ها در هر بوته به‌صورت دستی شمارش شدند، سپس میانگین مجموع داده‌ها محاسبه و به‌عنوان تعداد خورجین در بوته در نظر گرفته شد (Hosseinifard et al., 2022).

از بوته‌های برداشت‌شده از هر کرت آزمایشی، تعداد ده خورجین جدا گردید و تعداد دانه‌ها مورد شمارش قرار گرفت و پس از آن میانگین مجموع داده‌ها به‌عنوان تعداد دانه در خورجین تعیین شد (Hosseinifard et al., 2022). پس از برداشت گیاهان داخل کرت‌ها و جداکردن دانه‌ها از خورجین،

اردیبهشت در شهرستان کرمانشاه برابر ۱۰۰ و ۶۰ میلی‌متر در مقابل ۴۹ و ۵۸/۸ میلی‌متر در شهرستان کنگاور است (جدول ۱). بنابر آنچه گفته شد افزایش شاخص‌های رشد رویشی گیاه در فصل بهار به دلیل فراهمی بیشتر رطوبت در شهرستان کرمانشاه قابل توضیح می‌باشد.

کرمانشاه مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد. از آنجا که داده‌های آزمایش خاک تفاوت قلیل ملاحظه‌ای نشان نمی‌دهد، می‌توان تفاوت در میزان شاخص‌های پیش گفته را در میزان بارندگی اواخر فصل رشد کاملینا تحلیل نمود؛ در این ارتباط نکته قابل توجه تفاوت بارندگی شهرستان کرمانشاه با شهرستان کنگاور است به گونه‌ای که میزان کل بارش در فروردین و

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات مورفوفیزیولوژیک کاملینا تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 3- Analysis of variance of morphological traits of camelina under different treatments

منابع تغییر Variation sources	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean square				
		ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem Diameter	تعداد برگ در بوته Number of leaves	شاخص سطح برگ LAI	دوام سطح برگ LAD
مکان (P)	1	4513**	0.488*	203**	2.88*	288 <sup>ns</sup>
تکرار در مکان R(P)	4	42.7	0.028	6.24	0.14	142
نیتروژن (N)	3	8249**	0.992**	462**	2.31**	389**
Nitrogen	3	132 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	2.2 <sup>ns</sup>	0.045 <sup>ns</sup>	9.48 <sup>ns</sup>
P × N	3	132 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	2.2 <sup>ns</sup>	0.045 <sup>ns</sup>	9.48 <sup>ns</sup>
خطای a	12	195	0.007	15	0.077	20.8
Error a	12	195	0.007	15	0.077	20.8
مالچ (M)	2	3092**	0.106*	36.1*	1.72**	25.5 <sup>ns</sup>
Mulch	2	3092**	0.106*	36.1*	1.72**	25.5 <sup>ns</sup>
N × M	6	272*	0.07*	22.4*	0.107 <sup>ns</sup>	75.9**
P × M	2	30.4 <sup>ns</sup>	0.056 <sup>ns</sup>	56.8**	0.015 <sup>ns</sup>	30.4 <sup>ns</sup>
P × N × M	6	41.5 <sup>ns</sup>	0.023 <sup>ns</sup>	11.1 <sup>ns</sup>	0.314**	28.5 <sup>ns</sup>
خطای b	32	110	0.024	8.94	0.065	13.8
Error b	32	110	0.024	8.94	0.065	13.8
ضریب تغییرات (C)		11.3	12.4	11.5	8.15	7.21
Variation coefficient		11.3	12.4	11.5	8.15	7.21

<sup>ns</sup>, \*, \*\*: به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

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

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی مکان بر صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد برگ در بوته در گیاه کاملینا

Table 4- Mean comparison of place main effect on plant height, stem diameter and number of leaves per plant of camelina

مکان Place	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	قطر ساقه Stem diameter (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)
کرمانشاه Kermanshah	27.7 <sup>a</sup>	1.32 <sup>a</sup>	101 <sup>a</sup>
کنگاور Kangavar	24.4 <sup>b</sup>	1.15 <sup>b</sup>	84.8 <sup>b</sup>

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Different letters within column indicate significant difference based on LSD test (5%)

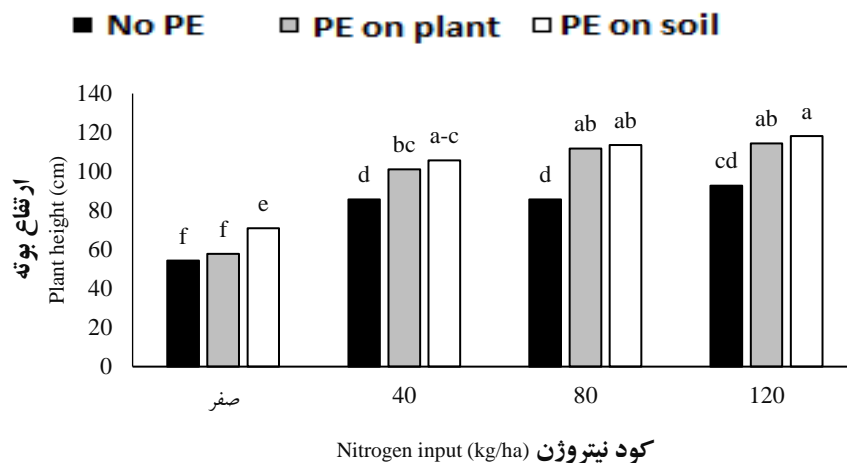
مصرف نیتروژن و پوشش پلاستیک روی گیاه مشاهده شد (شکل ۱). در این ارتباط نتایج نشان می‌دهد که در تیمار بدون مصرف نیتروژن، کاربرد پوشش پلاستیک بر روی خاک توانسته است ارتفاع بوته را به صورت معنی‌دار نسبت به پوشش پلاستیک

### اثرات متقابل کود نیتروژن و مالچ بر ارتفاع بوته

بیشترین ارتفاع بوته (۱۱۸/۲ سانتی‌متر) در تیمار کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و مالچ روی خاک و کمترین ارتفاع بوته به میزان ۵۴/۳ سانتی‌متر در تیمار شاهد و تیمار عدم

در داخل هر سطح کودی ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، اختلاف معنی داری از لحاظ ارتفاع گیاه بین دو پوشش پلاستیک وجود نداشت، با این وجود، پوشش پلاستیک نسبت به تیمار بدون پوشش پلاستیک ارتفاع بوته بالاتری داشت. در سطوح کودی ذکر شده، ارتفاع بوته‌ها در تیمارهای پوشش پلاستیک بر روی خاک و پوشش بر روی گیاه اختلاف معنی دار نشان ندادند (شکل ۱).

روی گیاه و بدون پلاستیک افزایش دهد. پوشش پلاستیک روی خاک (در شرایط عدم استفاده از نیتروژن) توانسته است ارتفاع بوته را ۳۱ درصد نسبت به، بدون پلاستیک افزایش دهد که می‌توان این موضوع را به تاثیر کاربرد مالچ پلاستیک بر ایجاد تعادل رطوبتی مناسب و نیز ایجاد شرایط دمایی مطلوب خاک محل رشد ریشه گیاه، به خصوص در اواخر زمستان و ابتدای فصل بهار که مقارن با حداکثر رشد رویشی می‌باشد، نسبت داد.



شکل ۱- برهم کنش کود نیتروژن و مالچ پلاستیک (PE) بر ارتفاع بوته گیاه کاملینا

Figure 1- Nitrogen and polyethylene (PE) mulch interaction effect on plant height in camelina.

دیگری در شهرستان اقلید استان فارس که بر روی خصوصیات رشد کاملینا در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی و تاریخ کشت‌های گوناگون انجام شد دریافتند که کود شیمیایی رابطه مستقیم و معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد با افزایش ارتفاع بوته داشته است (Momeni et al., 2024). آن‌ها نشان دادند که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۴۳/۲ سانتی‌متر از تیمار کاربرد ۷۵ درصد کود شیمیایی به علاوه کود زیستی نیتروژن و کمترین ارتفاع بوته با میانگین ۴۱ سانتی‌متر از تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن حاصل شد.

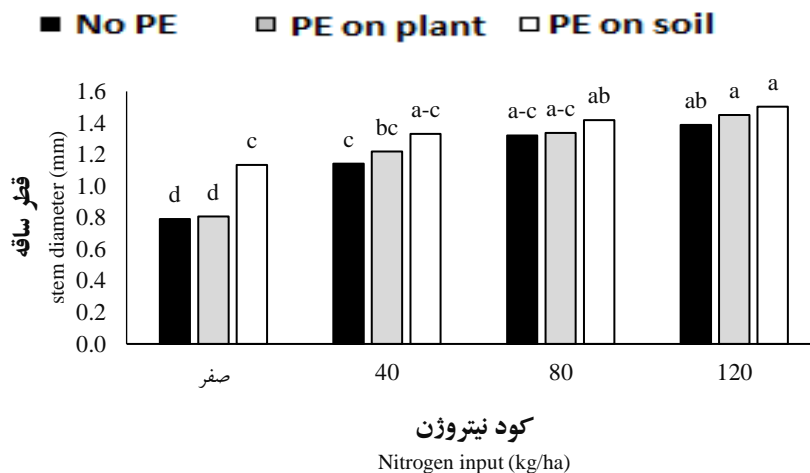
#### برهم کنش کود نیتروژن و مالچ بر قطر ساقه

نتایج نشان داد که برهم کنش اثر کاربرد مالچ پلاستیکی و کاربرد مقادیر ۱۲۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن قطر ساقه را به شکلی معنی دار نسبت به تیمار بدون کود افزایش داده است (شکل ۲). این موضوع حاکی از آن است که اگرچه کاربرد کود نیتروژن به تنهایی قطر ساقه را که یک فاکتور

ارتفاع بیشتر در بوته‌های تیمار شده با مقادیر بالاتر کود نیتروژن را می‌توان به اثرات عنصر نیتروژن بر رشد رویشی گیاه و به صورت مشخص رشد طولی ساقه نسبت داد. در واقع فراهمی نیتروژن به عنوان یکی از عناصر ضروری و پر مصرف در تولید گیاهان زراعی رابطه مستقیم با تقسیم سلولی و رشد طولی سلول‌های گیاه و در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه دارد. در مطالعه‌ای که بر روی اثرات کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر خصوصیات رشدی گیاه کاملینا در شهرستان کازرون انجام شده است، عنوان شده که کاربرد کودهای شیمیایی به خصوص در حالت تلفیق با کودهای زیستی ارتفاع بوته کاملینا را تا ۵۰/۵۸ درصد افزایش داده است (HasaniBalyani et al., 2019). آنها عنوان کردند که ارتفاع بوته در تیمار کود شیمیایی در سطح احتمال ۱ درصد و در تیمار کود زیستی در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی دار نشان داده است. در واقع فراهمی نیتروژن منجر به افزایش تعداد گره‌ها، طول میان‌گره ساقه و ارتفاع گیاه می‌گردد. در مطالعه‌ی

نمودند. در مطالعه‌ای بر روی واکنش گیاه کاملینا به تنش‌های محیطی من جمله تنش خشکی مشخص شده که در تیمارهای تنش خشکی صفات رشدی گیاه مانند قطر ساقه و صفات مرتبط با کیفیت محصول مانند درصد پروتئین و روغن دانه در گیاه کاملینا به شکل معنی‌دار کاهش نشان داده است (Waraich et al., 2020). بنابراین فراهم نمودن شرایطی مانند کاربرد پوشش پلاستیکی به‌عنوان مالچ می‌تواند با کاهش اثرات مخرب خشکی بر رشد رویشی و عملکرد دانه کاملینا نقش مثبتی در تولید این گیاه داشته باشد. این موضوع با نتایج مطالعه حاضر از نقطه نظر ایجاد شرایط مطلوب رشد توسط پوشش پلاستیکی هم‌خوانی دارد.

رویشی حائز اهمیت در رشد و تعیین عملکرد نهایی گیاه کاملینا است را مورد تاثیر خود قرار می‌دهد، اما کاربرد توامان نیتروژن و مالچ پلاستیکی شرایط محیطی رشد را به شکل مطلوب‌تری مهیا و موجبات رشد بیشتر عرضی ساقه را فراهم ساخته است. در مطالعاتی با موضوع بررسی اثرات کاربرد کودهای شیمیایی بر رشد کاملینا نشان داده شده است که کاربرد کود با بهبود رشد اندام هوایی گیاه به‌عنوان یک بخش فتوسنتزی و منبع تولید مواد فتوسنتزی موجب رشد بیشتر رویشی گیاه می‌شود (Rostami et al., 2022). همچنین گزارش شده است کاربرد کود گوگرد با تحریک رشد و هورمون‌های رشدی که در خاک ایجاد می‌شود، رشد گیاه را افزایش می‌دهند و این امر را دلیل رشد قطری بیشتر ساقه کاملینا در تیمارهای کودی عنوان



شکل ۲- برهم‌کنش کود نیتروژن و مالچ پلاستیک (PE) بر قطر ساقه گیاه کاملینا

Figure 2- Nitrogen and polyethylene (PE) mulch interaction effect on stem diameter in camelina

شاهد (عدم مصرف نیتروژن و عدم پوشش پلاستیک) عمدتاً در هر دو مکان آزمایش، پایین‌ترین میزان شاخص سطح برگ را نشان داد که از لحاظ آماری با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود. در این خصوص همان‌گونه که مشاهده می‌شود پوشش پلاستیک بر روی خاک خصوصاً در زمان کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌تواند شاخص سطح برگ را به شکل معنی‌دار ارتقا دهد. به‌عنوان مثال در تیمار ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن مشاهده می‌شود که کاربرد نایلون روی خاک نسبت به کاربرد آن بر روی گیاه باعث اختلاف معنی‌دار در سطح برگ شده است. تمامی موارد ذکر شده در سطح آماری

### اثرات سه‌گانه مکان، کود نیتروژن و مالچ بر روی شاخص سطح برگ

برهم‌کنش سه‌گانه مکان، کود نیتروژن و مالچ ارزیابی شد و نتایج آن در شکل ۳ و ۴ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۰۳) در تیمار شهرستان کرمانشاه، پوشش پلاستیکی روی خاک و کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و تیمار شهرستان کرمانشاه، پوشش پلاستیکی روی گیاه و کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و پایین‌ترین میزان شاخص سطح برگ در تیمار شهرستان کنگاور و بدون پوشش و بدون مصرف نیتروژن (۲/۳۳) ثبت شد. تیمار

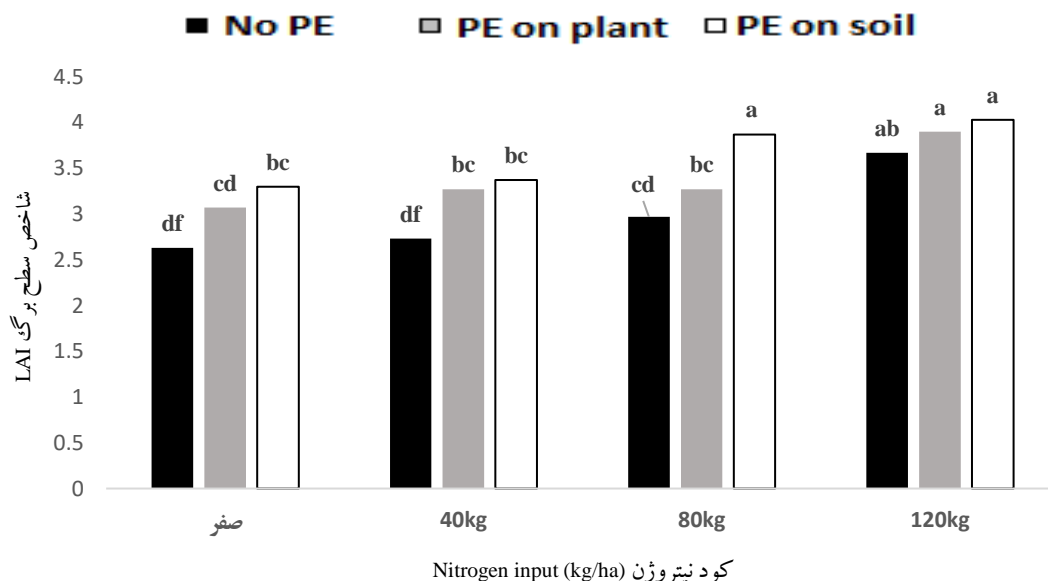
برگ در عملکرد نهایی تعیین کننده باشد این دوام سطح برگ به‌ویژه تا مرحله خورجین‌دهی است که باعث شده است که برخی ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در آزمایش عملکرد دانه بالاتری داشته باشند (Kuzmanovic et al., 2021).

در برخی مطالعات ارتباط شاخص‌های مورفولوژیک و رشدی گیاه با توان تحمل استرس‌های محیطی هم در آزمایشات بررسی شده‌اند. به‌عنوان مثال در یک مطالعه موردی با اعمال تنش خشکی بر لاین‌های مختلف گیاه کاملینا نشان داده شد که آن دسته از لاین‌های کاملینا که توانسته بودند ضمن ایجاد سطح برگ بیشتر (یعنی شاخص سطح برگ بیشتر)، دوام سطح برگ را به‌مدت طولانی‌تر داشته باشند با تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و انتقال به‌موقع و حداکثری آن به مقصدهای فیزیولوژیک ضمن حصول عملکرد مطلوب، بر عوارض شدید تنش خشکی فائق آیند (Neupane et al., 2020). این موارد حاکی از آن است که پیش‌بینی روش‌های به‌زرعی مانند ایجاد تراکم مناسب و تاریخ کاشت مطلوب و کاربرد مقادیر بهینه کودی توام با اعمال مالچ پلاستیک بر روی خاک که می‌تواند به‌ویژه در اواخر فصل رشد با حفظ و نگهداشت رطوبت خاک، تنش خشکی را بر گیاه تخفیف دهد، می‌تواند نقش موثری در افزایش عملکرد دانه گیاه کاملینا داشته باشد.

۵ درصد می‌باشد. نکته حائز اهمیت دیگر در خصوص نتایج این بخش آن است که همان‌گونه که در نتایج آماری شهرستان کنگاور دیده می‌شود تیمار شاهد با تیمارهای کاربرد کود و مالچ به‌صورت توامان اختلاف معنی‌دار نشان داده است که بیانگر اهمیت کاربرد کود و مالچ و اثرات متقابل مثبت آنها در افزایش میزان سطح برگ است.

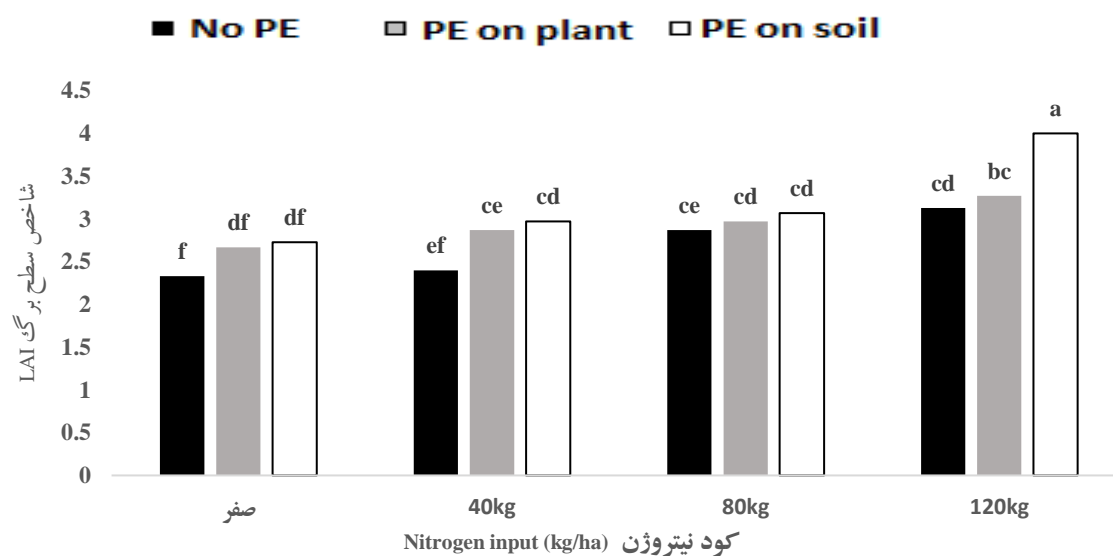
شاخص سطح برگ بیشتر در گیاه کاملینا تحت شرایط رشد بهینه و استفاده از کودهای شیمیایی به‌ویژه کود نیتروژن که اثرات مثبتی در توسعه سریع برگ‌های گیاه دارد موجب افزایش نرخ تولید آسمیلات‌ها و انتقال آنها به بخش‌های زایشی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه گیاه کاملینا می‌شود؛ از سویی گزارش شده است که عملکرد بالاتر دانه کاملینا ارتباط مستقیم با شاخص سطح برگ دارد و افزایش در کارایی مصرف نور را از نتایج افزایش شاخص سطح برگ در شرایط اعمال روش‌های به‌زرعی مانند انتخاب تاریخ کاشت بهینه و مصرف کودهای شیمیایی عنوان نمودند (Agarwal et al., 2021 Waraich et al., 2020).

علی‌رغم گزارش‌های متعدد در خصوص ارتباط مستقیم شاخص سطح برگ با عملکرد گیاه، همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد برخی مطالعات نشان می‌دهد که بیش از آنکه شاخص سطح



شکل ۳- برهم‌کنش سه‌گانه مکان، کود نیتروژن و مالچ پلاستیک (PE) بر شاخص سطح برگ در شهرستان کرمانشاه

Figure 3- Place, nitrogen and polyethylene (PE) mulch interaction effect on leaf area index in Kermanshah



شکل ۴- برهم‌کنش سه‌گانه مکان، کودنیترژن و مالچ پلاستیک (PE) بر شاخص سطح برگ در شهرستان کنگاور

Figure 4- Place, nitrogen and polyethylene (PE) mulch interaction effect on leaf area index in Kangavar

برگ تفاوتی دیده نشد. در مطالعه‌ای جهت ارزیابی اثرات تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک کاملینا عنوان شده که دوام سطح برگ به‌عنوان یک ویژگی ظاهری رشد گیاه تحت تاثیر شرایط خشکی قرار می‌گیرد (Waraich et al., 2017). آنها بیشینه شاخص دوام سطح برگ را ۶۸ روز عنوان کردند. در این مطالعه مشخص شد که در صورتی که رطوبت خاک در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه باشد نسبت به حالتی که این میزان ۶۰ درصد باشد دوام سطح برگ به‌صورت معنی‌دار بالاتر خواهد بود که نشانگر اهمیت جلوگیری از بروز تنش خشکی بر گیاه کاملینا جهت نگهداشت سطح برگ به‌مدت طولانی‌تر و در نتیجه ارتقا ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌باشد.

در نتایج تقریباً مشابه اعلام‌شده که در صورت اعمال روش‌های به‌زراعی مانند تنظیم تاریخ کاشت یا استفاده از مالچ پلاستیکی که می‌تواند با افزایش دوام سطح برگ گیاه کاملینا موجبات ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی در طول زمان را فراهم نماید، بر میزان عملکرد نهایی گیاه نیز موثر باشد (Yadavi et al., 2015). در مطالعه‌ای مشبیه بر روی گیاه کاملینا گزارش شده که کاهش طول دوره رشد کاملینا دلیل کاهش دوام سطح برگ بوده و به‌همین جهت طول مدت جذب تشعشعات خورشیدی برای به حداکثر رساندن ذخایر فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد. براساس نتایج این مطالعات گیاه کاملینا در

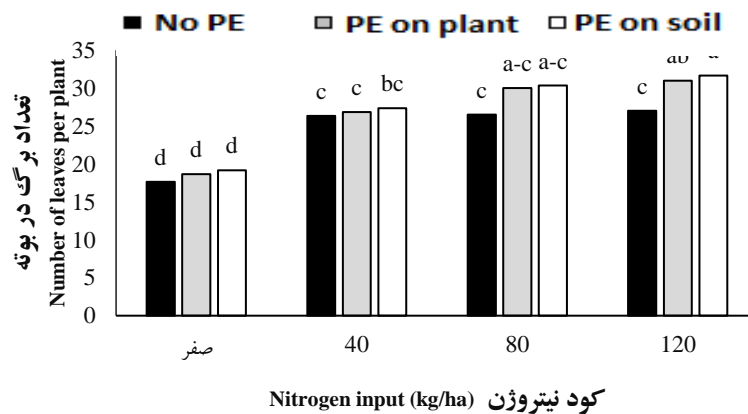
#### اثرات متقابل کود نیترژن و مالچ بر تعداد برگ در بوته و دوام سطح برگ

بررسی واکنش گیاه کاملینا به تیمارهای این آزمایش (شکل ۵) نشان داد که بیشترین تعداد برگ در بوته کاملینا در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم نیترژن و استفاده از مالچ بر روی خاک (۳۱/۷) و کمترین تعداد برگ در بوته مربوط به عدم مصرف نیترژن در تمام سطوح پوشش پلاستیک بوده است. همان‌گونه که در نمودار قابل مشاهده است، می‌توان استنباط نمود که تا ۴۰ کیلوگرم کود نیترژن در هکتار در تیمار بدون مالچ گیاه به نیترژن پاسخ داده است ولی در مقادیر ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فقط تیمار پوشش پلاستیک قادر به افزایش تعداد برگ در بوته بوده است.

از سوی دیگر وضعیت دوام سطح برگ نیز تحت شرایط تیمارهای آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۶) که نتایج آن حاکی از این امر است که بیشترین دوام سطح برگ در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیترژن و کاربرد مالچ پلاستیکی روی خاک به‌میزان ۶۲/۳ روز و کمترین آن در تیمارهای عدم مصرف کود نیترژن در تمام سطوح پوشش پلاستیک ثبت شد. در بین تیمارهای اعمال شده در این آزمایش در داخل هر سطح کود نیترژن به‌جز سطح کودی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، بین انواع روش مالچ‌دهی (استفاده از پوشش پلاستیکی) از نظر دوام سطح

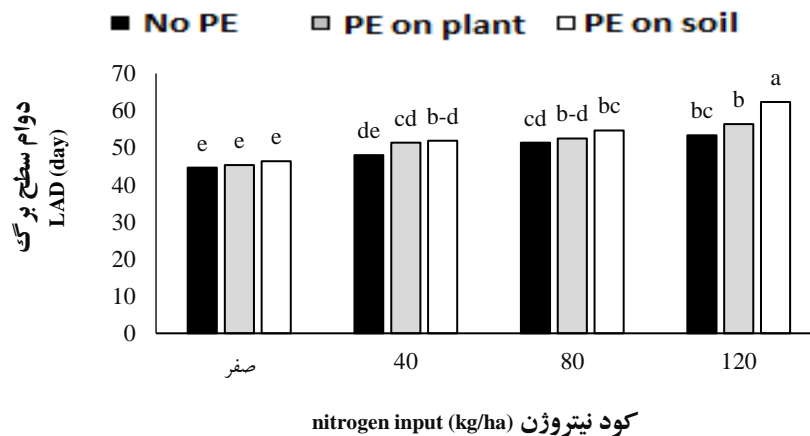
برگ‌های گیاه و در نتیجه تولید ماده خشک بیشتر می‌شود. این عامل می‌تواند یک مزیت در رقابت با علف‌های هرز مزرعه کاملینا هم محسوب گردد. ذخایر ماده خشک بیشتر گیاه ضمن آن که یک منبع برای انتقال مواد خشک به بخش عملکردی یعنی تولید دانه گیاه باشد، با ایجاد سایه‌اندازی بیشتر در اطراف بوته امکان رقابت با علف‌های هرز را ارتقا می‌دهد (Toyota et al., 2003).

شرایط کمبود رطوبت پروسه‌های فتوسنتزی خود را کاهش می‌دهد و در عین حال باعث شتاب بیشتر فرایند زرد شدن برگ‌ها و پیری برگ‌ها می‌گردد که خود دلیلی بر کاهش دوام سطح برگ می‌باشد (Munakamwe et al., 2008). بررسی موفولوژی کاملینا و واکنش آن به تیمارهای تغذیه‌ای و تنش آبی نشان داده که در شرایط بهینه رشد و فراهمی عناصر تغذیه‌ای در عین حفظ تعادل رطوبتی خاک منجر به افزایش



شکل ۵- برهم‌کنش کود نیتروژن و مالچ پلاستیک (PE) بر تعداد برگ در بوته گیاه کاملینا

Figure 5- Nitrogen and polyethylene (PE) mulch interaction effect on number of leaves per plant in camelina



شکل ۶- برهم‌کنش کود نیتروژن و مالچ پلاستیک (PE) بر دوام سطح برگ (LAD) کاملینا

Figure 6- Nitrogen and polyethylene (PE) mulch interaction effect on leaf area duration (LAD) in camelina

برهم‌کنش کود نیتروژن و مالچ بر صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته، وزن هزاردانه و عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۵).

**تعداد شاخه فرعی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه گیاه کاملینا**

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مکان بر تعداد خورجین در بوته و وزن هزاردانه معنی‌دار شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر کود نیتروژن و مالچ پلاستیک (PE) بر تعداد شاخه فرعی، اجزاء عملکرد و عملکرد دانه کاملینا

Table 5- Analysis of variance of effect of nitrogen fertilizer and polyethylene (PE) mulch on the number of lateral branches, yield components and seed yield of camelina

منابع تغییر Variation sources	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square				
		تعداد شاخه فرعی Number of lateral branches	تعداد دانه در خورجین Seed number per pod	تعداد خورجین در بوته Pod number per plant	وزن هزاردانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield
مکان (P)	1	0.5 <sup>ns</sup>	3.13 <sup>ns</sup>	3403 <sup>**</sup>	1.76 <sup>**</sup>	0.377 <sup>ns</sup>
تکرار در مکان R(P)	4	0.667	1.04	83.8	0.004	0.245
نیتروژن (N)	3	48.3 <sup>**</sup>	20.8 <sup>**</sup>	24708 <sup>**</sup>	2.46 <sup>**</sup>	1.51 <sup>**</sup>
Nitrogen	3	48.3 <sup>**</sup>	20.8 <sup>**</sup>	24708 <sup>**</sup>	2.46 <sup>**</sup>	1.51 <sup>**</sup>
P × N	3	0.833 <sup>ns</sup>	1.13 <sup>ns</sup>	115 <sup>ns</sup>	0.012 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>
خطای a	12	1	0.486	100	0.006	0.04
Error a (M)	12	1	0.486	100	0.006	0.04
مالچ (M)	2	46.5 <sup>**</sup>	0.50 <sup>ns</sup>	1902 <sup>**</sup>	1.40 <sup>**</sup>	2.95 <sup>**</sup>
Mulch	2	46.5 <sup>**</sup>	0.50 <sup>ns</sup>	1902 <sup>**</sup>	1.40 <sup>**</sup>	2.95 <sup>**</sup>
N × M	6	3.83 <sup>**</sup>	5.17 <sup>**</sup>	3018 <sup>**</sup>	0.493 <sup>**</sup>	0.119 <sup>**</sup>
P × M	2	0.5 <sup>ns</sup>	0.50 <sup>ns</sup>	27.4 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	0.013 <sup>ns</sup>
P × N × M	6	0.83 <sup>ns</sup>	0.50 <sup>ns</sup>	52.2 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>
خطای b	32	0.917	0.875	246	0.008	0.026
Error b	32	0.917	0.875	246	0.008	0.026
ضریب تغییرات (/)	-	10.6	10.3	11.3	3.90	14.7
Variation coefficient	-	10.6	10.3	11.3	3.90	14.7

<sup>ns</sup> و <sup>\*\*</sup> به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال یک درصد

<sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup>: not significant and significant at the probability level of 1%, respectively

کنگاور بود (جدول ۶). تاریخ کاشت کاملینا در شهرستان کنگاور یک هفته پس از شهرستان کرمانشاه بود و لذا به نظر می‌رسد استفاده بهینه از بارش ابتدای فصل این امکان برای رشد زایشی مطلوب‌تر در کرمانشاه ایجاد شده باشد.

مقایسه میانگین اثر مکان بر تعداد خورجین در بوته و وزن هزاردانه کاملینا نشان داد که تعداد خورجین در بوته کاملینا در شهرستان کرمانشاه بالاتر از شهرستان کنگاور بود (جدول ۶). وزن هزاردانه کاملینا در شهرستان کرمانشاه بالاتر از شهرستان

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر مکان بر صفات تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه در گیاه کاملینا

Table 6- Mean comparison of place effect on pod number per plant and 1000-seed weight of camelina

مکان Place	وزن هزاردانه 1000-seed weight (g)	تعداد خورجین در بوته Pod number per plant
کرمانشاه Kermanshah	2.49 <sup>a</sup>	146 <sup>a</sup>
کنگاور Kangavar	2.18 <sup>b</sup>	132 <sup>b</sup>

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Different letters within column indicate significant difference based on LSD test (5%)

بدون مالچ پلاستیکی) و تیمار مصرف ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدون مالچ پلاستیکی و بیشترین مقدار آن در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و مالچ پلاستیک بر روی خاک

مقایسه میانگین شاخص‌های عملکردی گیاه کاملینا تحت برهم‌کنش کود نیتروژن و مالچ پلی‌اتیلن در جدول ۷ ارائه شده است. کمترین تعداد شاخه فرعی در تیمار شاهد (بدون کود و

شرایط مزرعه شهرستان اقلید فارس و ارزیابی شاخص‌های رشدی و عملکردی گزارش شده است که رابطه استفاده از کود نیتروژنه و تاریخ کاشت و اثر آن بر شاخص عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (Momeni et al., 2024).

آنها گزارش دادند که استفاده از کود نیتروژنه به دلیل ایجاد شرایط محیطی رشد به شکل مطلوب و نیز تاریخ کاشت زود هنگام که فرصت کافی برای تکمیل رشد رویشی را به گیاه می‌دهد عامل افزایش تعداد دانه در خورجین معرفی و افزایش تعداد دانه در خورجین به دلیل افزایش سطح نیتروژن را به دلیل اثرات مثبت آن در لقاح و تشکیل دانه‌ها عنوان کردند. از سویی دیگر در کشت دیرهنگام و عدم کاربرد کود نیتروژن دار ضمن آنکه فرصت کافی برای ساخت و انتقال شیره پرورده به دستگاه زایشی را نمی‌دهد، طول دوره رشد را تقلیل و در نتیجه عملکرد را کاهش می‌دهد. در بررسی وضعیت رشد کاملینا در پاسخ به سطوح تیماری حاوی کود نیتروژنه گزارش شده که عملکرد دانه گیاه کاملینا با افزایش سطوح کاربرد نیتروژن رابطه مثبت معنی‌دار دارد (Kumari et al., 2015).

آنها گزارش دادند که نیتروژن استفاده شده به صورت قابل توجهی صرف تولید غلاف و همچنین ایجاد دانه‌های بیشتر شده است.

با توجه به اهمیت فاکتور تعداد شاخه فرعی در تعیین عملکرد نهایی محصول به نظر می‌رسد آن چنان که نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، کاربرد کود نیتروژنه به همراه استفاده از مالچ توانسته است به صورت معنی‌داری تعداد شاخه فرعی در بوته را ارتقا دهد. در نتایج مشابهی عنوان شده است کاربرد کود نیتروژنه به شکل معنی‌داری و در سطح احتمال یک درصد تعداد خورجین در بوته را افزایش داده است (Momeni et al., 2024).

آنها میانگین تعداد خورجین در بوته را در تیمار کاربرد کود زیستی نیتروژنه به علاوه ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن ۳۱۳ خورجین ثبت کردند. کود نیتروژنه تعداد غلاف‌ها در واحد مترمربع را به شکل قابل توجهی افزایش اما تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر وزن دانه ندارد. نیتروژن به کار برده شده در سطوح بهینه موجب کاهش ریزش گل‌ها می‌شود و در نتیجه تعداد غلاف افزایش می‌یابد. همچنین کود نیتروژنه با تاثیرات مثبت بر رشد

ثبت گردید. همان‌گونه که در نتایج جدول ذیل مشاهده می‌گردد، اعمال ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به خصوص توام با کاربرد پلاستیک بر روی خاک باعث افزایش تعداد شاخه‌های فرعی بوته کاملینا با اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۵ درصد گردیده است که بیانگر اهمیت استفاده از مقادیر بهینه نیتروژن و نیز کاربرد مالچ به‌ویژه بر روی خاک است. در این رابطه لازم به ذکر است که با توجه به اینکه استفاده از ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن نسبت به ۸۰ کیلوگرم باعث ایجاد شاخه فرعی بیشتر شده است، نشان‌دهنده پاسخ مثبت گیاه کاملینا به کاربرد این مقادیر نیتروژن می‌باشد که لازم است در تدوین برنامه‌های به‌زراعی این گیاه مدنظر قرار گیرد.

تیمار عدم مصرف نیتروژن بدون پوشش پلاستیک، تیمار عدم مصرف نیتروژن با پوشش پلاستیک روی گیاه و تیمار مصرف ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدون پوشش پلاستیک کمترین تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته را داشتند. تیمارهای عدم مصرف نیتروژن در تمام سطوح پوشش پلاستیک و تیمار مصرف ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدون پوشش پلاستیک کمترین وزن هزاردانه را داشتند. تیمار مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با پوشش پلاستیک روی خاک بیشترین تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد (جدول ۷).

با توجه به موارد گفته شده در خصوص تعداد شاخه فرعی، اجزاء عملکرد و نحوه پاسخ آن به تیمارهای موجود در آزمایش می‌توان پیش‌بینی نمود که شاخص عملکرد دانه چه روندی را در پاسخ به تیمارها نشان می‌دهد (شکل ۷).

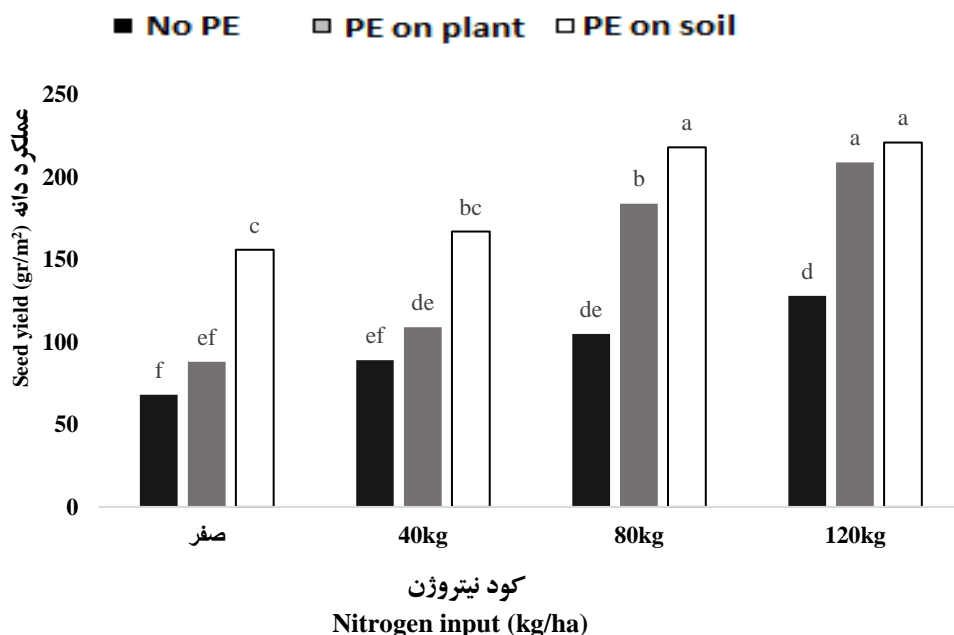
کمترین میزان عملکرد دانه مربوط به تیمار شاهد (بدون کود و بدون مالچ پلاستیکی) بود و بیشترین مقدار آن در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با کاربرد مالچ پلاستیک بر روی خاک یا گیاه و تیمار ۸۰ کیلوگرم نیتروژن با کاربرد مالچ پلاستیک بر روی خاک ثبت شد. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، نوعی همبستگی مثبت بین کاربرد مالچ پلاستیک با کاربرد مقادیر بالای نیتروژن قابل تشخیص است که این امر به‌ویژه در تیمارهای کاربرد مالچ پلاستیک روی خاک مشهودتر است و نشان‌دهنده اهمیت استفاده از مقادیر بالاتر کود جهت حصول عملکرد بیشتر می‌باشد.

در بررسی اثرات کود نیتروژن و تاریخ کاشت کاملینا در

دارد و موید اثرات مثبت کاربرد کود نیتروژن و نیز تاثیرات مثبت استفاده از مالچ پلاستیکی است.

رویشی گیاه موجب افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه می‌شود (Rabiei *et al.*, 2011).

نتایج مطالعات ذکر شده با یافته‌های این مطالعه هم‌خوانی



شکل ۷ - برهم‌کنش کود نیتروژن و مالچ پلاستیک بر عملکرد دانه

Figure 7- Comparison of the average interaction of nitrogen fertilizer and polyethylene (PE) mulch on seed yield of camelina

بروز تنش‌های محیطی طول دوره پر شدن دانه‌ها را کاهش می‌دهد و باعث تقلیل وزن هزاردانه می‌گردد. لذا پیش‌بینی هرگونه عملیات به‌زراعی جهت مواجهه با تنش‌های محیطی مانند کاربرد پوشش پلاستیکی برای حفظ رطوبت خاک و جلوگیری از بروز تنش خشکی می‌تواند با جلوگیری از کوتاه شدن دوره پر شدن دانه‌ها، باعث حفظ عملکرد نهایی گیاه در مقادیر قابل قبول گردد. این موضوع را می‌توان به فراهمی نیتروژن در محیط ریشه و در نتیجه ساخت میزان بیشتر کلروفیل جهت ساخت کربوهیدرات نسبت داد؛ به گونه‌ای که عوامل مذکور با ایجاد سطح فتوسنتزی بیشتر امکان انتقال مواد فتوسنتزی به دستگاه زایشی را فراهم می‌کنند و در نهایت با ایجاد عملکرد دانه بیشتر شاخص برداشت را افزایش می‌دهند. عملکرد دانه در مطالعه حاضر تحت تاثیر تیمار کاربرد کود نیتروژن و مالچ افزایش نشان داد که با نتایج ذکر شده در بالا تطابق دارد.

گزارش‌ها نشان می‌دهند که غلاف‌های در حال پر شدن نسبت به غلاف‌های جوان گیاه از نظر دریافت مواد فتوسنتزی تولید شده توسط گیاه در اولویت بوده و لذا افزایش طول دوره پر شدن دانه گیاه کاملاً موجب افزایش وزن هزاردانه می‌شود (Zarei *et al.*, 2021). از سویی بروز تنش‌های محیطی مانند کمبود رطوبت و تنش خشکی به دلیل ایجاد نقصان در پر شدن دانه‌ها، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. رابطه بین عملکرد دانه و استفاده از کود نیتروژن مثبت و معنی‌دار گزارش شده است (Momeni *et al.*, 2024).

آن‌ها اعلام نمودند کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژن بالاترین وزن هزاردانه را داشته است و در صورت تاخیر در تاریخ کاشت از میانگین وزن هزاردانه کاسته شده است. سطوح بالای کود نیتروژن با ارتقای قابلیت‌های فیزیولوژیک گیاه در تولید مواد فتوسنتزی باعث افزایش ذخیره این مواد در مقاصد فیزیولوژیک یعنی دانه‌ها می‌شود.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود نیتروژن و مالچ پلاستیک (PE) بر تعداد شاخه فرعی و اجزای عملکرد دانه کاملینا

Table 7- Comparison of the average interaction of nitrogen fertilizer and polyethylene (PE) mulch on the number of lateral branches and seed yield components of camelina

کود نیتروژن	مالچ	وزن هزاردانه	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	تعداد شاخه فرعی
Nitrogen (kg/ha)	mulch	1000-seed weight (g)	Pod number per plant	Seed number per pod	Number of lateral branches
0	بدون نایلون No PE	1.96f	88g	8ef	7f
	نایلون روی گیاه PE on plant	1.99f	98fg	8ef	8ef
	نایلون روی خاک PE on soil	2.00f	115f	9ce	8ef
	بدون نایلون No PE	2.00f	97fg	8ef	7f
40	نایلون روی گیاه PE on plant	2.06ef	115f	9c-e	8ef
	نایلون روی خاک PE on soil	2.16de	137e	9c-e	9de
	بدون نایلون No PE	2.22cd	135e	9c-e	8ef
	نایلون روی گیاه PE on plant	2.24cd	160cd	10bc	10cd
80	نایلون روی خاک PE on soil	2.91b	187ab	10bc	12b
	بدون نایلون No PE	2.28c	156d	9c-e	9de
	نایلون روی گیاه PE on plant	2.88b	178bc	11ab	11bc
	نایلون روی خاک PE on soil	2.31a	204a	12a	14a

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده‌ی معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Different letters within column indicate significant difference based on LSD test (5%)

## نتیجه‌گیری کلی

باشد. جذب رطوبت و کاهش تنش خشکی انتهای فصل رشد عملکرد اقتصادی کاملینا را به‌صورت معنی‌دار افزایش و ضمناً زمینه را برای جذب حداکثری عناصر غذایی نسبت به شرایط بدون مالچ پلاستیکی فراهم می‌نماید. با این توصیف به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی پیشنهاد می‌گردد، در شرایط اقلیمی مشابه مناطق اجرای این آزمایش، جهت حصول بیشترین عملکرد دانه، ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژنه اوره در هکتار توام با کاربرد پوشش پلاستیکی بر روی سطح خاک استفاده گردد.

با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان استنباط نمود استفاده از مالچ پلاستیکی خصوصاً در شرایطی که این نوع مالچ بر روی خاک استفاده شده باشد، شرایط محیطی مخصوصاً شرایط محتوی رطوبت خاک را به‌نفع استفاده از مقادیر بالاتر نیتروژن تغییر می‌دهد. ایجاد تعادل بهینه حرارتی خاک خصوصاً در اواخر زمستان و اوایل بهار امکان رشد رویشی سریع‌تر جهت استفاده از منابع آبی محدود در محیط اطراف ریشه را فراهم و به‌علاوه در رقابت این گیاه با علف‌های هرز نیز می‌تواند موثر

## References

- Afshar, R.K., Mohammed, A.Y. and Chen C., 2016. Enhanced efficiency of nitrogen fertilizer effect on camelina production under conventional and conservation tillage practices. *Industrial Crops Production*, 94, pp.783–789. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.043>

- Agarwal, A., Prakash, O. and Bala, M., 2021. Effect of irrigation schedule on growth and seed yield of camelina (*Camelina sativa* L.) in Tarai region of central Himalaya. *Oil Crop Science*, 6, pp.8-11. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2021.01.004>
- Ahmad-Waraich, E., Zeeshan, A., Zahoor, A. and Erman, R., 2020. Alterations in growth and yield of Camelina induced by different planting densities under water deficit stress. *International Journal of Experimental Botany*, 89(3), pp.587-597. <https://doi.org/10.32604/phyton.2020.08734>
- Caruso, G., 2015. Plastic degrading microorganisms as a tool for bioremediation of plastic contamination in aquatic environments. *Journal of Pollution Effects & Control*, 3(3), 1000e112. <https://doi.org/10.4172/2375-4397.1000e112>
- Correa, R.S., White R.E. and Weatherley A.J., 2006. Effect of compost treatment of sewage sludge on nitrogen behavior in two soils. *Waste Management*, 26, pp.614–619. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.008>
- Ehrensing, Daryl T. and Stephen O. Guy., 2008. Camelina. Oregon State University Extension Service. EM 8953-E, January 2008. <https://extension.oregonstate.edu/catalog/pub/em-8953-oilseed-crops-camelina>
- Fakoredet, M.A.B. and Mock, J.J., 1980. Growth analysis of maize variety hybrids obtained from two recurrent selection programs for grain yield. *New Phytologist*, 85, pp.393-408. <https://www.jstor.org/stable/2431789>
- Gregorich, E. G., 2006. Encyclopedia of Soil Science. *Taylor and Francis*, 38, pp.1388-1391.
- HasaniBalyani, M., Tadayon, M. and Fadaei, A., 2020. Evaluation of some growth and yield traits of *Camelina sativa* L. under the influence of biological and chemical fertilizers. *Journal of Crop Production and Processing*, 10, pp.39-52. [In Persian]. <https://doi.org/10.47176/jcpp.10.1.209111>
- Hosseinfard, M., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Allah dadi, I. and Kahrizi, D., 2022. Evaluation of seed yield and oil content of 40 camelina (*Camelina sativa* L.) doubled haploid lines. *Journal of Crops Improvement*, 24(2), pp.497-509. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.331945.2622>
- Hunter, J. and Greg R., 2010. Camelina production and potential in Pennsylvania. Agronomy Facts 72. College of Agricultural Sciences, Crop and Soil Sciences, Pennsylvania State University
- Kim, S.W. and An, Y., 2019. Soil microplastics inhibit the movement of springtail species. *Environment International*, 126, pp.699-706.
- Kumari, A., Joshi, P.K., Mohsin, M., Arya M.C. and Ahmed, Z., 2015. Studies on effect of spacing and nitrogen on false flax (*Camelina sativa* cv. calena) under central western Himalayas of India. *The Bioscan*, 10, pp.1321-1326. <https://thebioscan.com/index.php/pub/article/view/1711>
- Kuzmanovic, B., Petrovic, S., Nag, N., Mladenov, V., Grahovac, N., Zanetti, F., Eynck, C., Vollmann, J. and Marjanovic Jeromela, A., 2021. Yield-related traits of 20 spring Camelina genotypes grown in a multi-environment study in Serbia. *Agronomy*, 11, pp.858-869. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050858>
- Luo, L. C., Hui, X., He, G., Wang, S., Wang, Z. and Siddique, K.H., 2022. Benefits and limitations to plastic mulching and nitrogen fertilization on grain yield and sulfur nutrition: multi-site field trials in the semiarid area of China. *Frontiers in Plant Science*, 13, 799093. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.799093>

- Ma, Y., Zhang, H., Xue, Y., Gao, Y., Qian, X., Dai, H., ... and Li, Z., 2021. Effect of sulfur fertilizer on summer maize grain yield and soil water utilization under different irrigation patterns from anthesis to maturity. *Agronomy Water Management*, 250, 106828. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106828>
- Mohammed, Y.A., Chen, C. and Afshar, R.K., 2017. Nutrient requirements of camelina for biodiesel feedstock in central Montana. *Agronomy Journal*, 109, pp.309–316. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0163>
- Momeni, A., Yadavi, A., Moradi, A., Hemmati, A., 2024. Improving the quantity and quality of camelina (*Camelina sativa* L.) yield by chemical and biological nitrogen fertilizers in different planting dates. *Journal of Crop Production and Processing*, 14, pp.73-93. [In Persian]. <https://doi.org/10.47176/jcpp.14.2.20335>
- Munakamwe Z., 2008. A physiological study of weed competition in peas (*Pisum sativum* L.). A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. *Lincoln University*, 164 p.
- Neupane, D., Solomon, J.K.Q. Mclennon, E., Davison, J. and Lawry, T., 2020. Camelina production parameters response to different irrigation regimes. *Industrial Crops Production*, 14, pp.112-286. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112286>
- Rabiei, M. and TousiKehal, P., 2011. Effects of nitrogen and potassium fertilizer levels on nitrogen use efficiency and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop after rice in Gilan region. *Iranian Journal of Field Crop Sciences*, 42, pp.605-615. [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084811.1390.42.3.18.8>
- Rostami, H., Abbasi, N. and Hajinia, S., 2023. Evaluation of yield and yield components and quality of camelina grain oil under fertilizer application. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53, pp.245-260. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.331029.654863>
- Seguin-Swartz G., Eynck, C., Gugel, R.K., Strelkov, S.E., Olivier, C.Y., Li, J.L., ... and Falk, K.C., 2009. Diseases of *Camelina sativa* (false flax). *Canadian Journal of Plant Pathology*, 31(4), 375-386. <https://doi.org/10.1080/07060660909507612>
- Sintim, H.Y., Zheljzkov, V.D., Obour, A.K., Garcia, A. and Foulke, T.K., 2016. Evaluating agronomic responses of camelina to seeding date under rain-fed conditions. *Agronomy Journal*, 108, pp.349–357. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0153>
- Toyota, M., Shiotsu, F., Bian, J., Morokuma, M. and Kusutani, A., 2003. Effects of radiation in plant height induced by chlormequat on radiation interception and radiation use efficiency in wheat in Southwest Japan. *Plant Production Science*, 13, pp.67-73. <https://doi.org/10.1626/pp.13.67>
- Vollmann, J. and Eynck, C., 2015. Camelina as a sustainable oilseed crop: contributions of plant breeding and genetic engineering. *Biotechnology Journal*, 10, pp.52-35. <https://doi.org/10.1002/biot.201400200>
- Waraich E.A., Ahmad, R., Ahma, Z., Barutcular, C., Erman, M., Cig, F., Saneoka, H. and Ozturk, F., 2020. Comparative study of growth, physiology and yield attributes of camelina (*Camelina sativa* L.) and canola (*Brassica napus* L.) under different irrigation regimes. *Pakistan Journal of Botany*, 52(5), pp.1537-1544. [https://doi.org/10.30848/pjb2020-5\(2\)](https://doi.org/10.30848/pjb2020-5(2))

- Waraich, E.A., Ahmad, Z., Ahmad, R. and Shabbir, R., 2017. Modulating the phenology and yield of camelina sativa L. by varying sowing dates under water deficit stress conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 36, pp.84-92. <https://doi.org/10.25252/se/17/20937>
- Wittenberg, A. anderson, J. V. and Berti, M.T., 2020. Crop growth and productivity of winter camelina in response to sowing date in the northwestern Corn Belt of the USA. *Industrial Crops and Products*, 158, pp.11-36. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113036>
- Wysocki, D.J., Chastain, T.G., Schillinger, W.F., Guy, S.O. and Karow, R.S., 2013. Camelina: Seed yield response to applied nitrogen and sulfur. *Field Crops Research*, 145, pp.60-66. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.02.009>
- Yadavi, A., Kiani, M., Dehnavi, M.M. and Khajeeyan, R., 2015. Sowing date and weed competition effects on growth, phenology and yield of three white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *International Journal of Biological Sciences*, 6, pp.80-89. <https://worldveg.tind.io/record/53967>
- Zarei, Sh., Hassibi, H., Kahrizi, D. and SafieddinArdebili, S.M., 2021. Effect of nitrogen application on camelina (*Camelina sativa*) oil seed yield and yield components at different planting dates. *Field Crop Research*, 19, pp.311-325. <https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.37179.0>

# Crop Science Research in Arid Regions

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

## Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 887-898

### The effect of pretreatment with humic acid on cotton seed germination components at different planting dates

AmirAbbas Rostami Ajirlou <sup>\*a</sup>

<sup>a</sup> Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardebil, Iran

\*Corresponding Author: [Abasat.rostami@yahoo.com](mailto:Abasat.rostami@yahoo.com)

Received: 11 June 2025

Accepted: 19 August 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.523278.1487

#### How to cite this article:

Rostami Ajirlou, A. A., 2025. The effect of pretreatment with humic acid on cotton seed germination components at different planting dates. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 887-898. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.523278.1487>

#### Abstract

**Introduction:** Cotton, as one of the most important crops in the country, has a special place due to its important role in human and livestock nutrition, health, clothing industry, and job creation, so it is known as white gold among farmers. Sometimes, due to unsuitable climatic conditions, cotton planting faces problems that can be partially resolved by agricultural operations. Proper germination and establishment of crops are among the most important and fundamental factors that affect the economic performance of the crop. Pretreatments are one of the seed improvement techniques that can increase the percentage of germination, emergence, and increase the range of seed germination in stressful environmental conditions such as temperature and drought. Increasing seed quality by pretreatments, in addition to enhancing germination characteristics and better establishment of seedlings, also increases the final yield.

**Materials and Methods:** This study aimed to investigate the effect of pretreatment of cotton seeds with powdered humic acid containing Zn at different planting dates, using a split plot experiment in a randomized complete block design with three replications on the Golestan cotton variety at the research farm of the Agricultural Research and Education Center and Natural Resources of Ardabil Province (Moghan Station) in the 1402-1403 crop year. Sowing dates in the main plots were at 4 levels (May 2 and May 15, June 2 and June 10) and seed dressing with powdered humic acid containing zinc at 3 levels (2, 3 and ppm) and a control treatment without seed dressing. The humic acid used in this design contained 60% humic acid, 15% fulvic acid and 2% zinc.

**Results and Discussion:** The results of this study showed that seed pretreatment with powdered humic acid at different sowing dates had a significant effect on germination characteristics of cultivated seeds and final and harvested yield. Seed treatment with humic acid at a ratio of 3:1000 had the greatest effect on germination percentage, germination rate, average germination time, seed vigor index, D10 (ten percent emergence) and D90 (ninety percent emergence) at the sowing date of May 15. Also,



©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/).

pretreatment at a ratio of 4:1000 reduced the negative effects of late sowing dates (May 2) and early planting dates (June 15) on germination components, especially germination rate, by 11%. In addition, seed pretreatment with humic acid at ratios of 3 and 4 had the greatest effect on first and total yields. The highest first-row yield of 4700 kg/ha was obtained in seed pretreatment with humic acid at a ratio of 4:100 and the total yield of 7150 kg/ha was also obtained in this treatment. Also, the highest first-row yield of 5210 kg/ha was obtained on the planting date of May 15 and the lowest was 1700 kg/ha on the planting date of June 10. In addition, the highest total yield of 6685 kg/ha was obtained on the planting date of May 15 (as the appropriate planting date) and the lowest was 1845 kg/ha on the planting date of June 10 (as the late planting date).

**Conclusion:** Overall, the use of humic acid as a pretreatment is a cheap and easy method that led to improved germination traits, enhanced early growth of cotton seedlings, and final yield of cotton. Also, the best planting date for successful cotton cultivation in the conditions of the Moghan Plain was found to be May 15, which is recommended as the most suitable planting date. The planting date of June 10, which is sometimes used as a second crop in cotton cultivation in the conditions of the Moghan Plain, was not a suitable planting date due to the short growing season and exposure to late-season cold.

**Keywords:** Cotton, Germination, Humic Acid, Planting, Pretreatment

## تأثیر پیش تیمار با اسید هیومیک بر مولفه‌های جوانه‌زنی بذر پنبه در تاریخ کاشت‌های مختلف

امیرعباس رستمی اجیرلو<sup>۱\*</sup>

۱- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران

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

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.523278.1487

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

## چکیده

جوانه‌زنی و استقرار مناسب گیاهان زراعی از مهم‌ترین و بنیادی‌ترین عواملی است که بر عملکرد اقتصادی محصول تأثیر می‌گذارد. افزایش کیفیت بذر توسط پیش تیمارها از مواردی است که می‌تواند بر مولفه‌های جوانه‌زنی مؤثر باشد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پیش تیمار بذر پنبه با اسید هیومیک پودری روی‌دار در تاریخ کاشت‌های مختلف به صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار روی بذر پنبه رقم گلستان در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. تاریخ‌های کاشت در کرت‌های اصلی در چهار سطح (۲ و ۱۵ اردیبهشت، ۲ و ۱۰ خرداد) و بذرمال با اسید هیومیک در سه سطح (۲، ۳ و ۴ ppm) همراه با تیمار شاهد بدون بذرمال بودند. نتایج نشان داد که پیش تیمار بذر با اسید هیومیک در تاریخ کاشت‌های مختلف تأثیر معنی‌داری دارد. بذرمال بذور با اسید هیومیک به نسبت سه‌دهزار بیشترین تأثیر را بر درصد و سرعت جوانه‌زنی میانگین زمان جوانه‌زنی، شاخص قدرت بذر، تعداد روزهای لازم برای سبز شدن ۱۰ تا ۹۰ درصد بذرها در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت داشته است. همچنین پیش تیمار با نسبت ۴ در هزار، مولفه‌های جوانه‌زنی را در تاریخ کاشت‌های کرپه و هراکشت به نسبت ۱۱ درصد افزایش داد. علاوه بر این، پیش تیمار بذور با اسید هیومیک به نسبت ۳ و ۴ ppm بیشترین تأثیر را بر روی عملکردهای چین اول و کل‌وش داشت. استفاده از اسید هیومیک به عنوان پیش تیمار روشی ارزان قیمت و آسانی است که منجر به بهبود صفات جوانه‌زنی و عملکرد نهایی و ش برداشتی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، پنبه، پیش تیمار، جوانه‌زنی، کاشت

## مقدمه

جوانه‌زنی و رشد و عملکرد نهایی این محصول را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Efe and Yarpuz, 2011). بر این اساس در صورتی که بتوان از طریق پیش تیمار بذور اثرات سوء ناشی از تاریخ کاشت نامناسب بر سبز شدن و استقرار گیاهچه را کاهش داد، آنگاه می‌توان تا حد زیادی مانع از افت عملکرد نهایی شد. تاریخ کاشت مهم‌ترین عاملی است که از طریق تأثیر بر دما، تشعشع خورشیدی و طول روز سبب برخورد مراحل رشد و نمو رویشی و زایشی گیاه با شرایط متنوع محیطی شده می‌باشد (Dadashi and Khajepour, 2004). از این طریق بر کیفیت توزیع ماده خشک تأثیر می‌گذارد (Sharifi et al., 2018). توزیع ماده خشک نقش تعیین‌کننده‌ای بر عملکرد داشته و به معنای تخصیص آسیمیلات‌های به دست آمده از فرآیند فتوسنتز به اندام‌های مختلف گیاه می‌باشد. از آنجایی که مرحله نمو مهم‌ترین عامل مؤثر بر ضریب تخصیص مواد فتوسنتزی می‌باشد، هر عاملی که سرعت نمو گیاه را دچار تغییر سازد، اثر

پنبه یکی از مهم‌ترین محصولات تجاری است که به طور معمول در مرحله جوانه‌زنی و مراحل اولیه رشد با تنش دمای پایین که در تاریخ کاشت‌های نامناسب ظهور پیدا می‌کند، مواجه می‌شود (Efe and Yarpuz, 2011). این امر منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و به دنبال آن استقرار نامناسب گیاهچه می‌گردد. در این شرایط بذرهایی با قدرت اولیه پایین، قدرت جوانه‌زنی و سبز شدن کمتری دارند، که منجر به مشکلاتی در موفقیت تولید محصول می‌گردد و استفاده از بذرهایی با کیفیت بالا (دارای ظرفیت جوانه‌زنی، قدرت و خلوص بالا) باعث استقرار مناسب گیاهچه‌ها در طیفی از شرایط محیطی مختلف خواهد شد (Moosavi, 2019). پنبه به عنوان یکی از محصولات استراتژیک اهمیت بسیار بالایی داشته و یکی از محصولات زراعی با ارزش افزوده بسیار بالایی می‌باشد. کاشت زود هنگام یا دیر هنگام پنبه به دلایل متعددی،

در کاشت به‌شدت عملکرد و اجزای عملکرد پنبه را کاهش می‌دهد و بهتر است کشت زود هنگام با تراکم بالا را در نظر گرفت (Kassambara et al., 2024). در تحقیقی دیگر در جنوب کارولینا که به بررسی تاثیر تاریخ کاشت و اندازه بذر مورد کاشت پرداختند، به این نتیجه رسیدند که ۲۲ ام ماه می (مصادف با اردیبهشت‌ماه) بهترین تاریخ کاشت برای افزایش عملکرد کمی و کیفی پنبه می‌باشد (Holladay et al., 2024). همچنین در تحقیقی دیگر تاخیر در کشت سبب کاهش تمامی دوره‌های نمو، تعداد سنبله در واحد سطح، عملکرد دانه و بیولوژیک گندم شد (Sharifi, 2016).

معمولاً بررسی مولفه‌های جوانه‌زنی در محیط آزمایشگاهی صورت می‌گیرد که به دلیل متفاوت بودن با شرایط مزرعه با خطاهایی مواجه می‌باشد. بر همین اساس پژوهش حاضر به منظور بررسی تاثیر پیش تیمار بذر پنبه با درصد‌های مختلفی از اسید هیومیک پودری حاوی عنصر روی در چهار تاریخ کاشت بر صفات جوانه‌زنی بذر پنبه و عملکرد نهایی رقم گلستان در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان واقع در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل واقع در دشت مغان با مشخصات عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۶۰ متر انجام شد. این منطقه دارای تابستان‌های گرم و نسبتاً مرطوب و زمستان‌های معتدل دارای یخبندان محدود با متوسط حداکثر دمای سالانه ۳۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل دمای سالانه ۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. حداکثر درجه حرارت ثبت شده ۴۴ درجه سانتی‌گراد در تیرماه و ۱۶/۵- درجه در دی‌ماه می‌باشد. متوسط تبخیر سالانه ۱۴۸۶ میلی‌متر می‌باشد که بیشترین مقدار آن متعلق به ماه‌های تیر و مرداد می‌باشد. شرایط آب‌وهوایی محل اجرای آزمایش طی سال انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۲ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار اجرا شد.

غیرمستقیمی را بر ضرایب تخصیص ماده خشک اعمال خواهند کرد.

جوانه‌زنی اولین مرحله نموی و یکی از مراحل مهم و حساس در چرخه زندگی گیاهان و یک فرایند کلیدی در سبزشدن گیاهچه می‌باشد (Barahouei et al., 2023). این مرحله از رشد به‌شدت تحت تاثیر عوامل محیطی مانند دما و رطوبت خاک قرار می‌گیرد (Soltani et al., 2006). بذر مال کردن بذر تکنیکی است که به واسطه آن بذور پیش از قرار گرفتن در بستر خود و مواجهه با شرایط اکولوژیکی محیط و انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی آمادگی جوانه‌زنی را به‌دست می‌آورند. این امر می‌تواند سبب بروز تظاهرات زیستی و فیزیولوژیکی متعددی در بذر تیمارشده و گیاه حاصل از آن گردد، به طوری که این موارد را می‌توان در چگونگی جوانه‌زنی، استقرار اولیه گیاه، بهره‌برداری از نهاده‌های محیطی، زودرسی و افزایش کمی و کیفی محصول مشاهده کرد (Sardar et al., 2024).

اسید هیومیک شامل مخلوطی از ترکیبات آلی مختلف است که از باقی‌مانده اجزای گیاهان و حیوانات حاصل می‌شود، و از آنجا که این ماده pH اسیدی ضعیف (۳/۵-۸) دارد، بنام اسید هیومیک شناخته شده است. اسید هیومیک به دلیل اثرات هورمونی در بهبود جذب مواد غذایی و افزایش بیوماس ریشه و شاخساره مانند یک اسید آلی مشتق از هوموس عمل می‌کند (Nikbakht et al., 2008). مکانیسم عمل مواد آلی طبیعی بر تحریک رشد گیاهان مختلف به‌طور دقیق مشخص نیست، ولی در برخی منابع بر دو اثر مستقیم (افزایش فعالیت آنزیمی و نفوذپذیری غشا) و غیرمستقیم (جذب بهتر مواد غذایی) اشاره شده است (Jamali et al., 2015).

در تحقیقی دوساله روی عملکرد ارقام پنبه در پنج تاریخ کاشت با فواصل ۱۵ روزه در ماه‌های می و ژوئن (اردیبهشت و خرداد) در پنجاب پاکستان، کاشت در ماه ژوئن (خرداد) موجب کاهش معنادار عملکرد و ش شد و اواسط ماه می (۲۵ اردیبهشت) به‌عنوان بهترین تاریخ کاشت در آن منطقه توصیه شد و همچنین راهکارهای مدیریتی از جمله پیش تیمار بذور را پیشنهاد دادند (Ali et al., 2014). در تحقیقی در استان مالی آفریقا، با بررسی چند تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه به این نتیجه رسیدند که تاخیر

۱۰۰ کیلوگرم در هکتار براساس توصیه کودی موسسه تحقیقات پنبه کشور برای تمام تیمارها به‌صورت یکنواخت اضافه شد. تمام کود پتاسیم و فسفر قبل از کاشت و کود اوره در سه نوبت (قبل از کاشت، مرحله ۴ برگی و قبل از گلدهی به‌صورت مساوی) مصرف شد. زمین مورد نظر در پاییز ۱۴۰۱ شخم و اوایل فروردین سال ۱۴۰۲ ماه دیسک زده شد و برای کاشت آماده گردید. بذرها با فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف‌های ۷۵ سانتی‌متری به‌صورت دستی کاشته شدند. هر کرت فرعی شامل ۴ ردیف کشت به‌طول ۶ متر بودند. در طول فصل مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد و سمپاشی‌ها بر علیه آفات مختلف از طریق سمپاش موتوری پستی با سموم تخصصی (تیودیکارب<sup>۱</sup> با نام تجاری لاروین به‌میزان یک کیلوگرم در هکتار، ایندوکساکارب با نام تجاری اولنت در دو مرحله جمعاً نیم لیتر در هکتار، آلامکتین یک لیتر در هکتار و استامی‌پراید یک کیلوگرم در هکتار) اعمال گردید. آبیاری هم به‌صورت جوی و پشته‌ای انجام شد.

کرت‌های اصلی چهار تاریخ کاشت (۲ اردیبهشت، ۱۵ اردیبهشت، ۲ خرداد و ۱۰ خرداد) و کرت‌های فرعی پیش تیمار بذر با اسید هیومیک حاوی عنصر روی (۲، ۳ و چهار ppm) و تیمار شاهد (بدون بذرمال) اختصاص یافت. رقم مورد کشت رقم گلستان (معرفی شده توسط موسسه تحقیقات پنبه کشور، تولیدی سال ۱۴۰۲ با درصد خلوص ۱۰۰ درصد و قوه‌نامه ۹۸ درصد) بود. اسید هیومیک مورد استفاده در این طرح دارای هیومات ۶۰ درصد، اسید فولویک ۵ درصد و عنصر روی ۲ درصد بود. براساس بروشور کود، مقدار اسید هیومیک مورد نظر در ۳ لیتر آب حل و بذور با آن آغشته شد و پس از خشک شدن در سایه، بلافاصله کشت انجام شد. برای تعیین خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه، قبل از کاشت از عمق ۳۰ سانتی‌متری به‌منظور آزمون خاک و تعیین میزان کود مورد نیاز، نمونه برداری انجام (جدول ۲) و سپس مقدار کودهای نیتروژن از نوع اوره ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، فسفر از نوع سوپرفسفات تریپل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم از نوع سولفات پتاسیم

جدول ۱- داده‌های هواشناسی منطقه مغان در طول فصل کاشت پنبه در سال ۱۴۰۲

Table 1- Meteorological data of Moghan region during the cotton planting season in 2023

متغیرها Variables	اردیبهشت‌ماه May	خردادماه June
درجه حرارت کمینه Minimum temperature (Celsius)	5	24
درجه حرارت بیشینه Maximum temperature (Celsius)	22	34
میانگین درجه حرارت Average temperature (Celsius)	13.5	29
بارش Precipitation (mm)	40	0.01

جدول ۲- نتایج آنالیز خاک محل آزمایش

Table 2- The result of soil analysis at the test site

عمق نمونه برداری Sampling depth	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC(d s m <sup>-1</sup> )	درصد شن Sand%	درصد سیلت Silt%	درصد رس Clay%	بافت خاک Soil Texture	میزان ماده آلی OC%	میزان نیتروژن آلی ON%	درصد فسفر P2O	درصد پتاس K2O	درصد آهن Fe%	درصد روی Zn%
۰-۳۰ سانتی‌متری 0-30 cm	7.2	1.78	20	35	45	Loam	1.8	0.1	10	355	5.82	1

نیز خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر در نظر گرفته شد (Tahmasebi et al., 2024). صفات اندازه‌گیری شده شامل

برای اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی، روزانه بذرها را جوانه‌زده شده به مدت هفت روز شمارش شدند. معیار جوانه‌زنی

<sup>1</sup> Thiodicarb

## نتایج و بحث

### مولفه‌های جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت و بذرمال بر درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، میانگین زمان جوانه‌زنی، شاخص قدرت بذری، روز تا ۱۰ درصد سبز شدن در سطح آماری یک درصد ( $p < 0.01$ ) معنی‌دار بود. همچنین تاثیر تاریخ کاشت بر روز تا ۹۰ درصد سبز شدن در سطح یک درصد و بذرمال کردن در سطح آماری پنج درصد ( $p < 0.05$ ) بر D90 معنی‌دار به‌دست آمد. علاوه بر این اثر متقابل آن‌ها بر درصد سبز شدن، شاخص قدرت بذری، روز تا ۱۰ درصد سبز شدن و روز تا ۹۰ درصد سبز شدن در سطح آماری یک درصد و بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۳).

درصد سبز شدن در تاریخ کاشت‌های مختلف در بذره‌های پیش‌تیمار با اسید هیومیک نسبت به تیمار شاهد (بذره‌های بدون بذرمال) بیشتر بود. نتایج نشان داد که در تاریخ کاشت دوم که برابر با ۱۵ اردیبهشت است و به‌عنوان کاشت زود هنگام تلقی می‌شود، استفاده از اسید هیومیک پودری با غلظت سه‌ده‌هزار باعث افزایش حدود ۲۰ درصد سبز شدن نسبت به سایر تیمارها شد. همچنین در تاریخ کاشت دیر هنگام (۱۰ خرداد ماه)، بذره‌های تیمار شده با هیومیک پودری به نسبت سه‌ده‌هزار نسبت به سایر تیمارهای بذرمال، ۲۵ درصد افزایش درصد سبز شدن را نشان داد.

بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۶ درصد) مربوط به تیمارهای بذرمال شده با اسید هیومیک به نسبت سه‌ده‌هزار که در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ماه کاشته شده بودند، به‌دست آمد و کمترین درصد جوانه‌زنی در تاریخ‌های ۲ اردیبهشت (۶۶/۴۵ درصد) و ۱۰ خرداد (۷۰ درصد) در تیمارهای شاهد به‌دست آمد. در مورد سرعت سبز شدن نتایج نشان داد که بیشترین (۰/۰۰۴۷) میزان سرعت سبز شدن در تیمار بذرمال با هیومیک پودری ۳ و ۴ هزار در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت به‌دست آمد. همچنین کمترین مقدار آن در تاریخ کاشت‌های ۲ اردیبهشت (۰/۰۰۴) و ۱۰ خرداد (۰/۰۰۳۲) در تیمارهای بدون بذرمال به‌دست آمد.

درصد سرعت سبز شدن، میانگین جوانه‌زنی، شاخص قدرت بذری، D10 (روز تا درصد سبز شدن) و D90 (روز تا ۹۰ درصد سبز شدن) بودند (Anonymous, 2012).

### درصد جوانه‌زنی

$$GP = (n/N) \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه (معادله ۱) GP برابر با درصد جوانه‌زنی، n برابر با تعداد کل بذره‌های جوانه‌زده و N تعداد کل بذره‌های شمرده شده (که در این طرح ۵۰ عدد در نظر گرفته شد) بودند.

### سرعت جوانه‌زنی

$$CVG = N1 + N2 + \dots + Nx / 100 \times N1T1 + \dots + NxTx \quad (2)$$

در این رابطه (معادله ۲) CVG برابر با ضریب سرعت جوانه‌زنی، N برابر با تعداد بذره‌هایی که هر روز جوانه می‌زنند، T برابر با تعداد روزهای پس از کاشت مربوط به N است.

### میانگین زمان جوانه‌زنی

MGT: میانگین زمانی است که بذرها برای جوانه‌زنی نیاز دارند و به‌صورت وزن‌دار براساس تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر روز محاسبه می‌شود.

$$MGT = \sum (Dn) / \sum n \quad (3)$$

که در این رابطه (معادله ۳) D تعداد روزهای پس از کاشت و n تعداد بذره‌های جوانه‌زده در آن روز است.

### شاخص قدرت بذری

SVI: ترکیبی از درصد جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه است.  $SVI = (\text{Germination \%} \times \text{Seedling Length})$  یا  $SVI = (\text{Germination \%} \times \text{Seedling Dry Weight})$  (معادله ۴) در این رابطه (معادله ۴) طول گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) یا وزن خشک گیاهچه در روز مشخصی (مثلاً ۷ یا ۱۴ روز پس از کاشت) اندازه‌گیری می‌شود.

در پایان از دو ردیف میانی برای ثبت عملکرد چین اول، دوم و کل‌وش نمونه‌برداری انجام و از طریق ترازوی دیجیتال سر مزرعه اندازه‌گیری شد. آنالیز داده‌ها از طریق نرم‌افزار آماری SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون LSD انجام شد.

راه‌اندازی فرآیندهای متابولیکی بذر عملیات جوانه‌زنی را تسریع بخشیده و در نتیجه درصد جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد. همچنین با رشد بهتر و سریع‌تر ریشه‌چه و جذب بهتر مواد غذایی مورد نیاز، سرعت جوانه‌زنی و ظهور نیز بیشتر می‌گردد (Naderi et al, 2002). در این خصوص محققان نشان دادند که مواد هیومیکی توانایی افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی را در تاریخ کاشت‌های زود هنگام چغندر قند را دارد (Farzaneh et al., 2021). اسید هیومیک به دلیل دارا بودن وزن مولکولی کم، سریع جذب بذر شده و باعث افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر نسبت به تیمار شاهد می‌شود و در نتیجه سبب تحریک جوانه‌زنی گیاهان می‌شود (Godínez-Garrido et al., 2022).

بذر مال بذرها به نسبت ۴ در هزار در تاریخ کاشت‌های ۱۵ اردیبهشت و ۲ خرداد بیشترین میزان D10 و D90 را منجر شدند (جدول ۴). پایین بودن دمای هوا در تاریخ کاشت اول (میانگین حداقل دما در این تاریخ ۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شد (جدول ۱)) سبب تأخیر در سبزشدن و مواجه شدن این مرحله با تنش‌های دما و رطوبت گردید به نحوی که ظهور گیاهچه‌ها نسبت به تاریخ کاشت دوم و سوم کمتر بود. کاربرد اسید هیومیک در غلظت‌های به کار رفته در این آزمایش سبب تحریک شاخص‌های جوانه‌زنی پنبه شد. استفاده از اسید هیومیک سبب شد تا سرعت جوانه‌زنی بذور گیاه در تمامی تاریخ کاشت‌ها افزایش معنی‌داری در سطح آماری یک درصد نشان دهد. به نظر می‌رسد بذر مال اسید هیومیک حاوی عنصر روی، باعث افزایش جذب سریع آب و میزان فسفر در دسترس بذر شده و با

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مولفه‌های سبزشدن بذرهای پنبه در تاریخ کاشت‌های مختلف

Table 3- Results of variance analysis of cotton seed germination components at different planting dates

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی DF	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	میانگین زمان		روز تا ۹۰ درصد سبزشدن	
				جوانه‌زنی Mean germination time	شاخص قدرت بذر Seed vigor index	روز تا ۱۰ درصد سبزشدن D10	روز تا ۹۰ درصد سبزشدن D90
بلوک (Block)	2	66.66	0.009	0.00016	1546	0.214	0.15
تاریخ کاشت (Planting date)	3	214.21**	0.0116**	0.1125**	4457*	99.16**	157.4**
خطای a (Error a)	6	22	0.0001	0.0445	0.114	1.70	2.01
بذر مال (Grinding seeds)	3	359.56**	0.0017**	0.2231**	2271*	4.54**	4.49*
اثر متقابل (P×G)	6	44.32**	0.00001*	0.0045	2456**	0.49**	1.11**
خطای b (Error b)	24	14.14	0.0001	0.0021	0.112	0.066	0.09

\*\* نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد، \* نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد.

\*,\*\* and ns represent significant at of 5% and 1% probability level, respectively

تاریخ ۱۵ خرداد و بذرهای بدون پیش تیمار به دست آمد (جدول ۳). قدرت بذر از عوامل مهمی است که می‌تواند روی درصد سبزشدن در مزرعه، تراکم گیاهی و عملکرد در شرایط مختلف محیطی تأثیر داشته باشد (Naderi Arefi, 2023). در این خصوص آزمایشی با موضوع بررسی پیش تیمارهای مختلف از جمله اسید هیومیک بر روی ارقام متعدد پنبه انجام گرفت،

نتایج شاخص میانگین زمان جوانه‌زنی نیز حاکی از آن بود که بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت و ۲ خرداد ماه و همچنین پیش تیمار بذر با اسید هیومیک پودری به نسبت‌های ۳ و ۴ در هزار به دست آمد (شکل‌های ۱ و ۲). همچنین شاخص قدرت بذر با تأخیر در کشت به شدت کاهش یافت، به طوری که کمترین میزان آن در

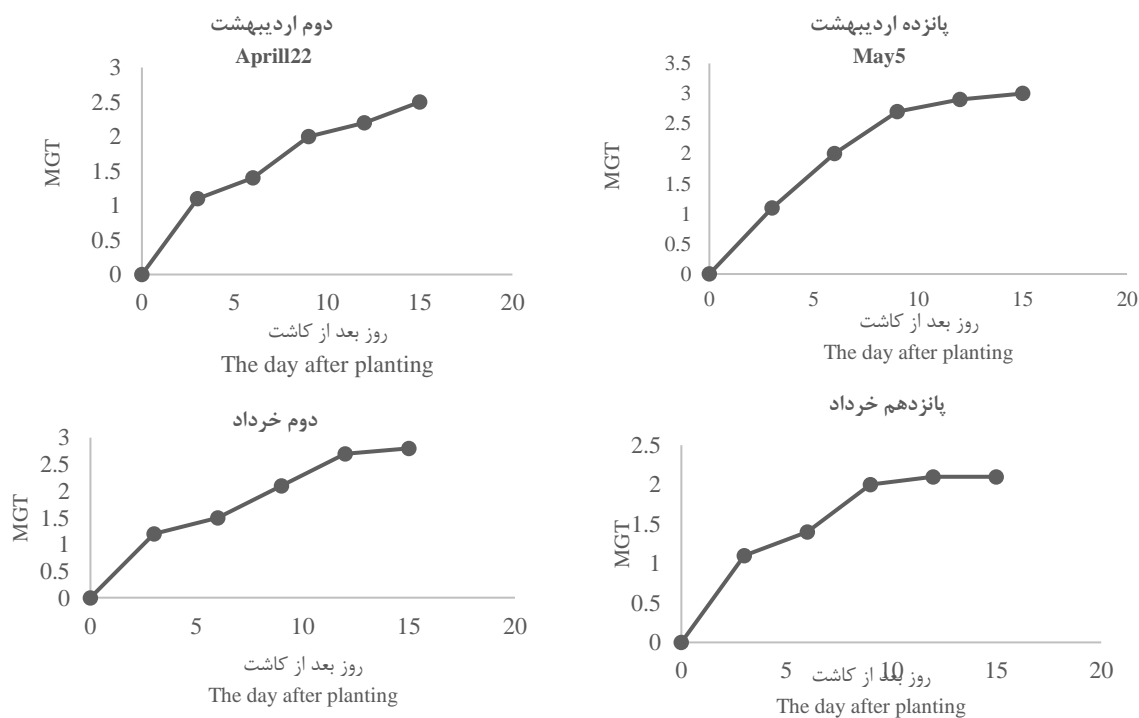
جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل بذرمال کردن بذر پنبه با مقادیر مختلف هیومیک Zn دار و تاریخ کاشت‌ها بر مولفه‌های جوانه‌زنی

Table 4- Comparison of the average interaction effects of treating cotton seeds with different amounts of Zn-containing Humic acid and planting date on germination components

تیمار Treatment	درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	شاخص قدرت بذر Seed Vigor Index	D10	D90
D1H0	66.45	0.004	43.42	0.01	0.011
D1H1	76.52	0.0041	43.44	0.012	0.012
D1H2	79	0.0041	43.44	0.012	0.034
D1H3	79.85	0.0042	43.45	0.012	0.034
D2H0	81	0.0044	44	0.013	0.035
D2H1	88	0.0045	49.40	0.015	0.037
D2H2	96	0.0047	45.58	0.017	0.038
D2H3	96	0.0047	52	0.017	0.0381
D3H0	69	0.0035	48	0.015	0.032
D3H1	77	0.0035	48.46	0.016	0.0332
D3H2	89	0.0037	47	0.014	0.034
D3H3	90	0.0038	48	0.015	0.035
D4H0	70	0.0032	42	0.012	0.029
D4H1	70	0.0033	44	0.016	0.032
D4H2	95	0.0034	44.13	0.017	0.032
D4H3	96	0.0034	45	0.018	0.034
LSD	4.44	0.00009	0.02	0.0034	0.0004

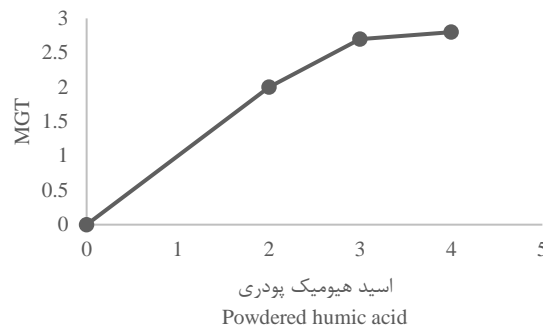
D1, D2, D3, D4: به ترتیب تاریخ کاشت دو اردیبهشت، ۱۵ اردیبهشت، ۲ خرداد و ده خرداد/ H0, H1, H2, H3: به ترتیب شاهد (بدون بذرمال)، هیومیک پودری روی‌دار در سه دزهای ۲، ۳ و ۴ در هزار کیلوگرم.

D1, D2, D3, and D4: Planting dates: May 2, May 15, June 2, and June 10, respectively. H0, H1, H2, H3: Control (without seed), powdered Humic zinc in three doses of 2, 3, and 4 per thousand kilograms, respectively.



شکل ۱- میانگین زمان جوانه‌زنی در تاریخ کاشت‌های مختلف

Figure 1- Average germination time at different planting dates



شکل ۲- میانگین زمان جوانه‌زنی در پیش تیمارهای مختلف

Figure 2- Average germination time in different pretreatments

قدرت بذر سویا نیز به نتیجه‌ای مشابه رسیدند، آن‌ها گزارش کردند که تاخیر در کاشت قدر بذر را به شدت کاهش می‌دهد (Rahman and Hossain, 2013).

نتایج نشان داد که شاخص قدرت بذر با بذرمال کردن بذر با اسید هیومیک به شدت تقویت پیدا می‌کند (Tahmasebi *et al.*, 2024). در آزمایشی با بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر شاخص

بذرمال بر عملکرد چین اول و چین دوم به ترتیب در سطح آماری یک درصد ( $p < 0.01$ ) و پنج درصد ( $p < 0.05$ ) معنی‌دار به دست آمد (جدول ۴).

### عملکردهای چین اول، چین دوم و کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر درصد عملکرد چین اول، عملکرد چین دوم و عملکرد کل در سطح آماری یک درصد ( $p < 0.01$ ) معنی‌دار بود. همچنین تأثیر

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس عملکردهای چین اول، دوم و کل در تاریخ کاشت‌ها و تیمارهای بذرمال مغلف پنبه

Table 4- Results of analysis of variance of first, second and total yields in planting dates and seed treatments of different cotton varieties

منابع تغییرات Sources of Variations	درجه آزادی DF	عملکرد چین اول First Yield	عملکرد چین دوم Second Yield	عملکرد کل Total Yield
بلوک (Block)	2	3950.01*	5898.11	12528.80
تاریخ کاشت (Planting date)	3	604521.40**	202024.60**	1488899.01**
خطای a (Error a)	6	3636.12	16620.52	8806.85
بذرمال (Grinding seeds)	3	20553.80**	50528.47*	44140956
اثر متقابل (P×G)	6	1430.70	8806.10	5686.44
خطای b (Error b)	24	489.34	548.30	1100.77

\*\* نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد، \* نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد.

\*,\*\* and ns represent significant at of 5% and 1% probability level, respectively

درصد و پنجاه درصد نسبت به تاریخ کاشت ۱۰ خرداد عملکرد چین اول، دوم و کل بیشتری نشان داد. که این امر به دلیل طولانی شدن فصل رشدی پنبه و استفاده بیشتر از تشعشعات

با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، تاریخ کاشت دوم (۱۵ اردیبهشت‌ماه) و اول (۲ اردیبهشت‌ماه) به ترتیب یازده درصد و چهل درصد در مقایسه با تاریخ کاشت دوم خرداد و ۳۰

افزایش شاخه‌زایی و تعداد غوزه در واحد سطح مربوط دانست (Rady *et al.*, 2016). از آنجا که عملکرد پنبه تحت تاثیر غلظت عناصر غذایی در برگ است (Toselli and Casenave, 2003). چنین استنباط می‌شود که افزایش عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در اثر مصرف اسید هیومیک به نقش این ماده در افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک و افزایش جذب این عنصر باز می‌گردد (Seilsepour, 2022).

خورشیدی و عناصر غذایی می‌توان نسبت داد (جدول ۴). همچنین تیمار بذرها با اسید هیومیک پودری روی‌دار به نسبت ۳ و ۴ در هزار به دلیل تسریع جوانه‌زنی تاثیر مثبتی بر عملکرد چین اول و کل داشت (جدول ۵). گزارش‌های مختلفی مبنی بر افزایش عملکرد ناشی از بذرمال کردن با اسید هیومیک روی‌دار وجود دارد و دلیل این افزایش عملکرد را می‌توان به اثرات شبه هورمونی اسید هیومیک و افزایش رشد ریشه و در پی آن

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر عملکردهای چین اول، دوم و کل پنبه

**Table 5- Comparison of the average effect of planting date on the first, second and total yields of cotton**

تیمار Treatment	عملکرد چین اول First yield (Kg.h <sup>-1</sup> )	عملکرد چین دوم Second yield (Kg.h <sup>-1</sup> )	عملکرد کل Total yield (Kg.h <sup>-1</sup> )
D1	2700	651	3351
D2	5210	1475	6685
D3	2560	451	3011
D4	1700	145	1845
LSD	465	215	418

D1, D2, D3, D4: به ترتیب تاریخ کاشت دو اردیبهشت، ۱۵ اردیبهشت، ۲ خرداد و ده خرداد

D1, D2, D3, D4: Planting dates: May 2, May 15, June 2, and June 10, respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر بذرمال بر عملکردهای چین اول، دوم و کل پنبه

**Table 6- Comparison of the average effect of coating seed on the yields of the first, second and total cotton**

تیمار Treatment	عملکرد چین اول First yield (Kg.h <sup>-1</sup> )	عملکرد چین دوم Second yield (Kg.h <sup>-1</sup> )	عملکرد کل Total yield (Kg.h <sup>-1</sup> )
H0	1900	821	2721
H1	3210	1475	4685
H2	4560	1551	6111
H3	4700	2450	7150
LSD	495	215	418

H0, H1, H2, H3: به ترتیب شاهد (بدون بذرمال)، هیومیک پودری روی‌دار در سه دزهای ۲، ۳ و ۴ در هزار کیلوگرم.

H0, H1, H2, H3: Control (without seed), zinc-containing humic powder in three doses of 2, 3, and 4 per thousand kilograms, respectively.

## نتیجه‌گیری

بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد اسید هیومیک به صورت بذرمال موجب تعدیل اثرات منفی دیرکشت در زراعت پنبه شد. این موارد از طریق استقرار بهتر و تسریع جوانه‌زنی بذرها حاصل شد. همچنین به دلیل استقرار سریع‌تر، با افزایش جذب آب و عناصر غذایی، افزایش شاخ و برگ و جذب تشعشع خورشیدی موجب افزایش عملکرد کل شد. از آنجایی که یکی از مشکلات استان اردبیل، استقرار نامناسب گیاهچه پنبه در زمان کاشت است. بنابراین تیمار بذرمال

(پیش تیمار بذر) می‌تواند به عنوان روشی ساده و ارزان باعث رفع این مشکل شود و به تولیدکنندگان بذر پیشنهاد می‌شود. قبل از تحویل به کشاورزان، بذرها را با اسید هیومیک حاوی عنصر روی پوشش‌دار کرده و سپس در اختیار کشاورزان قرار دهند. با این کار، علاوه بر کمک به بهبود خصوصیات جوانه‌زنی موجب تقویت عملکرد اقتصادی می‌شوند. با این وجود به نظر می‌رسد تحقیقات بیشتری در زمینه بذرمال بذر پنبه که در اوایل فصل بافت دما مواجه می‌شوند الزامی است.

## References

- Ali, M., Mohy-ud-Din, Q., Ali, M.A., Sabir, S. and Ali, L., 2014. Cotton yield as influenced by different sowing dates under the climatic conditions of Vehari–Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(4), pp.644–646. <https://doi.org/1560-8530/2004/06-4-644-646>
- Anonymous., 2012. Hand Book for Seedling Evaluation (3rd. ed.). International Seed Testing Association (ISTA), Zurich, Switzerland
- Barahoue, M., Moosavi, G.R. Seghatoleslam, M.J., Baradaran, R. and Javadzadeh, S.M., 2023. Effect of seed priming on some germination indices and enzymatic activity of safflower (*Carthamus tinctorius*) seedling under drought stress in vitro. *Iranian Journal of Seed Research*, 9(2), pp.17-33. [In Persian]. <https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.17>
- Dadashi, N. and Khajepour, M.R., 2004. Effect of planting date and cultivar on growth, yield and yield components of safflower in Isfahan. *J. Sci. Technol. Agric. Nat. Resources*, 8 (3), pp.14-27. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.24763594.1383.8.3.8.3>
- Efe, L. and Yarpuz, E., 2011. The effect of zinc application methods on seed cotton yield, lint and seed quality of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in east Mediterranean region of Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 10(44), pp.8782-8789. <https://doi.org/10.5897/ajb11.737>
- Farzaneh, S., Khodadadi, S., Khomari, S. and Barmaki, M., 2021. Effect of seed coating with compounds of micronutrient elements, growth stimulants and regulators on the emergence and early stages of sugar beet growth. *Seed Science and Technology*, 10(1), pp.103-122. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijst.2021.123801>
- Godínez-Garrido, N.A., Torres-Castillo, J.A., Ramírez-Pimentel, J.G., Covarrubias-Prieto, J., Cervantes-Ortiz, F. and AguirreMancilla, C.L., 2022. Effects on germination and plantlet development of sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds with chitosan coatings. *Agronomy*, 12(3), 666. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030666>
- Holladay, S.K., Jones, M.A., Plumlee, M.T. and Marshall, M.W., 2024. Seed size, planting date, and seeding rate on cotton vigor and yield. *Agronomy Journal*, 116, pp.1966–1977. <https://doi.org/10.1002/agj2.21603>
- Jamali, Z. S., Astarai, A. and Emami, H., 2015. Effects of humic acid, compost and phosphorus on growth characteristics of basil herb and concentration of micro elements in plant and soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 6, pp.185 -205.
- Kassambara, E. M., Loison, R., Sissoko, S., Traore, A. and Bretaudeau, A., 2024. Effects of planting date and density on cotton cultivars in sub-Saharan Africa rainfed conditions: A case study in Mali. *Agronomy Journal*, pp.2764-2776. <https://doi.org/10.1002/agj2.21672>
- Moosavi, S.Gh., 2019. Effect of humic acid and mycorrhiza application on morphological traits and yield of cotton under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(1), pp.121-140 [In Persian].

- Naderi Arefi, A., 2023. Evaluation of yield of cotton (*Gossypium hirsutum*) cultivars in ultra-narrow row (UNR) spacing at two planting dates. *Journal of Crops Improvement*, 25 (1), pp.95-109: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.337965.2668>
- Nikbakht, A., Kafi, M., Babalar, M., Xia, Y.P., Luo, A. and Etemadi, N.A., 2008. Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. *Journal of Plant Nutrition*, 31(12), pp.2155 -2167.
- Rady, M.M., Abd El-Mageed, T.A., Abdurrahman, H.A. and Mahdi, A.H., 2016. Humic acid application improves field performance of cotton (*Gossypium barbadense* L.) under saline conditions. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(2), pp.487-493. <https://doi.org/10.35759/JANmPISci.v>
- Rahman, M.M. and Hossain, M.M., 2013. Effect of sowing date on germination and vigor of soybean (*Glycine max* L. Merr) seeds. *Scientific Journal of Krishi Foundation*, 11(1), pp.67-75. <https://doi.org/10.3329/agric.v11i1.15245>
- Sardar, M., Behdani, M.A., Eslami, S.V. and Zamani, GH.R., 2024. The effect of manure and humic acid fertilizer on ions concentrations in cotton (*Gossypim hirsutum* L.) under salinity stress. *Plant Productions*, 46(4), pp.491-505. <https://doi.org/10.22055/ppd.2023.42864.2075>
- Sharifi, H.R., 2016. Response of phonological development stages, grain yield and yield components of bread wheat cultivars with different growth habits to delayed planting. *Seed Plant Productions Journal*, 32(1), pp.21-44. <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110577>
- Sharifi, H.R., Gazanchian, Gh.A. and Anahid. S., 2018. Effects of planting date and seed priming on partitioning coefficients, grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 7(1), pp.257-280. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/ijst.2018.117731>
- Seilsepour M. 2022. Study the effects of humic acid and salicylic acid application on yield, fiber quality and nutrient concentration in leaves of cotton var. *Khordad. Journal of plant process and function*, 11 (48) pp.229-248.
- Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S. and Latifi, N., 2006. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. *Seed Science and Technology*, 29, pp.653- 662.
- Tahmasebi, A., Asgari, A. and Bakhshi, S., 2024. Evaluation of the chemical and physical seed treatments on the germination characteristics and seed rot control of cotton (*Gossypium hirsutum*). *Iranian Journal Cotton Researches*, 12 (1), pp.1-12. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijcr.2024.367449.1229>
- Toselli, M.E. and Casenave, E.C., 2003. Water content and the effectiveness of hydro and osmotic priming of cotton seeds. *Seed Science and Technology*, 31, pp.727-735. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.21>



# Crop Science Research in Arid Regions

Vol. 7, No. 4, Winter 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

**The effect of plasticulture and nitrogen application on seed yield and morpho-physiological characteristics of camelina (*Camelina sativa* L.)** 867

Ali Nouri, Hassan Heidari, Farzad Mondani

**The effect of pretreatment with humic acid on cotton seed germination components at different planting dates** 887

AmirAbbas Rostami Ajirlou



- Effect of foliar application of stress modifiers on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) at different levels of drought stress** 685  
Habib Noori, Seyyed Gholamreza Moosavi, Mohammadjavad Seghatoleslami, Mansour Fazeli Rostampour
- Evaluation and grouping of winter canola cultivars in terms of agronomic characteristics and oil percentage** 705  
Bijan Kahrarian, Roghaya Fatemi
- Investigating the yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.) in different patterns of intercropping with safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under weed control and non-control conditions** 723  
Jalil Shafagh-kolvanagh, Fariborz Shekari, Abdullah Jawanmard, Mina Amani, Zohreh Saeli-Ashan
- Effect of drought stress and stress modifier on morphophysiological traits of peppermint (*Mentha piperita* L.)** 739  
Sima Ghiyasi, Zahra Movahedi, Majid Rostami
- Evaluation of genetic parameters of agronomic and nutritional traits in barley under irrigation and late-season drought stress** 759  
Ammar Ahmed Obaid Sultani, Leila Zarei, Sohbat Bahraminejad, Kianoosh Cheghamirza, Ali Hussein Jasim
- The effect of agricultural management scenarios on the leaching of niclosulfuron (Cruze) herbicide from soil covered with corn plants** 777  
Lida Anasri, Abdolreza Ahmadi, Masoud Shakarami
- Selection of salinity-tolerant genotypes through the evaluation of barley germplasm originating from ICARDA under saline conditions** 793  
Shirali Koohkan, Hadi Pirasteh Anousheh, Abolghasem Moradgholi, Mohammad Reza Keshtgar
- Evaluating the effect of patch distribution of *Chenopodium album* L. on wheat yield: geostatistical study** 807  
Abbas Nasiri Dehsorkhi, Seyed Ahmad Ghanbari, Hassan Makarian, Mohammad Reza Asgharipour
- Effect of biological and chemical fertilizers on yield and some agronomical traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress** 827  
Nasser Nourzadeh, Asghar Rahimi, Amir Dadrasi
- Investigating the growth and physiological response of marjoram to the application of mycorrhiza and salicylic acid under drought stress conditions** 847  
Babak Modara, Mohammad Mehdi Rahimi, Moslem Abdipur, Mehdi HosseiniFarahi

The list is continued on the back cover.....