

- ۱ بررسی وضعیت خصوصیات شیمیایی خاک و ترسیب کربن در سامانه‌های تولید مبتنی بر گندم  
جواد اعتضادی جمع؛ سید وحید اسلامی؛ مجید جامی الاحمدی؛ محمد حسن سیاری
- ۱۹ بررسی صفات زراعی و عملکردی برخی از اکوتیپ‌های گیاه دارویی بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey)  
در استان آذربایجان شرقی  
جلیل شفق کلوانق؛ مینا امانی؛ پیوند صمیمی فر؛ عادل دباغ محمدی نسب؛ یعقوب راعی
- ۳۵ اثر مصرف دیر هنگام منابع مختلف نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر عملکرد و کیفیت دانه جو (*Hordeum vulgare* L.)  
نوراحمد عرب؛ متین جامی معینی؛ حمید مروی
- ۵۳ اثر مصرف برخی منابع تغذیه‌ای ارگانیک بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk)  
تحت سطوح مختلف فراهمی آب  
محمدحسین امینی فرد؛ علی نوکی؛ حمیدرضا فلاحی؛ علی آذری نصرآباد
- ۷۱ واکنش‌های مرفوفیزیولوژیک ژنوتیپ‌های جو به غلظت سولفات روی تحت شرایط خشکی و شوری  
امیر کاظمی آرپناهی؛ مهرداد محلوچی؛ سید کیوان مرعشی؛ مانی مجدم؛ طیب ساکی نژاد
- ۹۱ واکنش اگروفیزیولوژیکی کینوا (*Chenopodium quinoa*) به محلول پاشی نانو ذرات آهن و پرولین در تاریخ‌های  
مختلف کشت  
رحمت صالحی؛ عباس ملکی؛ محمد میرزائی حیدری؛ علیرضا رنگین؛ امیر میرزایی
- ۱۰۵ استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در ارزیابی اکوتیپ‌های مختلف  
ختمی خبازی ایران  
آناهیتا پهلوان؛ محمود سلوکی؛ براتعلی فاخری؛ بهمن فاضلی نسب
- ۱۲۱ اثر تنظیم کننده‌های رشد جیبرلین و سیتوکنین بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و وزن خشک  
گیاه استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni)  
مهتا رحیم زاده؛ وحید پوزش؛ سید فاضل فاضلی کاخکی
- ۱۳۹ اثر محلول پاشی گلابسین بتائین بر صفات بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و زراعی گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild.)  
تحت رژیم‌های مختلف آبیاری  
سید فاطمه موسوی ساردو
- ۱۵۷ ارزیابی خصوصیات اقتصادی و بوم‌شناختی نظام تولید گندم در منطقه سیستان با استفاده از تکنیک روش امرژی  
فاطمه عنایت؛ احمد قنبری؛ محمد رضا اصغری پور؛ اسماعیل سیدآبادی

۱۷۱

ارزیابی تأثیر منابع کودی مختلف بر برخی خصوصیات بنه و عملکرد گل زعفران

۱۸۵

محمد باقر عالی زاده؛ حسن مکاریان؛ علی عبادی؛ ابراهیم ایزدی دربندی؛ احمد غلامی؛ عباس نصیری دهسرخ  
تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر ژنوتیپ‌های زودرس خلر زراعی (*Lathyrus sativus* L.) در زمان‌های متفاوت برداشت

سمیه صوفی نیا؛ علیرضا پورمحمد

# نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

جلد ششم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳

این نشریه که با همکاری انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران و انجمن علمی دانش کشاورزی گرمسیری ایران منتشر می گردد 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 می شود.

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 2003 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.

**واژه های 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 ارایه 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 به طور 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.

**نتیجه گیری کلی:** این بخش به صورت 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 منافی 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 گروه) 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]. doi: 10.22034/csrar.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. doi: 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].

**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

واژه های کلیدی بر اساس حروف الفبا مرتب شوند و حرف اول کلمات به صورت حرف بزرگ باشد. تاریخ های 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 ارایه 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.



## بررسی وضعیت خصوصیات شیمیایی خاک و ترسیب کربن در سامانه‌های تولید مبتنی بر گندم

جواد اعتضادی جمع<sup>۱</sup>، سید وحید اسلامی<sup>۲\*</sup>، مجید جامی الاحمدی<sup>۲</sup>، محمد حسن سیاری<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکترا، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

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

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

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.329816.1192

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۶

## چکیده

ترسیب دی‌اکسید کربن اتمسفر در خاک از طریق مدیریت به‌زراعی از جمله اقدامات مؤثر در نیل به کشاورزی پایدار می‌باشد. این پژوهش به منظور بهره‌گیری از مجموعه اقدامات زراعی مطلوب در سامانه‌های تولید متنوع با هدف بهبود وضعیت خصوصیات شیمیایی خاک و ترسیب کربن با محوریت گیاه گندم طی دو سال زراعی ۹۷-۹۸ و ۹۹-۹۸ در مزرعه‌ای در دشت کرات تایباد اجرا شد. در این تحقیق عامل سیستم کشت در چهار سطح آیش-گندم، منداب-گندم، ماش-گندم و ذرت-گندم و عامل سطوح کود نیتروژن (۱۰۰، ۵۰ درصد و بدون مصرف کود نیتروژن) بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد تیمار منداب-گندم با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن بیشترین افزایش (۵۶/۷ درصد) و تیمار ذرت-گندم با ۵۰ درصد تأمین کود نیتروژن کمترین (۲۱/۴ درصد) افزایش کربن آلی خاک را تجربه کردند. نیتروژن خاک نیز متأثر از افزایش کربن آلی خاک عمدتاً در دو تیمار منداب-گندم (۲۵/۶ درصد) و ماش-گندم (۱۷/۹ درصد) در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد کود نیتروژن افزایش معنی‌داری یافت، در حالی که تیمار آیش-گندم و ذرت گندم بدون تأمین کود نیتروژن به ترتیب ۱۵/۳ و ۲۰/۵ درصد بیشترین کاهش در مقدار نیتروژن خاک را نشان دادند. مقدار فسفر و آهن نیز در همه تیمارها افزایش یافت. نتایج همبستگی صفات نیز نشان داد که کاهش اسیدیته در خاک‌های قلیایی کلید موفقیت در افزایش دسترسی گیاه به فسفر ( $r = -0.37^{**}$ ) و آهن ( $r = -0.33^{**}$ ) است. به نظر می‌رسد سیستم‌های کشت متفاوت بسته به خصوصیات کمی و کیفی بقایای گیاهی، مسئول تغییرات کربن آلی خاک و متعاقب آن تغییر در خصوصیات شیمیایی خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تناوب، سیستم کشت، کربن آلی، نیتروژن

## مقدمه

بوده و به نظر می‌رسد ترسیب کربن اتمسفری توسط خاک به طور قابل توجهی موجب افزایش ذخیره کربن آلی خاک و تقلیل گرمایش جهانی می‌شود (Li et al., 2016). از آنجا که اکوسیستم‌های کشاورزی ۱۱٪ از سطح زمین را پوشانده‌اند، هرگونه مطالعه در خصوص افزایش کربن خاک از طریق مدیریت زمین و مدیریت افزودنی‌های آلی می‌تواند به درک بهتر ما در خصوص امکان بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، خدمات اکوسیستمی مرتبط از قبیل افزایش نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب، بازدهی بیشتر زیست‌توده، باز یافت عناصر غذایی، افزایش بالقوه بهره‌وری کشاورزی و اکولوژیکی و در نتیجه مواجهه بهتر با پدیده تغییر اقلیم منجر گردد (Gan et al., 2014; Zomer et al., 2017).

با وجودی که خاک بزرگ‌ترین مخزن کربن آلی زمین، با ذخیره‌ای بیش از ۲ تا ۳ برابر ذخیره موجود در اتمسفر و یا زیست‌توده موجودات زنده می‌باشد، متأسفانه در خاک‌های

کشاورزی از مهم‌ترین و کهن‌ترین بخش‌های اقتصادی در جوامع بشری است که از قرن بیستم تکنولوژی‌های تولید آن در بخش‌های مختلف به نحو چشم‌گیری بهبود و توسعه یافته‌اند. این دستاوردها به بهای پراکندن انواع آلاینده‌ها در زیست‌بوم‌های کره زمین حاصل شده (Soltani et al., 2013) و اکنون از جمله جدی‌ترین و به‌روزترین مباحث اقتصادی و سیاسی مرتبط با آن پدیده‌ی تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای عمدتاً شامل دی‌اکسید کربن (CO<sub>2</sub>)، اکسید نیتروز (N<sub>2</sub>O) و متان (CH<sub>4</sub>) است که به شکل نگران‌کننده‌ای کمیت و کیفیت اکوسیستم‌ها، به‌ویژه کشت‌بوم‌ها را تحت تأثیر قرار داده است، از این‌رو لازم است تمامی راهکارهای ممکن برای کاهش انتشار این گازها مد نظر قرار گیرند (Falahi et al., 2015) در این میان دی‌اکسیدکربن به عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای با سهم ۷۰ درصدی نیازمند توجه و بررسی بیشتری

(Johnston *et al.*, 2009).

از طرفی تقریباً همه نیتروژن و نسبت زیادی از فسفر و گوگرد موجود در خاک‌ها اجزای اصلی ماده آلی خاک هستند. مطالعات متعددی نشان می‌دهند که کود شیمیایی مصرف شده در هر سال تنها ذخایر ۱۰ تا ۵۰ درصد از نیتروژن جذب شده به وسیله گیاهان پرمصرف مانند ذرت را تشکیل می‌دهد. بقایای گیاهی اندوخته مهمی از عناصر غذایی گیاهی هستند که از طریق معدنی‌شدن آزاد می‌شوند (Cheng *et al.*, 2017). گیاهان تثبیت کننده نیتروژن میزان دسترسی به این عنصر در خاک را افزایش داده و در نتیجه عملکرد محصولات زراعی بعدی را افزایش می‌دهد، در حالی که به طور هم‌زمان هزینه‌های مرتبط با کودهای معدنی را کم می‌کند (Rymuza *et al.*, 2020). هم‌چنین توسعه فعالیت میکروارگانیسم‌ها ناشی از افزایش کربن آلی و بهبود خصوصیات زیستی تأثیر زیادی در افزایش انحلال‌پذیری فسفر و آهن دارند و باعث افزایش فراهمی این عناصر می‌گردند. ماده آلی خاک اثر زیادی بر اسیدیته خاک‌های سطحی نیز دارد و این به دلیل سهم ماده آلی در بخش زیادی از ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است (Haghnai *et al.*, 2014). هم‌چنین خاک‌ها تا حد زیادی تولنایی مقاومت در برابر تغییرات اسیدیته ناشی از ورودی مواد اسیدی یا قلیا را دارند و منجر به بهبود دسترسی عناصر در خاک می‌گردند. به دلیل قلیایی بودن اکثر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، افزودن مواد آلی باعث کاهش اسیدیته خاک و بهبود شرایط رشد گیاه شده، قابلیت جذب عناصری هم‌چون فسفر و آهن را افزایش می‌دهد (Nowruzi *et al.*, 2018).

در این پژوهش تغییرات برخی خصوصیات شیمیایی خاک نظیر اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، آهن و هم‌چنین میزان ترسیب کربن خاک، تحت سیستم‌های مختلف کشت و سطوح مصرف کود نیتروژن با محوریت گیاه گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از این مطالعه شناخت بهتر شیوه‌های مدیریتی برای افزایش کربن آلی خاک به منظور افزایش ترسیب کربن و هم‌چنین بهره‌مندی از فواید آن بر خصوصیات خاک بود. مقایسه راهکارهای متفاوت افزایش کربن آلی از قبیل حذف آیش، تناوب با بقولات، تناوب با منداب به عنوان کود سبزی، تناوب با ذرت به عنوان یک تناوب رایج در منطقه و افزودن بقایای کامل گیاهان البته با رعایت الزامات خاکورزی حفاظتی و تأمین نیاز غذایی

زراعی موجودی کربن آلی به طور نگران کننده‌ای کاهش یافته است (Dikgwatlhe *et al.*, 2014). افزایش کربن خاک چه در مقیاس جهانی و چه در سطح مزرعه به عنوان یک استراتژی اساسی برای کاهش دی‌اکسیدکربن جو و بهره‌وری بیشتر خاک مورد توجه قرار گرفته است (Bhardwaj *et al.*, 2019). تحقیقات نشان داده‌اند که تناوب زراعی به طور محسوسی بر ظرفیت ترسیب دی‌اکسیدکربن جو تأثیر گذاشته و تغییر سیستم‌های کشت از آیش‌گذاری‌های متعدد به کشت مستمر می‌تواند از طریق ورود کربن آلی بیشتر به خاک و تشکیل کمپلکس‌های پایدارتر معدنی‌آلی و نیز از طریق تأثیر بر نسبت کربن به نیتروژن بقایا (به عنوان یک شاخص مهم کیفی) در کنترل میزان ترسیب کربن در خاک تأثیر بگذارد (Triberti *et al.*, 2016). با این نگاه جایگزین کردن گیاهان پوششی با آیش‌های سنتی علی‌رغم مخاطرات رقابتی که ممکن است داشته باشند، موجب تولید مقادیر بیشتر زیست‌توده، کاهش فرسایش خاک، افزایش کنترل علف‌های هرز و بهبود حاصلخیزی و محتوای آب خاک شده، عملکرد بالاتر گیاه بعدی را به همراه خواهد داشت (Robačar *et al.*, 2016). هم‌چنین مدیریت مصرف کودها مخصوصاً نیتروژن نه تنها موجب افزایش عملکرد گیاه زراعی می‌گردد بلکه ترسیب کربن را نیز به عنوان یک سود ثانویه عاید اراضی کشاورزی خواهد کرد (Falahi *et al.*, 2015; Snyder *et al.*, 2009).

عملیات مدیریت کشاورزی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر ترسیب کربن و غلظت نیتروژن در خاک بوده، چنین تغییراتی در مقیاس جهانی گزارش شده‌اند (Dikgwatlhe *et al.*, 2014). گزارش شده است که ذخیره کربن در خاک‌های اتحادیه اروپا را ۲۲/۹۵ پیکیوگرم برآورد کردند که این مقدار بعداً به عنوان نقطه شروع برای برآورد پتانسیل افزایش از طریق ترسیب استفاده شد (Smith *et al.*, 1997). یک پژوهش ۱۶۰ ساله در روتامستد بریتانیا نشان داد که گرچه افزودن مواد آلی به خاک موجب افزایش مقدار کربن آلی خاک می‌گردد اما کربن آلی خاک به طور نامحدود تجمع نخواهد یافت و در یک مقدار تعادل جدید متوقف می‌گردد (Powlson *et al.*, 2011). البته افزایش کربن آلی خاک پدیده‌ای قابل بازگشت است و برای حفظ کربن آلی خاک، هر تغییر مدیریتی در زمین که موجب افزایش کربن خاک یا پوشش گیاهی شود باید به طور نامحدود ادامه یابد

اوره و در سه قسط شامل یک سوم زمان کاشت، یک سوم در مرحله پنجه‌زنی کامل و یک سوم در مرحله ساقه‌دهی مصرف شد. زمین آزمایش در سال قبل از اجرا تحت آیش بود و کشت گیاهان منداب، ذرت و ماش (قبل از گندم) در آخر خرداد ماه هر سال انجام گردید؛ هم‌چنین برآورد نیاز کودی هر گیاه قبل از کاشت و بر اساس نتایج آزمون خاک انجام پذیرفت. مقدار بذر کاشته شده برای ذرت ۲۵ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۱۲ بوته در متر مربع، ماش ۱۲ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۲۰ بوته در متر مربع و برای منداب ۱۰ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۸۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. کلیه عملیات خاکورزی به صورت حفاظتی، با استفاده از دستگاه چپزل پیکر، انجام گرفت و تیمار آیش تابستانه بعد از عملیات خاکورزی رها گردید. گیاه پوششی منداب قبل از گل‌دهی، و بقایای دو تیمار گیاه زراعی در تناوب (ماش و ذرت)، پس از برداشت محصول و کیل‌گیری به داخل خاک برگردانده شدند؛ سپس در آبان هر سال گندم رقم پیشگام به میزان ۲۰۰ کیلوگرم بذر در هکتار و تراکم ۴۵۰ بوته در متر مربع کشت گردید. توصیه کودی همه عناصر به جز نیتروژن طبق برآورد نیاز گیاه انجام شد. هم‌چنین بعد از برداشت گندم کلیه بقایای گیاهی گندم در سطح مزرعه حفظ و به داخل خاک برگردانده شد. تقویم زراعی گندم و کلیه گیاهان زراعی در تناوب با گندم در جدول ۲ آمده است.

خصوصیات شیمیایی خاک در هر تیمار طی سه مرحله (قبل از شروع آزمایش، پایان سال زراعی اول و نیز در پایان سال دوم) ارزیابی شد. در هر نمونه خاک صفات اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن کل و هم‌چنین فسفر و آهن قابل دسترس خاک اندازه‌گیری شدند. برای تعیین اسیدیته خاک از دستگاه پی‌اچ متر (مدل BP-11 ساخت شرکت Sartorius) استفاده گردید.

گیاه مطابق با آزمون خاک، می‌تواند منجر به ارائه یک راهبرد عملی در جهت حفظ حاصلخیزی خاک و توسعه پایدار بخش کشاورزی متناسب با الگوی‌های کشت مرسوم منطقه و محدودیت‌های موجود باشد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی چهار فصل کشت و در طی دو سال زراعی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ در مزرعه‌ای در دشت کرات شهرستان تایباد، استان خراسان رضوی واقع در ۱۵ کیلومتر جاده تایباد به خواف با طول جغرافیایی  $37^{\circ} 42' 37''$  و عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 42' 34''$  و ارتفاع ۹۱۰ از سطح دریا اجرا گردید. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم سرد و خشک و میانگین بارندگی سالیانه ۱۸۵ میلی‌متر در سال می‌باشد. پیش از آزمایش، نمونه‌برداری تصادفی خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری مزرعه صورت گرفت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (جدول ۱) اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی وضعیت خاک، گیاه و ترسیب کربن در سامانه‌های تولید گندم، از عملیات به‌زراعی شامل حذف آیش تابستانه با وارد کردن سه گیاه بقولات (ماش)، غله چهار کربنه (ذرت) و گیاه پوششی (منداب) در تناوب بعلاوه فاکتور مصرف کود نیتروژن استفاده گردید. بدین منظور فاکتور سیستم کشت در چهار سطح (۱ آیش-گندم ۲ منداب-گندم ۳ ماش-گندم ۴ ذرت-گندم و فاکتور سطوح نیتروژن شامل (۱) ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن (۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) (۲) ۵۰ درصد تأمین کود نیتروژن (۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) (۳) بدون تأمین کود نیتروژن و در سه تکرار به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمار آیش-گندم بدون تأمین کود نیتروژن تیمار شاهد در نظر گرفته شد. کود نیتروژنه از نوع

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physicochemical properties of farm soil

Properties	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	وزن مخصوص ظاهری ρ	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	کربن درصد اشباع SP	کربن آلی OC	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
واحد Unit	--	(Ms/cm)	(gr/cm <sup>3</sup> )				(%)					(mg/kg)			
مقدار Value	7.65	1.064	1.6	33	47	20	29.4	0.28	0.039	6	170	1.7	0.7	0.6	4.5

بافت خاک لومی می‌باشد.

The soil texture is loamy

جدول ۲- جدول زمانی تاریخ کاشت، برداشت و برگرداندن بقایا گندم و گیاهان در تناوب

Table 2- Schedule of sowing, harvesting and returning residue of wheat and crops in rotation

	سال زراعی ۹۸-۹۹			سال زراعی ۹۷-۹۸		
	2018-2019 crop year			2019-2020 crop year		
	کاشت Sowing	برداشت Harvesting	برگرداندن بقایا Returning residue	کاشت Sowing	برداشت Harvesting	برگرداندن بقایا Returning residue
گندم Wheat	۱۲ آبان 3 November	۵ خرداد 26 May	۱۲ خرداد 2 June	۱۷ آبان 8 November	۱۰ خرداد 31 May	۱۶ خرداد 6 June
منداب Wild Rocket	۲۰ خرداد 10 June	---	۱۱ مهر 2 October	۲۳ خرداد 13 June	---	۱۶ مهر 8 October
ماش Mung Bean	۲۰ خرداد 10 June	۲۳ شهریور 14 September	۱۰ مهر 2 October	۲۳ خرداد 13 June	۲۷ شهریور 18 September	۱۶ مهر 8 October
ذرت Corn	۱۵ تیر 6 July	۷ مهر 29 September	۱۰ مهر 2 October	۱۱ تیر 2 July	۴ مهرماه 26 September	۱۶ مهر 8 October

(Brar *et al.*, 2013). از نرم افزار آماری SAS برای انجام آنالیز داده‌ها استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون FLSD در سطح پنج درصد صورت گرفت و پس از آزمون بارتلت و اثبات یکنواختی واریانس‌ها، داده‌ها مربوط به کشت گندم به صورت تجزیه مرکب با ثابت در نظر گرفتن متغیر سال، مورد آنالیز قرار گرفتند.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سیستم کشت و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر کربن آلی، نیتروژن، فسفر و ترسیب کربن و در سطح احتمال پنج درصد بر اسیدیته و آهن خاک تأثیر معنی‌داری داشتند. اثر متقابل سال و سیستم کشت بر کربن آلی، نیتروژن کل و ترسیب کربن در سطح احتمال یک درصد و بر فسفر قابل جذب خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. اثر متقابل سال و سطح تأمین نیتروژن نیز تنها بر نیتروژن کل خاک اثر معنی‌داری ( $p \leq 0.01$ ) داشت (جدول ۳).

**اسیدیته خاک:** مقایسه میانگین اثرات متقابل سیستم کشت و سطوح مختلف کود نیتروژن نشان داد که بیشترین مقدار اسیدیته در تیمار ذرت-گندم با ۵۰ درصد تأمین کود نیتروژن و کمترین مقدار اسیدیته در تیمار منداب-گندم با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد که کشت کود سبب منداب در تناوب با گندم و کشت ماش در تناوب با گندم تأثیر قابل توجهی بر کاهش اسیدیته خاک

کربن آلی خاک بعد از اکسیداسیون کامل با محلول اسیدی دی‌کرومات تعیین شد. نیتروژن کل خاک به روش کج‌لدال اندازه‌گیری شد. فسفر محلول نیز بعد از عصاره‌گیری از ۲/۵ گرم خاک خشک الک شده با مش ۲ میلی‌متر که با ۵۰ میلی‌لیتر سدیم بی‌کربنات ۰/۵ مولار تیمار شده بود آنالیز گردید و جذب محلول در طول موج ۸۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه ترسیب کربن خاک، تعیین وزن مخصوص ظاهری خاک و غلظت کربن آلی خاک الزامی می‌باشد.

چگالی ظاهری نمونه‌های خاک دست‌نخورده با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد:

$$Db = Ws/Vt \quad (1)$$

که  $Db$  چگالی ظاهری خاک ( $Mg/m^3$ )،  $Ws$  وزن خاک ( $Mg$ ) و  $Vt$  حجم نمونه خاک ( $m^3$ ) می‌باشند. موجودی کربن آلی خاک از طریق معادله ۲ محاسبه شد:

$$SOC \text{ pool } (Mg \text{ ha}^{-1}) = SOC \text{ concentration } (\%) \times \text{soil depth } (m) \times \text{bulk density } (Mg \text{ m}^{-3}) \times 10^4 m^2 ha^{-1} \times 10^{-2} \quad (2)$$

که در آن  $SOC \text{ pool}$  موجودی کربن آلی خاک،  $SOC \text{ concentration}$  غلظت کربن آلی خاک (درصد)،  $\text{soil depth}$  عمق خاک و  $\text{bulk density}$  چگالی ظاهری خاک می‌باشند. ترسیب کربن بوسیله تفریق مقدار موجودی کربن در شروع آزمایش از مقدار موجودی کربن در انتهای آزمایش تعیین گردید. نسبت سالیانه ترسیب بوسیله نسبت تغییرات در موجودی کربن در طی تعداد سال‌های آزمایش بدست می‌آید

افزایش کربن آلی و ترسیب کربن در همه تیمارها در سال دوم آزمایش بود که به نظر می‌رسد عمدتاً به علت خاکورزی حفاظتی و کاهش به هم خوردن خاک و برگرداندن بقایای گیاهی به خاک باشد. بیشترین افزایش کربن آلی در تیمار منداب-گندم با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن (۵۶/۷ درصد) و کمترین افزایش کربن آلی در تیمار ذرت-گندم با ۵۰ درصد تأمین کود نیتروژن (۲۱/۴ درصد) مشاهده شد. سیستم کشت منداب-گندم ۱۴۹ درصد نسبت به سیستم کشت آیش-گندم، ۱۰۰ درصد نسبت به سیستم کشت ذرت-گندم و ۰/۳۳ درصد نسبت به سیستم کشت ماش-گندم کربن بیشتری ترسیب کرد (شکل ۱). هم‌چنین رابطه مستقیم و بسیار معنی‌داری بین کربن آلی خاک و سایر خصوصیات شیمیایی خاک خصوصاً غلظت فسفر (\*\*۰/۶۸  $r$ ) و آهن قابل جذب (\*\*۰/۶۹  $r$ ) مشاهده شد (جدول ۵). افزایش کربن آلی خاک باعث افزایش ظرفیت بافری خاک و کاهش اسیدیته خاک می‌گردد، هم‌چنین افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی شرایط را برای افزایش دسترسی گیاه به ویژه فسفر و آهن ایجاد می‌کند (Sadeghian *et al.*, 2017).

مطالعات متعددی یافته‌های ما را تایید می‌کند. برای مثال در تحقیقی که به مدت ۲۵ سال برای بررسی تأثیر تلفیق عملیات زراعی جهت بهبود شرایط خاک انجام شد، نتایج نشان داد که با استفاده از سیستم‌های کشت فشرده‌تر مثل کاهش آیش تابستانه، افزودن بقولات در تناوب، بهره‌گیری از آزمون خاک، کاربرد میزان مناسبی از کودهای غیرآلی و پرهیز از کوددهی اضافی یا کمبود و حفظ بقایای گیاهی و البته حضور همه این فاکتورها در یک بسته واحد می‌توان علاوه بر افزایش عملکرد، به کاهش ردپای کربن دست یافت. نتایج نشان داد که کربن آلی خاک در چنین سیستم‌های کشتی به تدریج افزایش یافت. علاوه بر این حفظ بقایای گیاهی فاکتور کلیدی در افزایش ترسیب کربن شناخته شده است، به طوری که ۸۲٪ تفاوت در میزان ردپای کربن مربوط به تفاوت در نوع سیستم کشت است. در میان سیستم‌های کشت بررسی شده، تناوب عدس-گندم توانست کمترین ردپای کربن به میزان ۵۵۲- کیلوگرم دی اکسید کربن معادل در هر هکتار را داشته باشد (Gan *et al.*, 2014). در تحقیقی مشابه تأثیر شش سیستم مدیریت تلفیقی تغذیه را در سیستم کشت گندم-برنج برای اندازه‌گیری میزان

داشته‌اند، در حالی که سطوح مختلف تأمین کود نیتروژن نتوانست تفاوت معنی‌داری در اسیدیته خاک ایجاد کند. هم‌چنین نتایج نشان‌دهنده بالاترین میزان اسیدیته خاک به ترتیب در سیستم کشت ذرت-گندم و آیش-گندم می‌باشد (جدول ۴). مطالعه ضرایب همبستگی خصوصیات شیمیایی خاک نیز نشان داد که اسیدیته خاک رابطه معنی‌دار و منفی با صفات مورد ارزیابی داشت و با کاهش اسیدیته خاک کلیه خصوصیات شیمیایی خاک بهبود یافت (جدول ۵). در بین خصوصیات شیمیایی خاک، فسفر (\*\*۰/۳۷  $r$ ) و پس از آن میزان کربن آلی و ترسیب کربن (\*\*۰/۳۴  $r$ ) بیشترین رابطه منفی را با مقدار اسیدیته خاک نشان دادند.

برگرداندن بقایای گیاهی، می‌تواند سبب حفظ تعادل اسیدیته خاک شود و از نوسانات و تغییرات اسیدیته خاک جلوگیری کند، پدیده‌ای که از افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی، افزایش ترشحات اسیدی حاصل از توسعه رشد ریشه، خاصیت بافری کربن آلی و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک نشأت می‌گیرد. نتایج حاصل از تجزیه داده‌ها و بررسی روابط بین اسیدیته و خصوصیات خاک، نیتروژن و گیاه نشان داد که کلیات خاک با افزایش کربن آلی و نیتروژن خاک کاهش می‌یابد. هم‌چنین مشخص گردید که افزایش برگرداندن بقایا و تداوم آن می‌تواند علاوه بر افزایش کربن آلی خاک، مقدار نیتروژن خاک را افزایش دهد که باعث آزادسازی یون  $H^+$  در خاک و کاهش اسیدیته خاک می‌گردد (Makari and Afzali, 2018). در مطالعه سه‌ساله کشت سویا و ذرت در تناوب با گیاهان پوششی، تغییرات معنی‌داری در اسیدیته خاک در میان تیمارها مشاهده نشد که آن را ناشی از ظرفیت بالای بافری خاک به علت بالا بودن کربن آلی خاک دانستند (Sharma *et al.*, 2018). نتایجی که ظاهراً در تضاد با نتایج پژوهش ما بود، با این وجود مؤید قدرت بافری کربن آلی در خاک می‌باشد.

**کربن آلی و ترسیب کربن:** مطالعه تیمارها و تأثیر آن‌ها بر میزان کربن آلی خاک نشان می‌دهد که گیاه پوششی منداب و گیاه در تناوب ماش بهترین نتیجه را در افزایش کربن آلی خاک و ترسیب کربن نشان دادند. ذرت دانه‌ای کمتر از منداب و ماش توانست کربن آلی خاک را افزایش دهد، اگرچه با افزایش تأمین کود نیتروژن در سیستم کشت ذرت-گندم، کربن آلی نسبت به تیمار شاهد بهبود یافت (جدول ۴). نتایج نشان‌دهنده

کربن آلی به خاک از کاه و کلش، ریشه و ترشحات ریشه وجود دارد، به طوری که ۹۸/۵-۹۶/۶ درصد تغییرات را توضیح می‌دهد و نشان‌دهنده وابستگی گیاه زراعی عمدتاً به بقایای گیاه زراعی است (Li *et al.*, 2016).

ترسیب کربن بررسی کردند، نتایج نشان داد که بیشترین ورود کربن به خاک به ترتیب در کشت کود سبز و افزودن بقایای گندم و کمترین ورود کربن در تیمار شاهد و تیمار کود شیمیایی مشاهده شد (Bhardwaj *et al.*, 2019). همچنین همبستگی مثبتی بین مقدار ترسیب کربن آلی خاک و ورودی

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر سیستم‌های کشت و سطوح مختلف کود نیتروژن

Table 3- ANOVA results (MS) for soil chemical properties under the influence of cropping systems and different levels of nitrogen fertilizer

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	خصوصیات شیمیایی خاک Soil chemical properties					
		اسیدیته pH	کربن آلی OC	نیتروژن کل N	فسفر P	آهن Fe	ترسیب کربن CS
بلوک Block	2	0.0089	0.00001	0.0000121	0.090	0.038	0.008
سال Year	1	0.0016*	0.06038**	0.0000269	2.683	1.375**	34.778**
بلوک x سال Block x Year	2	0.0001	0.00001	0.0000038	0.185	0.00009	0.007
سیستم کشت Cropping System	3	0.0585**	0.02727**	0.0002991**	2.697**	0.443**	15.709**
سال x سیستم کشت Year x Cropping System	3	0.0009	0.00343**	0.0000391**	0.445*	0.042	1.976**
سطح نیتروژن Nitrogen Level	2	0.0063	0.00207**	0.0005776**	0.368	0.006	1.192**
سال x سطح نیتروژن Year x Nitrogen Level	2	0.0006	0.00047	0.0000304**	0.050	0.014	0.270
سیستم کشت x سطح نیتروژن Cropping System x Nitrogen Level	6	0.0052*	0.00027**	0.0000006**	0.178**	0.022*	0.156**
سال x سیستم کشت x سطح نیتروژن Year x Cropping System x Nitrogen Level	6	0.0015	0.00018**	0.0000003	0.033*	0.002	0.106**
خطا Error	44	0.0065	0.00036	0.0000045	0.144	0.030	0.209
ضریب تغییرات C.V.(%)	--	1.24	7.13	10.51	6.43	6.88	33.89

\*\*، \* به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

\*\*، \* significant at 0.01 and 0.05 probability level, respectively

جدول ۴- اثرات متقابل سطوح مختلف کود نیتروژن و سیستم کشت بر خصوصیات شیمیایی خاک

**Table 4- Interaction effects of different levels of nitrogen fertilizer and cropping system on soil chemical properties**

تیمار Treatment	خصوصیات شیمیایی خاک Soil chemical properties							
	سطوح نیتروژن Nitrogen levels (%)	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل N (%)	فسفر P (mg/Kg)	آهن Fe (mg/Kg)	ترسیب کربن CS (Mg/ha)	
سیستم کشت Cropping system	منداب-گندم	0	7.51	0.433	0.039	6.62	2.25	3.67
	Wild Rocket-	50	7.56	0.427	0.047	6.95	2.20	3.52
	wheat	100	7.46	0.439	0.049	7.17	2.36	3.82
آیش-گندم Fallow-wheat	0	7.60	0.342	0.033	6.12	1.91	1.49	
	50	7.61	0.343	0.039	6.45	2.03	1.51	
	100	7.59	0.356	0.042	6.13	1.97	1.82	
ماش-گندم Mung Bean- wheat	0	7.52	0.385	0.037	6.67	2.23	2.51	
	50	7.54	0.398	0.044	7.03	2.29	2.83	
	100	7.57	0.405	0.046	6.90	2.27	3.00	
ذرت-گندم Corn-wheat	0	7.63	0.354	0.031	6.25	2.06	1.78	
	50	7.65	0.34	0.037	6.13	2.02	1.57	
	100	7.63	0.377	0.040	6.23	1.98	2.34	
FLSD (p=0.05)		0.13	0.031	0.0034	0.62	0.28	0.72	

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین خصوصیات شیمیایی خاک

**Table 5- Correlation coefficients between soil chemical properties**

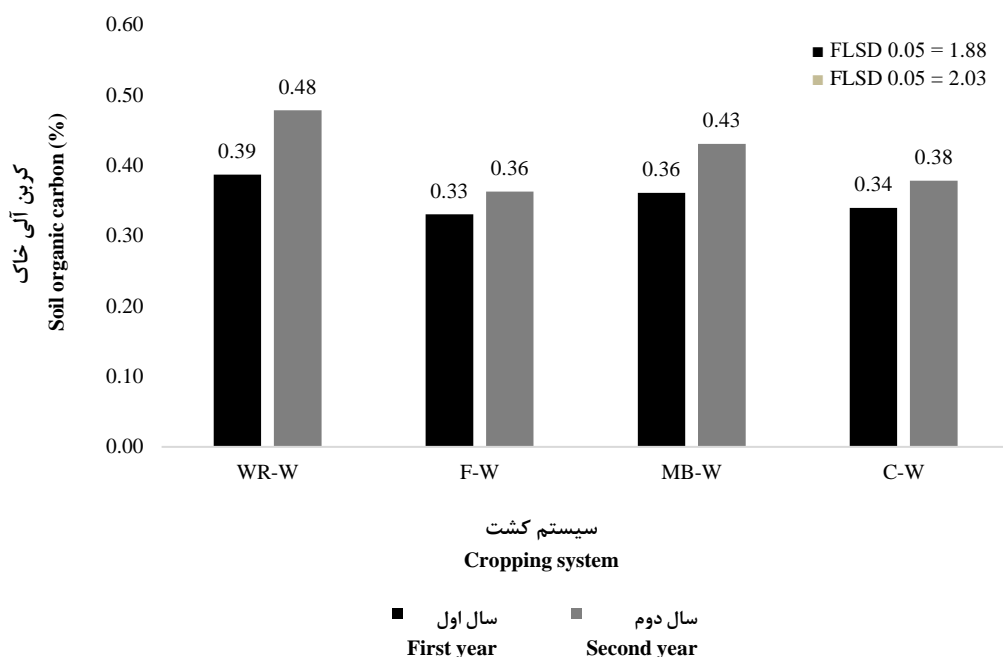
	اسیدیته pH	کربن آلی OC	نیتروژن N	فسفر P	آهن Fe	ترسیب کربن CS
اسیدیته pH	1.00					
کربن آلی OC	**0.34	1.00				
نیتروژن کل N	*0.28	**0.59	1.00			
فسفر P	**0.37	**0.68	**0.56	1.00		
آهن Fe	-0.33**	0.69**	0.37**	0.61**	1.00	
ترسیب کربن CS	-0.34**	1.00**	0.59**	0.68**	0.69**	1.00

\*\*، \* به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

\*\*، \* significant at 0.01 and 0.05 probability level, respectively

هوایی گرم نیازمند سرعت تجزیه پایین بقایای گیاهی می‌باشد، لذا حفظ بقایای گیاهی غلات اگر چه در کوتاه‌مدت نمی‌تواند تأثیر معنی‌داری در کربن آلی خاک نشان دهد، ولی باعث افزایش پایدار کربن آلی خاک خواهد گردید. در مقابل کشت کود سبز مخصوصاً خانواده بقولات نقش مؤثری در بهبود شرایط خاک در کوتاه‌مدت خواهد داشت (Teriberti *et al.*, 2016; Novara *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2016). لذا به نظر می‌رسد شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه و پایین بودن بارندگی و رطوبت نسبی

نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد کود نیتروژن و افزودنی‌های آلی به خاک سرعت ترسیب کربن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاربرد متعادل کودهای غیرآلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم ذخیره کربن آلی خاک را افزایش می‌دهند. همچنین نتایج بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهد که تأمین نیتروژن یا پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن به واسطه افزایش سرعت تجزیه بقایای گیاهی می‌تواند کربن آلی خاک را در کوتاه‌مدت افزایش دهد، ولی تأمین پایدار کربن آلی خاک خصوصاً در شرایط آب و



شکل ۱- اثرات متقابل سال و سیستم کشت بر کربن آلی خاک  
WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت، MB: ماش

Figure 1- Interaction effects of year and cropping system on soil organic carbon  
WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn, MB: Mung Bean

سیستم کشت ذرت-گندم کاهش یافت (شکل ۲). مطالعه اثر متقابل سال و سطوح تأمین کود نیتروژن نیز نشان داد که مقدار نیتروژن کل خاک در سال دوم نسبت به سال اول در صورت تأمین ۱۰۰ و ۵۰ درصد کود نیتروژن افزایش یافت، لیکن این مقدار در صورت عدم تأمین کود نیتروژن کاهش یافت که با توجه به فقر عناصر غذایی در خاک مورد مطالعه افزودن کود نیتروژن حتی در شرایط بهره‌گیری از کود سبز و برگرداندن بقایای گیاهی الزامی می‌باشد (شکل ۳). هم‌چنین نیتروژن کل بیشترین همبستگی را با میزان کربن آلی خاک ( $r = 0.59^{**}$ ) و کمترین همبستگی را با اسیدیته خاک ( $r = -0.28^*$ ) نشان داد (جدول ۵). تغییرات در کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک عمدتاً مسئول تغییرات در خصوصیات شیمیایی خاک است و نقش مهمی در بهره‌وری گیاه زراعی و کیفیت محیطی دارد.

همبستگی بین کربن آلی و نیتروژن خاک و نتایج حاصل از اثرات متقابل میزان تأمین کود نیتروژن و ورود کربن آلی به خاک به وضوح نشان‌دهنده نقش مکمل هر دو عامل در میزان حاصل خیزی خاک است. افزایش نیتروژن منجر به افزایش تولید زیست‌توده می‌گردد و در مقابل افزایش کربن آلی خاک مقدار نیتروژن خاک را بهبود می‌دهد. گزارش شده است کربن آلی

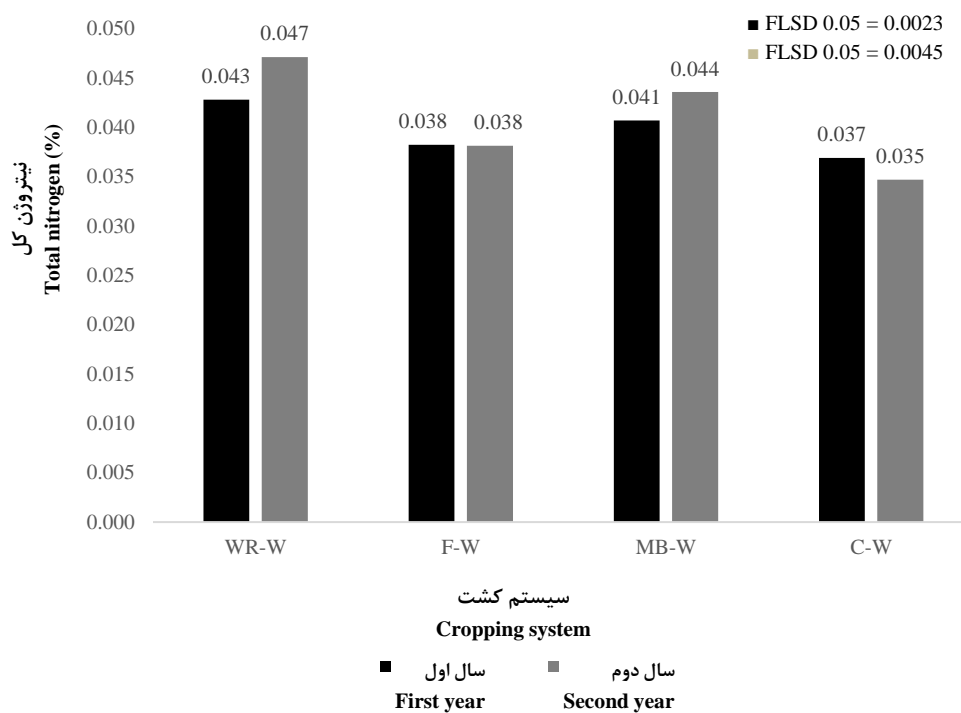
و کندی تجزیه بقایای گندم مانع از دستیابی اثر کود نیتروژن بر میزان کربن آلی خاک گردیده است.

**نیتروژن کل:** نتایج نشان داد که تیمار منداب-گندم با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن باعث افزایش ۲۵/۶۴ درصد نیتروژن کل خاک گردید و بهترین عملکرد را نشان داد. نتایج در مورد تیمار ماش-گندم نیز با تفاوت کمی (۱۷/۹۴ درصد) مشابه بود. در حالی که تیمار آیش-گندم و ذرت-گندم بدون تأمین کود نیتروژن به ترتیب با ۱۵/۳۸ و ۲۰/۵۱ درصد، بیشترین کاهش در مقدار نیتروژن کل را نشان دادند، به طوری که حتی مقدار نیتروژن خاک به ترتیب ۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۸ از مقدار اولیه در شروع آزمایش کمتر شد (جدول ۴). نسبت بالای کربن به نیتروژن در بقایای ذرت و گندم و تجزیه کند بقایا احتمالاً دلیل اصلی پایین بودن نیتروژن کل در سیستم کشت ذرت-گندم و آیش-گندم مخصوصاً در شرایط عدم تأمین کود نیتروژن محسوب می‌شود. نتایج هم‌چنین نشان داد که نیتروژن کل خاک در دو سیستم کشت منداب-گندم و ماش-گندم در سال دوم نسبت به سال اول افزایش معنی‌داری داشت. در حالی که نیتروژن کل خاک در سیستم کشت آیش-گندم هیچ تفاوتی را نشان نداد. هم‌چنین مقدار نیتروژن کل خاک در

نشان‌دهنده کاهش مانده نیتروژن در خاک در طی گذشت زمان است، نتایجی که به وضوح در تیمار شاهد (آیش-گندم بدون مصرف کود نیتروژن) قابل مشاهده است. مطالعات نشان می‌دهد که سیستم‌های کشت کم‌نهاده و ارگانیک که ورودی کربن بالایی دارند، جایگزین مناسبی برای سیستم‌های کشت مرسوم برای بهبود حاصل‌خیزی پایدار خاک در بلند مدت می‌باشند (Poudel *et al.*, 2001).

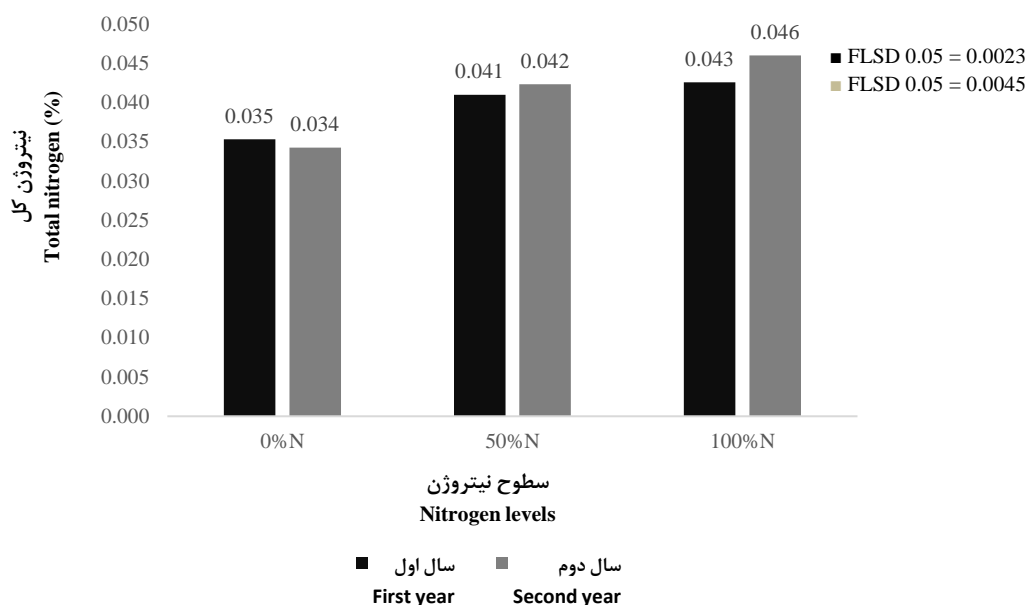
**فسفر و آهن:** نتایج نشان داد که به ترتیب تیمار منداب-گندم با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن و ماش-گندم با ۵۰ درصد تأمین کود نیتروژن بیشترین افزایش فسفر و آهن قابل دسترس خاک را باعث شد، به طوری که فسفر به ترتیب ۱۹/۵ و ۱۷/۲ درصد افزایش و آهن ۳۸/۸ و ۳۴/۷ درصد افزایش را نشان دادند. در مقابل تیمار آیش بدون تأمین کود نیتروژن و آیش با ۱۰۰ درصد تأمین کود نیتروژن کمترین افزایش فسفر و آهن قابل دسترس خاک را باعث شدند. فسفر به ترتیب ۲ و ۲/۲ درصد افزایش و آهن به ترتیب ۱۳/۳۵ و ۱۵/۸۸ درصد افزایش را نشان دادند. نتایجی که همبستگی بالایی با میزان کربن آلی خاک نشان می‌دهد (جدول ۴).

خاک و نیتروژن کل خاک تحت تأثیر میزان کود نیتروژن در خاک می‌باشند. همچنین مشاهده شده است که مقدار نیتروژن و کربن آلی خاک در سیستم‌های کشتی که از گیاهان پوششی استفاده شده، بالاتر است. این نتایج اهمیت بهره‌گیری از گیاهان پوششی البته به شرط امکان تأمین آب آبیاری به ویژه به عنوان گیاه پاییزه در تناوب جهت حفظ و افزایش کربن آلی و نیتروژن کل خاک بالاتر را تایید می‌کند (Mazzoncini *et al.*, 2011). در مطالعه‌ای که با هدف بررسی پویایی نیتروژن و عملکرد دانه ذرت در تناوب گیاه پوششی و ذرت انجام شد، دریافتند که هر سه گیاه پوششی به کاربرده شده در آزمایش مقدار نیتروژن معدنی خاک را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش دادند که باعث کاهش تلفات نیتروژن گردید (Coombs *et al.*, 2017). البته برخی محققین کاهش نیتروژن معدنی در گیاهان غیر بقولات مانند چاودار و یولاف را نیز نشان دادند. آن‌ها مشاهده کردند که در تیمارهای گیاهان پوششی تا عمق ۶۰ سانتی‌متر غلظت نیتروژن معدنی کاهش یافت (O'Reilly *et al.*, 2012). اکثر مطالعات انجام شده بر روی تأثیر سیستم‌های کشت بر مانده نیتروژن در طی زمان، خصوصاً در سیستم‌های کشت مرسوم



شکل ۲- اثر متقابل سال و سیستم کشت بر درصد نیتروژن کل خاک  
WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت، MB: ماش

Figure 2- Interaction of year and cropping system on the percentage of total soil nitrogen  
WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn, MB: Mung Bean



شکل ۳- اثر متقابل سال و سطوح تامین کود نیتروژن بر درصد نیتروژن کل خاک

Figure 3- Interaction of year and nitrogen fertilizer supply levels on the percentage of total soil nitrogen

منجر به افزایش کربن آلی و متعاقباً حاصلخیزی خاک می‌گردد، حذف آیش و کشت مداوم اراضی کشاورزی می‌باشد. افزایش در مقدار کربن آلی می‌تواند بدلیل افزایش زیست‌توده گیاه و در نتیجه افزایش کل تراوشات گیاه و هم‌چنین افزایش فراهمی فسفر و عدم نیاز گیاه به تجزیه‌ی ماده‌ی آلی برای دستیابی به فسفر باشد (Saadatifar *et al.*, 2017). اتفاقی که همبستگی بالای بین فسفر و کربن آلی مؤید آن است. کاهش اسیدیته در خاک‌های قلیایی به هر نحوی کلید موفقیت در افزایش دسترسی گیاه به فسفر و آهن می‌باشد، اگرچه ظرفیت کربن آلی خاک در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و در دسترس نگه داشتن فسفر و آهن را در خاک نایبستی کم‌اهمیت دانست (Najafi, 2014). به عنوان مثال در یک مطالعه اثر گوگرد و کمپوست شهری بر میزان فسفر خاک بررسی شد، نتایج تحقیقات نشان دادند که استفاده از مواد آلی از قبیل کمپوست و تعدیل اسیدیته خاک در خاک‌های قلیایی منجر به افزایش فسفر قابل دسترس خاک گردید (Doroudian *et al.*, 2008). گزارش شده است که حفظ بقایا بر مقدار فسفر خاک تأثیر معنی‌داری نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از کاهش تثبیت فسفر ناشی از افزایش کربن آلی خاک باشد. نتایج نشان دادند که بقایای گیاهی به عنوان ماده آلی تثبیت شده، ظرفیت تبادل

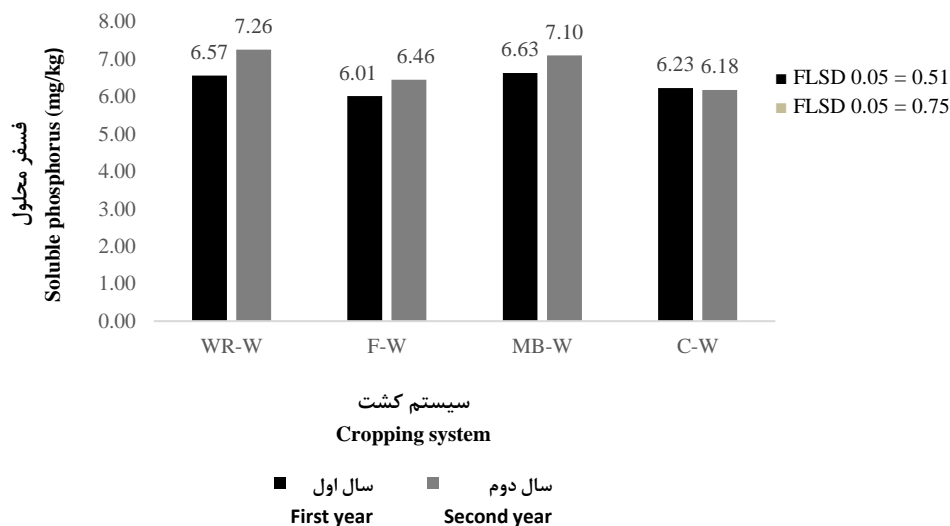
مقدار فسفر خاک در سال دوم در همه سیستم‌های کشت به استثنای سیستم کشت ذرت گندم افزایش یافت. هم‌چنین در مجموع دو سال آزمایش مقدار فسفر خاک به ترتیب در سیستم‌های کشت منداب-گندم، ماش-گندم، آیش-گندم، ذرت-گندم ۲۱، ۱۸/۳، ۷/۶ و ۳ درصد افزایش یافت. کاهش فسفر خاک در سیستم کشت ذرت-گندم در سال دوم آزمایش می‌تواند ناشی از نیاز غذایی بالای ذرت باشد. ضمن اینکه در طول دوره دو ساله آزمایش، خاک از مزیت‌های افزایش کربن آلی به علت بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن بقایا و دیر تجزیه‌پذیر بودن آن بی‌بهره بوده است. البته عدم کاهش جدی مقدار فسفات محلول خاک با وجود کشت مستمر در خاک می‌تواند به عنوان یک مزیت حداقلی در نظر گرفته شود (شکل ۴). مطالعه ضرایب همبستگی صفات نیز رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقدار فسفر و آهن قابل دسترس خاک با کربن آلی و نیتروژن کل خاک و رابطه منفی و معنی‌داری بین مقدار فسفر و آهن قابل دسترس خاک با مقدار اسیدیته خاک نشان داد. در میان خصوصیات شیمیایی خاک بیشترین همبستگی مربوط به فسفر و آهن قابل دسترس خاک با کربن آلی (\*\*۰/۶۸ =  $r$ ) بود (جدول ۵).

مهم‌ترین فاکتور در مجموع عملیات زراعی اصلاحی که

سرعت پایین‌تر تجزیه بقایای گیاهی، طول زمان رسیدن به تعادل عناصر غذایی در خاک نسبت به سایر گیاهان در تناوب در این آزمایش طولانی‌تر می‌باشد. نتایجی که توسط برخی پژوهش‌های دیگر مورد تایید قرار گرفت. برای مثال در پژوهشی تناوب‌های زراعی مختلف را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که محتوی عناصر پرمصرف خاک در بین تناوب‌های زراعی به طور معنی‌داری متفاوت بود (Anousheh *et al.*, 2016). آن‌ها مشاهده کردند که مقدار نیتروژن و فسفر از تناوب گندم با یونجه بیشتر از تناوب ذرت با یونجه می‌باشد که این تفاوت را ناشی از تفاوت کارایی جذب فسفر توسط گندم و ذرت دانستند. آن‌ها معتقدند که ذرت گیاه پرنیازتری بوده و به طور معمول مقدار عناصر غذایی بیشتری از خاک جذب می‌کند؛ بنابراین خاک‌های پس از کشت ذرت دارای محتوی کمتری از نیتروژن و فسفر می‌باشند. همچنین گزارش شده است که محتوی فسفر خاک در سیستم کشت گندم-بقولات در مقایسه با سایر سیستم‌های کشت به ویژه کشت مداوم گندم افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد (Rahimizadeh *et al.*, 2012).

کاتیونی بالایی دارند و در نگهداری عناصر غذایی هم‌چون نیتروژن، فسفر و آهن در خاک نقش به‌سزایی ایفا می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که مقدار عناصر غذایی خاک تابعی از مقدار ماده آلی خاک می‌باشد. برخی محققین معتقدند که کاهش اسیدیته ناشی از عملیات زراعی بهبودیافته از قبیل تناوب زراعی مناسب، حفظ بقایا و ... بر میزان دسترسی عناصر غذایی به ویژه فسفر و آهن تأثیرگذار می‌باشد (Sadeghian *et al.*, 2017; Mirzaei *et al.*, 2021; Ebrahimian *et al.*, 2017) تحقیقاتی که همگی مؤید نتایج پژوهش ما می‌باشد.

سیستم‌های کشت بسته به نوع تناوب گیاهی تأثیرات متفاوتی بر خصوصیات خاک اعمال می‌کند. تناوب گیاهی علاوه بر اینکه تعیین‌کننده میزان کمی و کیفی بقایای گیاهی می‌باشد، بسته به میزان برداشت هر یک از عناصر غذایی رفتار متفاوتی بر غلظت عناصر خاک خواهد داشت. به عنوان مثال در این تحقیق ذرت نسبت به منداب و ماش حجم زیست‌توده بیشتر دارد، علاوه بر اینکه ذرت نیاز غذایی بیشتری داشته و باعث تخلیه بیشتر خاک از مواد غذایی می‌گردد و با توجه به



شکل ۴- اثر متقابل سال و سیستم کشت بر فسفر محلول خاک  
WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت، MB: ماش

Figure 4- Interaction of year and cropping system on soil solution phosphorus  
WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn, MB: Mung Bean

آن در جهت بهبود حاصلخیزی خاک بودیم. نتایج نشان داد که کربن آلی خاک در همه تیمارها افزایش یافت و منجر به افزایش ترسیب کربن و بهبود خصوصیات شیمیایی خاک گردید. نتایج

### نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر ما به دنبال ارائه راهکاری برای افزایش ترسیب کربن خاک به منظور استفاده از مزیت‌های اکولوژیکی

با توجه به عدم امکان بهره‌گیری از گیاهان پوششی در اقلیم منطقه به دلیل کمبود منابع آب و اهمیت تولید کشت گیاهان اقتصادی، نتایج نشان داد که حذف آیش با فرض رعایت اصول کشاورزی حفاظتی می‌تواند یک جایگزین مناسب برای افزایش کربن آلی خاک باشد. نکته حائز اهمیت نقش ماش در تناوب زراعی با گندم بود. ماش توانست در بهبود شاخص‌های حاصلخیزی خاک نقش مهمی ایفا کند و جایگزین مطمئنی برای منداب به عنوان یک گیاه غیر اقتصادی باشد. همچنین به دلیل کوتاه بودن طول دوره آزمایش و سرعت پایین تجزیه بقایا آن به دلیل نسبت بالای کربن به نیتروژن، ذرت نتوانست ظرفیت‌های خود را به عنوان یک بهبود دهنده حاصلخیزی خاک نشان دهد. لذا پیشنهاد می‌گردد با توجه به اهمیت ذرت در تناوب با گندم در منطقه مورد مطالعه و مزیت نسبی آن در شرایط اقلیمی موجود، مطالعات بلند مدتی برای بررسی و مقایسه اثرات تیمارها در طی زمان انجام گیرد.

در مورد نیتروژن نیز نشان داد که عدم مصرف کود نیتروژن در همه سیستم‌های کشت منجر به کاهش یا توقف افزایش نیتروژن خواهد گردید و ضرورت مصرف بهینه کود نیتروژن حتی در شرایط استفاده از گیاه پوششی یا تناوب با گیاهان خانواده لگومینه را که به عنوان تثبیت‌کننده نیتروژن شناخته می‌شوند، نشان می‌دهد. نتایج همچنین نشان داد که کاهش اسیدیته در خاک‌های قلیایی به هر نحوی کلید موفقیت در افزایش دسترسی گیاه به فسفر است، اگرچه ظرفیت کربن آلی خاک برای در دسترس نگه داشتن فسفر و آهن را در خاک نبایستی کم‌اهمیت دانست. همچنین سیستم‌های کشت متأثر از نوع تناوب گیاهی تأثیرات متفاوتی بر خصوصیات خاک اعمال کرد. به نظر می‌رسد تناوب گیاهی علاوه بر اینکه تعیین‌کننده میزان کمی و کیفی بقایای گیاهی می‌باشد، بسته به میزان برداشت هر یک از عناصر غذایی رفتار متفاوتی بر غلظت عناصر خاک خواهد داشت.

## References

- Anousheh, H.P., Adalat, M. and Dehghani, F., 2016. Mid-term effect of crop rotations on grain yield of corn (*Zea mays* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) and soil characteristics. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 18, pp.135-146. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.15625540.1395.18.2.5.6**
- Bhardwaj, A.K., Rajwar, D., Mandal, U.K., Ahamad, S., Kaphaliya, B., Minhas, P.S., Prabhakar, M., Banyal, R., Singh, R. and Chaudhari, S.K., 2019. Impact of carbon inputs on soil carbon fractionation, sequestration and biological responses under major nutrient management practices for rice-wheat cropping systems. *Scientific Reports*, 9, pp.1-10. **doi: 10.1038/s41598-019-45534-z**
- Brar, B., Singh, K. and Dheri, G., 2013. Carbon sequestration and soil carbon pools in a rice-wheat cropping system: effect of long-term use of inorganic fertilizers and organic manure. *Soil and Tillage Research*, 128, pp.30-36. **doi: 10.1016/j.still.2012.10.001**
- Cheng, Y., Wang, J., Wang, J., Chang, S.X. and Wang, S., 2017. The quality and quantity of exogenous organic carbon input control microbial NO<sub>3</sub>- immobilization: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 115, pp.357-363. **doi: 10.1016/j.soilbio.2017.09.006**
- Coombs, C., Lauzon, J.D., Deen, B. and Van Eerd, L.L., 2017. Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. *Field Crops Research*, 201, pp.75-85. **doi: 10.1016/j.fcr.2016.11.001**
- Dikgwatlhe, S.B., Chen, Z.-D., Lal, R., Zhang, H.-L. and Chen, F., 2014. Changes in soil organic carbon and nitrogen as affected by tillage and residue management under wheat-maize cropping system in the North China Plain. *Soil and Tillage Research*, 44, pp.110-118. **doi: 10.1016/j.still.2014.07.014**

- Doroudian, H.R., Besharti, H., Falah, A.R., Haydari, H., Darvish, F. and Allah-wirdi, A. 2008. Investigation of the possibility of changing the absorbable phosphorus of calcareous soils and its effect on corn yield. *Agroecology Journal*, 6, pp.27-35. [In Persian].
- Ebrahimian, A., Kouchaki, A., Mahallati, M.N., KhorramDel, S. and Beheshti, A., 2017. The effect of tillage systems and wheat residue levels on physical, chemical and biological indicators of soil. *Journal of Crop Improvement*, 18, pp.893-905. [In Persian]. doi: **10.17557/tjfc.90410**
- Fallahi, H.R., Rezvani-Moghaddam, P., Behdani, M.A., Aghvani-Shajri, M., Jahedi-Pour, S. and Yari, A., 2015. Principles and bases of carbon sequestration. University Jihad, Mashhad. [In Persian].
- FAO, 2019. [Online]. Available: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/qc>.
- Gan, Y., Liang, C., Chai, Q., Lemke, R.L., Campbell, C.A. and Zentner, R.P., 2014. Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communications*, 5, pp.1-13. doi: **10.1038/ncomms6012**
- Haghnia, G., Ghorbani, R. and Ramezani, A., 2014. Soil organic matter in sustainable agriculture. Ferdowsi University of Mashhad Press. [In Persian].
- Johnston, A.E., Poulton, P.R. and Coleman, K., 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*, 101, pp.1-57. doi: **10.1016/s0065-2113(08)00801-8**
- Li, S., Li, Y., Li, X., Tian, X., Zhao, A., Wang, S., Wang, S. and Shi, J., 2016. Effect of straw management on carbon sequestration and grain production in a maize-wheat cropping system in Anthrosol of the Guanzhong Plain. *Soil and Tillage Research*, 157, pp.43-51. doi: **10.1016/j.still.2015.11.002**
- Makari, P. and Afzali, S.F., 2018. The effect of corn, wheat and green sugarcane residues on some soil properties. *Environment and Water Engineering*, 4, pp.123-136. [In Persian]. doi: **10.22034/jewe.2018.113441.1225**
- Mazzoncini, M., Sapkota, T.B., Barberi, P., Antichi, D. and Risaliti, R., 2011. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil and Tillage Research*, 114, pp.165-174. doi: **10.1016/j.still.2011.05.001**
- Mirzaei, M., Gorji, M., Tusi, AR, Asadi, H., Moghiseh, A. and Zamir, S.M., 2021. The effect of plant residues in wheat-corn rotation on organic carbon and fertility Soil. *Iran Water and Soil Research*, 51, pp.3207-3219. [In Persian]. doi: **10.22059/ijswr.2020.305809.668666**
- Najafi-Ghiri, M., 2014. The effect of application of different biochar on some soil properties and the ability to absorb some nutrients in a calcareous soil. *Soil Research*, 29, pp.352-358. [In Persian]. doi: **10.22092/ijsr.2014.103501**
- Norouzi, S., Sohrabi, A., Khavazi, K. and Far, H.R.M., 2018. The effect of sulfur consumption on the trend of pH changes and soil phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Soil Biology*, 6, pp.29-41. [In Persian]. doi: **10.22092/sbj.2018.117145**
- Novara, A., Poma, I., Sarno, M., Venezia, G. and Gristina, L., 2016. Long-term durum wheat-based cropping systems result in the rapid saturation of soil carbon in the Mediterranean semi-arid environment. *Land Degradation & Development*, 27, pp.612-619. doi: **10.1002/ldr.2468**

- O'Reilly, K.A., Lauzon, J.D., Vyn, R.J. and Van Eerd, L.L., 2012. Nitrogen cycling, profit margins and sweet corn yield under fall cover crop systems. *Canadian Journal of Soil Science*, 92, pp.353-365. doi: **10.4141/cjss2011-065**
- Poudel, D., Horwath, W., Mitchell, J. and Temple, S., 2001. Impacts of cropping systems on soil nitrogen storage and loss. *Agricultural Systems*, 68, pp.253-268. doi: **10.1016/s0308-521x(01)00011-7**
- Powlson, D.S., Whitmore, A.P. and Goulding, K.W., 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, 62, pp.42-55. doi: **10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x**
- Rahimizadeh, M., Zare-Feizabadi, F.A., Kashani, A., Koocheki, A. and Nassiri Mahallati, M.M., 2012. Evaluation of soil fertility in wheat-based double cropping systems under different rates of nitrogen and return of crop residue. *Journal of Water and Soil*, 25, pp.1277-1286. [In Persian]. doi: **10.22067/jsw.v0i0.12129**
- Robačar, M., Canali, S., Kristensen, H.L., Bavec, F., Mlakar, S.G., Jakop, M. and Bavec, M., 2016. Cover crops in organic field vegetable production. *Scientia Horticulturae*, 208, pp.104-110. doi: **10.1016/j.scienta.2015.12.029**
- Rymuza, K., Radzka, E. and Wysokiński, A., 2020. Nitrogen uptake from different sources by non-GMO soybean varieties. *Agronomy*, 10, pp.1219. doi: **10.3390/agronomy10091219**
- Saadatifar, S., Khorasani, R. and Lekzian, A., 2017. The effect of different levels of phosphorus on changes in organic carbon in the soil adhering to the roots and soil mass of wheat. Third International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges. [In Persian].
- Sadeghian, A., Sayad, G., Firoozi, A.F. and Masir, M.N., 2017. The effect of different crop managements on some chemical and biological indicators of soil health. *Water and Soil Conservation Research*, 25, pp.269-280. [In Persian]. doi: **10.22069/jwsc.2018.14281.2905**
- Sharma, V., Irmak, S. and Padhi, J., 2018. Effects of cover crops on soil quality: Part I. Soil chemical properties—organic carbon, total nitrogen, pH, electrical conductivity, organic matter content, nitrate-nitrogen, and phosphorus. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73, pp.637-651. doi: **10.2489/jswc.73.6.637**
- Smith, P., Powlson, D., Glendining, M. and Smith, J., 1997. Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. *Global Change Biology*, 3, pp.67-79. doi: **10.1046/j.1365-2486.1997.00055.x**
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L. and Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133, pp.247-266. doi: **10.1016/j.agee.2009.04.021**
- Soltani, A., Rajabi, M., Zeinali, E. and Soltani, E., 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy*, 50, pp.54-61. doi: **10.1016/j.energy.2012.12.022**
- Triberti, L., Nastri, A. and Baldoni, G., 2016. Long-term effects of crop rotation, manure and mineral fertilisation on carbon sequestration and soil fertility. *European Journal of Agronomy*, 74, pp.47-55. doi: **10.1016/j.eja.2015.11.024**

Zhang, X., Sun, N., Wu, L., Xu, M., Bingham, I.J. and Li, Z., 2016. Effects of enhancing soil organic carbon sequestration in the topsoil by fertilization on crop productivity and stability: Evidence from long-term experiments with wheat-maize cropping systems in China. *Science of the Total Environment*, 562, pp.247-259.

**doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.193**

Zomer, R.J., Bossio, D.A., Sommer, R. and Verchot, L.V., 2017. Global sequestration potential of increased organic carbon in cropland soils. *Scientific Reports*, 7, pp.1-8. **doi: 10.1038/s41598-017-15794-8**

## Assessment of soil chemical properties and the carbon sequestration in wheat-based production systems

Javad Etezadi Jame<sup>1</sup>, Seyed Vahid Eslami<sup>2\*</sup>, Majid Jami Al-Ahmadi<sup>2</sup>, Mohamad Hassan Sayyari<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PhD Student, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

<sup>2</sup> Agronomy Department, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

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

Received: 15 February 2022

Accepted: 13 May 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.329816.1192

### Abstract

**Introduction:** Increasing soil carbon, both globally and on a farm level, has been considered as a fundamental strategy to reduce atmospheric carbon dioxide and increase soil productivity. Because agricultural ecosystems cover 11% of the earth's surface and wheat is one of the three most important grains in the world, any study on increasing soil carbon through land management and organic additive management can lead to a better understanding of our potential for soil improvement, ecosystem services, higher biomass yields, nutrient recycling, potentially increasing agricultural and ecological productivity. Crop rotation significantly affects the sequestration capacity of atmospheric carbon dioxide, and the change of cropping systems from fallowing to continuous cultivation can affect the rate of carbon sequestration in the soil through the introduction of more organic carbon. Also, managing the use of fertilizers, especially nitrogen, will not only increase crop yields, but also increase carbon sequestration as a secondary benefit to the land. Due to the alkalinity of most soils in arid and semi-arid regions, the addition of organic matter reduces soil acidity and improves plant growth conditions, increases the ability to absorb elements such as phosphorus and iron, moreover has a positive effect on increasing biomass production and carbon sequestration.

**Material and Methods:** This study was conducted to take advantage of a set of desirable crop measures in diverse production systems with the aim of improving the chemical properties of soil and carbon sequestration with a focus on wheat during the two cropping years of 2018-19 and 2019-20 in a farm in Taybad plain. In this study, the factor of the cropping system in four levels (wild rocket-wheat, fallow-wheat, mung bean-wheat and corn-wheat) and the factor of nitrogen fertilizer levels (100, 50% and without nitrogen fertilizer application) were implemented in a randomized complete block design as factorial with three replications. Soil chemical properties such as acidity, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and iron were measured.

**Results and Discussion:** The highest amount of acidity was observed in corn-wheat treatment with 50% nitrogen fertilizer supply and the lowest amount of acidity was observed in wild rocket-wheat treatment with 100% nitrogen fertilizer supply. The study of treatments shows that wild rocket and mung bean showed the best results in increasing soil organic carbon and carbon sequestration. Corn less than were able to increase soil organic carbon, although with increasing nitrogen fertilizer supply in the corn-wheat cropping system, organic carbon improved compared to the control treatment. The results also showed that wild rocket-wheat treatment with 100% nitrogen fertilizer supply experienced the highest increase (56.7%) and corn-wheat treatment with 50% nitrogen fertilizer supply experienced the lowest (21.4%) increase in soil organic carbon. Soil nitrogen was also significantly affected by the increase of soil organic carbon mainly in two treatments of wild rocket-wheat (25.6%) and mung bean-wheat (17.9%) in conditions of 100% nitrogen fertilizer supply, while fallow-wheat and Wheat maize without nitrogen fertilizer showed the highest reduction in soil nitrogen content of 15.3% and 20.5%, respectively. Phosphorus and iron levels also increased in all treatments. The results of trait correlation also showed that reducing acidity in alkaline soils is the key to success in increasing plant access to phosphorus ( $r = -0.37^{**}$ ) and iron ( $r = -0.33^{**}$ ). It seems that the most

important factor in the improving farming practices, which leads to an increase in organic carbon and consequently soil fertility, is the removal of fallow and continuous cultivation of agricultural lands.

**Conclusion:** The results showed that soil organic carbon increased in all treatments and led to increased carbon sequestration and improved soil chemical properties. The results regarding nitrogen also showed that non-use of nitrogen fertilizer in all cropping systems reduce or stop the increase of nitrogen and the need for optimal use of nitrogen fertilizer even in the case of using cover crops or legume as a nitrogen stabilizer. Reducing acidity in alkaline soils is the key to success in increasing plant access to phosphorus, although the capacity of soil organic carbon to retain phosphorus and iron in the soil should not be underestimated. Also, cropping systems affected by the type of crop rotation had different effects on soil properties. It seems that in addition to determining the quantity and quality of plant residues, plant rotation will have a different behavior on the concentration of soil elements depending on the amount of harvest of each nutrient.

**Keywords:** Cropping system, Organic carbon, Nitrogen, Rotation



## بررسی صفات زراعی و عملکردی برخی از اکوتیپ‌های گیاه دارویی بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey) در استان آذربایجان شرقی

جلیل شفق کلوانق<sup>۱\*</sup>، مینا امانی<sup>۲</sup>، پیوند صمیمی فر<sup>۳</sup>، عادل دباغ محمدی نسب<sup>۱</sup>، یعقوب راعی<sup>۱</sup>

۱- گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
 ۲- دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
 ۳- دانش آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
 \* مسئول مکاتبه: shafagh.jalil@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.412878.1370

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱

### چکیده

بالنگوی شهری گیاهی یک‌ساله و علفی از تیره نعناع است که اغلب برای استفاده از دانه آن کشت‌وکار می‌شود. به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری جمع‌آوری شده از مناطق مختلف کشور، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و طی سال‌های ۹۵ و ۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز اجرا گردید. مهم‌ترین صفات اندازه‌گیری شده عبارت بودند از تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که اکوتیپ‌ها در اکثر صفات مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند. اکوتیپ روستای الوار بستان‌آباد از نظر بسیاری از صفات مخصوصاً از نظر عملکرد دانه برتری بالایی داشت. نتایج تجزیه‌های همبستگی، رگرسیون و علیت نشان دادند که تعداد دانه در بوته و تعداد دانه در کپسول دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه بودند و از اجزای مؤثر در افزایش عملکرد دانه محسوب می‌شوند. بیشترین ضریب همبستگی (۰/۸۷۹) بین تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه مشاهده گردید. براساس تجزیه خوشه‌ای، اکوتیپ‌ها بر پایه عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در دو خوشه گروه‌بندی شدند که گروه دوم شامل ۲۲ اکوتیپ با بالاترین ارزش از نظر صفاتی چون تعداد دانه در بوته و تعداد دانه در کپسول بودند. براساس نتایج، اکوتیپ شماره ۳۷ (روستای الوار بستان‌آباد)، ۲۳ (تبریز ۴) و ۲۴ (کلوانق ۱۴) از نظر صفت عملکرد دانه و اکوتیپ‌های شماره ۱۴ (تبریز ۳)، ۴۴ (روستای لیلاب ورزقان) و ۳۷ (روستای الوار بستان‌آباد) از نظر صفت عملکرد علوفه خشک، مناسب‌ترین و سازگارترین اکوتیپ‌ها برای تبریز شناخته شدند.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص برداشت، عملکرد دانه، علوفه خشک، وزن هزاردانه

### مقدمه

تولید این فراورده‌ها در سطح مزارع، شکل عملی نوبه خود گرفت و بهره‌وری از گیاهان دارویی کشت‌شده به‌جای انهدام و مصرف گیاهان رویشی طبیعت، جایگاه تازه و بی‌سابقه‌ای یافته است (Shafagh-Kolvanagh et al., 2022). از این‌رو امروزه باتوجه‌به عوارض جانبی داروهای شیمیایی، مصرف داروهای گیاهی در حال افزایش است و کشت‌وکار وسیع گیاهان دارویی از برنامه‌های کشورهای پیشرفته جهان است (Akbarpour et al., 2021).

رویکرد جهانی به استفاده از گیاهان دارویی و ترکیب‌های طبیعی در صنایع دارویی، آرایشی-بهداشتی و غذایی و به‌دنبال آن توجه مردم، مسئولین و صنایع داخلی به استفاده از گیاهان دارویی و معطر نیاز مبرم به تحقیقات پایه‌ای و کاربردی وسیعی را در این زمینه نمایان می‌سازد (Akbarpour et al., 2021).

باتوجه‌به جمعیت روبه افزایش بشر و از بین رفتن اعتدال محیطی، به‌کارگیری روش‌های علمی مؤثر در تولید هرچه بیشتر محصولات زراعی و ایجاد تنوع بیشتر در آن، امری ضروری محسوب می‌شود. کشاورزی پایدار سودمندترین نحوه استفاده از انرژی خورشید و تبدیل آن به محصولات کشاورزی است که بدون تخریب خاک، آب و محیط‌زیست انجام می‌گیرد (Fakhar et al., 2019). با پیشرفت علم و توجه جهانیان به تأثیر زیان‌بار استفاده از ترکیبات شیمیایی و مواد سنتتیک، جهان دوباره به استفاده از فراورده‌های گیاهی روی آورده است، به‌طوری‌که گفته می‌شود قرن بیست‌ویکم، قرن گیاهان دارویی است. رویکرد انسان به فراورده‌های دارویی گیاهان، پیشینه عمیقی دارد، ولی از حدود نیمه دوم قرن بیستم، مسئله افزایش

چندمنظوره محسوب می‌شود. به دلیل نیاز آبی کم و یا به عبارت دیگر توقع آب کم، دوره رشد کوتاه در حدود ۹۵-۸۰ روز، برای شرایط اقلیمی کشور به‌ویژه آذربایجان، می‌تواند مفید باشد. همچنین این گیاه پتانسیل تبدیل شدن به یک گیاهان دارویی، صنعتی، روغنی و زینتی را داشته و در اقتصاد داخلی و بین‌المللی نیز می‌تواند مفید باشد (Shahbazi *et al.*, 2012; Shafagh-Kolvanagh *et al.*, 2022). اهمیت، جایگاه و نقش ویژه و روبه افزایش گیاهان دارویی به‌خصوص گیاه بالنگوی شهری در مدیریت پایدار به‌ویژه در ابعاد کلان توسعه اقتصادی، زیست‌محیطی، بهداشتی، اشتغال و حفظ ذخایر ژنتیکی در عرصه ملی و جهانی به‌حدی است که می‌توان امروزه تولید و استفاده از گیاهان را به‌ویژه در تأمین دارو به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه هر کشوری مدنظر قرار داد. در همین راستا در این پژوهش سعی شده است که اکوتیپ‌های بالنگوی شهری رایج در منطقه از نظر عملکرد و اجزای عملکرد مورد ارزیابی قرار گرفته و مناسب‌ترین اکوتیپ‌ها برای منطقه شناسایی و معرفی شوند و در صورت نیاز در برنامه‌های اصلاحی مورد توجه قرار گیرند.

## مواد و روش‌ها

### خصوصیات اقلیمی و مشخصات محل آزمایش

توده‌های بومی گونه‌های زراعی و دارویی موجود در طبیعت علاوه بر ایجاد تنوع در اکوسیستم‌های طبیعی نقش بارزی در تغذیه و سلامت بشر و سایر موجودات دارند که در راستای نیل به این هدف و به‌منظور مطالعه برخی از ویژگی‌های مرتبط با سازگاری اکولوژیکی و زراعی در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری، در جهت شناسایی اکوتیپ‌های برتر، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و به مدت ۲ سال زراعی ۹۵ و ۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز اجرا گردید. این مکان در ۱۲ کیلومتری شرق تبریز در ارتفاع ۱۳۶۰ متری از سطح دریا، در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی واقع شده است. براساس اطلاعات هواشناسی، این منطقه جزء اقلیم‌های نیمه‌استپی و نیمه‌خشک سرد محسوب می‌شود. در این منطقه بارندگی در فصل تابستان خیلی به‌ندرت اتفاق می‌افتد، به‌همین دلیل دارای فصل خشک در تابستان می‌باشد،

گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره‌برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند (Jiang and Huang, 2001). تنوع آب و هوا و شرایط اکولوژیکی مختلف، باعث تنوع و غنای گیاهان دارویی در سراسر ایران شده است (Rashidzadeh *et al.*, 2023). لزوم تحقیقات همه‌جانبه و بهره‌برداری صحیح از این گیاهان، به‌ویژه در زمانی که استفاده جهان از گیاهان دارویی در صنایع دارویی، آرایشی-بهداشتی و غذایی شتاب‌گرفته، بسیار ضروری است (Nezamivand *et al.*, 2021).

در این راستا اهمیت زیاد شناسایی، مطالعه، ارزیابی و حفاظت از اکوتیپ‌های بومی گیاهان دارویی به‌عنوان میراث بشری، جمع‌آوری گیاهان دارویی زراعی و ارزیابی اکولوژیکی اکوتیپ‌های بومی آن‌ها و معرفی اکوتیپ‌های سازگار آن‌ها برای کشاورزان یک ضرورت محسوب می‌گردد. تنوع زیستی از مهمترین عناصر پایداری در بوم‌نظام‌ها بوده و با فعال کردن فرایندهای درون نظامی باعث ارتقاء ساختار و کارکرد هر بوم‌نظام می‌شود (Moslemi *et al.*, 2023). بخشی از تنوع زیستی که مستقیماً توسط انسان ایجاد و یا مدیریت می‌شود تنوع زیستی کشاورزی است که بنا به تعریف، به تنوع زیستی موجود در بوم‌نظام‌های کشاورزی اطلاق می‌شود و عبارت است از تنوع گوناگونی موجودات زنده‌ای که در سطح وسیع در کشاورزی و تولید غذا اهمیت دارند و مورد استفاده قرار می‌گیرند (Sirus *et al.*, 2008). عمده مناطق ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. این عامل باعث می‌شود که مسئله کم‌آبی در کنار سوء مدیریت آب، به‌عنوان معضل اساسی در بخش کشاورزی مطرح شود، بنابراین تأمین آب مورد نیاز گیاه زراعی به‌عنوان یک عامل محدودکننده عملکرد، عمل می‌کند (Shaltouki *et al.*, 2021; Tetio-Kagho and Gardner, 1988). در چنین شرایطی یکی از راهکارهای زراعی برای جلوگیری از کاهش عملکرد در مناطق کم‌آب استفاده از گیاهان مقاوم یا با کارایی مصرف آب بالا می‌باشد. گیاه بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) یکساله، تقریباً بدون کرک است. بالنگوی شهری باتوجه به خواص دارویی و صنعتی و نقش آن در کشاورزی، گیاهی

سالیانه ۲۳۹/۹۵ میلی‌متر گزارش شده است.

### مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

نوع خاک محل انجام پروژه براساس اصول صحیح نمونه‌برداری و آزمایش‌های خاک انجام گرفته، لومی - شنی بوده و نتایج حاصل از تجزیه آن به شرح جدول ۱ می‌باشد:

در کل می‌توان گفت دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم می‌باشد و دما در زمستان کم و بیش سرد و تا زیر صفر تنزل می‌کند. بارندگی در زمستان به‌ندرت رخ می‌دهد، به‌همین دلیل دارای فصل خشک در تابستان است. میانگین دمای سالیانه ۹/۸۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل و حداکثر دما به‌ترتیب ۲/۵۱ و ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد بوده است. متوسط بارندگی

جدول ۱- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Characteristics of the soil where the experiment was carried out

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

### طرح آزمایشی مورد استفاده

کلوانق (۱۴)، ۲۵. محلی (روستای تازه‌کند ۱ هریس)، ۲۶. محلی (شهرستان کلوانق ۱۵)، ۲۷. روستای پارام ۱ هریس، ۲۸. شهرستان زرنق، ۲۹. ورزقان ۱، ۳۰. اهر ۱، ۳۱. محلی (روستای تازه‌کند ۲ هریس)، ۳۲. ملکان، ۳۳. توده مشهد، ۳۴. ورزقان ۲، ۳۵. روستای پارام ۲ هریس، ۳۶. پیغام کلیبر، ۳۷. روستای الوار بستان آباد، ۳۸. روستای دهلان هشترود، ۳۹. روستای کامرسفلی جلفا، ۴۰. روستای گوندک بیجار کردستان، ۴۱. مرز سررو ارومیه، ۴۲. روستای ارلان مرند، ۴۳. روستای مجره خلخال، ۴۴. روستای لیلاب ورزقان، ۴۵. شهرستان خاروانا، ۴۶. کردستان ۲، ۴۷. تکاب، ۴۸. زنجان، ۴۹. نظیرلو و درویش بقال.

### عملیات آماده‌سازی زمین

مراحل آماده‌سازی زمین موردنظر که شامل شخم اولیه (در پاییز ۹۴ و ۹۵ بعد از برداشت محصول) بود انجام گرفت. سپس باتوجه به مساعدشدن شرایط آب‌وهوایی، عملیات شخم بهاره و دیسک‌زنی به‌منظور خردکردن کلوخ‌ها در نیمه دوم فروردین سال ۹۵ و ۹۶ انجام گرفت، جهت افزایش دقت و یکنواختی به هنگام آبیاری قبل از انجام کاشت عملیات تسطیح زمین توسط تسطیح‌کننده<sup>۱</sup> صورت گرفت. قطعه زمین موردنظر باتوجه به

کل زمین براساس طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار و هر تکرار دارای ۴۹ اکوتیپ که در نهایت به ۱۴۷ کرت تقسیم شد که ابعاد هر کرت به مساحت ۱×۱/۵ مترمربع بود. در هر کرت ۵ ردیف کاشت به طول ۱/۵ متر و به فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها تقریباً یک سانتی‌متر و کشت بذور به‌صورت خشکه‌کاری و در بستر مسطح انجام گرفت. ۴۹ اکوتیپ به‌صورت تصادفی در هر تکرار موردکشت و مطالعه قرار گرفتند که مشخصات اکوتیپ‌های بالنگوی شهری و محل جمع‌آوری آن‌ها شامل ۱. محلی (شهرستان کلوانق ۱)، ۲. محلی (شهرستان کلوانق ۲)، ۳. محلی (شهرستان کلوانق ۳)، ۴. محلی (شهرستان کلوانق ۴)، ۵. اهر، ۶. محلی (شهرستان کلوانق ۵)، ۷. محلی (شهرستان کلوانق ۶)، ۸. محلی (شهرستان کلوانق ۷)، ۹. محلی (سراب ۱)، ۱۰. محلی (شهرستان کلوانق ۸)، ۱۱. محلی (شهرستان کلوانق ۹)، ۱۲. تبریز ۲، ۱۳. تبریز ۵، ۱۴. تبریز ۳، ۱۵. تبریز ۱، ۱۶. تبریز ۷، ۱۷. تبریز ۶، ۱۸. تبریز ۸، ۱۹. محلی (شهرستان کلوانق ۱۰)، ۲۰. محلی (شهرستان کلوانق ۱۱)، ۲۱. محلی (شهرستان کلوانق ۱۲)، ۲۲. محلی (شهرستان کلوانق ۱۳)، ۲۳. تبریز ۴، ۲۴. محلی (شهرستان

<sup>۱</sup> Leveler

آزمایشگاه اکولوژی گیاهان زراعی انتقال داده شدند و در آنجا نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، صفات تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه در تک بوته و شاخص برداشت اندازه گیری شد.

### تجزیه و تحلیل

آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS و تجزیه آماری داده‌ها براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت تجزیه مرکب با بهره‌گیری از نرم افزارهای -MSTAT C و SPSS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌های صفات مورد ارزیابی با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام گرفت. همچنین برای ترسیم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

### نتایج و بحث

#### تعداد دانه در هر بوته

بین اکوتیپ‌ها از نظر تعداد دانه در هر بوته در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی داری وجود داشت (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در بوته متعلق به اکوتیپ شماره ۲۵ (روستای تازه‌کند ۱ هریس) و کمترین تعداد دانه در بوته مربوط به اکوتیپ شماره ۴۳ (روستای مجره خلخال) به ترتیب با میانگین‌های ۱۸۹/۲ دانه و ۵۴/۳ دانه در بوته بود (شکل ۱). تعداد دانه در کپسول از مؤلفه‌های مؤثر در تعداد دانه در بوته است.

#### تعداد دانه در هر کپسول

نتایج تجزیه واریانس جدول (۲)، بیانگر اثر معنی دار اکوتیپ بر تعداد دانه در کپسول بود. اکوتیپ شماره ۲۵ (توده محلی روستای تازه‌کند ۱ هریس) با میانگین ۳/۶۶ دانه در کپسول بیشترین تعداد دانه در کپسول را به خود اختصاص داد، بعد از آن بیشترین تعداد دانه در کپسول مشترکاً مربوط به اکوتیپ شماره ۷ (توده محلی شهرستان کلوانق ۶) و اکوتیپ شماره ۴۶ (کردستان ۲) با میانگین ۳/۵۶ دانه بود، در حالی که اکوتیپ شماره ۴۳ (روستای مجره خلخال) با میانگین ۱/۹۷ دانه کمترین تعداد دانه در کپسول را داشت (شکل ۲). تعداد دانه در کپسول با ثبات‌ترین جزء عملکرد در حبوبات است، زیرا تعداد

نقشه کاشت کرت بندی شده، تعداد ۱۴۷ کرت به مساحت ۱/۵ مترمربع ایجاد شدند، البته عملیات تسطیح خاک داخل کرت‌ها هم صورت گرفت. عملیات کاشت بذور در سال اول در اواسط اردیبهشت‌ماه سال ۹۵ و در سال دوم در تاریخ اوایل اردیبهشت‌ماه سال ۹۶ انجام گرفت؛ بدین ترتیب که از هر اکوتیپ ۱۵۰ عدد معادل ۰/۷۲ گرم وزن کرده و جدا شد. از آنجایی که در هر کرت بذرها در ۵ ردیف کاشته می‌شود، ۱۵ پاکت از هر اکوتیپ به مقدار گفته شده اندازه‌گیری و آماده کاشت شد، عملیات کاشت به صورت دست‌پاش و در بستر مسطح انجام گرفت. هر کرت به مساحت ۱/۵ مترمربع (۱×۱/۵) می‌باشد که در هر کرت ۵ ردیف کاشت به طول ۱/۵ متر با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متری و فاصله بین بذور در روی ردیف ۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عمق کاشت در حدود ۲-۳ سانتی‌متر از سطح خاک در نظر گرفته شد. کودپاشی قبل از کاشت در هر کرت انجام گرفته و سپس به وسیله شن‌کش با خاک زراعی هر کرت به خوبی مخلوط می‌شود. میزان کودهای مورد استفاده براساس نیاز خاکی شامل اوره (۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و سوپرفسفات تریپل (۴۶ درصد فسفر) به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. تراکم کاشت بالنگوی شهری حدود ۵۰۰-۴۰۰ بذر در مترمربع بود، پس از کاشت روی بذرها به وسیله خاک نرم پوشانده شد.

#### عملیات داشت

بعد از کاشت به منظور تسهیل در جوانه‌زنی و سبز شدن، اولین آبیاری در سال اول در هفته سوم اردیبهشت و در سال دوم در هفته دوم اردیبهشت به صورت غرقابی انجام گرفت. آبیاری‌های بعدی به فاصله هر ۷ روز یکبار و به صورت کرتی انجام می‌شد. کنترل علف‌های هرز مزرعه به صورت وجین دستی و هر هفته انجام می‌گرفت. این عمل به خصوص در مراحل اولیه رشد گیاه به صورت مرتب انجام می‌گرفت.

#### عملیات برداشت، نمونه برداری و اندازه‌گیری صفات

##### مورد ارزیابی

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه بالنگوی شهری تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شد که در این انتخاب اثر حاشیه نیز منظور گردید. بعد از انتخاب، نمونه‌ها به

۲/۸۴ دانه و در اکوتیپ توده بومی کلوانق ۱۲ بود (Gholizadeh-Khajeh, 2017). براساس مطالعات انجام شده، تعداد دانه در کپسول معمولاً کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. در نتیجه به‌نظر می‌رسد بیشتر از ژنوتیپ متأثر شود (Auld, 1980; Pandey *et al.*, 1983; Xia, 1997).

سلول‌های تخم تقریباً در همه تخمدان‌ها برابر است، تعداد دانه در کپسول به‌طور قابل ملاحظه‌ای متأثر از شرایط تلقیح و موقعیت کپسول در گیاه است و روش‌های زراعی و شرایط آب‌وهوایی اختلاف کمی در تعداد دانه در کپسول ایجاد می‌کنند (Gholizadeh-Khajeh, 2017). در مطالعه‌ای روی اکوتیپ‌های بالنگوی شهری، بیشترین تعداد دانه در کپسول را

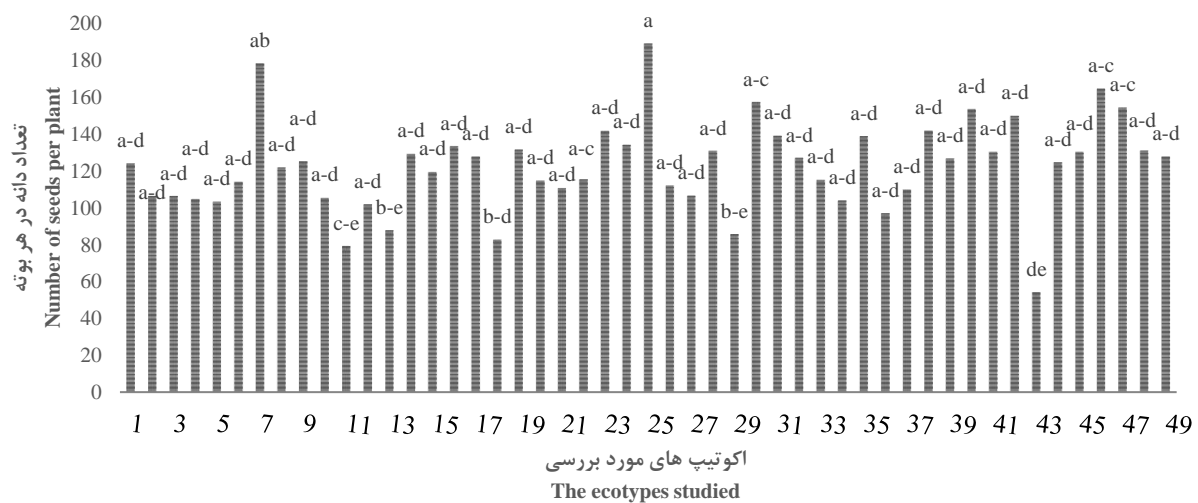
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

Table 2- Variance analysis of traits in 49 ecotypes of Dragon's head

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square				
		تعداد دانه در هر بوته Number of seeds per plant	تعداد دانه در هر کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds (g)	عملکرد دانه در تک بوته Seed yield per plant	شاخص برداشت دانه Seed harvest index
سال Year	1	570.01 <sup>ns</sup>	3.76 <sup>ns</sup>	0.6 <sup>ns</sup>	3436.1 <sup>ns</sup>	15.4 <sup>ns</sup>
خطای ۱ Error 1	4	2385.2	0.09	0.2	3298.9	87.6
اکوتیپ Ecotype	48	3760.7 <sup>**</sup>	0.71 <sup>**</sup>	0.3 <sup>**</sup>	3312.2 <sup>ns</sup>	68.1 <sup>**</sup>
اکوتیپ × سال Ecotype × Year	48	0.4 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	3306.6 <sup>ns</sup>	2.3 <sup>ns</sup>
خطای ۲ Error 2	192	1319.4	0.26	0.06	3307.4	27.1
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	29.3	16.53	5.2	13.9	15.7

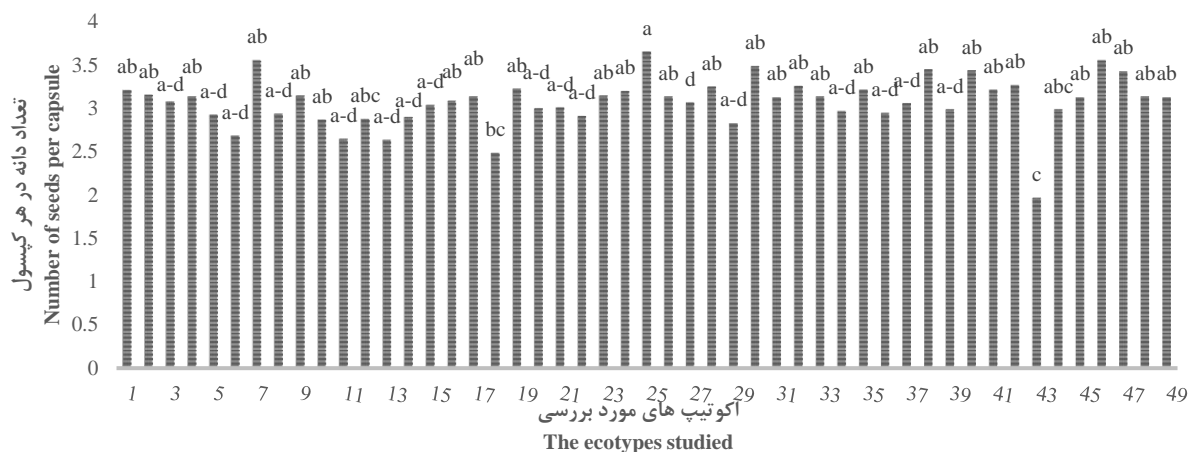
<sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> و <sup>\*</sup> به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار

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



شکل ۱- میانگین تعداد دانه در هر بوته در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

Figure 1- The average number of seeds per plant in 49 ecotypes of Dragon's head



شکل ۲- میانگین تعداد دانه در هر کپسول در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

Figure 2- The average number of seeds per capsule in 49 ecotypes of Dragon's head

اجزای مهم عملکرد دانه، وزن هزاردانه می‌باشد. بیشتر بودن وزن هزاردانه در کنار تعداد دانه در کپسول و تعداد دانه در بوته بالا، باعث افزایش عملکرد می‌شود. با این حال همبستگی بین وزن هزاردانه با عملکرد دانه در مقایسه با همبستگی بین سایر اجزای عملکرد و عملکرد دانه، بسیار ناچیز و قابل اغماض است. معمولاً بین تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه رابطه معکوس وجود دارد و بوته‌هایی با تعداد دانه بیشتر، وزن هزاردانه کمتری دارند. این شرایط به ارتباط بین منبع و مخزن، میزان مواد فتوسنتزی، تعداد مخزن و نحوه تخصیص مواد فتوسنتزی وابسته است. همچنین احتمال می‌رود تفاوت در وزن هزاردانه برخی از اکوتیپ‌ها با هم ناشی از تفاوت در ویژگی‌های ژنتیکی آن‌ها باشد. با این حال نظر قطعی در این مورد نیازمند مطالعه تنوع ژنتیکی آن‌ها است.

### عملکرد دانه تک بوته

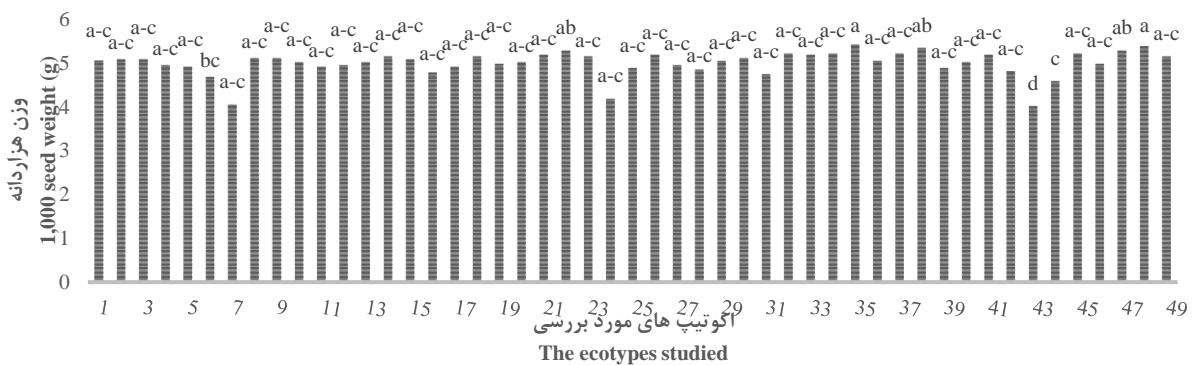
تجزیه واریانس عملکرد دانه تک بوته نشان داد که اثر اکوتیپ بر این صفت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه تک بوته مربوط به اکوتیپ شماره ۲۵ (توده محلی روستای تازه‌کند ۱ هریس) با میانگین ۱/۰۵ گرم بود که با اکوتیپ شماره ۷ (توده محلی کلوانق ۶) با میانگین ۱/۰۳ گرم از نظر آماری اختلاف چندانی نداشت، در حالی که کمترین عملکرد دانه تک بوته در اکوتیپ شماره ۴۳ (روستای مجره خلخال) با میانگین ۰/۳۸ گرم مشاهده گردید (شکل ۴). اصلی‌ترین و مهم‌ترین هدف در آزمایشات مزرعه‌ای

### وزن هزاردانه

اکوتیپ‌های مورد بررسی از نظر وزن هزاردانه در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). به طوری که اکوتیپ شماره ۳۵ (روستای پارام ۲ هریس) با میانگین ۵/۴۲ گرم بیشترین و اکوتیپ شماره ۴۳ (توده محلی روستای مجره خلخال) با میانگین ۴/۰۲ گرم کمترین وزن هزاردانه را داشتند (شکل ۳). براساس مطالعه‌ای، همبستگی بین وزن هزاردانه با عملکرد دانه در مقایسه با همبستگی بین سایر اجزای عملکرد و عملکرد دانه، بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی است (Abdoli, 2017). با توجه به اینکه وزن هزاردانه یکی از اجزای مهم عملکرد دانه می‌باشد، تاریخ‌های مختلف کاشت در گیاه دارویی کتان به طور معنی‌داری بر وزن هزاردانه تأثیرگذار می‌باشد، به طوری که با تأخیر در کاشت، وزن هزاردانه کاهش می‌یابد (Gholizadeh-Khajeh, 2017). وزن هزاردانه مستقیماً تحت تأثیر جریان مواد فتوسنتزی بعد از گرده‌افشانی است، این مواد می‌توانند از فتوسنتز جاری گیاه و یا انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه‌ها، برگ‌ها و یا کپسول‌ها تأمین شوند (Abdoli, 2017). در بررسی توده‌های بومی بالنگوی شهری در تبریز، اکوتیپ شماره ۱۶ (بومی تبریز ۷) بیشترین وزن هزاردانه را به خود اختصاص دادند (Gholizadeh-Khajeh, 2017). در بررسی دیگر بر روی ۶ رقم بالنگوی شهری انجام شد، رقم شاهین‌دژ با متوسط ۵/۰۱ گرم و رقم اهر با میانگین ۴/۵ گرم به ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن هزاردانه بودند (Samadi et al., 2007). یکی از

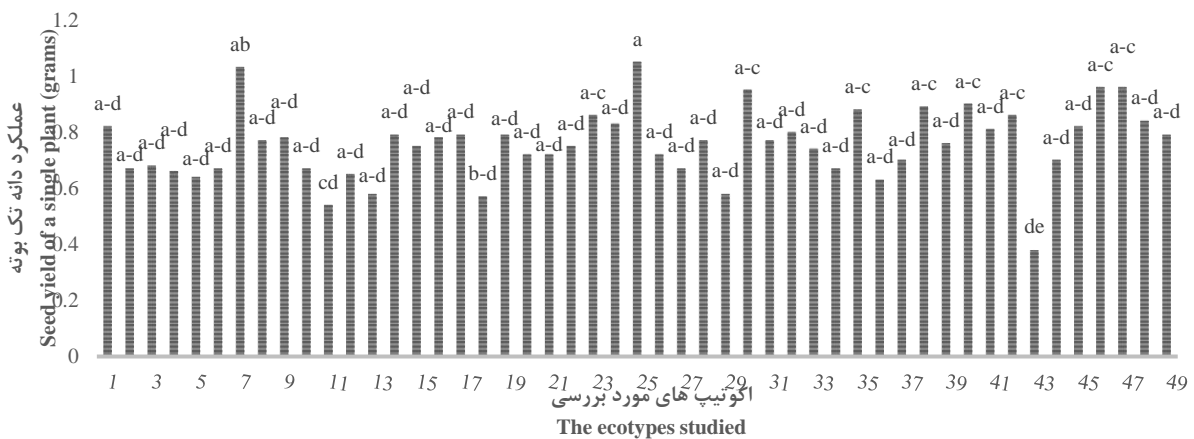
عملکرد دانه ۱۳۰۰ تا ۱۸۰۰ کیلوگرم در هکتار را برای شرایط آبی در گیاه بالنگوی شهری گزارش شد (Buisman *et al.*, 1999). در یک بررسی که بر روی ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری در تبریز انجام شد، اکوتیپ شماره ۱۴ (توده بومی تبریز ۳) با میانگین ۰/۸۷۵ گرم، بیشترین و اکوتیپ شماره ۴۲ (توده بومی روستای ارلان مرنند) با میانگین ۰/۱۶۲ گرم، کمترین عملکرد دانه تک بوته را داشتند (Gholizadeh-Khajeh, 2017).

رسیدن به حداکثر عملکرد است. عملکرد گیاه درحقیقت پاسخی به میزان کارایی آب در مراحل مختلف رشد گیاه و به‌کارگیری آب در سرتاسر فصل رشد گیاه است. درحقیقت تولید دانه یک پدیده پیچیده بوده که عوامل چندی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر آن مؤثرند. عملکرد دانه برآیند عواملی مانند طول دوره رشد گیاه، سرعت، مدت و ارتباط بسیاری از فرآیندهای حیاتی در مراحل نمو گیاهی است. در مطالعه‌ای،



شکل ۳- میانگین وزن هزاردانه در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

Figure 3- The average weight of 1,000 seeds in 49 ecotypes of Dragon's head



شکل ۴- میانگین عملکرد دانه تک بوته در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

Figure 4- The average seed yield of a single plant in 49 ecotypes of Dragon's head

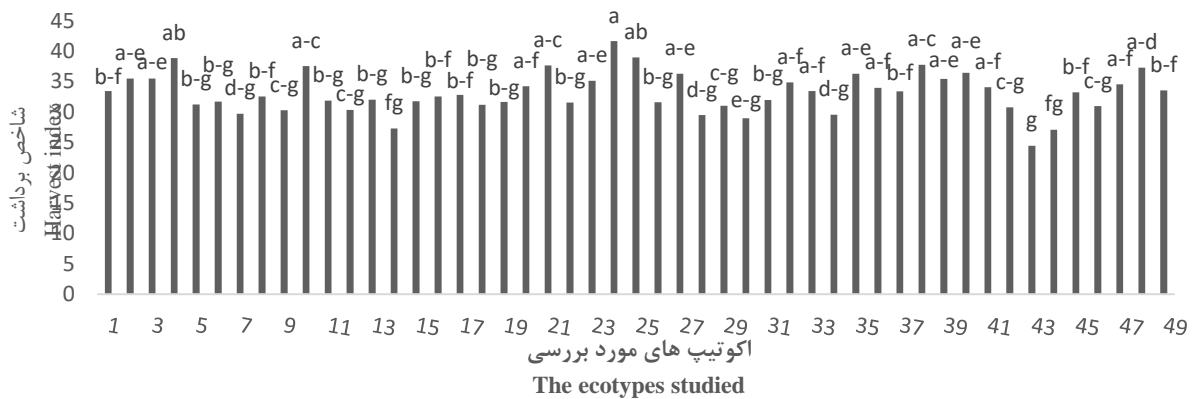
رتبه‌های بعدی قرار داشتند. اکوتیپ شماره ۴۳ (روستای مجره خلخال) با میانگین ۲۴/۴۳ درصد در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت (شکل ۵). شاخص برداشت از نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک محاسبه می‌شود که به نام ضریب برداشت نامیده می‌شود، که نشان‌دهنده انتقال ماده خشک به اندام اقتصادی گیاه (دانه) است که برداشت می‌شود (Gholizadeh-Khajeh, 2017). به عبارتی شاخص برداشت بیان‌کننده نسبت

### شاخص برداشت دانه

شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر اکوتیپ قرار گرفت (جدول ۲). اکوتیپ شماره ۲۴ (توده محلی کلوانق ۱۴) با میانگین ۴۱/۶۴ درصد بیشترین شاخص برداشت را داشت. اکوتیپ‌های شماره ۲۵ (توده محلی روستای تازه‌کند ۱ هریس) با میانگین ۳۸/۹۶ درصد و شماره ۴ (توده محلی کلوانق ۴) با میانگین ۳۸/۸۶ درصد به‌ترتیب در

بازرزش است انتقال می‌یابد و علاوه بر آن، مازاد ماده خشک بایستی در مراحل نهایی رسیدن محصول از قسمت‌های غیرقابل برداشت، به فرآورده‌های قابل عرضه به بازار منتقل گردد. در مطالعه‌ای بیان شد که ارتفاع در گیاه با شاخص برداشت نسبت عکس دارد (Sarmadniya and Koocheki, 2013).

توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیکی می‌باشد. بنابراین شاخص برداشت از توانایی گیاه برای اختصاص منابع بین ساختار رویشی و زایشی گیاه حکایت دارد (Carruthers *et al.*, 2000). نکته قابل اهمیت این است که پس از تشکیل قسمت‌های قابل برداشت، تمام ماده خشک مازاد بر نیاز یک گیاه به قسمتی از آن که از نظر اقتصادی



شکل ۵- میانگین شاخص برداشت دانه در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

Figure 5- Average grain harvest index in 49 ecotypes of Dragon's head

داشتند. باتوجه به نتایج حاصل از این گروه‌بندی، گروه دوم که شامل ۲۲ اکوتیپ بود از نظر عملکرد و صفات مرتبط با آن نسبت به گروه اول برتر بود. اکوتیپ‌هایی مانند اکوتیپ شماره ۸، ۲۶ و ۴۷ را که عملکرد دلنه، تعداد دلنه در بوته و تعداد دلنه در هر کیسول، بالاتری داشتند به خود اختصاص داد. در مطالعه‌ای به منظور گروه‌بندی ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و براساس عملکرد دانه ۲ گروه حاصل گردید که گروه اول شامل ۲۸ اکوتیپ و گروه دوم شامل ۲۱ اکوتیپ بودند (Abdoli, 2017)، درحالی که در یک مطالعه دیگر، ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری در ۳ خوشه قرار گرفتند که خوشه اول دارای ۶ اکوتیپ، خوشه دوم ۲۵ اکوتیپ و خوشه سوم ۱۸ اکوتیپ را شامل شد (Gholizadeh-Khajeh, 2017).

اکوتیپ‌های موجود در هر گروه، براساس میزان قرابت صفات مختلف دسته‌بندی شدند. در نتیجه اکوتیپ‌های هر گروه شباهت زیادتری به همدیگر دارند. اگر هدف انتخاب اکوتیپ‌هایی با عملکرد دلنه بالا باشد، گروه دوم مناسب‌تر می‌باشد، ولی گروه اول از نظر عملکرد دانه ضعیف‌تر هستند.

## تجزیه خوشه‌ای براساس عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن

گروه‌بندی اکوتیپ‌های بالنگوی شهری براساس عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن که در تجزیه رگرسیون معنی‌دار شدند، با استفاده از روش ward بر مبنای فاصله اقلیدسی در شکل ۶ آمده است. نتایج تعیین محل برش دندروگرام حاصل نیز با استفاده از نتایج تجزیه تابع تشخیص در جدول ۳ درج شده است.

گروه اول شامل اکوتیپ‌های ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۹، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۳۴، ۳۵، ۳۷، ۳۸، ۴۰، ۴۴، ۴۵ بود. اکوتیپ‌های این گروه در تمامی صفات دارای انحراف منفی و ارزش پایین‌تر از میانگین کل بود. گروه دوم نیز اکوتیپ‌های ۲، ۸، ۱۰، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۹، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۶، ۳۹، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹ را شامل شد. درصد انحراف از میانگین برای کلیه صفات در این گروه مثبت به دست آمد (جدول ۴). بنابراین توجه به این صفات در برنامه‌های اصلاحی می‌تواند تأثیر بسزایی در گزینش اکوتیپ مناسب داشته باشد. همچنین صفات تعداد دانه در بوته و تعداد دانه در کیسول همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه

جدول ۳- تجزیه تابع تشخیص برای تعیین محل برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

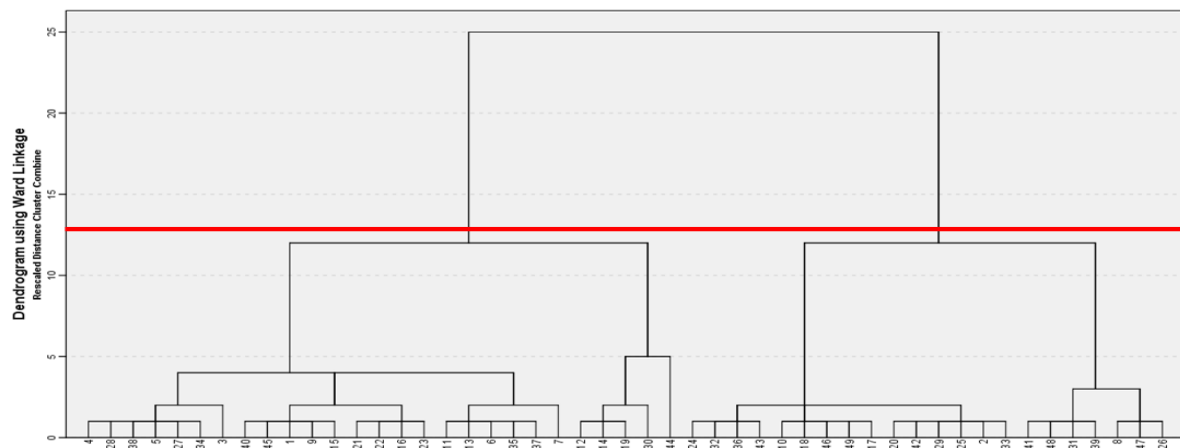
Table 3- Analysis of the detection function to determine the cutting location of the dendrogram resulting from the cluster analysis for seed yield and its related traits in 49 ecotypes of Dragon's head

گروه Group	سطح احتمال Probability level	Chi-square	Wilks' lambda
2	$4.85 \times 10^{-6}$	63.412	0.162
3	0.056	28.104	0.442
4	0.051	27.621	0.445
5	0.047	26.535	0.448

جدول ۴- میانگین گروه‌ها و درصد انحراف آن‌ها از میانگین کل صفات در ۲ خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن

Table 4- The average of the groups and the percentage of their deviation from the average of the total traits in 2 clusters resulting from the cluster analysis based on grain yield and its related traits

گروه Group	تعداد دانه در هر		
	کپسول Number of seeds per capsule	تعداد دانه در هر بوته Number of seeds per plant	
The first group includes ecotypes 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 21, 22, 23, 27, 28, 30, 34, 35, 37, 38, 40, 44, 45	میانگین Average	2.91	106.10
	درصد انحراف از میانگین کل Percentage deviation from the total average	-5.52	-13.36
	میانگین Average	3.29	142.55
The second group includes ecotypes 2, 8, 10, 17, 18, 20, 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 36, 39, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49	میانگین Average	6.81	16.40
	درصد انحراف از میانگین کل Percentage deviation from the total average	3.08	122.46
	میانگین کل Total average		



شکل ۶- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری براساس عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن و با استفاده از روش Ward

Figure 6- Dendrogram resulting from the cluster analysis of 49 ecotypes of Dragon's head based on seed yield and related traits using Ward's method

### تجزیه علیت عملکرد دانه تک‌بوته

تجزیه علیت عملکرد دانه جدول ۵ نشان داد که تعداد دانه در هر بوته و تعداد دلنه در هر کپسول اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد دانه داشتند، ولی اثر مستقیم تعداد دانه در هر بوته

براساس نتایج تجزیه رگرسیون، برای صفاتی که در مدل رگرسیونی باقی ماندند، تجزیه علیت انجام شد. نتایج حاصل از

بالا در برنامه‌های اصلاحی مورد توجه قرار گیرد. به‌طور کلی نتایج همبستگی، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت نشان داد که صفات تعداد دانه در بوته و تعداد دانه در هر کپسول مهمترین اجزای مؤثر بر افزایش عملکرد دانه تک‌بوته می‌باشند. براساس تحقیقات انجام شده، بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد بذر را مربوط به ارتفاع بوته و وزن هزاردانه گزارش کردند (Turk and Çelik, 2006). در مطالعه‌ای بر روی اکوتیپ‌های بالنگوی شهری، تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه و قطر ساقه به‌طور مستقیم باعث افزایش عملکرد دانه شدند، درحالی‌که تعداد دانه در کپسول اثر منفی بر عملکرد دانه داشت (Gholizadeh-Khajeh, 2017).

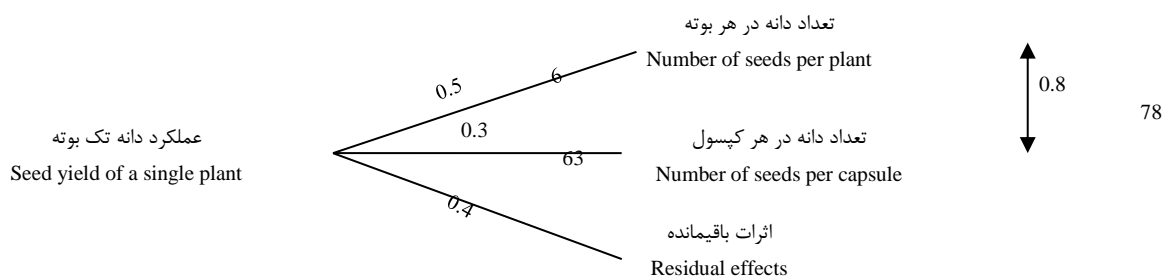
بیشتر از اثر مستقیم تعداد دانه در هر کپسول بود. مثبت بودن ضریب رگرسیونی این صفت با عملکرد دانه به این مفهوم است که با ثابت نگه‌داشتن سایر متغیرها، افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود، یعنی هرچه تعداد دانه در بوته بیشتر باشد عملکرد دانه نیز افزایش خواهد یافت. همبستگی مثبت و معنی‌دار صفت تعداد دانه در هر بوته، تعداد دانه در هر کپسول ( $r=0.878^{**}$ ) منجر به افزایش اثر غیرمستقیم تعداد دانه در هر کپسول از طریق تعداد دانه در بوته، بر عملکرد دانه شده است (شکل ۷). باتوجه به اثر مستقیم تعداد دانه در بوته بر عملکرد دانه تک‌بوته و اثر مثبت و غیرمستقیم تعداد دانه در هر کپسول می‌توان اظهار داشت که تعداد دانه در بوته می‌تواند به‌عنوان معیار مناسبی برای گزینش اکوتیپ‌هایی با عملکرد دانه

جدول ۵- تجزیه علیت عملکرد دانه با صفات مرتبط در اکوتیپ‌های بالنگوی شهری مورد مطالعه

Table 5- Causality analysis of seed yield with related traits in the studied Dragon's head ecotypes

صفات وارد شده به مدل Attributes entered into the model	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect through		ضریب همبستگی Correlation coefficient
		تعداد دانه در هر کپسول Number of seeds per capsule	تعداد دانه در هر بوته Number of seeds per plant	
تعداد دانه در هر بوته Number of seeds per plant	0.56	0.318	—	0.879
تعداد دانه در هر کپسول Number of seeds per capsule	0.363	—	0.491	0.855

اثر باقیمانده ۰/۴ (Residual effect: 0.4)



شکل ۷- دیاگرام تجزیه علیت عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در اکوتیپ‌های بالنگوی شهری

Figure 7- Causality analysis diagram of grain yield and its related traits in Dragon's head ecotypes

تجزیه رگرسیون، متغیرهایی که دارای تأثیر معنی‌دار بر عملکرد دانه تک بوته بودند و در مدل رگرسیونی باقی ماندند، عبارت بودند از صفات تعداد دانه در هر بوته، تعداد دانه در هر کپسول. ضریب تبیین تصحیح‌شده در مدل برابر با ۰/۹۵۹ بود که بیانگر تبیین ۹۵/۹ درصد تغییرات موجود در عملکرد دانه تک بوته به‌وسیله رابطه خطی صفات باقی‌مانده در مدل رگرسیونی بود

### تجزیه رگرسیون عملکرد دانه تک بوته به روش گام‌به‌گام (Step wise)

جهت تشخیص صفات تأثیرگذار بر عملکرد دانه تک بوته، تجزیه رگرسیون چندگانه به روش گام‌به‌گام صورت گرفت که نتایج مطابق جدول ۶ می‌باشد. رگرسیون با ۲ درجه‌آزادی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. باتوجه به جدول نتایج

متغیرها به مدل آورده شده است. اولین متغیر وارد شده به مدل، تعداد دانه در هر بوته بود که به‌تنهایی ۹۸/۹ درصد تغییرات عملکرد را توجیه کرد. دومین متغیر، تعداد دانه در هر کپسول که با وارد شدن به مدل و افزایش ۰/۷ درصدی، ضریب تبیین را به ۰/۹۹۶ رساند. باتوجه به موارد اشاره‌شده بیشترین ضریب رگرسیون متعلق به تعداد دانه در تک بوته بود. ضریب تبیین تصحیح‌شده در مدل برازش‌یافته در یک مطالعه برابر با ۰/۹۹۶ بود (Abdoli, 2017) که همین ضریب در مدل برازش‌یافته در مطالعه دیگر برابر با ۰/۹۴۹ ذکر شده است (Gholizadeh-Khajeh, 2017). همچنین در یک مطالعه، مهم‌ترین صفات تأثیرگذار بر عملکرد دانه تک‌بوته بالنگوی شهری که در مدل رگرسیونی باقی ماندند شامل تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه و تعداد دانه در کپسول بودند (Gholizadeh-Khajeh, 2017).

(جدول ۷). به‌طور کلی نتایج همبستگی، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت نشان داد که صفات تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه مهم‌ترین اجزای مؤثر بر افزایش عملکرد دانه هستند (Abdoli, 2017). در بررسی سه توده بومی بالنگوی شهری، صفات درصد سبزی و ارتفاع بوته به مدل رگرسیونی گام‌به‌گام وارد شده و ۷۴/۶ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه توجیه شد (Shahbazi et al., 2012). براساس تفسیر رگرسیون خطی چندگانه گام‌به‌گام، حداکثر تغییر در عملکرد دانه بالنگوی شهری به تغییرات ناشی از شاخص برداشت مربوط بوده است، در نتیجه شاخص برداشت می‌تواند برای گزینش در برنامه‌های اصلاحی باهدف بهبود عملکرد دانه بالنگوی شهری در شرایط نیمه‌خشک در نظر گرفته شود. در جدول ۷ مقادیر مربوط به ضرایب رگرسیون جزء استاندارد و ترتیب وارد شدن

جدول ۶- تجزیه واریانس مربوط به رگرسیون چندگانه به روش گام‌به‌گام برای عملکرد دانه تک‌بوته در اکوتیپ‌های بالنگوی شهری

Table 6- Variance analysis related to multiple regression by stepwise method for single plant seed yield in Dragon's head ecotypes

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
Sources of variation	Degrees of freedom	Mean square
رگرسیون	2	0.579**
انحراف از رگرسیون	46	0.006
کل	48	-
ضریب تبیین تصحیح‌شده		0.996
R <sup>2</sup> Adj		

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

\*\*significant at the 1% probability level

جدول ۷- تجزیه رگرسیون عملکرد دانه (متغیر وابسته) با سایر صفات (متغیرهای مستقل) در اکوتیپ‌های بالنگوی شهری

Table 7- Regression analysis of grain yield (dependent variable) with other traits (independent variables) in Dragon's head ecotypes

متغیر وابسته	R <sup>2</sup> Adj	ضریب رگرسیون استاندارد شده	
		Standardized regression coefficient (β)	
		تعداد دانه در هر کپسول	تعداد دانه در هر کپسول
Dependent variable	R <sup>2</sup> Adj	Number of seeds per capsule	Number of seeds per capsule
عملکرد دانه	0.996	0.363	0.56
Seed yield			

نتایج تجزیه رگرسیون و تجزیه علیت عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته و تعداد دانه در کپسول، اثر مستقیم مثبت بر عملکرد دانه تک بوته داشت. بر پایه روش Word و براساس عملکرد دانه، اکوتیپ‌های بالنگوی شهری در دو گروه قرار گرفتند. گروه دوم که شامل اکوتیپ‌های ۲، ۸، ۱۰، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۴، ۲۵،

## نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج مقایسه میانگین، اکوتیپ شماره ۳۵ (روستای پارام ۲ هریس) و اکوتیپ شماره ۴۸ (زنجان) به ترتیب با میانگین ۵/۴۱۸ گرم و ۵/۳۸۵ گرم بالاترین وزن هزاردانه را در بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه به خود اختصاص دادند. براساس

مناسب‌ترین اکوتیپ‌ها برای بذرگیری به زارعین شهر تبریز توصیه می‌شوند.

### سپاسگزاری

از دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز به‌خاطر استفاده از آزمایشگاه‌ها و تجهیزاتشان تشکر و قدردانی می‌شود.

### تعارض منافع

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

۴۹، ۴۸، ۴۷، ۴۶، ۴۳، ۴۲، ۴۱، ۳۹، ۳۶، ۳۳، ۳۲، ۳۱، ۲۹، ۲۶ بود. درصد انحراف از میانگین برای کلیه صفات در این گروه مثبت بود؛ بنابراین اکوتیپ‌های این گروه از نظر عملکرد و صفات مرتبط با آن نسبت به گروه اول برتر بوده و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی و گزینش اکوتیپ‌های مناسب از لحاظ عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته و تعداد دانه در کپسول استفاده کرد. باتوجه به نتایج تجزیه‌های آماری مختلف برخی صفات مهم با عملکرد دانه می‌توان گفت که انتخاب و کشت اکوتیپ‌های شماره ۳۷ (روستای الوار، بستان‌آباد)، شماره ۲۳ (تبریز ۴)، شماره ۲۴ (توده محلی کلوانق ۱۴)، شماره ۲۵ (توده محلی تازه‌کند ۱ هریس) و شماره ۷ (کلوانق ۶) به‌عنوان

### References

- Abdoli, S., 2017. Comparison of yield and some qualitative and quantitative characteres of common ecotypes of *Lallemantia* (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey). Master's thesis in the field of agriculture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. [In Persian].
- Akbarpour, A., Kavooosi, B., Hosseinfarahi, M., Tahmasebi, S. and Gholipour, S., 2021. Evaluation of yield and phytochemical content of different Iranian garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(4), pp.385-400. doi: 10.22059/ijhst.2020.303657.373
- Auld, D.L., Bettis, B.L., Crock, J.E. and Kephart, K.D., 1980. Planting date and temperature effects on germination, emergence and seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agronomy*, 80, pp.909-914. doi: 10.2134/agronj1988.00021962008000060014x
- Buisman, G.J.H., Overeem, A. and Cuperus, F.P., 1999. Synthesis of epoxidized novel fatty acids for use in paint applications. Chapter 8, T.P. Derksen J. & Knothe G. (Eds). Recent developments in the synthesis of fatty acid derives. The American oil chemist's society. pp.250.
- Carruthers, K., Prithiviraj, B., Fe, Q., Cloutier, D., Martin, R. and Smith, D., 2000. Intercropping corn with Soybean, lupin and forages: yield component responses. *European Journal of Agronomy*, 12(2), pp.103-115. doi: 10.1016/s1161-0301(99)00051-9
- Fakhar, F., Biabani, A., Zarei, M. and Moghadam, A.N., 2019. Effects of cultivar and planting spacing on yield and yield components of garlic (*Allium sativum* L.). *Italian Journal of Agronomy*, 14(2), pp.108-113. doi: 10.4081/ija.2019.1303
- Gholizadeh-Khajeh, B., 2017. Evaluation of agronomic characteristics and performance of 49 landraces *Lallemantia* (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey) collected from different regions of Iran. Master's thesis in the field of agriculture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. [In Persian].
- Jiang, Y. and Huang, N., 2001. Drought and heat stress injury to two cool season fufgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41, pp.436-442. doi:

**10.2135/cropsci2001.412436x**

- Moslemi, E., Akbarian, M., Ravari, S.Z., Yavarzadeh, M.R. and Modafteh-Behzadi, N., 2023. Investigation of the effect of drought stress on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes in climatic conditions of Kerman Province. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 10(4).
- Nezamivand Chegini, R., Benakashani, F., Alahdadi, I. and Soltani, E., 2021. Quantification of salinity stress and drought effects on fourteen ecotypes of black caraway (*Nigella sativa* L.) medicinal plant. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1), pp.211-220. [In Persian]. doi: **10.22077/escs.2020.2653.1688**
- Pandey, R.K., Herrera, W.A.T. and Pendelton, J.W., 1983. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. I. Yield and yield components. *Journal of Agronomy*, 76, pp.549-553. doi: **10.2134/agronj1984.00021962007600040009x**
- Rashidzadeh, H., Mosavi, F.S., Shafiee, T., Adyani, S.M., Eghlima, G., Sanikhani, M. and Ramazani, A., 2023. Anti-Plasmodial Effects of Different Ecotypes of *Glycyrrhiza glabra* Traditionally Used for Malaria in Iran. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 33(2), pp.310-315. doi: **10.1007/s43450-022-00353-8**
- Samadi, S., Khaiyamian, M. and Hasanzadeh-Goorut Tappe, A., 2007. A comparison of important physical and chemical characteristics of six *Lallemantia iberica* (Bieb.) Fish. et Mey. Varieties. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6, pp.387-390. doi: **10.3923/pjn.2007.387.390**
- Sarmadniya, G. and Koocheki, A., 2013. Physiology of Crop Plants. Publication of Jihad Daneshgahi Mashhad, Mashhad, Iran. [In Persian].
- Shafagh-Kolvanagh, J., Dehghanian, H., Dabbagh Mohammadi-Nasab, A., Moghaddam, M., Raei, Y., Zehtab-Salmasi, S., Samimifar, P., Abdoli, S. and Gholizadeh-Khajeh, B., 2022. Machine learning-assisted analysis for agronomic dataset of 49 Balangu (*Lallemantia iberica* L.) ecotypes from different regions of Iran. *Scientific Reports*, 12(1), pp.19237. doi: **10.1038/s41598-022-23335-1**
- Shahbazi, S., Alizadeh, K. and Fathirezaie, V., 2012. Study on planting possibility of Dragon's head (*Lallemantia iberica* F. & C. M.) landraces in cold rainfed conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 1(2), pp.82-95. [In Persian]. doi: **10.22092/idaj.2013.100159**
- Shaltouki, M., Nazeri, V., Shokrpour, M., Tabrizi, L. and Aghaei, F., 2021. Phenotypic and genotypic assessment of some Iranian *Ziziphora clinopodioides* Lam. Ecotypes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(3), pp.645-660. doi: **20.1001.1.16807073.2021.23.3.4.1**
- Sirus Mehr, A.R., Shakiba, M.R., Alyari, H., Tourchi, M. and Dabbagh Mohammadi Nasab, A., 2008. Effect of drought stress and density on yield and some morphological characteristics of autumn safflower cultivars. *Asian Journal of Agronomy and Horticulture*, 78, pp.80-87. doi: **10.5267/j.msl.2012.06.001**
- Tetio-Kagho, F. and Gardner, F.B., 1988. Responses of maize to plant population density, I. Canopy development, light relationships, and vegetative growth. *Agronomy Journal*, 80, pp.930-935. doi: **10.2134/agronj1988.00021962008000060018x**
- Turk, M. and Çelik, N., 2006. Correlation and path coefficient of seed yield components in the Sainfoin (*Onobrichis sativa* L.). *Journal of Biological Sciences*, 6, pp.758-762. doi: **10.3923/jbs.2006.758.762**

Xia, M.Z., 1997. Effect of soil drought during the generative development phase on seed yield and nutrient uptake of faba bean (*Vicia faba* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*, 48, pp.447-451. **doi:** **10.1071/cp22316**

## Investigating the agronomic and functional traits of some ecotypes of the Dragon's head medicinal plant (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey) in East Azarbaijan province

Jalil Shafagh-Kolvanagh<sup>1\*</sup>, Mina Amani<sup>2</sup>, Payvand Samimifar<sup>3</sup>, Adel Dabbagh-Mohammadi-Nasab<sup>1</sup>, Yaegooob Raee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Plant Ecophysiology Department, Field of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup> Ph.D Student of Physiology of Production and Post-Harvest of Horticultural Plants, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>3</sup> Ph.D in Crop Physiology, Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

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

Received: 22 August 2023 Accepted: 5 November 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.412878.1370

### Abstract

**Introduction:** Considering the growing human population and the loss of environmental moderation, it is essential to use effective scientific methods to produce as many crops as possible and create more diversity in them. Sustainable agriculture is the most beneficial way to use the sun's energy and convert it into agricultural products without destroying the soil, water and environment. The global approach to the use of medicinal plants and natural compounds in the pharmaceutical, cosmetic-sanitary and food industries, followed by the attention of the people, officials and domestic industries to the use of medicinal and aromatic plants, creates an urgent need for extensive basic and applied research. It shows in this context. Medicinal plants are one of the most valuable resources in Iran's wide range of natural resources, which can play an important role in society's health, job creation, and non-oil exports if scientifically recognized, cultivated, developed, and exploited correctly. The diversity of climate and different ecological conditions have caused the diversity and richness of medicinal plants throughout Iran. The need for comprehensive research and correct utilization of these plants is very necessary, especially when the world's use of medicinal plants in the pharmaceutical, cosmetic-health and food industries has accelerated. In this regard, in this research, it has been tried to evaluate the ecotypes of the common Dragon's head in the region in terms of performance and performance components, and identify and introduce the most suitable ecotypes for the region and, if necessary, in the improvement programs. be noticed.

**Materials and Methods:** In order to evaluate the performance and components of performance of 49 ecotypes of Dragon's head (Gare Zarak) collected from different regions of the country, a research was conducted in the form of randomized complete block design with 3 replications during 1995 and 1996 in the research farm of Tabriz University's Faculty of Agriculture. The most important traits measured were the number of seeds per capsule, number of seeds per plant, thousand seed weight, seed yield and harvest index.

**Results and Discussion:** The obtained results showed that the ecotypes showed significant differences with each other in most of the studied traits. Ecotype No. 37 (Alvar Village, Bostan-Abad) was highly superior in terms of many traits, especially in terms of grain yield. The results of correlation, regression and causality analyzes showed that the number of seeds per plant and the number of seeds per capsule had the highest correlation with seed yield and are considered effective components in increasing seed yield. The highest correlation coefficient (0.879) was observed between the number of seeds per plant and the seed yield of a single plant. Based on the cluster analysis, ecotypes were grouped into two separate clusters based on seed yield and related traits, the second group included 22 ecotypes with the highest value in terms of traits such as number of seeds per plant and number of seeds per capsule. Based on the results of this research, ecotypes No. 37

(Alwar Bostan-Abad village), 23 (Tabriz 4) and 24 (Kalvanagh 14) in terms of seed yield traits and ecotypes No. 14 (Tabriz 3), 44 (Lilab village, Varzeghan) and 37 (Alvar Village, Bostanabad) were recognized as the most appropriate and compatible ecotypes for Tabriz city in terms of dry fodder yield.

**Conclusion:** Based on the average comparison results, ecotype No. 35 (Param 2 Haris village) and ecotype No. 48 (Zanjan) have the highest 1000 seed weight among the studied ecotypes with an average of 5.418 grams and 5.385 grams, respectively. They gave. Based on the results of regression analysis and causality analysis of seed yield, the number of seeds per plant and the number of seeds per capsule had a direct positive effect on the seed yield of a single plant. Based on the Word method and based on grain yield, Dragon's head ecotypes were divided into two groups. The second group includes ecotypes 2, 8, 10, 17, 18, 20, 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 36, 39, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49. Was. The percentage of deviation from the average for all traits in this group was positive; Therefore, the ecotypes of this group are superior to the first group in terms of performance and traits related to it, and they can be used in breeding programs and selection of suitable ecotypes in terms of seed yield, number of seeds per plant and number of seeds per capsule. According to the results of various statistical analyzes of some important traits with seed yield, it can be said that the selection and cultivation of ecotypes No. 37 (Alvar village, Bostanabad), No. 23 (Tabriz 4), No. 24 (Kluvanq local mass 14), No. 25 (Tashe local mass) Kend 1 Harris) and No. 7 (Kelwanq 6) are recommended to the farmers of Tabriz as the most suitable ecotypes for sowing.

**Keywords:** Dry fodder, Harvest index, Seed yield, Thousand seed weight

## اثر مصرف دیر هنگام منابع مختلف نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر عملکرد و کیفیت دانه جو (*Hordeum vulgare* L.)

نوراحمد عرب<sup>۱</sup>، متین جامی معینی<sup>۲\*</sup>، حمید مروی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

\* مسئول مکاتبه: [mat\\_jami@iaua.ac.ir](mailto:mat_jami@iaua.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.367597.1283

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۶

### چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی دیر هنگام نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و کیفیت دانه جو، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در سبزوار انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل محلول پاشی نیتروژن در پنج سطح: عدم محلول پاشی و محلول پاشی با اوره، نیترات آمونیوم، سولفات آمونیوم و نیترات کلسیم به میزان ۳ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و همچنین محلول پاشی پتاسیم در دو سطح: محلول پاشی ۲/۵ کیلوگرم  $K_2O$  در هکتار از منبع سولفات پتاسیم و عدم محلول پاشی پتاسیم بودند. محلول پاشی منابع مختلف نیتروژن و پتاسیم در مرحله گرده افشانی گیاه جو انجام شد. نتایج نشان داد که محلول پاشی نیتروژن باعث افزایش طول سنبله، تعداد سنبلچه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و محتوای نیتروژن و پروتئین دانه گردید. بالاترین محتوای نیتروژن (۲/۱ درصد) و پروتئین دانه (۱۲/۴ درصد) در شرایط محلول پاشی سولفات آمونیوم مشاهده شد. محلول پاشی نیتروژن، نشاسته دانه را در مقایسه با شرایط عدم محلول پاشی کاهش داد. محلول پاشی پتاسیم همراه با اوره و نیترات آمونیوم، باعث افزایش معنی دار تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه در مقایسه با تیمارهای محلول پاشی این کودها به تنهایی گردید. بیشترین طول سنبله، تعداد سنبلچه بارور در سنبله، تعداد دانه، عملکرد دانه (۵۱۷۸ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۳۹۶۵ کیلوگرم در هکتار) در شرایط محلول پاشی توام اوره با سولفات پتاسیم مشاهده شد. با توجه به نتایج، محلول پاشی توأم سولفات پتاسیم و اوره در مرحله گرده افشانی جهت تولید عملکرد بهینه و افزایش محتوای پروتئین دانه گیاه جو قابل توصیه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پروتئین، مالت‌سازی، نشاسته، نیترات آمونیوم، نیترات کلسیم

### مقدمه

تقویت تولید تخم در مرغان تخم‌گذار به کار می‌رود (Khodabande, 2013). دانه جو به عنوان منبع متعادلی از پروتئین، نشاسته (انرژی) و فیبر شناخته می‌شود. ارزش تغذیه‌ای آن تحت تأثیر عواملی چون نوع رقم، شرایط اقلیمی و حاصلخیزی خاک قرار می‌گیرد. بالا بودن مقدار پروتئین در ارقامی از جو که برای تغذیه دام بکار می‌روند از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنابراین، بکارگیری روش‌هایی که ارزش غذایی و در راس آن مقدار پروتئین دانه جو را افزایش دهد، اهمیت شایانی در روش‌های مدیریتی تغذیه دام دارد (Hassani and Amiri, 2017).

در سال‌های اخیر، علاوه بر کیفیت علوفه‌ای، به کیفیت مالتینگ ارقام جو توجه خاص شده است (Shimelis and Mulatu, 2021). نتایج حاصل از بررسی ابعاد هندسی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ارقام گندم و جو در خراسان رضوی

جو با نام علمی *Hordeum vulgare* L. جزو قدیمی‌ترین گیاهان زراعی محسوب می‌شود که اهلی شده است. این گیاه از نظر میزان تولید، رتبه‌ی پنجم را در میان غلات در دنیا دارد، ولی از نظر اهمیت، پس از گندم، ذرت و برنج چهارمین غله مهم دنیا به شمار می‌رود (Cozzolino et al., 2015). از نظر علوفه‌ای به عنوان دومین گیاه در بین غلات در نظر گرفته می‌شود. جو با توجه به سازگاری بالا به شرایط اقلیمی مختلف و قابلیت رشد در خاک‌های فقیر و نامساعد، نیاز کم به رطوبت و مصارف مختلفی که دارد، مورد توجه خاص قرار دارد. دانه‌ی جو علاوه بر مصرف تغذیه‌ای انسان، در کشورهای فقیر مانند کشورهای شمال آفریقا، در صنعت داروسازی و کارخانجات نشاسته‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دانه این گیاه به عنوان منبع اصلی انرژی، پروتئین و فیبر برای نشخوارکنندگان و

خاک کم است. از طرف دیگر، مصرف نیتروژن به صورت محلول پاشی در طول دوره گلدهی، امکان جریان مستقیم مواد غذایی را به نقاطی که تقاضای متابولیکی بیشتری دارند، فراهم می‌سازد (Azizzadeh et al., 2018). در پژوهشی، اثر مصرف دیر هنگام نیتروژن به فرم نیترات آمونیوم به صورت خاک مصرف در مرحله خوشه‌دهی یا محلول پاشی در مرحله گلدهی بر گندم معمولی و دوروم بررسی گردید. نتایج نشان داد که مصرف دیر هنگام نیتروژن، کیفیت گندم معمولی و دوروم را افزایش داد. در این آزمایش، کاربرد خاکی نیتروژن باعث افزایش محتوای پروتئین دانه در هر دو محصول گردید (Blandino et al., 2015).

منابع مختلفی از نیتروژن برای کاربرد در کشت مزرعه‌ای و هیدروپونیک وجود دارند. اوره، سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم کودهای نیتروژنی عمده برای مصرف خاکی هستند، در حالی که نیترات کلسیم و نیترات پتاسیم منابع نیتروژنی هستند که معمولاً در سیستم‌های هیدروپونیک استفاده می‌شوند (Marschner, 2011). به طور کلی، برای بیشتر عناصر غذایی، تفاوت کمی بین اثرات منابع مختلف وجود دارد. با این حال، در مورد نیتروژن، اثرات شکل و منبع نیتروژن بر بسیاری از ویژگی‌های رویشی و زایشی گیاهان متفاوت و معنی‌دار می‌باشد. در بررسی اثر محلول پاشی منابع مختلف نیتروژن بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد ذرت، نتایج نشان داد که محلول پاشی دیر هنگام نیتروژن به فرم اوره، سولفات آمونیوم و کلسیم آمونیوم نیترات (Calcium ammonium nitrate)، توسعه فنولوژیکی را به تأخیر انداخت و رشد و عملکرد ذرت را بهبود بخشید. گیاهان محلول پاشی شده با سولفات آمونیوم، از تعداد دانه در بلال و عملکرد دانه بالاتری در مقایسه با سایر منابع نیتروژن برخوردار بودند (Amanullah et al., 2022).

علاوه بر نیتروژن، پتاسیم نیز از عناصر غذایی پرمصرفی است که به مقدار نسبتاً زیادی توسط گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مناطق خشک و نیمه خشک، بیشتر خاک‌ها با کمبود این دو عنصر غذایی مواجه می‌باشند. محلول پاشی این عناصر، بهترین روش کوددهی برای کنترل تلفات آنها از خاک و در دسترس قرار دادن بیشتر و آسان‌تر برای گیاهان و در نتیجه افزایش عملکرد و کیفیت دانه غلاتی نظیر گندم گزارش شده است (Gul et al., 2011).

نشان داد که دانه‌ی جو رقم ریحان را می‌توان در صنایع مالت‌سازی و به ویژه در صنایع قنادی به عنوان ماده‌ی اولیه مناسب استفاده نمود (Razghandi et al., 2016). کربوهیدرات و پروتئین دو فاکتور شیمیایی بسیار مهم در مالت‌سازی است که دارای اثر متقابل بر یکدیگر می‌باشند. در فرآیند مالت‌سازی، محتوای پروتئین بیش از حد بالا نامطلوب است، زیرا همبستگی معکوس قوی بین محتوای پروتئین و کربوهیدرات در دانه‌های جو وجود دارد و بنابراین، محتوای پروتئین بالا منجر به کاهش سطح عصاره مالت می‌شود (Fox et al., 2003).

تغذیه صحیح گیاهان یکی از عوامل مهم در بهبود کمی و کیفی محصول به شمار می‌رود. در فرآیند تغذیه گیاه باید هر عنصر به اندازه کافی و به طور صحیح در دسترس گیاه قرار گیرد تا بهره‌وری عنصر مصرفی افزایش یابد. بنابراین انجام مدیریت درست در کاربرد کودهای شیمیایی اهمیت بسزایی خواهد داشت. از جمله عوامل مؤثر در افزایش عملکرد جو، همانند گندم، تأمین عناصر غذایی به میزان مورد نیاز برای این محصول بوده و در بین عناصر غذایی، نیتروژن مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد می‌باشد. محتوای نیتروژن دانه فاکتوری تعیین‌کننده در کیفیت دانه جو است. افزایش نیتروژن، عملکرد دانه و میزان پروتئین جو را به صورت خطی یا درجه دوم افزایش می‌دهد. بنابراین، برای تولید اقتصادی جو در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مدیریت نیتروژن از اولویت ویژه‌ای برخوردار است و استفاده مناسب از کودهای نیتروژنی به منظور افزایش کمیت و کیفیت دانه غلات از ضروریات کشت این محصول می‌باشد (Shimelis and Mulatu, 2021).

از آنجا که نیتروژن مورد استفاده در خاک می‌تواند از طریق آبشویی و یا تصعید از دسترس گیاه خارج شود و عرضه نیتروژن از خاک، ریشه، گره‌ها یا ساقه‌ها به خاطر تنش‌های محیطی یا پیری محدود می‌شود، لذا محلول پاشی نیتروژن بر روی شاخ و برگ گیاه به ویژه در انتهای فصل رشد و مرحله زایشی می‌تواند عامل مؤثری در افزایش کیفیت و احتمالاً کمیت غلات دانه‌ای باشد (Asadi et al., 2015). در محلول پاشی، کارایی انتقال نیتروژن به دانه خیلی بالاست، زیرا که در این روش برگ‌ها مهم‌ترین اندام جذب‌کننده نیتروژن محسوب می‌شوند و تنها مقدار کمی از نیتروژن جذب شده به ریشه انتقال می‌یابد، همچنین قدرت ریشه در اواخر رشد در جذب مواد غذایی از

ارتفاع ۹۹۷ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجراء گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل محلول پاشی نیتروژن در پنج سطح: عدم محلول پاشی و محلول پاشی با کودهای اوره، نیترات آمونیوم، سولفات آمونیوم و نیترات کلسیم و همچنین محلول پاشی پتاسیم در دو سطح: محلول پاشی و عدم محلول پاشی سولفات پتاسیم بودند. نیتروژن و پتاسیم به صورت مکمل و در مرحله گرده افشانی گیاه جو مورد استفاده قرار گرفتند. میزان مصرف نیتروژن و پتاسیم در تیمارهای محلول پاشی، ۳ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منابع مختلف کودی و ۲/۵ کیلوگرم در هکتار  $K_2O$  از منبع سولفات پتاسیم پودری بود (Barut, 2019; Limon-Ortega et al., 2020). بر این اساس، ۶/۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۸/۸ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم، ۱۴/۳ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم، ۱۸/۷ کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم و ۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم برای محلول پاشی مورد استفاده قرار گرفت. حجم آب مصرفی جهت محلول پاشی، ۵۰۰ لیتر در هکتار بود. از رقم جو ریحان در این آزمایش استفاده گردید. بذر جو ریحان از جهاد کشاورزی شهرستان سبزوار تهیه شد. جو ریحان رقمی پرمحصول و زودرس است که مناسب کشت در مناطق معتدل با زمستان ملایم می‌باشد. ارتفاع بوته آن متوسط بوده و نسبت به خوابیدگی نیمه مقاوم است. این رقم نسبت به ریزش دانه نیمه مقاوم بوده و رنگ دانه آن روشن می‌باشد.

قبل از اجرای آزمایش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تعیین گردید. بدین منظور، از عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک نمونه برداری شد و جهت تعیین خصوصیات به آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی ارسال گردید. بر اساس نتایج، خاک محل انجام آزمایش دارای بافت لوم شنی با محتوای کربن آلی پایین، شوری متوسط و قلیائیت بالا بود (جدول ۱).

به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه جو، ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تربیل قبل از کاشت به خاک اضافه شده و با آن مخلوط گردید. کود نیتروژنی توصیه شده (۳۱۰ کیلوگرم اوره در هکتار) به نسبت مساوی در سه مرحله آب دوم، پنجه زنی و

مهم‌ترین نقش پتاسیم در گیاه را فعال کردن آنزیم‌های گیاهی می‌دانند. کاربرد پتاسیم در محیط رشد گیاه، جذب نیتروژن و درصد پروتئین دانه را افزایش می‌دهد. در صورت مصرف زیاد کودهای نیتروژنی، به دلیل رشد رویشی بیش از حد گیاه، مصرف کودهای پتاسیم برای برداشت محصول با کیفیت عالی، الزامی است. پتاسیم علاوه بر کمک در انجام فتوسنتز، در نقل و انتقال مواد فتوسنتزی مؤثر است. اضافه کردن پتاسیم کافی، سرعت انتقال نیتروژن از لندام‌های رویشی به دانه را افزایش می‌دهد (Gu et al., 2021). گزارش شده است که محلول پاشی پتاسیم در تبدیل ساکارز به نشاسته در فرآیند فتوسنتز کمک می‌کند و سرعت فتوسنتز افزایش می‌یابد. باید به این نکته توجه نمود که درجه کم دانه بندی و سطح ویژه زیاد ذرات خاک مانع پخشیدگی سریع پتاسیم در خاک به سمت ریشه می‌شود، به همین دلیل پتاسیم می‌تواند یکی از عوامل محدودکننده رشد در غلات به ویژه گندم و جو محسوب شود. از این جهت، محلول پاشی پتاسیم در غلات به ویژه در مرحله رشد زایشی و دانه بندی حائز اهمیت می‌باشد (Azizzadeh et al., 2018). در ارزیابی تأثیر کاربرد برگی نیتروژن و پتاسیم مکمل بر عملکرد و کیفیت شلتوک، تیمارهای محلول پاشی پیش از گلدهی نیتروژن و پتاسیم عملکرد شلتوک و عملکرد پروتئین شلتوک را افزایش داد. بیشترین مقدار پروتئین دانه مربوط به تیمار محلول پاشی نیتروژن در مرحله حداکثر پنجه زنی و آبستنی بود (Asadi et al., 2015).

با توجه به اهمیت و نقش پتاسیم در جذب و انتقال نیتروژن و همچنین مشارکت آن در فعالیتهای آنزیمی و تأثیر بر کمیت و کیفیت محصولات زراعی، در پژوهش حاضر اثر مصرف دیر هنگام منابع مختلف نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر عملکرد و کیفیت دانه و جذب و تخصیص نیتروژن در گیاه جو مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی اثر مصرف دیر هنگام منابع مختلف نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر عملکرد و کیفیت دانه جو، در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و با

مرحله ساقه‌دهی، اقدام به محلول‌پاشی کود کامل ریزمغذی آرمیتکس به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار در سطح کلیه کرت‌های آزمایشی گردید. در مرحله گرده‌افشانی گیاه جو، اقدام به محلول‌پاشی منابع مختلف نیتروژن و پتاسیم با توجه به نقشه آزمایش گردید.

ساقه‌دهی مورد استفاده قرار گرفت. عمل کاشت به صورت دستی و بر روی ردیف‌هایی با فاصله ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. میزان بذر مصرفی برای کاشت، برابر با ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. هر کرت آزمایشی متشکل از ۱۰ ردیف کاشت به طول ۴ متر بود. بلافاصله پس از کاشت، اقدام به آبیاری گردید. آبیاری مزرعه به روش غرقابی و با مدار ۱۰ روز انجام گرفت. در ابتدای

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of soil in experiment site

پتاسیم	فسفر	نیتروژن	رس	سیلت	شن	کربن آلی	T.N.V	EC	pH
Potassium	Phosphorus	Nitrogen	Clay	Silt	Sand	Organic carbon			
(mg kg <sup>-1</sup> )						(%)	(dS m <sup>-1</sup> )		
148	5.4	0.033	14	30	56	0.35	14.5	4.04	8.2

(۸۰۰۰ rpm، ۴ درجه سانتی‌گراد) گردید. در مرحله بعد، ۴۰ میکرولیتر از عصاره با ۱ میلی‌لیتر Bradford ۲۰ درصد (v/v) مخلوط شد. مخلوط حاصله به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق تکان داده شد. جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مشخص پروتئین (آلبومین سرم گاوی) تعیین گردید.

غلظت نشاسته بر اساس روش هیدرولیز اسیدی با کمی تغییرات اندازه‌گیری شد (AOAC, 1995). پس از جداسازی مایع رویی در اندازه‌گیری قند، ذرات باقیمانده در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا خشک شوند. سپس ۴/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۶ میلی‌لیتر پرکلریک اسید ۵۲٪ (v/v) به بقایا در داخل لوله آزمایش اضافه شد. لوله‌های آزمایش در طول شب در یک محیط خنک (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری گردید. در روز بعد، نمونه‌ها با کاغذ واتمن در یک لوله آزمایش جدید صاف و در نهایت محلول با استفاده از آب مقطر به حجم ۳۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

در ادامه، محلول با ۵۰۰ میکرولیتر از محلول ۱۲۵۰ میکرولیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ و ۲۵۰ میکرولیتر فنول ۵٪ (w/v) در یک لوله آزمایش جدید ترکیب شده و در دمای اتاق به مدت ۴۵ دقیقه قرار گرفت. در پایان، جذب آن در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شد.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۳) و مطابق با آزمون چند دامنه‌ای

به منظور بررسی ویژگی‌های رشدی، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، ۱۰ بوته به صورت تصادفی از ردیف‌های وسط هر کرت انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، تعداد پنجه‌های بارور در بوته و طول سنبله اندازه‌گیری شد.

جهت تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، در مرحله رسیدگی محصول، دو مترمربع از ردیف‌های وسط هر کرت به طور کامل برداشت و پس از توزین، عملکرد بیولوژیک هر واحد آزمایشی محاسبه گردید. تعداد ۱۰ عدد سنبله به صورت تصادفی از سطح برداشت شده انتخاب و تعداد دانه در سنبله شمارش شد. پس از جداسازی دانه‌ها، اقدام به محاسبه عملکرد دانه گردید. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، سه تکرار ۲۰۰ تایی از بذرهای مربوط به هر کرت آزمایشی شمارش و توزین گردید. شاخص برداشت محصول نیز از طریق تقسیم عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری محتوای نیتروژن کل دانه، نمونه‌ها آسیاب و در لوله‌های مخصوص با استفاده از اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک، آب اکسیژنه و سلنیم هضم گردید. درصد نیتروژن به روش تیتراسیون بعد از تقطیر به وسیله دستگاه Kjeltac Auto 1030 Analyzer, Tecator اندازه‌گیری شد (Gholamhosseini et al., 2008).

پروتئین کل طبق روش Bradford (1976) اندازه‌گیری شد. در مرحله اول، ۱/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج (پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار، pH=7) به ۰/۰۳ گرم آرد دانه جو اضافه شده، ترکیب حاصله پس از تکان دادن به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ

محلول پاشی توأم نیترات آمونیوم و سولفات پتاسیم و همچنین محلول پاشی سولفات آمونیوم به تنهایی نداشت.

کمترین طول سنبله نیز در شرایط عدم محلول پاشی نیتروژن و پتاسیم مشاهده شد که تفاوت معنی داری با تیمارهای محلول پاشی سولفات پتاسیم به تنهایی، محلول پاشی توأم سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم و همچنین محلول پاشی توأم نیترات کلسیم و سولفات پتاسیم نداشت.

محلول پاشی توأم سولفات پتاسیم با اوره، باعث افزایش معنی دار طول سنبله در مقایسه با محلول پاشی اوره به تنهایی گردید، این در حالی است که محلول پاشی توأم سولفات پتاسیم با سولفات آمونیوم، طول سنبله را در مقایسه با تیمار محلول پاشی سولفات آمونیوم به تنهایی به طور معنی داری کاهش داد. در رابطه با سایر منابع نیتروژن و همچنین شرایط عدم مصرف نیتروژن، تفاوت معنی داری بین محلول پاشی و عدم محلول پاشی سولفات پتاسیم در رابطه با طول سنبله وجود نداشت (شکل ۱).

مشابه با نتایج پژوهش حاضر، بررسی اثر تغذیه برگی اوره بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد دانه دو رقم گندم نشان داد که بیشترین طول سنبله مربوط به تیمار محلول پاشی اوره در مرحله ظهور برگ پرچم بود (Mohammadi *et al.*, 2012).

دانکن انجام گرفت. جداول و نمودارها به کمک نرم افزارهای Word و Excel ترسیم گردید.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که محلول پاشی دیر هنگام منابع نیتروژن، پتاسیم و همچنین اثر متقابل آنها تأثیر معنی داری بر صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته و همچنین تعداد پنجه بارور در بوته نداشت (جدول ۲). تکمیل رشد رویشی گیاه جو در مرحله گرده افشانی را می‌توان به عنوان دلیل عدم تأثیر معنی دار مصرف دیر هنگام عناصر نیتروژن و پتاسیم بر ارتفاع بوته، تعداد پنجه و تعداد پنجه بارور در بوته گیاه جو ذکر نمود. در گیاهان رشد محدود نظیر جو، با ورود گیاه به فاز زایشی، رشد رویشی و به تبع آن سرعت رشد محصول کاهش یافته یا متوقف می‌شود (Hokmalipour and Seyed Sharifi, 2015).

## طول سنبله

اثر منبع نیتروژن و همچنین اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر طول سنبله گیاه جو معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین طول سنبله در شرایط محلول پاشی توأم اوره با سولفات پتاسیم بدست آمد که تفاوت معنی داری با تیمار

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد، اجزاء عملکرد و ویژگی‌های کیفی دانه جو تحت تأثیر منابع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم

Table 2- Analysis of variance for yield, yield components and qualitative characteristics of barley grain affected by nitrogen source and potassium foliar application

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد پنجه No. of tiller	تعداد پنجه بارور No. of fertile tiller	طول سنبله Spike length	تعداد سنبلچه بارور No. of fertile spikelet	تعداد دانه در سنبله No. of grain per spike	وزن هزار دانه 1000 grain weight
تکرار Replication	2	118.02	1.12	0.46	0.04	0.17	11.12	2.38
منبع نیتروژن Nitrogen source	4	19.43 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>**</sup>	7.89 <sup>**</sup>	68.67 <sup>**</sup>	50.95 <sup>**</sup>
محلول پاشی پتاسیم Potassium foliar	1	0.02 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	1.08 <sup>ns</sup>	11.53 <sup>ns</sup>	20.92 <sup>*</sup>
منبع نیتروژن × محلول - باش، پتاسیم خطا Error	4	3.66 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>**</sup>	1.46 <sup>**</sup>	16.39 <sup>*</sup>	1.42 <sup>ns</sup>
خطا Error	18	21.87	0.27	0.19	0.07	0.30	4.59	2.89
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.41	15.90	16.84	7.37	6.33	8.02	6.02

<sup>ns</sup> غیر معنی دار، <sup>\*</sup> معنی دار در سطح ۵ درصد، <sup>\*\*</sup> معنی دار در سطح ۱ درصد

<sup>ns</sup>Non-significant, <sup>\*</sup>Significant at  $P < 0.05$ , <sup>\*\*</sup>Significant at  $P < 0.01$

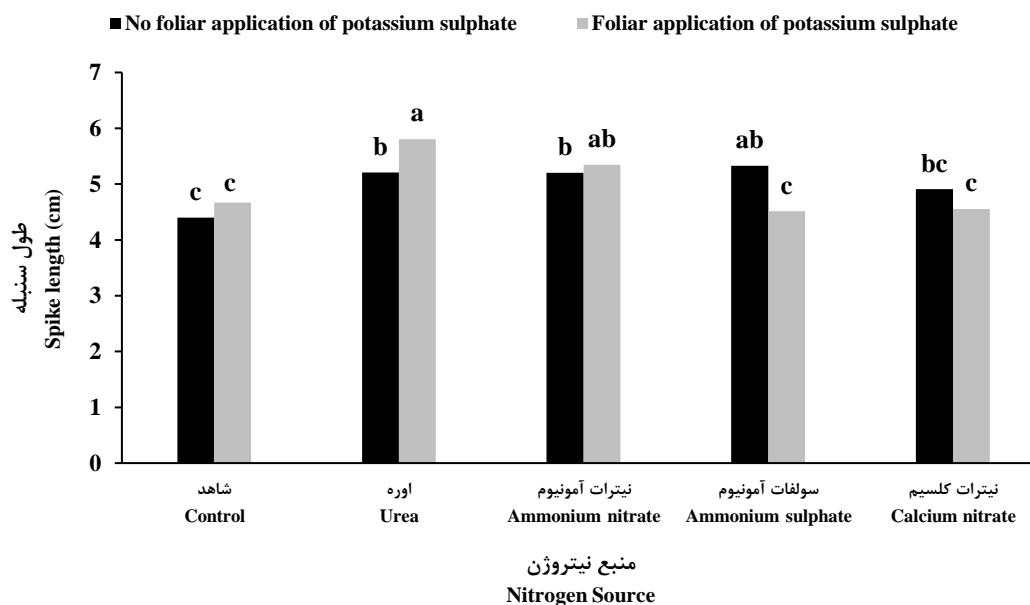
ادامه جدول ۲

Table 2 continued

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological	شاخص برداشت Harvest	نیترोजن دانه Grain N concentration	پروتئین دانه Grain Protein content	نشاسته دانه Grain starch content
تکرار Replication	2	711.95	150523.87	2.489	0.003	0.17	2.24
منبع نیترोजن Nitrogen source	4	2097841.69**	10940840.68**	5.07*	0.038**	1.99**	31.05**
محلول پاشی پتاسیم Potassium foliar	1	668834.14**	3442885.63**	1.30 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	8.28 <sup>ns</sup>
منبع نیترोजن × محلول پاشی پتاسیم خطا Error	4	186659.50*	1131908.09*	1.84 <sup>ns</sup>	0.015 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	12.69 <sup>ns</sup>
خطا Error	18	56042.21	358386.90	1.45	0.006	0.27	5.19
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.83	8.31	7.84	6.14	5.46	5.71

<sup>ns</sup> غیر معنی دار، \* معنی دار در سطح ۵ درصد، \*\* معنی دار در سطح ۱ درصد

<sup>ns</sup>Non-significant, \*Significant at  $P < 0.05$ , \*\*Significant at  $P < 0.01$



شکل ۱- اثر متقابل منبع نیترोजن و محلول پاشی پتاسیم بر طول سنبله

Figure 1- Interaction effect between nitrogen source and potassium foliar application on spike length

پتاسیم یک عنصر پرمصرف ضروری برای گیاهان بوده و فراوانترین کاتیون در بافت‌های گیاهی می‌باشد. پتاسیم نقش‌های متنوعی در رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کند که از آن جمله می‌توان به تحریک طویل شدن سلولی، تنظیم اسمزی، مشارکت در حرکات روزنه‌ای، فتوسنتز، سنتز کربوهیدرات‌های محلول، پروتئین و ترکیبات محلول حاوی نیترोजن اشاره نمود. کاربرد پتاسیم در محیط رشد گیاه، جذب نیترोजن را افزایش می‌دهد (Ahmad *et al.*, 2016). کاهش معنی دار طول سنبله

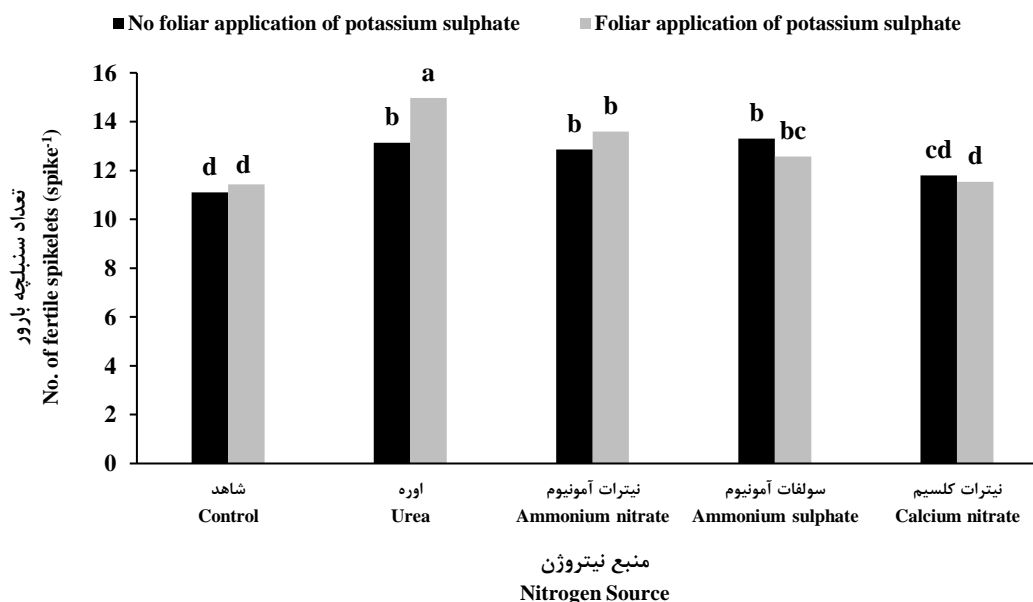
نیترोजن عنصری مهم و حیاتی برای گیاه به شمار می‌رود که در ساختمان پروتئین، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل مشارکت می‌کند. این عنصر به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر رشد گیاه تأثیر دارد، با این وجود، رفتارهای فیزیولوژیک گیاهان نسبت به منابع نیترोजن کاملاً متفاوت بوده و به توانایی آنها در جذب و تثبیت آن بستگی دارد (Mosavi *et al.*, 2015). مولکول اوره به دلیل بدون بار بودن و حلالیت بالا، به سرعت و به شکل موثر جذب شاخ و برگ گیاهان می‌گردد.

### تعداد سنبلچه بارور در سنبله

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر منبع نیتروژن و اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر تعداد سنبلچه بارور در سنبله معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین تعداد سنبلچه بارور در سنبله در شرایط محلول پاشی توأم اوره با سولفات پتاسیم مشاهده شد که به طور معنی داری بیشتر از سایر تیمارهای آزمایشی بود. تیمار عدم محلول پاشی نیتروژن و پتاسیم نیز کمترین تعداد سنبلچه بارور در سنبله را دارا بود که تفاوت معنی داری با تیمارهای محلول پاشی سولفات پتاسیم و نیترات کلسیم به تنهایی و همچنین نیترات کلسیم توأم با سولفات پتاسیم نداشت. محلول پاشی توأم سولفات پتاسیم با اوره باعث افزایش قابل توجه تعداد سنبلچه بارور در بوته در مقایسه با تیمار محلول پاشی اوره به تنهایی گردید. این در حالی است که در شرایط محلول پاشی سایر کودهای نیتروژنی (نیترات آمونیوم، سولفات آمونیوم و نیترات کلسیم)، استفاده از سولفات پتاسیم تغییر معنی داری در تعداد سنبلچه بارور در سنبله ایجاد نکرد (شکل ۲).

در واکنش به محلول پاشی توأم سولفات پتاسیم و سولفات آمونیوم در پژوهش حاضر را می توان به اثر متقابل بین پتاسیم و آمونیوم، یا غلظت بالای یون سولفات در تیمار مذکور نسبت داد (شکل ۱). در پژوهشی که به منظور بررسی اثر متقابل آمونیوم و پتاسیم در گیاه فلفل انجام شد، جذب پتاسیم در غلظت های بالای یون آمونیوم کاهش یافت (Xu et al., 2002).

کلسیم کاتیون دوظرفیتی و عنصری ضروری برای گیاهان است که نقش مهمی در ساختار و نفوذپذیری غشاءهای سلولی، تقسیم و طویل شدن سلولی، نقل و انتقال کربوهیدرات و متابولیسم نیتروژن ایفا می کند. کلسیم همچنین می تواند نقش تنظیم کنندگی در متابولیسم سلول های گیاهی، انتقال پیام و جذب عناصر غذایی از طریق غشاءهای سلولی داشته باشد (Ahmad et al., 2016). اثر متقابل پتاسیم و کلسیم بر جذب یکدیگر، از جمله دلایل کاهش طول سنبله گیاهان در شرایط محلول پاشی توأم سولفات پتاسیم و نیترات کلسیم در این پژوهش می باشد. گزارش شده است که غلظت های بالای کلسیم و منیزیم از جذب پتاسیم توسط گیاه نیشکر جلوگیری می نمایند (Rhodes et al., 2018).



شکل ۲- اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر تعداد سنبلچه بارور

Figure 2- Interaction effect between nitrogen source and potassium foliar application on number of fertile spikelets per spike

سبب تأمین نیاز نیتروژنی گیاه در مراحل تکوین سنبلچه می شود. در نتیجه، افزایش درصد باروری سنبلچه را به دنبال

محلول پاشی منابع مختلف نیتروژن، به ویژه اوره، در مرحله گرده افشانی گیاه جو، در کنار جلوگیری از خوابیدگی بوته ها،

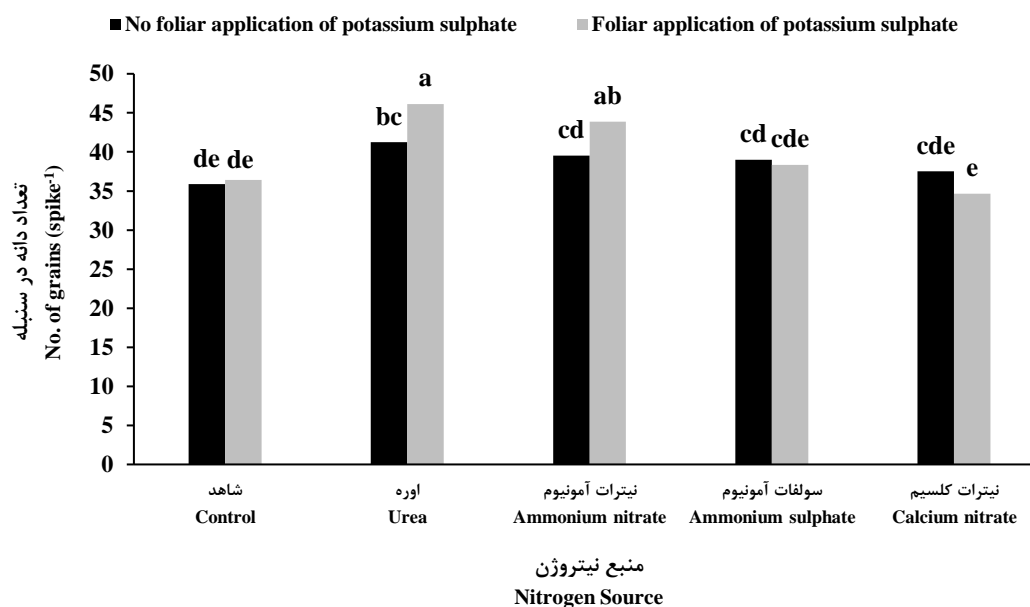
اوره با سولفات پتاسیم تولید گردید که تفاوت معنی داری با تیمار محلول پاشی توأم نیترات آمونیوم و سولفات پتاسیم نداشت. کمترین تعداد دانه در سنبله نیز در شرایط عدم محلول پاشی نیتروژن و پتاسیم ثبت گردید که تفاوت آن با تیمارهای محلول پاشی سولفات پتاسیم، نیترات آمونیوم، سولفات آمونیوم و نیترات کلسیم به تنهایی و همچنین سولفات آمونیوم و نیترات کلسیم توأم با سولفات پتاسیم معنی دار نبود. در شرایط محلول پاشی سولفات آمونیوم و نیترات کلسیم، استفاده از سولفات پتاسیم بر تعداد دانه در سنبله اثر معنی داری نداشت، حال آن که در شرایط محلول پاشی اوره و نیترات آمونیوم باعث افزایش معنی دار تعداد دانه در سنبله گردید (شکل ۳).

دارد. مشاهده شده است که نیتروژن از طریق تأثیرگذاری بر تعداد خوشه‌چه، اثر مثبتی بر عملکرد شلتوک برنج دارد و با افزایش میزان نیتروژن در برگ، میزان پوکی دانه‌ها به طور خطی کاهش پیدا می‌کند (Asadi *et al.*, 2015).

### تعداد دانه در سنبله

مشابه با صفات طول سنبله و تعداد سنبلچه بارور در سنبله، محلول پاشی پتاسیم اثر معنی داری بر تعداد دانه در سنبله نداشت، اما اثر منبع نیتروژن و اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر تعداد دانه در سنبله معنی دار شد (جدول ۲).

بیشترین تعداد دانه در سنبله، در شرایط محلول پاشی توأم



شکل ۳- اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر تعداد سنبلچه بارور

Figure 3- Interaction effect between nitrogen source and potassium foliar application on number of grains per spike

تشکیل می‌شود (Rajabi *et al.*, 2020). در پژوهشی که به منظور بررسی اثر محلول پاشی پتاسیم و نیتروژن بر کمیت و کیفیت گندم دیم انجام شد، محلول پاشی توأم کلرور پتاسیم و اوره در مرحله دو لبه شدن سنبله + شیر شدن دانه، بیشترین اثر مثبت را بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و درصد پروتئین دانه داشت (Abdi, 2015).

گزارش شده است که محلول پاشی اوره در اواخر دوره رشد سبب افزایش تعداد دانه در سنبله گندم می‌شود. این گونه به نظر می‌رسد که محلول پاشی در طول دوره گل‌دهی امکان جریان مستقیم مواد غذایی به نقاطی که تقاضای متابولیکی بیشتری دارند (مثل دانه) را فراهم می‌سازد و بنابراین تعداد دانه بیشتری تشکیل می‌شود (Rajabi *et al.*, 2020). با محلول پاشی اوره در مرحله زایشی، میزان نیتروژن مورد نیاز گیاه تأمین شده، فتوسنتز آن افزایش یافته و تعداد دانه بیشتری

## وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که منبع نیتروژن تأثیر معنی داری بر وزن هزار دانه گیاه جو داشت (جدول ۲). محلول پاشی نیتروژن از منابع مختلف باعث افزایش قابل توجه وزن هزار دانه در مقایسه با شرایط عدم محلول پاشی نیتروژن گردید. بیشترین وزن هزار دانه (۴۴/۵۱ گرم) در شرایط محلول پاشی اوره به دست آمد که تفاوت معنی داری با تیمارهای محلول پاشی نیترات آمونیوم و سولفات آمونیوم نداشت. در

شرایط محلول پاشی با نیترات کلسیم، وزن هزار دانه به طور معنی داری کمتر از تیمارهای محلول پاشی اوره و نیترات آمونیوم بود، اما با تیمار محلول پاشی سولفات آمونیوم تفاوت معنی داری نداشت. میزان افزایش وزن هزار دانه نسبت به شاهد، در شرایط محلول پاشی اوره، نیترات آمونیوم، سولفات آمونیوم و نیترات کلسیم به ترتیب برابر ۱۸/۷۶، ۱۸/۵۲، ۱۵/۶۱ و ۱۱/۵۰ درصد بود (جدول ۳).

جدول ۳- اثر منبع نیتروژن بر عملکرد، اجزاء عملکرد و ویژگی‌های کیفی دانه جو

Table 3- Effect of nitrogen source on yield, yield components and qualitative characteristics of barley grain

منبع نیتروژن Nitrogen source	وزن هزار دانه 1000 grain weight	شاخص برداشت Harvest index (%)	نیتروژن دانه Grain N concentration (%)	پروتئین دانه Grain Protein content (%)	نشاسته دانه Grain starch content (%)
شاهد Control	37.48 c	34.83 c	1.93 c	10.86 c	64.14 a
اوره Urea	44.51 a	37.08 a	1.95 b	11.96 ab	60.68 b
نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	44.42 a	36.64 ab	1.90 bc	11.64 b	62.10 ab
سولفات آمونیوم Ammonium sulphate	43.33 ab	35.80 abc	2.05 a	12.45 a	57.91 c
نیترات کلسیم Calcium nitrate	41.79 b	35.37 bc	1.92 bc	11.73 b	61.70 ab

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن ( $P \leq 0.05$ ) تفاوت معنی داری ندارند.

Means within columns followed by the same letter are not significantly different at  $P < 0.05$ , according to Duncan's multiple range test

جدول ۴- اثر محلول پاشی پتاسیم بر عملکرد، اجزاء عملکرد و ویژگی‌های کیفی دانه جو

Table 4- Effect of potassium foliar application on yield, yield components and qualitative characteristics of barley grain

محلول پاشی پتاسیم Potassium foliar application	وزن هزار دانه 1000 grain weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)	نیتروژن دانه Grain N concentration (%)	پروتئین دانه Grain Protein content (%)	نشاسته دانه Grain starch content (%)
عدم محلول پاشی No foliar application	41.47 b	35.74 a	1.91 a	11.66 a	61.83 a
محلول پاشی سولفات پتاسیم Potassium sulphate foliar application	43.14 a	36.15 a	1.95 a	11.80 a	60.78 a

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن ( $P \leq 0.05$ ) تفاوت معنی داری ندارند.

Means within columns followed by the same letter are not significantly different at  $P < 0.05$ , according to Duncan's multiple range test

در مرحله ظهور برگ پرچم به دست آمد (Mohammadi *et al.*, 2012).

اثر محلول پاشی پتاسیم بر وزن هزار دانه در سطح ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۲). محلول پاشی سولفات پتاسیم در مرحله گرده‌افشانی گیاه جو باعث افزایش ۴/۰۲ درصدی وزن هزار دانه

برتری وزن هزار دانه در تیمارهای محلول پاشی منابع مختلف نیتروژن نسبت به تیمار شاهد را می‌توان به افزایش دوام سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی گیاهان نسبت داد. در بررسی اثر تغذیه برگی اوره بر ویژگی‌های کمی و کیفی گندم دیم، بیشترین وزن هزار دانه ارقام مختلف گندم با محلول پاشی اوره

قرار می‌دهد (Marschner, 2011). پتاسیم (K) یکی از عناصر غذایی ضروری برای گیاهان است که در فتوسنتز، تشکیل کربوهیدرات و پروتئین، انتقال آب و عناصر غذایی و بکارگیری نیتروژن در گیاهان مشارکت دارد. بنابراین تأثیر قابل توجهی بر عملکرد و کیفیت محصولات زراعی دارد. پتاسیم علاوه بر کمک در انجام فتوسنتز، در نقل و انتقال مواد فتوسنتزی مؤثر است. مصرف پتاسیم کافی، سرعت انتقال نیتروژن از اندام‌های رویشی به دانه را افزایش می‌دهد. کمبود پتاسیم در اواخر فصل زراعی به دلیل تقاضای بالای مربوط به ارقام پرمحصول می‌تواند منجر به کاهش محصول و سودآوری شود. پاسخ گیاه به کودهای نیتروژنی زمانی که پتاسیم کمتر از سطح مطلوب باشد، کاهش می‌یابد (Gu et al., 2021). در بررسی واکنش گیاه جو به کاربرد نیتروژن و محلول‌پاشی پتاسیم، بالاترین عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش با دو مرحله محلول‌پاشی پتاسیم در مرحله ظهور سنبله و ۵۰ درصد گلدهی به دست آمد که به طور قابل توجهی بیشتر از شرایط عدم محلول‌پاشی و یک مرحله محلول‌پاشی در مراحل ظهور سنبله و ۵۰ درصد گلدهی بود (Kaur et al., 2020).

### عملکرد بیولوژیک

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر منبع نیتروژن، محلول‌پاشی پتاسیم و همچنین اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول‌پاشی پتاسیم بر عملکرد بیولوژیک جو معنی‌دار شد (جدول ۲). تیمار محلول‌پاشی توام اوره با سولفات پتاسیم، بیشترین عملکرد بیولوژیک گیاه جو (۱۳۹۶۵/۱) کیلوگرم در هکتار) را تولید نمود که تفاوت معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی توام نیترات آمونیوم با سولفات پتاسیم نداشت. کمترین عملکرد بیولوژیک با ۹۶۱۷/۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار عدم محلول‌پاشی نیتروژن و پتاسیم تولید گردید که با تیمارهای محلول‌پاشی سولفات پتاسیم، سولفات آمونیوم و نیترات کلسیم به تنهایی و همچنین محلول‌پاشی توام سولفات آمونیوم و نیترات کلسیم با سولفات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت. در شرایط استفاده از کود اوره به عنوان منبع نیتروژن، محلول‌پاشی سولفات پتاسیم، عملکرد بیولوژیک جو را در مقایسه با تیمار محلول‌پاشی اوره به تنهایی به طور معنی‌داری افزایش داد. این در حالی است که در شرایط استفاده از کودهای نیترات آمونیوم،

نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید (جدول ۴).

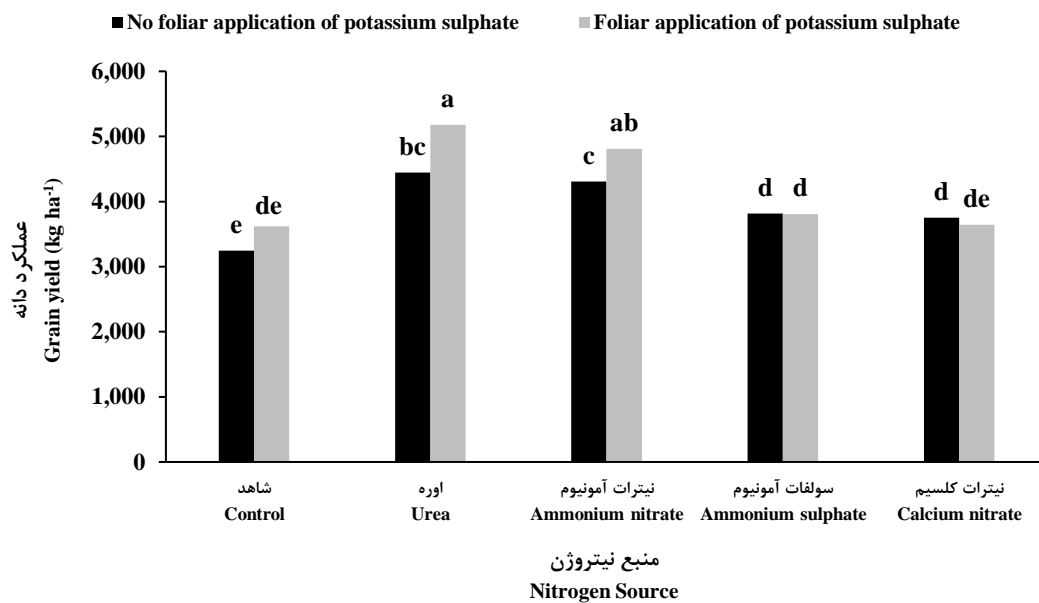
پتاسیم برای انتقال و تجمع مواد فتوسنتزی در گیاهان زراعی مفید بوده و از این طریق باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. پتاسیم نقش حیاتی در فتوسنتز، سنتز پروتئین، فعال‌سازی آنزیم‌ها، تنظیم اسمزی، انتقال انرژی، باز و بسته شدن روزنه‌ها، تعادل کاتیون و آنیون و مقاومت در برابر تنش دارد (Gu et al., 2021).

### عملکرد دانه

اثر منبع نیتروژن، محلول‌پاشی پتاسیم و همچنین اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول‌پاشی پتاسیم بر عملکرد دانه جو معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه جو با ۵۱۷۸/۴ کیلوگرم در هکتار، در شرایط محلول‌پاشی توام اوره با سولفات پتاسیم تولید گردید که تفاوت معنی‌داری با عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی توام نیترات آمونیوم با سولفات پتاسیم نداشت، اما به طور قابل توجهی بیشتر از سایر تیمارهای آزمایشی بود. تیمار عدم محلول‌پاشی نیتروژن و پتاسیم با ۳۲۴۳/۷ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه جو را به خود اختصاص داد که با تیمارهای محلول‌پاشی سولفات پتاسیم به تنهایی و همچنین محلول‌پاشی توام نیترات کلسیم با سولفات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشت. محلول‌پاشی سولفات پتاسیم همراه با اوره و نیترات آمونیوم، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در مقایسه با تیمارهای محلول‌پاشی این کودها به تنهایی گردید. این در حالی است که محلول‌پاشی توام سولفات پتاسیم با سولفات آمونیوم و نیترات کلسیم، تغییر معنی‌داری در عملکرد دانه در مقایسه با تیمارهای محلول‌پاشی این کودها به تنهایی ایجاد نکرد (شکل ۴).

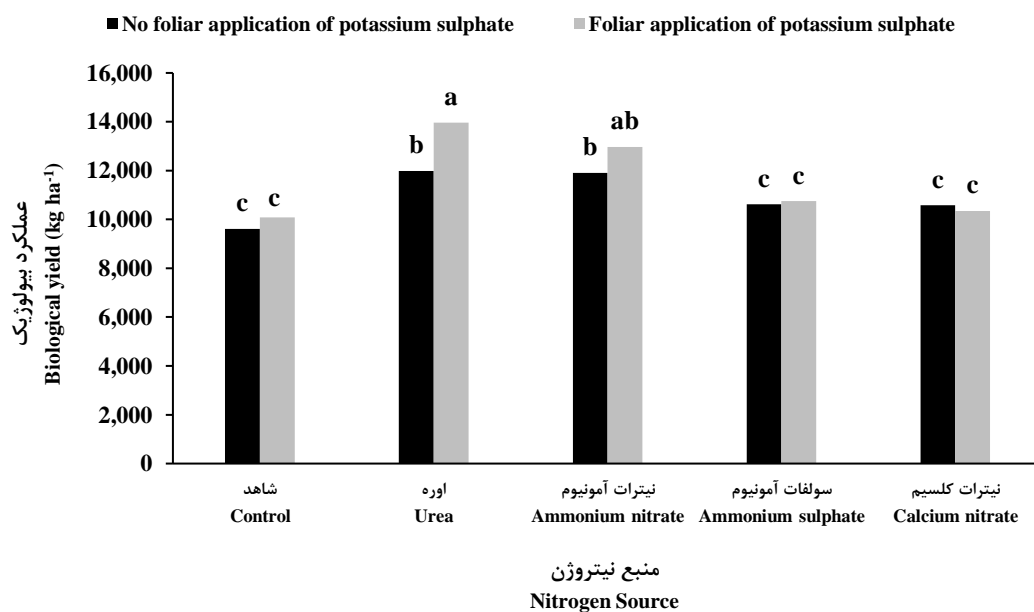
تولید بالاترین تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه، از جمله دلایل برتری عملکرد دانه گیاه جو در شرایط محلول‌پاشی توام اوره و سولفات پتاسیم نسبت به سایر تیمارهای مورد بررسی می‌باشد (شکل ۳، جداول ۳ و ۴). محلول‌پاشی در کنار مصرف خاکی اثرات بسیار مطلوبی بر عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی دارد. نیتروژن یکی از مهمترین عناصر پرمصرف است که می‌تواند به شکل نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) یا آمونیوم ( $\text{NH}_4^+$ ) به گیاهان عرضه شود. عواملی نظیر مقدار مصرف، شکل مصرف و زمان مصرف نیتروژن رشد و نمو گیاهان را به شدت تحت تأثیر

سولفات آمونیوم و نترات کلسیم، محلول پاشی سولفات پتاسیم تأثیر معنی داری بر عملکرد بیولوژیک نداشت (شکل ۵).



شکل ۴- اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر عملکرد دانه

Figure 4- Interaction effect between nitrogen source and potassium foliar application on grain yield



شکل ۵- اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر عملکرد بیولوژیک

Figure 5- Interaction effect between nitrogen source and potassium foliar application on biological yield

۲). کمترین شاخص برداشت گیاه جو (۳۴/۸۳ درصد)، در شرایط عدم محلول پاشی نیتروژن به دست آمد که تفاوت معنی داری با تیمارهای محلول پاشی نترات کلسیم و سولفات آمونیوم نداشت. بیشترین شاخص برداشت (۳۷/۰۸ درصد) نیز

### شاخص برداشت

منبع نیتروژن تأثیر معنی داری بر شاخص برداشت داشت، اما اثر محلول پاشی پتاسیم و اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم بر شاخص برداشت معنی دار نشد (جدول

منجر به تولید پروتئین می‌شود. پتاسیم تضمین‌کننده حرکت نیتروژن در گیاه است و به عنوان پمپ نیتروژن عمل می‌کند و از این طریق بهره‌برداری نیتروژن به وسیله گیاه و برداشت نیتروژن از خاک را افزایش می‌دهد. عدم تأثیر معنی‌دار محلول‌پاشی پتاسیم بر غلظت نیتروژن دانه در این پژوهش، می‌تواند ناشی از افزایش قابل توجه وزن هزار دانه و افزایش عملکرد دانه در پاسخ به محلول‌پاشی سولفات پتاسیم باشد (Mohammadi *et al.*, 2019).

### پروتئین دانه

اثر منبع نیتروژن بر محتوای پروتئین دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). کمترین محتوای پروتئین دانه با ۱۰/۸۶ درصد، در شرایط عدم محلول‌پاشی نیتروژن ثبت شد و محلول‌پاشی منابع مختلف نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار درصد پروتئین دانه گردید. تیمار محلول‌پاشی سولفات آمونیوم با ۱۲/۴۵ درصد، بیشترین محتوای پروتئین دانه را دارا بود که تفاوت معنی‌داری با محتوای پروتئین در تیمار محلول‌پاشی اوره (۱۱/۹۶ درصد) نداشت. تیمارهای محلول‌پاشی نیترات کلسیم و نیترات آمونیوم به ترتیب با ۱۱/۷۳ و ۱۱/۶۴ درصد در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۳).

تولید بالاترین درصد پروتئین دانه در شرایط محلول‌پاشی سولفات آمونیوم را می‌توان به وجود یون سولفات در این کود نسبت داد. گوگرد در بین عناصر غذایی، پس از نیتروژن، فسفر و پتاسیم، به عنوان چهارمین عنصر غذایی اصلی معرفی و نقش آن در تولید محصولات کشاورزی به خوبی شناخته شده و تأثیر آن در شکل‌گیری اسیدهای آمینه متیونین و سیستئین، سنتز پروتئین، کلروفیل و محتوای دلنه‌های روغنی به اثبات رسیده است (Fathi Rezaei *et al.*, 2020). گزارش شده است که مصرف گوگرد، علاوه بر افزایش عملکرد دانه، از طریق افزایش محتوای پروتئین دانه باعث بهبود کیفیت گندم می‌شود (Jalili *et al.*, 2013). در آزمایشی، اثر مصرف دیرهنگام نیتروژن بر کیفیت گندم معمولی و دوروم مورد ارزیابی قرار گرفت. نیتروژن به فرم نیترات آمونیوم به صورت خاک مصرف در مرحله خوشه‌دهی یا محلول‌پاشی در مرحله گلدهی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد دیرهنگام نیتروژن محتوای پروتئین و کیفیت دانه هر دو گونه گندم را افزایش داد

در شرایط محلول‌پاشی کود اوره ثبت گردید که تفاوت آن با تیمارهای محلول‌پاشی نیترات آمونیوم و سولفات آمونیوم معنی‌دار نبود (جدول ۳).

### نیتروژن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منبع نیتروژن بر محتوای نیتروژن دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). محلول‌پاشی منابع مختلف نیتروژن، باعث افزایش محتوای نیتروژن دانه گیاه جو در مقایسه با شرایط عدم محلول‌پاشی نیتروژن گردید که این افزایش در شرایط استفاده از کودهای اوره و سولفات آمونیوم معنی‌دار بود. بیشترین محتوای نیتروژن دانه با ۲/۰۵ درصد، در شرایط استفاده از سولفات آمونیوم به دست آمد که به طور معنی‌داری بیشتر از سایر منابع نیتروژن بود. پس از سولفات آمونیوم، تیمارهای محلول‌پاشی اوره، نیترات کلسیم و نیترات آمونیوم به ترتیب با ۱/۹۵، ۱/۹۲ و ۱/۹۰ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. تفاوت معنی‌داری بین منابع نیتروژنی اوره، نیترات کلسیم و نیترات آمونیوم در رابطه با محتوای نیتروژن دانه وجود نداشت (جدول ۳).

محلول‌پاشی نیتروژن به عنوان مکمل مصرف خاکی، می‌تواند با کاهش تلفات نیتروژن از طریق دنیتریفیکاسیون و آبشویی و جذب سریع‌تر و آسان‌تر نیتروژن، باعث افزایش میزان نیتروژن دانه شود. یافته‌های حاصل از بررسی اثر محلول‌پاشی نیتروژن و پتاسیم مکمل بر گیاه برنج نشان داد که محلول‌پاشی در مراحل مختلف رشد اثر معنی‌داری بر مقدار نیتروژن و پتاسیم کاه و کلش برنج داشته است. بیشترین مقدار نیتروژن کاه و کلش در تیمار محلول‌پاشی نیتروژن در مرحله غلاف رفتن برنج به دست آمد (Asadi *et al.*, 2015).

همانگونه که در شکل ۴ قابل مشاهده است، محلول‌پاشی سولفات آمونیوم باعث کاهش قابل توجه عملکرد دانه گیاه جو در مقایسه با تیمارهای محلول‌پاشی اوره و نیترات آمونیوم گردید که می‌تواند دلیل افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن دانه در شرایط محلول‌پاشی این کود نیتروژنی باشد.

اثر محلول‌پاشی پتاسیم و همچنین اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول‌پاشی پتاسیم بر محتوای نیتروژن دانه معنی‌دار نشد (جدول ۲).

پتاسیم در ارتباط تنگاتنگ با فرآیندهایی است که در گیاه

(Blandino *et al.*, 2015). در بررسی اثر محلول پاشی فرم‌های مختلف نیتروژن بر تجمع نشاسته و پرشدن دانه در گندم، محلول پاشی نیتروژن آمونیومی به طور قابل توجهی باعث طولانی شدن دوره پرشدن دانه شد. در مقابل، محلول پاشی اوره و نیتروژن نیتراتی، سرعت پرشدن دانه را افزایش داد و باعث تنظیم سطوح آسبیزیک اسید و اتیلن در دانه‌ها گردید (Xiaokang *et al.*, 2021). بررسی بیان ژن نشان داد که اوره و نیتروژن نیتراتی از طریق تنظیم فعالیت ژن‌های دخیل در مسیر تبدیل ساکارز به نشاسته، باعث انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها و سنتز نشاسته در دانه‌ها می‌شوند (Xiaokang *et al.*, 2021). محلول پاشی پتاسیم و اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم، محتوای نشاسته دانه گیاه جو را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۲).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که محلول پاشی منابع مختلف نیتروژن در مرحله گرده‌افشانی، از طریق افزایش طول سنبله، تعداد سنبلچه بارور، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه، باعث افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاه جو گردید. افزایش محتوای نیتروژن و پروتئین دانه در واکنش به محلول پاشی نیتروژن، کیفیت تغذیه‌ای دانه جو را افزایش داد. در مقابل، کیفیت مالیت‌سازی دانه جو به دلیل کاهش محتوای نشاسته دانه در شرایط محلول پاشی نیتروژن، کاهش یافت. محلول پاشی توأم سولفات پتاسیم با کودهای نیتروژنی اوره و نیترات آمونیوم، واکنش عملکرد و اجزاء عملکرد دانه جو به محلول پاشی دیر هنگام این کودها را بهبود بخشید. با توجه به نتایج، محلول پاشی توأم سولفات پتاسیم و اوره در مرحله گرده‌افشانی، به منظور تولید عملکرد بالای دانه و افزایش محتوای پروتئین دانه گیاه جو قابل توصیه می‌باشد. محلول پاشی نیترات آمونیوم در مرحله گرده‌افشانی نیز علاوه بر تولید عملکرد بهینه دانه، محتوای بالای نشاسته در دانه‌ها را به دنبال خواهد شد.

### تعارض منافع

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

محتوای پروتئین دانه تحت تأثیر محلول پاشی پتاسیم و اثر متقابل منبع نیتروژن و محلول پاشی پتاسیم قرار نگرفت (جدول ۲). پتاسیم از طریق افزایش جذب و انتقال  $\text{NO}_3^-$  و تبدیل اسیدهای آمینه به پروتئین، می‌تواند باعث افزایش محتوای پروتئین دانه در گیاهان گردد (Gu *et al.*, 2021). عدم تأثیر معنی‌دار محلول پاشی سولفات پتاسیم بر محتوای پروتئین دانه گیاه جو در پژوهش حاضر را می‌توان به افزایش وزن هزار دانه در نتیجه افزایش عملکرد دانه در شرایط محلول پاشی دیر هنگام پتاسیم نسبت داد (جدول ۴). گزارش شده است که محلول پاشی پتاسیم در مراحل چکمه‌ای شدن، گلدهی و ۱۰ روز پس از گلدهی گندم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و محتوای پروتئین دانه نداشته است (Gu *et al.*, 2021). ثابت شده است که افزایش در عملکرد، منجر به کاهش درصد پروتئین شلتوک شده است. این مسئله می‌تواند به دلیل همبستگی منفی بین عملکرد شلتوک و غلظت پروتئین دانه و یا کاهش مقدار پروتئین‌ها در نتیجه افزایش کربوهیدرات‌ها باشد که در نتیجه، بهبود همزمان این دو صفت را مشکل می‌سازد (Asadi *et al.*, 2015).

### نشاسته دانه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، منبع نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر محتوای نشاسته دانه داشت (جدول ۲). بالاترین محتوای نشاسته دانه با ۶۴/۱۴ درصد، در شرایط عدم محلول پاشی نیتروژن تولید گردید که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای محلول پاشی نیترات آمونیوم (۶۲/۱۰ درصد) و نیترات کلسیم (۶۱/۷۰ درصد) نداشت. محلول پاشی اوره و سولفات آمونیوم باعث کاهش معنی‌دار محتوای نشاسته دانه در مقایسه با شرایط عدم محلول پاشی نیتروژن شد. تیمار محلول پاشی سولفات آمونیوم با ۵۷/۹۱ درصد، کمترین محتوای نشاسته دانه را به خود اختصاص داد (جدول ۳).

مشابه با نتایج پژوهش حاضر، گزارش شده است که مصرف کود نیتروژنی باعث کاهش محتوای نشاسته دانه گندم در مقایسه با شرایط عدم مصرف نیتروژن می‌گردد و بین محتوای نشاسته و پروتئین دانه همبستگی منفی وجود دارد (Kindred

## References

- Abdi, M., 2015. Influence of KCl and urea spraying on quality and quantity of wheat cv. Sardari under rainfed conditions. *Agroecology Journal*, 10(4), pp.27-34. [In Persian].
- Ahmad, P., Abdel Latef, A.A., Abd-Allah, E.F., Hashem, A., Sarwat, M., Anjum, N.A. and Gucel, S., 2016. Calcium and potassium supplementation enhanced growth, osmolyte secondary metabolite production, and enzymatic antioxidant machinery in cadmium-exposed chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 7, 513. doi: **10.3389/fpls.2016.00513**
- Amanullah, J., Khan, A.Z., Khan, H., Jan, A., Shah, Z., Ahmad, B., Khalil, Sh., Ali, A., Ullah, H., Ahmad, F. and Nawaz, A., 2013. Foliar application of nitrogen at different growth stages influences the phenology, growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Soil and Environment*, 32(2), pp.135-140. doi: **10.13140/RG.2.2.25680.30723**
- AOAC., 1995. Official methods of analysis of AOAC international. 16<sup>th</sup> Edition, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, USA, 425pp.
- Asadi, S., Zavareh, M., Shokri, H. and Shahinrokhshar, P., 2015. Influence of supplemental foliar application of nitrogen and potassium on the grain yield, concentration and efficiency of nitrogen in rice (*Oryza sativa* L.). *Applied Field Crops Research*, 28(108), pp.127-136. [In Persian].
- Azizzadeh, E., Movahedi Naeini, S.A.R., Zeinali, E. and Roshani, G.A., 2018. Effects of foliar application of leonardite, nitrogen, and potassium on root growth, nutrient uptake and yield of wheat. *Iranian Journal of Soil Research*, 32(1), pp.1-11. [In Persian].
- Barut, H., 2019. Effects of foliar urea, potassium and zinc sulphate treatments before and after flowering on grain yield, technological quality and nutrient concentrations of wheat. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), pp.4325-4342. doi: **10.15666/aeer/1702\_43254342**
- Blandino, M., Vaccino, P. and Reyneri, A., 2015. Late-Season nitrogen increases improver common and durum wheat quality. *Agronomy Journal*, 107(2), pp.680-690. doi: **10.2134/agronj14.0405**
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, pp.248-254.
- Cozzolino, D., Roumeliotis, S. and Eglinton, J., 2015. Relationships between fatty acid contents of barley grain, malt, and wort with malt quality measurements. *Cereal Chemistry*, 92, pp.93-97. doi: **10.1094/cchem-04-14-0071-r**
- Fathi Rezaei, P., Mohammadnezhad, M. and Aghaee A., 2020. Evaluation of the effect of iron sulfate on growth and some biochemical parameters of garlic plantlets under in vitro culture condition. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(4), pp.898-909. [In Persian].
- Fox, G.P., Panozzo, J.F., Li, C.D., Lance, R.C.M., Inkerman, P.A. and Henry, R.J., 2003. Molecular basis of barley quality. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54, pp.1081-1101. doi: **10.1071/ar02237**
- Gholamhosseini, M., Aghaalkhani, M. and Malakouti, M.J., 2008. Effect of natural zeolite and nitrogen rates on canola forage quality and quantity. *Journal of Crop Production and Processing*, 12(45), pp.537-548. [In

- Persian].
- Gu, X., Liu, Y., Li, N., Liu, Y., Zhao, D., Wei, B. and Wen, X., 2021. Effects of the foliar application of potassium fertilizer on the grain protein and dough quality of wheat. *Agronomy*, 11, 1749. doi: **10.3390/agronomy11091749**.
- Gul, H., Said, A., Saeed, B., Mohammad, F. and Ahmad, I., 2011. Effect of foliar application of nitrogen, potassium and zinc on wheat growth. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 6(4), pp.56-58.
- Hassani, A. and Amiri, M.R., 2017. Effect of foliar application of amino acids on nitrogen use efficiency, grain yield and quality of barley. *Applied Field Crops Research*, 29(112), pp.76-86. [In Persian].
- Hokmalipour, S. and Seyed Sharifi, R., 2015. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) affected by different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on the yield and some physiological parameters of barley (*Hordeum vulgare L.*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), pp.822-833. [In Persian].
- Jalili, F., Nasrolah Zadeh Asl, A. and Valiloo, R., 2013. The Effects of sulfur and manure fertilizer on yield and protein of wheat (Var. Zarin). *Journal of Research in Crop Sciences*, 5(19), pp.71-84. [In Persian].
- Kaur, M., Sharma, R. and Randhawa, J.S., 2020. Response of malt barley (*Hordeum distichon L.*) to nitrogen and foliar application of potassium. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 11(4), pp.911-913.
- Khodabande, N., 2013. Cereals. Tehran University Press. pp.538. [In Persian].
- Kindred, D.R., Verhoeven, T.M.O., Weightmana, R.M., Swanston, J.S., Agu, R.C., Brosnan, J.M. and Sylvester-Bradley, R., 2008. Effects of variety and fertilizer nitrogen on alcohol yield, grain yield, starch and protein content, and protein composition of winter wheat. *Journal of Cereal Science*, 48(1), pp.46-57. doi: **10.1016/j.jcs.2007.07.010**
- Limon-Ortega, A., Munguia-Lopez, J.P. and Espitia-Rangel, E., 2020. Foliar K application to rainfed wheat in a soil testing high K as an option to improve K use efficiency, grain yield and yield components, *Journal of Plant Nutrition*. doi: **10.1080/01904167.2020.1724301**
- Marschner, H., 2011. Mineral nutrition of higher plants. 3rd Edition, Academic Press, London, UK, pp.676.
- Mohammadi, S., Barzegar, T. and Ghahremani, Z., 2019. Effect of different nitrogen and potassium levels on nitrogen efficiency and some nutrient contents of sweet fennel. *Agroecology Journal*, 15(1), pp.57-69. [In Persian].
- Mohammadi, S., Peyghambarnejad, S. and Arefi, S., 2012. Effects of foliar urea spray at different plant development stages on grain yield and protein percentage of tow dryland wheat varieties. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(1), pp.207-213. [In Persian]. doi: **10.22067/gsc.v10i1.14507**
- Mosavi, M., Sadeghi Bakhtavari, A.R., Pasban Eslam, B., Sameh Andabjadid, S., Kardan, J. and Mohammadi, H., 2015. Effects of foliar applications of sulfur, nitrogen and phosphorus on castor bean (*Ricinus communis L.*) seed yield and its components under water deficit conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(2), pp.323-336. [In Persian].
- Rajabi, R., Eslami, S.V., Jami Al- Ahmadi, M., Mohammadi, R. and Saeidi, M., 2020. Effect of foliar application

- and top dressing fertilizer on yield and yield components of bread wheat cultivars in dryland and supplemental irrigation condition in Kermanshah region. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 9(1), pp.21-38. [In Persian].
- Razghandi, E., Elhamirad, A.H., Ghods Vali, A.R. and Stiri, H., 2016. Investigating the geometrical dimensions and physicochemical characteristics of cereal grains (wheat, wheat/barley and hull less barley) of Razavi Khorasan province. *Innovation in Food Science and Technology (Journal of Food Science and Technology)*, 7(4), pp.63-70. [In Persian].
- Rhodes, R., Miles, N. and Hughes, J.C., 2018. Interactions between potassium, calcium and magnesium in sugarcane grown on two contrasting soils in South Africa. *Field Crops Research*, 223, pp.1-11. **doi: 10.1016/j.fcr.2018.01.001.**
- Shimelis, F. and Mulatu, Z., 2021. Effect of nitrogen fertilizer rate on grain yield and malt quality of three malt barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties at Arsi zone, Ethiopia. *Journal of Plant Sciences*, 9(4), pp.170-174. **doi: 10.11648/j.be.20240801.11**
- Xiaokang, L., Yunpeng, D., Mei, L., Wenxin, L., Xiaoyan, G., Yang, L. and Xiaoxia, W., 2021. Effect of foliar application of various nitrogen forms on starch accumulation and grain filling of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 12, 645379. **doi: 10.3389/fpls.2021.645379**
- Xu, G., Wolf, S. and Kafkafi, U., 2002. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. *Journal of Plant Nutrition*, 25(4), pp.719-734. **doi: 10.1081/pln-120002954**

## Effect of late season application of different nitrogen sources and foliar application of potassium on the grain yield and quality in barley (*Hordeum vulgare* L.)

Noor Ahmad Arab<sup>1</sup>, Matin Jami Moeini<sup>2\*</sup>, Hamid Marvi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

<sup>2</sup> Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

\*Corresponding Author: [mat\\_jami@iaus.ac.ir](mailto:mat_jami@iaus.ac.ir)

Received: 28 October 2022 Accepted: 10 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.367597.1283

### Abstract

**Introduction:** Barley (*Hordeum vulgare* L.), is one of the oldest domesticated crops. In terms of importance, it is considered the fourth most important grain in the world after wheat, corn and rice. Proper nutrition of plants is one of the important factors in improving the quantity and quality the crops. Among the nutrients, nitrogen is the most important growth limiting factor. Nitrogen foliar application, especially at the end of the growing season and reproductive stage, can be an effective factor in increasing the quality and possibly the quantity of grains. There are different sources of nitrogen for agricultural purposes. In general, for most nutrients, there is little difference between the effects of different sources. However, in the case of nitrogen, the effects of the form and source of nitrogen on many vegetative and reproductive characteristics of plants are different and significant.

**Materials and Methods:** To investigate the effect of late season foliar application of nitrogen and potassium on the yield and quality of barley, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in Sabzevar during the cropping year of 2018-2019. The factors studied were nitrogen foliar application at five levels (no foliar application and foliar application with urea, ammonium nitrate, ammonium sulfate and calcium nitrate at the rate of 3 kg N ha<sup>-1</sup>) and potassium foliar application at two levels (foliar application of 2.5 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> in the form of potassium sulfate and non-foliar application of potassium). The application rate of nitrogen and potassium in foliar application treatments were 3 kg N ha<sup>-1</sup> from different sources and 2.5 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> in the form of potassium sulfate, respectively. Reyhan barley cultivar was used in this experiment.

**Results and Discussion:** The results showed that nitrogen foliar application at anthesis stage had no significant effect on the plant height, number of tillers and number of fertile tillers per plant, but it caused a significant increase in the spike length, number of fertile spikelets per spike, number of grains per spike, 1000 grains weight, grain yield, biological yield, harvest index, and grain nitrogen and protein content. The lowest harvest index of barley was obtained in the control treatment, which had no significant difference with calcium nitrate and ammonium sulfate foliar application treatments. The highest harvest index was also recorded in the conditions of foliar application of urea fertilizer, which was not significantly different from the ammonium nitrate and ammonium sulfate foliar application treatments. The highest grain nitrogen (2.1%) and protein (12.4%) contents were observed under ammonium sulfate foliar application conditions. Nitrogen foliar application reduced the grain starch content compared to non-foliar application conditions. Ammonium sulfate foliar application treatment had the lowest content of grain starch with 57.91%. Late season foliar application of potassium caused a significant increase in 1000 grain weight, grain yield and biological yield of barley compared to the non-foliar application conditions, but it had no significant effect on the other studied traits. Foliar application of potassium sulfate along with urea and ammonium nitrate, significantly increased the number of grains per spike and grain yield compared to the foliar application treatments of these fertilizers alone. The highest spike length (5.8 cm), number of fertile spikelet per spike (15), number of grain per spike (46.1), grain yield (5178 kg ha<sup>-1</sup>) and biological yield (13965 kg ha<sup>-1</sup>) of

barley plants were observed under the combined foliar application of urea and potassium sulfate conditions.

**Conclusion:** According to the results, combined foliar application of potassium sulfate and urea in the anthesis stage is recommended to produce high yield and increase the protein content of barley grains. Ammonium nitrate foliar application in the anthesis stage of barley will also lead to high starch content in grains in addition to producing optimal seed yield.

**Keywords:** Ammonium nitrate, Calcium nitrate, Malting, Protein, Starch

## اثر مصرف برخی منابع تغذیه‌ای ارگانیک بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk) تحت سطوح مختلف فراهمی آب

محمدحسین امینی فرد<sup>۱</sup>، علی نوکی<sup>۲</sup>، حمیدرضا فلاحی<sup>۳\*</sup>، علی آذری نصرآباد<sup>۴</sup>

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران

۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی (گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۴- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران

\* مسئول مکاتبه: hamidreza.fallahi@birjand.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.424888.1379

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

### چکیده

مدیریت مصرف آب و عناصر غذایی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی از جمله اسفرزه می‌باشند. در این آزمایش اثر سطوح مختلف فراهمی آب (انجام آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر) و منابع تغذیه‌ای ارگانیک (اسید هیومیک، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی، به همراه عدم مصرف کود به‌عنوان تیمار شاهد) بر رشد و عملکرد بذر و موسیلاژ اسفرزه مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای به‌خصوص جلبک دریایی رشد رویشی گیاه را بهبود بخشید. تعداد دانه در سنبله در تیمارهای مصرف جلبک دریایی، اسید هیومیک، اسید فولویک و شاهد به‌ترتیب ۴۵/۱، ۴۴/۳، ۴۴/۹ و ۲۹/۰ عدد و وزن هزاردانه به‌ترتیب برابر با ۱/۶۳، ۱/۶۰، ۱/۶۲ و ۱/۵۵ گرم بود. بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب ۱۹۴۲/۲ و ۱۲۲۵/۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (به‌ترتیب ۷۶۳/۴ و ۴۵۶/۱ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب از تیمارهای کاربرد عصاره جلبک دریایی و شاهد (عدم مصرف کود) به دست آمد که به‌ترتیب نشان‌دهنده اختلاف ۵۸/۴ و ۶۷/۳ درصدی می‌باشد. عملکرد موسیلاژ در اثر مصرف عصاره جلبک، اسید هیومیک و اسید فولویک به‌ترتیب ۵۶/۴، ۳۱/۴ و ۲۳/۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش معنی‌دار یافت. در مجموع، مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای رشد و نیز عملکرد بذر و موسیلاژ اسفرزه را بهبود بخشید و کاهش فراهمی آب اثری بر رشد و عملکرد گیاه نداشت که بیانگر سازگاری مناسب اسفرزه با مناطق نیمه‌خشک می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اسیدفولویک، اسید هیومیک، تنش خشکی، جلبک دریایی، موسیلاژ، وزن دانه

### مقدمه

Forsk در ایران تحت نام اسفرزه شناخته می‌شوند. این دو گونه مصارف گسترده‌ای در صنعت و داروسازی دارند. قسمت مورد استفاده در گیاه اسفرزه دانه است که دارای ۲۰ تا ۳۰ درصد موسیلاژ و نیز مقادیری روغن و پروتئین می‌باشد (Shamloo et al., 2018).

افزایش بی‌رویه مصرف کودها و مواد شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی، سلامت خاک، آب، هوا و همچنین محصولات تولیدی را به خطر انداخته و نگرانی‌های روزافزونی را برای محیط‌زیست و سلامت بشر به وجود آورده است. در همین راستا، بحث کشاورزی ارگانیک و توسعه کشاورزی پایدار و بوم‌سازگار جهت مقابله با معضلات مذکور در سراسر جهان

گیاهان دارویی بخش مهمی از تنوع زیستی موجود در بسیاری از کشورهای جهان را شامل می‌شوند. بخش زیادی از داروهای تجویز شده در دنیا به ترکیبات فعال بیولوژیکی حاصل از گیاهان مربوط می‌شود (Aali et al., 2017). در بین گیاهان دارویی، اسفرزه، به دلیل داشتن موسیلاژ از اهمیت خاصی برخوردار است (Roumani et al., 2020a). اسفرزه با نام علمی *Plantago ovata* Forsk. گیاهی یک‌ساله از خانواده بارهنگ است (Mozaffarian, 2015)، که رویشگاه آن به طور عمده در مناطق گرمسیری می‌باشد (Manish et al., 2018). دو گونه مهم این جنس *Plantago ovata* و *Plantago psyllium* L

افزایش کمیّت و کیفیت محصول می‌گردد ( Saffar Sabzevar and Jami Moeini, 2015).

در پژوهشی بر روی شمع‌دانی (*Plargonium spp.*) اثر مصرف اسید هیومیک جهت بهبود رشد و عملکرد گیاه مثبت گزارش شد (Aabaszadeh Faruji *et al.*, 2018). اثرات مصرف عصاره جلبک دریایی بر بهبود عملکرد کمی و کیفی زعفران نیز مفید ارزیابی شده است ( Khandan Deh-Arbab *et al.*, 2020). در تحقیقی تأثیر کاربرد انواع حاصل‌خیزکننده‌های خاک شامل سطوح مختلف ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اسید هیومیک بر رشد و عملکرد اسفرزه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج حاکی از کم‌توقع بودن اسفرزه از نظر نیاز غذایی بود. نتایج آزمایش مذکور نشان داد که مصرف کود گاوی و اسید هیومیک به طور نسبی شاخص تورم بذر اسفرزه را بهبود بخشید و بیشترین عملکرد بذر نیز در تیمار مصرف ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به دست آمد (Fallahi *et al.*, 2018). در پژوهش دیگری بر روی اسفرزه گزارش شد مصرف منابع کودی میزان عملکرد بذر اسفرزه را افزایش نداد. با این وجود، به دلیل افزایش نسبی درصد موسیلاژ، میزان عملکرد موسیلاژ در تیمار مصرف هم زمان ۴۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی + ۲۰ تن در هکتار کود گاوی حدود ۱۵ درصد بیش‌تر از تیمار عدم مصرف کود بود (Khavari *et al.*, 2018). محققان دیگری نیز اثر تیمارهای مختلف حاصل‌خیزی خاک شامل کودهای شیمیایی، کود دامی و زیستی را بر ویژگی‌های آگرومورفولوژیک و محتوای موسیلاژ دانه اسفرزه، بررسی و گزارش کردند منابع تغذیه‌ای در مقایسه با تیمار شاهد از عملکرد، اجزای عملکرد و موسیلاژ بالاتری برخوردار بودند (Pouryousef *et al.*, 2010). انتخاب محصولات زراعی مناسب برای الگوی کاشت مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند گیاهان مقاوم به خشکی که مواد شیمیایی با ارزشی را برای نیازهای انسان تأمین می‌کنند، از اهمیت بالایی برخوردار است. اسفرزه به عنوان گیاهی موسیلاژدار دارای نیاز رطوبتی کم و مقاوم به خشکی است که می‌تواند جهت تولید محصول در مناطق کم‌آب مورد توجه قرار گیرد ( Fallahi *et al.*, 2018). در همین ارتباط، در پژوهشی گزارش شد بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه اسفرزه از تیمار تأمین رطوبت به میزان ۸۰ درصد ظرفیت زراعی توأم با مصرف کود زیستی نیتروکسین و کم‌ترین مقدار آن‌ها از تیمار فراهمی رطوبت

مطرح شده و اهمیت فزآینده‌ای یافته است ( Fallahi *et al.*, 2021). مدیریت مصرف کود یک عامل مهم در موفقیت کشت گیاهان می‌باشد و در این بین، شناسایی و مصرف کودهای آلی و بیولوژیک سازگار با طبیعت مانند عصاره جلبک دریایی، اسید هیومیک و اسید فولویک می‌تواند اثرات مطلوبی بر شاخص‌های کمی و کیفی گیاهان داشته باشد ( Khandan Deh-Arbab *et al.*, 2017).

عصاره جلبک دریایی یکی از منابع تجدیدپذیر اکوسیستم‌های آبی جهان است که حاوی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و برخی عناصر ریزمغذی (آهن، مس، روی، کبالت، مولیبدن و منگنز)، هورمون‌های رشد (اکسین و سیتوکنین)، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه می‌باشد ( Elumalai and Rengasamy, 2012; Shahbazi *et al.*, 2015). از این زیست‌محرك‌ها می‌توان برای افزایش رشد و عملکرد گیاهان در بوم‌نظام‌های کشاورزی استفاده نمود (Khandan Deh-Arbab, 2017). این ترکیبات موجب تقویت رشد ریشه‌ها، افزایش سطح فتوسنتزکننده و بهبود محتوای کلروفیل برگ می‌شوند (Khan *et al.*, 2009). اسید هیومیک یکی از ترکیبات آلی هوموسی است که در اثر تجزیه مواد آلی به‌ویژه با منشأ گیاهی بوجود می‌آید (Ahmadi and Aminifard, 2018). این ترکیب از منابع مختلفی مانند هوموس، پیت و لیگنیت اکسید شده استخراج می‌شود که در اندازه مولکولی و ساختار شیمیایی متفاوت‌اند (Narimani *et al.*, 2019). مهم‌ترین اثرات کاربرد اسید هیومیک شامل افزایش زیست‌توده گیاهان، تحریک جذب و تجمع عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک است. این ترکیب بر میزان قند و اسید آمینه، پایداری غشای سلول، جذب اکسیژن و فرایند تنفس و فتوسنتز در گیاهان مؤثر است ( Fallahi *et al.*, 2016; Shahsavari *et al.*, 2019). فولویک اسید نیز از ترکیبات هوموسی است که به دلیل کلات کردن عناصر ضروری موجب افزایش جذب عناصر و حاصل‌خیزی خاک می‌شود (Poudineh *et al.*, 2015). این ترکیب در منابع متعددی مانند خاک، کمپوست، ورمی‌کمپوست، پیت و زغال‌سنگ نارس وجود دارد (Ghosh *et al.*, 2012). اسید فولویک به عنوان فعال‌ترین ترکیب هیومیکی از طریق کلات‌کنندگی عناصر غذایی و با قدرت تبادل یونی بالا، جذب عناصر معدنی را در گیاهان افزایش می‌دهد و از این طریق سبب

مانند اسفرزه دارای اهمیت است. از آنجا که اسفرزه یک گیاه دارویی است، موضوع تغذیه این گیاه با استفاده از منابع کودی بیولوژیک و آلی نیز مهم تلقی می‌شود. بنابراین، در آزمایش کنونی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری تحت تأثیر منابع مختلف کودهای زیستی بر رشد و عملکرد اسفرزه مورد مطالعه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### محل اجرای تحقیق

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی (بیرجند) با طول جغرافیایی ۵۹ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی و با ارتفاع ۱۴۱۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. محل اجرای تحقیق دارای آب و هوای نیمه بیابانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک با میانگین دمای سالانه ۲۶/۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه حدود ۱۲۰ میلی‌متر می‌باشد. شرایط اقلیمی محل اجرای آزمایش در طی دوره تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده برای کشت گیاه در جدول ۲ قابل مشاهده است.

به میزان ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود زیستی به دست آمد که به ترتیب ۴۷ و ۵۴ درصد تفاوت داشتند (Ramroudi *et al.*, 2018). در تحقیق دیگری مشاهده شد که بیشترین مقادیر ارتفاع بوته، سطح برگ، تعداد پنجه در بوته و میزان سبزی‌نگی اسفرزه در تیمار فراهمی آب به میزان ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد (Shamloo *et al.*, 2018). در پژوهشی تأثیر فراهمی آب (۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار) بر روی عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های کیفی دو گونه دارویی اسفرزه و پسلیوم، بررسی شد. بیشترین عملکرد کاه و کلش و عملکرد دانه در اسفرزه به ترتیب در تیمار آبی ۴۰۰۰ و ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار و در پسلیوم به ترتیب در تیمار آبی ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار بدست آمد. بیشترین مقادیر موسیلاژ و شاخص تورم در هر دو گونه در تیمار آبی ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار مشاهده شد. همچنین بالاترین میزان تورم در هر گرم موسیلاژ در تیمار آبی ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد (Koocheki *et al.*, 2011). با توجه به اینکه ایران جزو کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا می‌باشد و در سال‌های اخیر نیز با خشکسالی‌های پی‌درپی مواجه بوده است، استفاده بهینه از منابع آبی بایستی در اولویت قرار گیرد. در این خصوص، معرفی گیاهان دارای نیاز آبی کم

جدول ۱- مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی محل اجرای آزمایش در طی دوره رشد اسفرزه در سال ۱۴۰۰

**Table 1- The most important climatic parameters of the experimental site during the growth period of Isabgol in the year 2021**

ماه Month	میانگین دمای حداقل Mean of minimum temperature (°C)	میانگین دمای حداکثر Mean of maximum temperature (°C)	میانگین دمای ماهانه Mean of month temperature (°C)	مجموع ساعات آفتابی Total sunny hours	میزان بارندگی ماهانه Month precipitation (mm)
فروردین April	12.81	29.58	22.71	250	2.5
اردیبهشت May	16.43	30.72	24.89	280	47.5
خرداد June	21.43	37.78	31.40	330	0
تیر July	23.57	38.37	32.44	360	0

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

**Table 2- Some physical and chemical characteristics of the soil used for the experiment**

رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک Soil texture	ازت کل Total nitrogen (%)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (ppm)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)	مواد آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	شاخص واکنش pH
19.7	20.1	60.2	لومی شنی Sandy loam	0.045	264.1	7.8	0.32	6.92	8.06

## تیمارها و طرح آزمایش

آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به انجام رسید. سطوح فراهمی آب و منابع مختلف تغذیه‌ای ارگانیک فاکتورهای مورد مطالعه بودند. سطوح فراهمی آب در کرت‌های اصلی و تیمارهای تغذیه‌ای در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. کودهای مصرفی شامل اسید هیومیک، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی به همراه یک تیمار شاهد (عدم مصرف کود) و سطوح فراهمی آب شامل انجام آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر (با ابعاد ۲۵/۴ × ۱۲۰/۶ سانتی‌متر) بودند. سطوح آبیاری بر اساس تجربیات و تحقیقات قبلی محققان و نیز بررسی برخی منابع علمی (Ghasemi Siani *et al.*, 2011; Koocheki *et al.*, 2011) انتخاب شدند. درصد اشباع خاک (SP) محل اجرای تحقیق ۴۵ بود. میزان

مصرف اسید هیومیک، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی مطابق با توصیه شرکت‌های سازنده، به ترتیب ۴، ۱/۵ و کیلوگرم در هکتار بود که در دو مقدار مساوی در زمان کاشت و اوایل تشکیل سنبله به صورت همراه با آب آبیاری مصرف شد. کود اسید هیومیک مصرفی با نام هایپرهیوم کنسانتره از معادن لئوناردیت آمریکای شمالی تولید شده و توسط شرکت صنایع شیمیایی سبزل استان مرکزی به بازار عرضه می‌شود. این کود محتوی پتاسیم هیومات است که شامل ۱۲ درصد پتاسیم محلول و ۶۰ درصد اسید هیومیک می‌باشد. اسید فولیک مصرفی از شرکت آریا شیمی سبز زاهدان تهیه شد که محتویات آن در جدول ۳ ارایه شده است. عصاره جلبک دریایی نیز از شرکت آریا شیمی سبز زاهدان تهیه شد و ترکیبات آن در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۳- محتویات اسید فولویک مورد استفاده در آزمایش

Table 3- The content of fulvic acid used in the experiment

اسید فولویک	آمینو اسید	پتاسیم	نیتروژن	فسفر
Fulvic acid (%)	Amino acid (%)	Potassium (%)	Nitrogen (%)	Phosphorous (%)
50	2	10	3	0.5

جدول ۴- محتویات عصاره جلبک دریایی مورد استفاده در آزمایش

Table 4- The content of seaweed extract used in the experiment

عصاره جلبک دریایی	مواد آلی	هیدرات کربن	نیتروژن کل	فسفر قابل استفاده	پتاسیم محلول در آب
Seaweed extract (%)	Organic matter (%)	Carbohydrate (%)	Total nitrogen (%)	Available phosphorous (%)	Water soluble potassium
26	4.9	1.8	1	1	1.5
اسید آلی	بور	مس	آهن	روی	منگنز
Organic acid	B (mg L <sup>-1</sup> )	Cu (mg L <sup>-1</sup> )	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Mn (mg L <sup>-1</sup> )
0.7	11	30	160	50	80
آمینو اسید	اکسین فعال	جیببرلین فعال	سیتوکینین فعال		
Amino acid (mg L <sup>-1</sup> )	Active auxin (mg L <sup>-1</sup> )	Active gibberellin (mg L <sup>-1</sup> )	Active cytokinin (mg L <sup>-1</sup> )		
52	15	107	11		

## عملیات زراعی

کشت گیاه در تاریخ ۱۲ فروردین سال ۱۴۰۰ با استفاده از بذور محلی اسفرزه گونه اواتا (*Plabtago ovata*) در کرت‌هایی با ابعاد ۲/۵×۲/۵ متر (۶/۲۵ مترمربع) صورت گرفت. فاصله بین تکرارها (بلوک‌ها) ۲/۵ متر، فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. قبل از

کاشت در درون هر کرت تعداد پنج جوی پشته ایجاد شد (فاصله پشته‌های مجاور از یکدیگر ۰/۵ متر بود) و سپس کاشت گیاه در دو طرف هر پشته بصورت ردیفی انجام شد (۱۰ ردیف کاشت در هر کرت). تراکم کاشت ۶۵ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد، بر این اساس فواصل بین و روی ردیفی به ترتیب ۲۵ و ۶/۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت بذر در درون شیارهایی به

شد. بر این اساس، حجم آب مصرفی برای هر کرت ۳۱۲ لیتر بود که با استفاده از کنتور حجمی در اختیار گیاه قرار گرفت. جزئیات مربوط به زمان، تعداد و حجم آبیاری در جدول شماره ۵ ارایه شده است. وجین دستی علف‌های هرز در یک نوبت در دهم اردیبهشت‌ماه صورت گرفت.

عمق ۰/۵ سانتی‌متر صورت گرفت. اولین آبیاری تمام کرت‌ها بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت و به دلیل عدم کفایت بارندگی و کاهش رطوبت خاک، جهت کمک به سبزشدن بوته‌ها دو آبیاری دیگر نیز با فاصله حدود ۵ روز صورت گرفت. پس از این مرحله تیمارهای فراهمی آب اعمال شد. مقدار آب مصرفی در هر نوبت آبیاری ۵۰۰ مترمکعب در هکتار تنظیم

جدول ۵- زمان و تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای مختلف فراهمی آب

Table 5- The time and the number of irrigations in three different water availability treatments

تعداد دفعات سطوح آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک)	تعداد دفعات آبیاری	تاریخ انجام آبیاری	حجم آب مصرفی در هر نوبت	حجم کل آب مصرفی
Irrigation levels (mm of evaporation from the pan)	Number of irrigation	Dates of irrigations	Consumed water per irrigation (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Total consumed water (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
100	11	۲۳ اردیبهشت، ۲، ۹، ۱۶، ۲۳ و ۳۰ خرداد، ۶، ۱۲ و ۱۹ تیر 23 April, 3, 13, 23 & 30 May; 6, 13, 20 & 27 June, 3 & 10 July	500	5500
150	8	۳ و ۱۸ اردیبهشت؛ ۲، ۱۲ و ۲۲ خرداد؛ ۱، ۱۲ و ۲۱ تیر 23 April, 8 & 23 May, 2, 12 & 22 June, 3 & 12 July	500	4000
200	6	۳ و ۲۳ اردیبهشت؛ ۱۱ و ۲۵ خرداد؛ ۷ و ۲۰ تیر 23 April, 13 May, 1, 15 & 28 June, 11 July	500	3000

از زمان کاشت (۱۱ فروردین) تا پس از سبزشدن کامل (شروع اعمال تیمارهای آبیاری در سوم اردیبهشت) در تمامی کرت‌ها بصورت برابر تعداد ۳ مرتبه آبیاری سبک (۲۰۰ مترمکعب در هر نوبت) صورت گرفت.

From the planting date (31, March) until full emergence (the start of irrigation treatments on the 23<sup>th</sup> April), all the plots were lightly irrigated three times (200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> each time).

آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. در انتهای فصل رشد و پس از رسیدگی بوته‌ها (۲۸ تیرماه)، از همین بخش از هر کرت تعداد پنج بوته انتخاب شده و در آزمایشگاه اجزاء عملکرد شامل تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه تعیین شد. برای تعیین وزن هزار دانه، تعداد ۱۰۰۰ عدد بذر توسط دستگاه بذرشمار مورد شمارش قرار گرفت و با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. در دو مترمربع باقی‌مانده از هر کرت، در پایان مرحله رسیدگی گیاه عملکرد بذر و عملکرد بیولوژیک تعیین شد. برای تعیین درصد موسیلاژ بذر از روش استخراج گرم جهت استخراج موسیلاژ دانه استفاده شد (Kalyanasundaram et al., 1984). با استفاده از معادله ۱ عملکرد موسیلاژ بر حسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد.

$$(۱) \text{ عملکرد دانه} \times \text{درصد موسیلاژ} = \text{عملکرد موسیلاژ}$$

## صفات مورد مطالعه

جهت انجام نمونه‌برداری، هر کرت آزمایشی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای (دو ردیف حاشیه‌ای و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت) به دو قسمت مساوی تقسیم شد. کل سطح نمونه‌برداری ۴ مترمربع بود که به دو قسمت مساوی تقسیم شد. یک قسمت برای نمونه‌برداری صفات رشدی و اجزای عملکرد و قسمت دوم برای اندازه‌گیری عملکرد کمی و کیفی در نظر گرفته شد. در زمان گلدهی گیاه، در دو مترمربع از سطح نمونه‌برداری تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته، تعداد برگ و تعداد پنجه در بوته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع، فاصله بین طوقه تا انتهای بلندترین سنبله تعیین شد. همچنین در این قسمت از کرت تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب شده و پس از قطع بوته‌ها از سطح خاک (نمونه‌برداری تخریبی)، وزن تر و خشک بوته اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری وزن خشک پس از قرار گرفتن نمونه‌های تر در

## تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های مربوط به صفات اندازه‌گیری شده جهت مرتب کردن به نرم‌افزار Excel وارد شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت و میانگین‌ها به روش آزمون LSD محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

## نتایج و بحث

## ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که اثر اصلی مصرف منابع تغذیه‌ای ارگانیک بر ارتفاع بوته گیاه اسفرزه معنی‌دار بود، ولی اثر اصلی فراهمی آب و اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). بیشترین و کمترین میزان ارتفاع بوته به ترتیب از تیمارهای مصرف عصاره جلیک دریایی و شاهد (عدم مصرف کود) به دست آمد که حدود ۳۱/۳ درصد تفاوت داشت. از حیث این صفت بین تیمارهای کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). افزایش رشد گیاه در اثر مصرف عصاره جلیک دریایی به وجود عناصر غذایی و هورمون‌ها در این منبع تغذیه‌ای مربوط است. اثر مثبت ریز مغذی‌ها در کنار حضور تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌ویژه

سیتوکینین در این نهاده آلی باعث افزایش رشد رویشی گیاه می‌شود (Aminifard *et al.*, 2022). در پژوهشی اثر مثبت مصرف اسید هیومیک بر طول گیاهچه اسفرزه مثبت ارزیابی شد (Ebrahimi and Miri Karbasak, 2016). اثر مثبت مصرف اسید هیومیک و اسید فولویک بر ارتفاع گیاه در تحقیق دیگری نیز گزارش شده و دلیل آن به افزایش محتوای نیتروژن گیاه و کمک به کلات نمودن و جذب عناصر غذایی نسبت داده شده است (Abaszadeh Faruji *et al.*, 2018). محققان دیگری نیز گزارش کردند مصرف اسید فولویک و اسید هیومیک ارتفاع گیاه را افزایش می‌دهد (Pourmorad *et al.*, 2018).

کاهش فراهمی آب اثری بر ارتفاع بوته اسفرزه نداشت (جدول ۸). این موضوع نشان می‌دهد اسفرزه سازگاری مناسبی با شرایط اقلیمی مناطق نیمه‌خشک دارد. در پژوهش دیگری نیز ارتفاع بوته اسفرزه در دوره‌های آبیاری ۷ و ۱۴ روز به ترتیب ۱۷/۵ و ۱۶/۸ سانتی‌متر گزارش گردید که فاقد اختلاف معنی‌دار بود (Khazaei *et al.*, 2007). نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان در پژوهش بر روی اسفرزه مشاهده گردید و با افزایش فواصل آبیاری، ارتفاع گیاه تغییر معنی‌داری نشان نداد (Ghasemi Siani *et al.*, 2011).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به اثر سطوح مختلف فراهمی آب و مصرف منابع تغذیه‌ای ارگانیک بر شاخص‌های رشد رویشی گیاه اسفرزه

Table 6- The results of analysis of variance (mean square) for the effect of different levels of water availability and consumption of organic fertilizers on the morphological characteristics of Isabgol

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد برگ در بوته Leaves number per plant	تعداد پنجه Number of tiller per plant	وزن تر بوته Plant fresh weight	وزن خشک بوته Plant dry weight
تکرار Replication	2	41.69 <sup>ns</sup>	63.64 <sup>ns</sup>	1.99 <sup>ns</sup>	13.90 <sup>ns</sup>	3.17 <sup>ns</sup>
سطوح آبیاری Irrigation (A)	2	1.09 <sup>ns</sup>	8.90*	1.23 <sup>ns</sup>	8.04 <sup>ns</sup>	9.45 <sup>ns</sup>
خطای اول Error A	4	0.40 <sup>ns</sup>	0.66 <sup>ns</sup>	1.26 <sup>ns</sup>	4.71 <sup>ns</sup>	7.13 <sup>ns</sup>
نوع کود Fertilizer (B)	3	38.61**	23.80**	2.97**	28.11**	1.54 <sup>ns</sup>
آبیاری×کود A×B	6	4.24 <sup>ns</sup>	5.12 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	9.17 <sup>ns</sup>	6.61 <sup>ns</sup>
خطای دوم Error B	18	4.19 <sup>ns</sup>	1.89 <sup>ns</sup>	0.60 <sup>ns</sup>	4.39 <sup>ns</sup>	6.34 <sup>ns</sup>
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	10.89	9.31	18.26	27.20	7.87

\* و \*\* به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

\* and \*\* indicate a significant difference at the probability level of 5 and 1%, respectively, and ns indicates the no-significant difference.

جدول ۷- اثر نوع منبع تغذیه‌ای ارگانیک بر شاخص‌های رشد رویشی اسفرزه

Table 7- The effect of organic fertilizer type on the vegetative growth indices of Isabgol

تیمارها (نوع کود ارگانیک) Treatments (Organic fertilizer type)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در هر بوته Number of leaves per plant	تعداد پنجه در گیاه Number of tiller per plant	وزن تر بوته Plant fresh weight (g)	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)
شاهد Control	16.04 <sup>c</sup>	12.38 <sup>c</sup>	3.47 <sup>c</sup>	5.41 <sup>c</sup>	3.05 <sup>a</sup>
اسید فولویک Fulvic acid	19.16 <sup>b</sup>	15.44 <sup>b</sup>	4.15 <sup>b</sup>	8.25 <sup>b</sup>	3.38 <sup>a</sup>
اسید هیومیک Humic acid	18.87 <sup>b</sup>	15.28 <sup>b</sup>	4.46 <sup>b</sup>	7.50 <sup>b</sup>	2.71 <sup>a</sup>
جلبک دریایی Seaweed extract	21.06 <sup>a</sup>	16.01 <sup>a</sup>	4.83 <sup>a</sup>	9.64 <sup>a</sup>	3.66 <sup>a</sup>

در هر ستون حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD می‌باشد.

In each column, different letters indicate a significant difference at the 5% probability level using the LSD test

جدول ۸- اثر سطوح مختلف فراهمی آب بر شاخص‌های رشد رویشی اسفرزه

Table 8- The effect of different levels of water availability on the vegetative growth indices of Isabgol

سطوح آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک) Irrigation levels (mm of evaporation from the pan)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در هر بوته Number of leaves per plant	تعداد پنجه در گیاه Number of tiller per plant	وزن تر بوته Plant fresh weight (g)	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)
100	19.12 <sup>a</sup>	15.74 <sup>a</sup>	4.60 <sup>a</sup>	6.83 <sup>a</sup>	2.42 <sup>a</sup>
150	18.73 <sup>a</sup>	14.08 <sup>b</sup>	4.09 <sup>a</sup>	7.82 <sup>a</sup>	3.03 <sup>a</sup>
200	18.53 <sup>a</sup>	14.53 <sup>b</sup>	4.01 <sup>a</sup>	8.46 <sup>a</sup>	4.17 <sup>a</sup>

در هر ستون حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD می‌باشد.

In each column, different letters indicate a significant difference at the 5% probability level using the LSD test

## تعداد برگ

گیاه از طریق تولید آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و اسید فنولیک، منجر به بهبود رشد رویشی گیاه می‌شود (Khandan Deh- Arbab, 2017). اسید فولویک ظرفیت تبادل کاتیونی را به شدت افزایش می‌دهد و بدین ترتیب گیاه می‌تواند مقدار عناصر غذایی بیشتری را جذب کند که در اثر آن رشد رویشی گیاه افزایش می‌یابد. این ترکیب نقش مهمی در افزایش تکثیر و رشد سلول‌ها و در نتیجه افزایش رشد گیاه دارد (Abaszadeh Faruji et al., 2018). محققان دیگری نیز گزارش کردند مصرف عصاره جلبک دریایی سطح برگ گیاه را افزایش می‌دهد (Ghfarizadeh et al., 2016). در پژوهش بر روی گیاه همیشه‌بهار، مصرف جلبک دریایی باعث افزایش تعداد برگ در گیاه شد (Heydari et al., 2017). جلبک دریایی دارای طیف وسیعی از عناصر غذایی است و با افزایش محتوای عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و بور در اندام هوایی گیاه به بهبود فتوسنتز و در نهایت افزایش رشد رویشی گیاه کمک

اثر اصلی کاربرد منابع تغذیه‌ای بر صفت تعداد برگ در گیاه معنی‌دار شد (جدول ۶). بیشترین تعداد برگ از تیمار مصرف عصاره جلبک و کمترین میزان آن از تیمار شاهد (عدم مصرف کود) حاصل شد. از نظر این صفت بین سه نوع کود مصرفی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، ولی منابع تغذیه‌ای در مقایسه با تیمار شاهد دارای برتری بودند. بیشترین تعداد برگ (۱۶/۰۱) برگ در بوته) از تیمار مصرف عصاره جلبک به‌دست آمد که ۲۹/۳ درصد بیشتر از تعداد برگ در تیمار شاهد بود (جدول ۷). در تحقیقی بر روی گل حنا (*Impatiens walleriana* L) کاربرد هم‌زمان اسید هیومیک و اسید فولویک باعث بهبود صفات رشدی گیاه نسبت به تیمار شاهد گردید که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد (Esringü et al., 2015). تغذیه گیاه با اسید هیومیک می‌تواند سبب بهبود فتوسنتز و افزایش تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی شده و با تقویت سیستم دفاعی

غذایی توسط گیاه شود. عصاره جلبک در افزایش تولید و انتقال سیتوکینین‌ها از ریشه به سایر اندام‌های گیاه دارای نقش است. در این عصاره مقادیر بالایی از مواد معدنی محلول در آب وجود دارد که به راحتی توسط گیاه جذب می‌شوند و باعث بهبود رشد رویشی گیاه می‌شوند (Ahmadi, 2022; Aminifard *et al.*, 2022).

### وزن تر و خشک بوته

نتایج بیان‌گر معنی‌دار نشدن اثر اصلی و متقابل فاکتورهای آزمایشی (منابع تغذیه‌ای و میزان فراهمی آب) بر وزن خشک بوته اسفرزه بود (جدول ۶). مصرف اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی به طور غیرمعنی‌داری باعث بهبود مقدار این صفت شد (جدول ۷). کاهش فراهمی آب نیز باعث کاهش وزن خشک بوته نشد (جدول ۸) که می‌تواند نشان‌دهنده تحمل تنش توسط این گیاه باشد. اثر اصلی نوع منبع تغذیه‌ای بر وزن تر بوته معنی‌دار شد (جدول ۶). تمامی تیمارهای تغذیه‌ای مقدار این صفت را در مقایسه با تیمار شاهد بهبود بخشیدند و از این نظر برتری به ترتیب با تیمارهای کاربرد عصاره جلبک، اسید فولویک و اسید هیومیک بود؛ به طوری که تیمارهای مذکور در مقایسه با تیمار شاهد مقدار وزن تر بوته را به ترتیب ۷۸/۵، ۵۲/۷ و ۳۸/۸ درصد بهبود بخشیدند (جدول ۷).

در پژوهشی مصرف اسید هیومیک باعث توسعه اندام زیرزمینی گیاه و تسریع در فرآیند جوانه‌زنی اسفرزه شد (Ebrahimi and Miri Karbasak, 2016). تسریع در جوانه‌زنی باعث می‌شود استقرار گیاه و فرآیند توسعه اندام فتوسنتزکننده زودتر آغاز شود و توسعه ریشه نیز به جذب آب و عناصر غذایی کمک می‌کند و پیامد نهایی آن می‌تواند افزایش وزن گیاه باشد (Sibi *et al.*, 2016). محققان اثر مصرف عصاره جلبک دریایی را بر افزایش وزن اندام هوایی و زیرزمینی در گیاه همیشه بهار مثبت ارزیابی کردند (Heydari *et al.*, 2017). محقق دیگری گزارش نمود که عصاره جلبک دریایی حاوی عناصر پرمصرف، کم‌مصرف و هورمون‌های رشد گیاهی (اکسین، جیبرلین و سیتوکینین) و نیز کربوهیدرات‌ها و اسید آمینه‌های آزاد می‌باشد و از این رو مصرف آن می‌تواند سبب توسعه اندام رویشی و افزایش وزن گیاه شود (Ahmadi, 2022). عصاره جلبک دریایی دارای کربوهیدرات و سایر ترکیبات آلی است که

می‌نماید (Ahmadi, 2022).

اثر اصلی فراهمی آب بر صفت تعداد برگ در هر گیاه معنی‌دار شد (جدول ۶). بیشترین تعداد برگ از تیمار انجام آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به دست آمد که به ترتیب ۱۱/۸ و ۸/۳ درصد بیشتر از مقادیر این صفت در تیمارهای ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بود. از نظر این شاخص بین سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). کاهش رشد گیاه در شرایط تنش خشکی یک حالت سازگارکننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است، به این دلیل که گیاه، مواد غذایی و انرژی را به جای استفاده برای رشد شاخساره، به سمت مولکول‌های نگهداری کننده در برابر تنش، هدایت می‌کند (Hosseinian *et al.*, 2019). با این وجود، در آزمایش کنونی کاهش ۵۰ درصدی فراهمی آب فقط حدود ۱۱ درصد تولید برگ در اسفرزه را کاهش داد که حاکی از تحمل نسبتاً مناسب این گیاه به کمبود آب می‌باشد.

### تعداد پنجه

اثر اصلی کاربرد منابع تغذیه‌ای بر صفت تعداد پنجه در گیاه معنی‌دار شد (جدول ۶). مصرف منابع مختلف تغذیه‌ای (اسید هیومیک، اسید فولویک و عصاره جلبک) مقدار این صفت را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. بیشترین تعداد پنجه (۴/۸۳) عدد در بوته (از تیمار مصرف عصاره جلبک دریایی حاصل شد. مقدار این شاخص در تیمار مذکور ۳۹/۲ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف کود (شاهد) بود. (جدول ۷). در پژوهشی بر روی اسفرزه گزارش شد که مصرف دو کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک تعداد پنجه در گیاه را ۳۲ درصد افزایش داد و از ۳/۸ به ۵/۶ پنجه در هر گیاه رساند (Fallahi *et al.*, 2018). در پژوهش دیگری نیز اثر فراهمی مطلوب عناصر غذایی به خصوص نیتروژن بر خصوصیات مرفولوژیک گیاه اسفرزه مانند ارتفاع بوته و تعداد پنجه در بوته مثبت گزارش شد (Shamloo *et al.*, 2018) که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد. در تحقیقی نقش اسید هیومیک در پنجه‌زنی گیاه مثبت ارزیابی شد و این موضوع به فراهمی عناصر به خصوص نیتروژن در شرایط مصرف این اسید آلی نسبت داده شد (Pazoki, 2016). کاربرد عصاره جلبک می‌تواند باعث افزایش حجم ریشه و بهبود جذب عناصر

۶۴/۰ درصدی تعداد سنبله در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود شدند (جدول ۱۰). در پژوهشی مشابه بر روی اسفرزه کاربرد یک و دو کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک، صفت تعداد سنبله در گیاه را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۲۲ و ۳۵ درصد افزایش داد (Fallahi *et al.*, 2018). اسید هیومیک از یک‌سو با توسعه اندام زیرزمینی گیاهان و نیز اصلاح خصوصیات خاک، موجب تسهیل جذب آب و مواد غذایی می‌شود و از طرفی محتوای هورمون‌های محرک رشد را در گیاهان بیشتر می‌کند. این رخدادها توسعه رشد رویشی و زایشی گیاه را در پی دارد (Mirzaee *et al.*, 2020). تعداد سنبله در اسفرزه ارتباط نزدیکی با صفت تعداد پنجه دارد. با توجه به اینکه مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای، پنجه‌زنی گیاه را تحریک نمود (جدول ۷)، تعداد سنبله در گیاه نیز در شرایط اعمال تیمارهای تغذیه‌ای افزایش یافت (جدول ۱۰). عدم تأثیر معنی‌دار سطوح فراهمی آب بر صفت تعداد سنبله (جدول ۹) و کاهش نیافتن مقدار این صفت در شرایط کاهش فراهمی آب، حاکی از تحمل مناسب اسفرزه به کم‌آبی است.

باعث بهبود خصوصیات خاک و ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود (Khandan Deh-Arbab, 2017) و از این رو می‌تواند تحمل گیاه به کم‌آبی را بهبود بخشد. نتایج تحقیق دیگری نیز نشان داد کاربرد اسید هیومیک با تولید تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین، اثرات منفی کم‌آبی را جبران نموده و سبب افزایش زیست‌توده گیاه می‌شود (Gorgini *et al.*, 2018).

### تعداد سنبله

از بین اثرات اصلی و متقابل فاکتورهای آزمایشی، تنها اثر اصلی کاربرد منابع تغذیه‌ای بر صفت تعداد سنبله در بوته معنی‌دار گردید (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در بوته از تیمار مصرف اسید هیومیک (۱۶/۸۲ عدد سنبله) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد جلبک و اسید فولویک نداشت. کمترین تعداد سنبله در بوته نیز از تیمار شاهد (عدم مصرف کود) با ۸/۶۸ سنبله حاصل گردید. تیمارهای مصرف اسید هیومیک، جلبک دریایی و اسید فولویک به‌ترتیب موجب افزایش ۹۴/۰، ۸۰/۱ و

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به اثر سطوح مختلف فراهمی آب و کاربرد منابع تغذیه‌ای ارگانیک بر عملکرد و اجزای عملکرد و محتوای موسیلاژ اسفرزه

Table 9- The results of analysis of variance (mean square) for the effect of different levels of water availability and consumption of organic fertilizers on the yield, yield components and mucilage content of Isabgol

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد سنبله Number of spike per plant	دانه در سنبله Seed number per spike	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد موسیلاژ Mucilage percentage	عملکرد موسیلاژ Mucilage yield
تکرار Replication	2	2.57 <sup>ns</sup>	8.51 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	147835.0 <sup>ns</sup>	3304.3 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	4.47 <sup>ns</sup>
سطوح آبیاری Irrigation (A)	2	12.32 <sup>ns</sup>	43.83 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	105519.1 <sup>ns</sup>	9630.7 <sup>ns</sup>	0.00003 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	39.79 <sup>ns</sup>
خطای اول Error A	4	9.65 <sup>ns</sup>	36.07 <sup>n</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	156968.0 <sup>ns</sup>	28444.4 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>	0.0006 <sup>ns</sup>	7.5 <sup>ns</sup>
نوع کود Fertilizer (B)	3	116 <sup>**</sup>	559 <sup>**</sup>	0.50 <sup>**</sup>	95334.3 <sup>**</sup>	169147.8 <sup>**</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	117 <sup>**</sup>
آبیاری×کود A×B	6	6.78 <sup>ns</sup>	39.41 <sup>n</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	48827.9 <sup>ns</sup>	13693.8 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.0005 <sup>ns</sup>	30.33 <sup>ns</sup>
خطای دوم Error B	18	13.11 <sup>ns</sup>	53.61 <sup>n</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	85417.0 <sup>ns</sup>	9619.8 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.0007 <sup>ns</sup>	21.58 <sup>ns</sup>
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	16.17	17.92	13.40	17.55	15.25	11.63	17.09	23.31

\* و \*\* به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

\* and \*\* indicate a significant difference at the probability level of 5 and 1%, respectively, and ns indicates the no-significant difference.

جدول ۱۰- اثر نوع منبع تغذیه‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای موسیلاژ اسفرزه

Table 10- The effect of nutritional source type on the yield, yield components and mucilage content of Isabgol

تیمارها (نوع کود مصرفی) Treatments (organic fertilizer type)	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن هزار دانه 1000- seeds weight (g)	عملکرد بذر Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha <sup>-1</sup> )	درصد موسیلاژ بذر Seed mucilage content (%)	عملکرد موسیلاژ Mucilage yield (kg ha <sup>-1</sup> )
شاهد Control	8.67 <sup>b</sup>	29.04 <sup>b</sup>	1.15 <sup>b</sup>	456.16 <sup>c</sup>	1225.73 <sup>c</sup>	3.42 <sup>a</sup>	15.64 <sup>c</sup>
اسید فولویک Fulvic acid	14.22 <sup>a</sup>	44.93 <sup>a</sup>	1.62 <sup>a</sup>	627.81 <sup>b</sup>	1614.28 <sup>b</sup>	3.05 <sup>a</sup>	19.19 <sup>bc</sup>
اسید هیومیک Humic acid	16.82 <sup>a</sup>	44.31 <sup>a</sup>	1.60 <sup>a</sup>	725.03 <sup>a</sup>	1878.01 <sup>ab</sup>	2.83 <sup>a</sup>	20.48 <sup>ab</sup>
جلبک دریایی Seaweed	15.62 <sup>a</sup>	45.13 <sup>a</sup>	1.63 <sup>a</sup>	763.47 <sup>a</sup>	1942.27 <sup>a</sup>	2.21 <sup>a</sup>	24.40 <sup>a</sup>

در هر ستون حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD می‌باشد.

In each column, different letters indicate a significant difference at the 5% probability level using the LSD test.

### تعداد دانه در سنبله

نتایج نشان داد که تنها اثر اصلی استفاده از منابع تغذیه‌ای بر صفت تعداد دانه اسفرزه در سنبله معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله (۴۵/۱۳ عدد) از تیمار مصرف جلبک دریایی حاصل گردید که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای مصرف اسید هیومیک و اسید فولویک نداشت. کمترین تعداد دانه در سنبله (۲۹/۰۴ عدد) نیز از تیمار شاهد به‌دست آمد. تعداد دانه در سنبله در شرایط مصرف عصاره جلبک، اسید فولویک و اسید هیومیک در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود به‌ترتیب ۵۵/۴، ۵۴/۶ و ۵۲/۵ درصد افزایش پیدا کرد (جدول ۱۰). فراهمی مطلوب عناصر غذایی در اوایل مرحله زایشی گیاه سبب افزایش آغازه‌های گلچه در سنبله شده و تعداد دانه در سنبله را افزایش می‌دهد (Pazoki, 2016). عدم تأثیر معنی‌دار آبیاری بر صفت تعداد دانه در سنبله (جدول ۹) نشان می‌دهد در شرایط کاهش فراهمی آب گیاه تحمل خوبی داشته و تعداد دانه آن کاهش معنی‌داری پیدا نکرده است. در پژوهش دیگری نیز اثر افزایش فواصل آبیاری بر صفت تعداد دانه در اسفرزه معنی‌دار نبود (Ghasemi Siani et al., 2011).

### وزن هزار دانه

اثر اصلی مصرف منابع تغذیه‌ای بر صفت وزن هزار دانه در

گیاه اسفرزه معنی‌دار بود (جدول ۹). بیشترین وزن هزار دانه از تیمار مصرف جلبک دریایی با ۱/۶۴ گرم به‌دست آمد که از لحاظ آماری با تیمارهای کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین وزن هزار دانه از تیمار شاهد با ۱/۱۶ گرم حاصل گردید. مقدار وزن هزار دانه در تیمارهای استفاده از جلبک دریایی، اسید فولویک و اسید هیومیک در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف کود) به‌ترتیب ۴۱/۷، ۴۰/۹ و ۳۹/۱ درصد بیشتر بود (جدول ۱۰). در پژوهشی اثر مصرف اسید هیومیک و اسید فولویک بر وزن هزار دانه در گیاه گندم مثبت ارزیابی شد (Pourmorad et al., 2018). محققان دیگری نیز گزارش کردند که مصرف اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی تا حدودی وزن هزار دانه گندم را افزایش داد (Rafie et al., 2020). پُر شدن مناسب دانه‌ها نیازمند توسعه مناسب اندام فتوسنتزکننده گیاه است. با توجه به اینکه مصرف منابع کودی تعداد برگ در بوته را افزایش داد، احتمالاً با جذب بیشتر نور و تولید مواد فتوسنتزی کافی موجب افزایش وزن دانه‌ها شده است. افزون بر این، مصرف کودی مانند عصاره جلبک دریایی باعث تحریک رشد ریشه شده (Sibi et al., 2016) و با جذب مقادیر کافی آب و عناصر غذایی شرایط را برای پُر شدن دانه‌ها فراهم می‌نماید. میزان فراهمی آب اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت (جدول ۹). کاهش فراهمی آب (آبیاری پس از تیخیر ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک) کاهش بسیار

جزئی و غیرمعنی‌دار در مقدار این شاخص را سبب شد که بیانگر تحمل مناسب گیاه به کم‌آبی می‌باشد.

### عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه

نتایج نشان داد که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اسفرزه از مصرف منابع تغذیه‌ای اثر معنی‌دار پذیرفتند، ولی اثر میزان فراهمی آب و اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۹). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین عملکرد دانه با ۷۶۳/۴ کیلوگرم در هکتار از تیمار مصرف عصاره جلبک به دست آمد که تفاوت معنی‌داری از نظر آماری با تیمار مصرف اسید هیومیک نداشت. کمترین عملکرد دانه نیز از تیمار شاهد به میزان ۴۵۶/۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. تیمارهای مصرف جلبک دریایی، اسید هیومیک و اسید فولویک به ترتیب به میزان ۶۷/۳، ۵۹/۰ و ۳۷/۶ درصد عملکرد بذر اسفرزه را در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود افزایش دادند (جدول ۱۰). در مورد عملکرد بیولوژیک نیز روند مشابهی مشاهده شد، به طوری که تمامی منابع تغذیه‌ای به خصوص مصرف عصاره جلبک دریایی موجب افزایش میزان این شاخص در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود شدند (جدول ۱۰). در پژوهش مشابهی بر روی اسفرزه مصرف دو کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک مقدار عملکرد بذر را ۱۰ درصد افزایش داد (Fallahi et al., 2018). اثر مثبت اسید هیومیک و اسید فولویک بر افزایش عملکرد بذر در گاوزبان ایرانی (Amiri et al., 2017) و گندم (Pazoki, 2016; Pourmorad et al., 2018) نیز گزارش شده است. نتایج محققان دیگری حاکی از بهبود معنی‌دار عملکرد بذر گندم در شرایط مصرف اسیدهای آلی فولویک و هیومیک و نیز عصاره جلبک دریایی می‌باشد. آنها این رخداد را به نقش این ترکیبات در کاهش اثر تنش‌های محیطی بر گیاه و نیز بهبود رشد رویشی و فراهمی مطلوب عناصر غذایی و تنظیم‌کننده‌های رشد مرتبط دانستند (Rafie et al., 2020).

عملکرد دانه بستگی زیاد به وضعیت رشد رویشی گیاه دارد. هر چقدر توسعه اندام هوایی مناسب‌تر باشد، میزان جذب نور و فتوسنتز گیاه بیشتر شده و در نتیجه عملکرد بذر بیشتر خواهد بود. نتایج نشان داد که مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای به خصوص عصاره جلبک دریایی باعث افزایش ارتفاع، تعداد برگ، تعداد

پنجه و وزن خشک اسفرزه شد (جدول ۶) که نتیجه آن افزایش تولیدات فتوسنتزی و در نتیجه افزایش عملکرد بذر می‌باشد (جدول ۱۰). از طرفی دیگر عملکرد گیاه ارتباط نزدیکی به اجزای عملکرد دارد (Rafie et al., 2020). بر اساس نتایج آزمایش، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه از مصرف منابع تغذیه‌ای به خصوص عصاره جلبک اثر مثبت و معنی‌داری پذیرفت که پیامد نهایی آن افزایش عملکرد بذر اسفرزه بود (جدول ۱۰).

عدم تأثیر معنی‌دار میزان فراهمی آب بر عملکرد بذر (جدول ۹) و ثبات عملکرد گیاه در شرایط کاهش میزان فراهمی آب، نشان می‌دهد که اسفرزه سازگاری مناسبی با کم‌آبی دارد. در پژوهشی بر روی اسفرزه در شرایط اقلیمی خراسان جنوبی گزارش شد که حتی با سه مرتبه آبیاری نیز این گیاه محصول مناسبی تولید می‌کند و از این رو در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود منابع آب مواجه هستند، اسفرزه می‌تواند به عنوان یک گیاه جهت معرفی به الگوی کاشت مورد بررسی و توجه قرار گیرد (Fallahi et al., 2018). با این وجود، جهت ارائه توصیه کاربردی لازم است نیاز آبی گیاه در مطالعات آتی به صورت دقیق تعیین شود. در پژوهش دیگری نیز میزان عملکرد بذر اسفرزه در شرایط آبیاری پس از تبخیر ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به ترتیب ۴۸۷ و ۴۶۳ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Jamshidi et al., 2017). محققان دیگری نیز مشاهده کردند تیمار قطع آبیاری اسفرزه در مرحله دانه بستن در مقایسه با تیمار آبیاری کامل عملکرد نسبتاً برابری تولید نمود (Roumani et al., 2020b).

### درصد و عملکرد موسیلاژ

اثر اصلی مصرف منابع تغذیه‌ای بر درصد موسیلاژ بذر در گیاه اسفرزه معنی‌دار نبود (جدول ۹). در پژوهش مشابهی نیز مقدار فاکتور تورم بذر اسفرزه در سطوح مصرف صفر، ۱ و ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به ترتیب ۱/۳، ۱/۵ و ۱/۷ میلی‌لیتر بود که البته از نظر آماری دارای تفاوت معنی‌داری نبود (Fallahi et al., 2018). در پژوهش کنونی کاهش فراهمی آب نیز اثر معنی‌داری بر درصد موسیلاژ اسفرزه نداشت (جدول ۹). در پژوهشی بر روی اسفرزه گزارش شد که یک شکل ویژه از ذخیره آب، پیوند یافتن آب با کربوهیدرات‌های آب‌دوست

مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای پاسخ مثبت نشان داد و کاهش فراهمی آب باعث کاهش عملکرد گیاه نشد. بیشترین تعداد سنبله از کاربرد اسید هیومیک به دست آمد و بیشترین تعداد دانه در سنبله از تیمار مصرف عصاره جلبک حاصل گردید. وزن هزار دانه در تمامی تیمارهای تغذیه‌ای بیشتر از تیمار عدم مصرف کود بود. تمامی تیمارهای تغذیه‌ای در مقایسه با تیمار شاهد موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شدند. تیمارهای مصرف عصاره جلبک دریایی، اسید هیومیک و اسید فولویک به ترتیب به میزان ۶۷/۴، ۵۹/۰ و ۳۷/۰ درصد عملکرد بذر اسفزه را در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود افزایش دادند. همچنین، هیچ کدام از فاکتورهای آزمایشی بر درصد موسیلاژ بذر تأثیر معنی داری نداشتند، ولی عملکرد موسیلاژ بواسطه افزایش عملکرد بذر در اثر مصرف منابع تغذیه‌ای افزایش پیدا کرد. در مجموع، مصرف تمامی منابع تغذیه‌ای مورد مطالعه به خصوص عصاره جلبک دریایی برای بهبود رشد رویشی و زایشی اسفزه توصیه می‌شود. همچنین، با توجه به عدم کاهش عملکرد بذر گیاه در اثر کاهش فراهمی آب، انجام آبیاری پس از تبخیر ۲۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر قابل توصیه است.

### سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی (پایان نامه کارشناسی ارشد) به شماره ابلاغیه ۸۱۲۶ مورخ ۱۴۰۰/۷/۱۲ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

مانند موسیلاژهای موجود در سلول‌ها، بافت هادی و فضای بین سلولی و سطح بذر برخی گونه‌ها می‌باشد و توانایی آن‌ها را در حفظ پتانسیل آب درون سلولی افزایش می‌دهد و بر این اساس میزان موسیلاژ گیاه اسفزه در شرایط کاهش فراهمی آب کاهش پیدا نکرده و حتی می‌تواند افزایش یابد (Rahimi *et al.*, 2014).

اثر اصلی مصرف منابع تغذیه‌ای بر عملکرد موسیلاژ اسفزه معنی دار شد (جدول ۹). مقایسه بین میانگین‌ها نشان داد بیشترین عملکرد موسیلاژ دانه از تیمار مصرف کود جلبک با ۲۴/۴۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان آن از تیمار شاهد (عدم مصرف کود) به مقدار ۱۵/۶۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که ۵۶/۰ درصد تفاوت را نشان می‌دهد. تیمارهای کاربرد اسید هیومیک و اسید فولویک نیز به ترتیب به میزان ۳۰/۹ و ۲۲/۷ درصد عملکرد موسیلاژ بیشتری را در مقایسه با تیمار شاهد تولید نمودند (جدول ۱۰). با توجه به عدم تأثیر معنی دار کاربرد منابع کودی بر درصد موسیلاژ بذر، بالاتر بودن عملکرد موسیلاژ در تیمارهای تغذیه‌ای ناشی از افزایش عملکرد بذر در این تیمارها می‌باشد.

### نتیجه گیری کلی

رشد رویشی اسفزه در اثر مصرف اسید هیومیک، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی افزایش یافت، ولی کاهش فراهمی آب اثر کاهنده‌ای بر رشد گیاه اعمال نکرد. مصرف عصاره جلبک دریایی بیشترین مقادیر ارتفاع، تعداد برگ، تعداد پنجه و وزن خشک بوته را سبب گردید. رشد زایشی گیاه به

### References

- Aali, E., Mahmoudi, R., Kazeminia, M., Hazrati, R. and Azarpey, F., 2017. Essential oils as natural medicinal substances: review article. *Tehran University Medical Journal*, 75(7), pp.480-489. [In Persian].
- Abaszadeh Faruji, R., Shoor, M., Tehrani Far, A., Abedy, B. and Safari, N., 2018. Effects of humic acid and fulvic acid on some morphological characteristics of Geranium. *Journal of Horticultural Science*, 32(1), pp.35-50. [In Persian]. doi: 10.22067/jhorts4.v31i3.57849
- Ahmadi, A., 2022. Evaluation of the quantitative and qualitative response of saffron to foliar nutrition of food elements. Master's thesis, Torbat-Haydaria University. [In Persian].
- Ahmadi, F. and Aminifard, M.H., 2018. Effects of foliar spraying humic acid on some morphological characteristics and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 6(1), pp.17-26.

- [In Persian]. doi: **10.22077/jsr.2017.540.1021**
- Aminifard, M.H., Khandan Deh-Arbab, S., Fallahi, H.R. and Kaveh, H., 2022. Effects of different levels of algae extract and mother corm weight on photosynthetic pigment content, growth and yield of saffron. *Journal of Saffron Research*, 9(2), pp.296-309. [In Persian]. doi: **10.22077/jsr.2018.1663.1063**
- Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P. and Jahan, M., 2017. The effects of soil amendments and bio-fertilizers inoculation on morphological characteristics and yield of *Echium amoenum*. *Journal of Horticultural Science*, 31(1), pp.25-39. [In Persian]. doi: **10.22067/jhorts4.v0i0.34660**
- Ebrahimi, M. and Miri Karbasak, E., 2016. Investigation effect of humic acid on germination, seedling growth and photosynthesis pigments of medicinal plant isabgol (*Plantago ovata* Forssk). *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 3(3), pp.35-46. [In Persian]. dor: **20.1001.1.24763780.1395.3.3.4.2**
- Elumalai, L.K. and Rengasamy, R., 2012. Synergistic effect of seaweed manure and *Bacillus* sp. on growth and biochemical constituents of *Vigna radiata* L. *Biofertil Biopestici*, 3(121), pp.2-7. doi: **10.4172/2155-6202.1000121**
- Esringü, A., Sezen, I., Aytatli, B. and Ercişli, S., 2015. Effect of humic and fulvic acid application on growth parameters in *Impatiens walleriana* L. *Akademik Ziraat Dergisi*, 4(1), pp.37-42 .
- Fallahi, H.R., Ghorbani, M., Aghhavani Shajari, M., Asadian, A.H. and Samadzadeh, A., 2016. The effect of mycorrhizal inoculation and humic acid on the growth and yield of roselle medicinal plant and its mycorrhizal symbiosis indicators under drought stress conditions. Final Report of Research Project, University of Birjand. [In Persian].
- Fallahi, H.R., TaherPour Kalantari, R., Asadian, A.H., Aghhavani-Shajari, M. and Ramazani, H.R., 2018. Effect of different soil fertilizing agents on growth and yield of isabgol and black seed as two medicinal plants. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(3), pp.1-11. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2017.211513.654152**
- Fallahi, H.R., Behdani, M.A., Rezvani Moghaddam, P. and Jami Al-Ahmadi, M., 2021. Principles of standardization for organic saffron production in Iran. *Saffron Agronomy and Technology*, 9(1), pp.43-79. [In Persian]. doi: **10.22048/jsat.2020.236760.1402**
- Ghasemi Siani, E., Fallah, S. and Tadayyon, A., 2011. Study on yield and seed quality of *Plantago ovata* Forssk., under different nitrogen treatments and deficit irrigation. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 27(3), pp.517-528. [In Persian]. doi: **10.22092/ijmapr.2011.6392**
- Ghfarizadeh, A., Seyyed Nejad, S.M. and Abdolali Gilani, A., 2016. The effect of foliar spray of brown seaweed water extract and different levels of nitrogen on some physiological, biochemical, parameters and yield of wheat. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 11(41), pp.13-25. [In Persian]. dor: **20.1001.1.76712423.1395.11.41.2.5**
- Ghosh, K., Das, I., Das, D. and Sanyal, S., 2012. Evaluation of humic and fulvic acid extracts of compost, oilcake, and soils on complex formation with arsenic. *Soil Research*, 50(3), pp.239-248. doi: **10.1071/SR12037**
- Gorgini, H., Khorasaninejad, S., Abbasi, M. and Tabasi, A., 2018. The effects of irrigation period and humic acid on morpho-physiological and biochemical traits of thyme (*Thymus vulgaris*). *Journal of Plant Environmental*

- Physiology*, 51, pp.67-82. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.76712423.1397.13.51.5.2**
- Heydari, M., Daneshian Moghaddam, A.M. and Nourafcan, H., 2017. Effect of vermicompost and liquid seaweed fertilizer on morpho-physiological properties of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(4), pp.891-906. [In Persian].
- Hosseini, S.H., Ebrahimi, N., Yusefi, A. and Egdarnzhad, A., 2019. Effect of water stress and humic acid foliar application on morpho-physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(1), pp.219-232. [In Persian]. **doi: 10.22069/jwsc.2019.15481.3071**
- Jamshidi, M., Moradi, P. and Khomri, A., 2017. Investigating the effect of potassium fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of the Isabgol medicinal plant under drought stress conditions. The second international Conference on Applied Research in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment, May 6, Hamedan, Iran. [In Persian].
- Kalyanasundaram, N., Sriram, S., Patel, B., Pat, R., Patel, D., Dalal, K. and Gupta, R., 1984. Psyllium-a monopoly of Gujarat, India. *Indian Horticulture*, 28, pp.35-37.
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J. and Prithiviraj, B., 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, pp.386-399. **doi: 10.1007/s00344-009-9103-x**
- Khandan Deh-Arbab, S., 2017. Effect of amino acid, algae extract and corm weight on quantitative and qualitative traits of saffron. Master's thesis. University of Birjand. [In Persian].
- Khandan Deh-Arbab, S., Aminifard, M.H., Fallahi, H.R. and Kaveh, H., 2020. Evaluating the effects of growth promoting fertilizer containing seaweed extract and mother corm weight on antioxidant activity and stigma quality of saffron. *Plant Productions*, 43(2), pp.213-226. [In Persian]. **doi: 10.22055/ppd.2019.26492.1630**
- Khavari, M., Behdani, M.A. and Fallahi, H.R., 2018. Influence of plant density, single and combined application of cow manure and chemical fertilizer on seed and mucilage yields in Isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). *Journal of Agroecology*, 11(3), pp.1139-1150. [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v11i3.72846**
- Khazaei, H.R., Sabet Teimouri, M. and Najafi, F., 2007. Investigation on yield and quality of Isabgol (*Plantago ovata* L.) under different irrigation regimes and seeding rates. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 5(1), pp.77-84. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v5i1.898**
- Koocheki, A., Mokhtari, V., Taherabadi, S. and Kalantari, S., 2011. The effect of water stress on yield, yield components and quality characteristics of *Plantago Ovata* and *Plantago Psyllium*. *Journal of Water and Soil*, 25(3), pp.656-664. [In Persian]. **doi: 10.22067/jsw.v0i0.9700**
- Manish, K., Bhakti, T. and Avinash, M., 2018. Physicochemical characterization, antioxidant and anti-proliferative activities of a polysaccharide extracted from psyllium (*Plantago ovata*) leaves. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, pp.976-987. **doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.139**
- Mirzaee, N., Jabbarzadeh, Z. and Rasouli-Sadaghiani, M., 2020. Influence of humic acid and nano-calcium chelate application on photosynthetic pigments and nutrient uptake of *Gerbera jamesonii* cv. Dune. *Plant Process and Function*, 9(39), pp. 61-76. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.23222727.1399.9.39.9.8**

- Mozaffarian, W., 2015. Recognition of Medicinal and Aromatic Plants of Iran: Farhang Moaser Publications. Second edition. [In Persian].
- Narimani, R., Moghaddam, M., Nemati, S. and Ghasemi, P.A., 2019. Evaluation of salinity adjusted by using humic acid and ascorbic acid in medicinal plant of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Plant Research*, 31(4), pp. 955-971. **doi: 20.1001.1.23832592.1397.31.4.17.9**
- Pazoki, A., 2016. Effects of humic acid and plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) on yield and yield components of durum wheat under drought stress condition in Shahr-e-Rey region. *Cereal Research*, 6(1), pp.105-117. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22520163.1395.6.1.9.7**
- Poudineh, Z., Moghadam, Z.G. and Mirshekari, S., 2015. Effects of humic acid and folic acid on sunflower under drought stress. *Biological Forum, An International Journal*, 7(1), pp.451-454.
- Pourmorad, M., Malakouti, M.J. and Tehrani, M., 2018. Study on the effect of humic acid and fulvic acid on the wheat yield and water use efficiency under drought stress. *Water and Soil*, 32(5), pp.977-985. [In Persian]. **doi: 10.22067/jsw.v32i5.71191**
- Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaiechi, M.R., Rahimi, A. and Tavakoli, A., 2010. Effect of different soil fertilizing treatments on some of agromorphological traits and mucilage of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk). *Journal of Crop Production*, 3(2), pp.193-213. **doi: 20.1001.1.2008739.1389.3.2.13.0**
- Rafie, M.R., Sohi, M. and Javadzadeh, M., 2020. Study the effect of plant growth biostimulants application on quantitative and qualitative characteristics of wheat in a calcareous soil (Case study in Khuzestan). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 10(2), pp.69-88. [In Persian]. **doi: 10.22069/ejsms.2020.16943.1905**
- Rahimi, A., Jahansoz, M.R. and Rahimian Mashhadi, H., 2014. Effect of drought stress and plant density on quantity and quality characteristics of isabgol (*Plantago ovata*) and French Psyllium. *Journal of Crop Production and Processing*, 4(12), pp.143-156. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22518517.1393.4.12.13.9**
- Ramroudi, M.M., Bagheri, M. and Forouzandeh, M., 2018. Effect of application of biofertilizers and water treatments on yield, yield components and swelling index of Isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). *Journal of Agroecology*, 11(3), pp.1037-1048. [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v11i3.71316**
- Roumani, A., Biabani, A., Rahemi Karizaki, A., Gholamalipour Alamdari, E. and Gholizadeh, A., 2020a. Effects of salicylic acid and spermine exogenous application on functional and physiological characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.) under cutoff irrigation. *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(2), pp.53-67. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.20085958.1399.12.41.5.2**
- Roumani, A., Biabani, A., Rahemi Karizaki, A., Gholamalipour Alamdari, E. and Gholizadeh, A., 2020b. The response of quantitative and qualitative characteristics of Isabgol (*Plantago ovata* Forssk.) to foliar application of salicylic acid and spermine under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(2), pp.503-517. [In Persian]. **doi: 10.22077/escs.2019.1948.1474**
- Saffar Sabzevar, M. and Jami Moeini, M., 2015. Reaction yield and yield components of *Setaria italica* under foliar spraying humic and fulvic acid. First National Conference on New Achievements in Life Sciences and

- Agriculture, Zabol, Iran, 21 May, pp.1-8 . [In Persian].
- Shahbazi, F., Nejad, M.S., Salimi, A. and Gilani, A., 2015. Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of wheat. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(3), pp.283-287.
- Shahsavari, M., Naderi, D. and Gheisari, M., 2019. Effects of organic nano-fertilizer and humic acid on biochemical characteristics and some essential oil of domask-rose (*Rosa damascena* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal Aromatic Plants Research*, 35(1), pp.134-144. **doi: 10.22092/ijmapr.2019.116512.2213**
- Shamloo, H., Parsa, S., Mahmoodi, S. and Samadzadeh, A.R., 2018. The effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on some morphological characteristics of the Isabgol (*Plantago ovata* L.) medicinal plant, under greenhouse conditions. The First National Conference on New Production and Employment Opportunities in the Agricultural Sector in the East of the Country. 14 th Febuary, Birjand, Iran. [In Persian].
- Sibi, M., Nezami, A. and Khazaie, H.R., 2016. The effect of concentration, time and applying instruction of seaweed extract on some morphological characteristics of rooextract on some morphological characteristics of root and shoots of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Crop Physiology Journal*, 8(29), pp.5-21. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.1.1**

## Impact of some organic fertilizers on quantitative and qualitative yields of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) medicinal plant, under different levels of water availability

Mohammad Hossein Aminifard<sup>1</sup>, Ali Nooki<sup>2</sup>, Hamid-Reza Fallahi<sup>3\*</sup>, Ali Azari Nasrabad<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

<sup>2</sup> South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran

<sup>3</sup> Plant and Environmental Stresses Research Group (PESRG), Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

<sup>4</sup> Crop and Horticultural Science Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran

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

Received: 12 November 2023 Accepted: 16 February 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.424888.1379

### Abstract

**Introduction:** The management of water and nutrients are among the most important factors affecting the quality and quantity of medicinal plants. Among the medicinal plants, isabgol has a particular importance due to its mucilage, which is obtained from the seeds. It is an annual plant, which is mainly distributed in dry regions of the world. Considering that Iran is one of the arid and semi-arid countries and has recently faced with consecutive droughts, the optimal use of water resources should be prioritized. In this regard, it is important to introduce plants with low water requirements, such as isabgol. Since it is a medicinal plant, its fertilization using biological and organic fertilizers is also considered important. Therefore, in this experiment, the effect of different levels of water availability and bio fertilizers was studied on the growth and yield of isabgol.

**Materials and Methods:** In this experiment, the effect of water availability (irrigation after evaporation of 100, 150, and 200 mm from the evaporation pan) and organic nutritional resources (humic acid, fulvic acid, and seaweed extract along with no fertilization as control treatment) was studied on the growth of and yield of Isabgol, under climatic conditions of Birjand (59 °E, 32 °N, 1410 m above sea), Iran. The experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications. The levels of water availability were placed in the main plots and nutritional resources in the sub-plots. The measured traits included plant height, number of leaves and number of tiller per plant, fresh and dry weight of plant, number of spikes per plant, number of seeds per spike, weight of 1000 seeds, seed yield, biological yield, percentage and yield of mucilage. Statistical analysis was performed using SAS, version 9.4 and the means were compared using the protected LSD test at the 5% probability level.

**Results and Discussion:** The results of analysis of variance showed a significant effect of fertilizers application on most growth and yield indices, while the effect of irrigation management (except for number of leaves per plant) and interaction of studied factors was not significant on the evaluated traits. Application of all fertilizers, especially seaweed, improved the vegetative growth of the plant. The highest plant height (21 cm), number of leaves (16 per plant), number of tillers (4.8 No. per plant) and fresh weight of the plant (9.6 g) were gained from the seaweed extract, which were 31.2, 29.2, 39.9 and 78.1%, superior to the control treatment (no fertilizer application), respectively. The highest number of spikes (13.24 No. per plant) was obtained from humic acid application, which was 2.1 times more than the control treatment. Number of seeds per spike in seaweed, humic acid, fulvic acid and control treatments were 45.1, 44.3, 44.9 and 29, respectively, and 1000-seed weight was 1.63, 1.60, 1.62 and 1.55 g, respectively. Fertilizers application improved biological yield and seed yield, but in terms of these two traits, irrigation levels were in a same statistical group. The highest and the lowest biological yield (1942.2 and 1225.7 kg ha<sup>-1</sup>, respectively) and seed yield (763.4 and 456.1 kg ha<sup>-1</sup>, respectively) were gained from seaweed and control treatments, respectively. The percentage of

mucilage was not affected by irrigation and nutritional managements, but the mucilage yield by the use of algae extract, humic acid and fulvic acid was increased by 56.4, 31.4 and 23.0%, respectively, compared to the control.

**Conclusion:** In general, consumption of all organic fertilizer types improved the growth and quantitative and qualitative yield of Isabgol, while reduced water availability had no negative effect on the plant growth and yield, which indicates that isabgol is well adapted to semi-arid regions.

**Keywords:** Drought stress, Fulvic acid, Grain weight, Humic acid, Mucilage, Seaweed

## واکنش‌های مروفیز یولوژیک ژنوتیپ‌های جو به غلظت سولفات روی تحت شرایط خشکی و شوری

امیر کاظمی آرپناهی<sup>۱</sup>، مهرداد محلوجی<sup>۲\*</sup>، سید کیوان مرعشی<sup>۳</sup>، مانی مجدم<sup>۳</sup>، طیب ساکی نژاد<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران  
 ۲- بخش تحقیقات علوم زراعی باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران

\* مسؤل مکاتبه: [mmahlooji2000@yahoo.com](mailto:mmahlooji2000@yahoo.com)

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.388117.1327

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۱

### چکیده

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با توزیع کرت‌های یک‌بار خرد شده با سه تکرار و در دو منطقه با تنش خشکی و شوری در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. عامل اصلی شامل سه سطح غلظت کود سولفات روی (۰، ۵/۰ و ۱ درصد) و عامل فرعی شامل چهار ژنوتیپ جو (متحمل به خشکی گوهران، متحمل به شوری مهر، نیمه متحمل به تنش ارمغان و حساس به تنش لاین A-17) بودند. نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های جو در تنش خشکی نسبت به تنش شوری دارای وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بیشتر و میزان پروتئین کمتری بودند. محلول پاشی ۵/۰ درصد سولفات روی نسبت به بدون محلول پاشی، عملکرد دانه (۴۷۶۳ کیلوگرم در هکتار معادل ۳۴ درصد) و عملکرد بیولوژیک (۴۷۶۳ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۶ درصد) بیشتری داشت. عملکرد دانه با صفات ارتفاع گیاه ( $r=0/33$  و  $p=0/01$ )، طول سنبله ( $r=0/31$  و  $p=0/01$ )، تعداد دانه در سنبله ( $r=0/35$  و  $p=0/01$ )، عملکرد بیولوژیک ( $r=0/96$  و  $p=0/01$ )، میزان کلروفیل a ( $r=0/44$  و  $p=0/01$ )، میزان کلروفیل b ( $r=0/29$  و  $p=0/05$ ) و عنصر روی ( $r=0/39$  و  $p=0/01$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت که بیشترین همبستگی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک ( $r^2=0/99$ ) بود. از نظر عملکرد دانه و بیولوژیک، ژنوتیپ‌های ارمغان و گوهران در تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ارمغان و مهر در تنش شوری با غلظت ۵/۰ درصد سولفات روی توصیه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، تنش، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، کلروفیل، همبستگی

### مقدمه

زیست‌توده بالایی تولید کنند، جز ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی محسوب می‌شوند (Mahlooji and Jenab, 2021). شوری نیز عامل دیگری در کاهش عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌گردد. سالانه دو میلیون هکتار (حدود یک درصد) از زمین‌های کشاورزی جهان در اثر شوری از چرخه تولید خارج می‌شوند. در ایران حدود ۲۰ درصد کل اراضی ایران (۳۴ میلیون هکتار) تحت تأثیر شوری قرار دارد (Omrani et al., 2022). بروز تنش شوری و خشکی باعث افزایش غلظت املاح محلول در محیط ریشه، افزایش پتانسیل اسمزی خاک، کاهش جذب عناصر غذایی (Omrani et al., 2022) و کاهش تحرک عناصر روی و آهن در محلول خاک شده که با محلول پاشی، کمبود این عناصر در گیاه می‌تواند جبران شود (Mahlooji et al., 2021; Bardehji et al., 2022) و قدرت تحمل به شرایط شور افزایش یابد (Hu and Schmidhalter, 2001).

۹۰ درصد از مساحت کشور ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (FAO, 2018). انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۵ حدود دو سوم زمین‌های زراعی دنیا با کمبود آب مواجه شوند (Annan, 2001). عملکرد نیز در شرایط تنش خشکی ۵۰ تا ۹۰ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش می‌یابد (Zivcak et al., 2013; Daryanto et al., 2016). از بین انواع مختلف تنش، تنش خشکی انتهای فصل مهم‌ترین تنش در نواحی مدیترانه‌ای مانند مناطق زیادی از ایران است (Bannayan et al., 2010). بنابراین عملکرد غلات دانه‌ریز که در این مناطق کشت می‌شود تحت تأثیر تنش خشکی انتهای فصل قرار می‌گیرد (Francia et al., 2013). در غلات، حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی، حد فاصل سنبله رفتن تا گل‌دهی است و ژنوتیپ‌های که قبل از گل‌دهی بتوانند

میزان‌های مختلف سولفات روی انجام گردید تا در صورت تأیید بتوان در شرایط تنش از سولفات روی در بالا بردن تحمل شرایط تنش استفاده و ژنوتیپ مناسب را توصیه نمود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در آبان‌ماه سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در دو منطقه: (۱) ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد (با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۵۴۵ متر از سطح دریا) با آبیاری معمول (اعمال تنش خشکی و حذف آب آبیاری پس از ظهور سنبله)؛ (۲) ایستگاه تحقیقات اصلاح و زهکشی شوری رودشت (واقع در ۶۵ کیلومتری شرق اصفهان با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا) با آب آبیاری شور (اعمال تنش شوری با آب شور دارای هدایت الکتریکی ۱۰ دسی‌زیمنس برمتر) انجام شد. در هر منطقه، اجرای این تحقیق بر اساس آزمایش اسپیلیت پلات (توزیع کرت‌های خرد شده) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل سه سطح غلظت سولفات روی (سولفات روی با درصد خلوص ۱۸ درصد و توصیه شرکت فارسا مارکت)، بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۰/۵ درصد (۵ کیلوگرم سولفات روی در هکتار و معادل ۹۰۰ گرم عنصر روی در هکتار) و محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱ درصد (۱۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار و یا معادل ۱۸۰۰ گرم عنصر روی در هکتار) در مرحله پنجه‌زنی با فاصله ۷ روز و در ۳ نوبت مصرف شد. عامل فرعی شامل چهار ژنوتیپ شامل: گوه‌ران (متحمل به خشکی)، مهر (متحمل به شوری) و ارمغان (نیمه متحمل به تنش) و لاین A-17 (حساس به تنش) بودند.

کاشت توسط ردیف‌کار مخصوص آزمایشات غلات در آبان‌ماه در هر دو منطقه انجام شد. در منطقه خشک کبوترآباد، کشت فارویی (سطح کاشت هر کرت ۷/۲ متر مربع) و در منطقه شور رودشت، کشت کرتی (سطح کاشت هر کرت ۴/۸ متر مربع) انجام شد. هر کرت شامل ۶ خط کاشت با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر و تراکم بذر مصرفی ۴۰۰ دانه در مترمربع بود. مبارزه با علف‌های هرز برگیاریک با علف‌کش اکسیال به میزان یک لیتر در هکتار و پهن‌برگ با علف‌کش توفوردی به

محققین (Fathi, 2012; Ghafari and Razmjoo, 2013; Mahlooji et al., 2018) گزارش نمودند که کاربرد روی سبب افزایش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم و جو گردید. در شرایط تنش به‌علت کاهش هدایت روزنه‌ای (Flexas et al., 2008) و محدودیت دسترسی به CO<sub>2</sub> برای واکنش‌های کربوکسیلاسیون، میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد و افزایش مقاومت روزنه‌ای یک راه‌کار مناسب دفاعی برای بقای گندم (Haghighi and Sedsharifi, 2013) و جو (Mahlooji et al., 2014) را بیشتر می‌نماید.

بدیهی است به منظور تأمین غذای مورد نیاز جمعیت در حال افزایش، بازنگری در روش‌های متداول کشاورزی و استراتژی‌های مربوط به استفاده بیشتر و بهینه از زمین و افزایش تولید در واحد سطح در زمینه غلات، بیش از پیش بایستی مورد توجه قرار گیرد. در کنار اصلاح و معرفی ژنوتیپ‌ها با پتانسیل عملکرد بالا، بهینه‌سازی مدیریت مزرعه برای افزایش عملکرد در واحد سطح و هم‌چنین بهبود کیفیت می‌تواند نقش مؤثری داشته باشد. یکی از مهم‌ترین عوامل به زراعی در افزایش کمیت و کیفیت محصول بکارگیری صحیح نهاده‌های کشاورزی از جمله کودهاست. هم‌چنین باید خاطرنشان کرد که در خاک‌های ایران که از نظر میزان عناصر غذایی بسیار فقیر بوده و جذب همین مقدار اندک از عناصر غذایی هم به دلیل شرایط نامناسب خاکی از جمله آهنی بودن، اسیدیته بالا، مواد آلی کم بسیار پایین بوده، استفاده از روش محلول‌پاشی عناصر غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Haghighi and Sedsharifi, 2013).

اهمیت جو به دلیل تحمل شرایط خشکی و شوری، کم‌توقع بودن آن در مقابل عناصر غذایی، ساده بودن زراعت آن، سازگاری وسیع اکولوژیکی، تعلیف و تغذیه دام است (Mahlooji and Ramezani, 2021). عدم تغذیه مناسب گیاه ضمن کاهش تولید محصولات کشاورزی، موجب کمبود عناصر در دام و انسان می‌گردد (Mahlooji et al., 2014). به دلیل کشت جو در اکثر مناطق خشک و نیمه‌خشک و نقشی که عنصر ریزمغذی روی در کاهش اثرات ناشی از تنش‌های خشکی و شوری دارد این تحقیق در ژنوتیپ‌های مختلف جو با استفاده از

در برگ پرچم با کمک دستگاه جذب اتمی (Costa *et al.*, 2020) بودند. نمونه برداری پس از دو هفته اعمال تیمار تنش خشکی آخر و ظهور سنبله انجام گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و رگرسیون گام به گام با استفاده از نرم‌افزارهای SAS9.1 و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر بر هم کنش (متقابل)، برش‌دهی انجام شد و مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل معنی‌دار توسط آزمون Lsmeans در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. آزمون بارتلت تعیین همگنی واریانس‌ها را تأیید نمود.

میزان ۱/۵ لیتر در هکتار و قبل از ساقه‌دهی گیاه انجام شد. در تنش خشکی و شوری هدایت الکتریکی آب آبیاری به ترتیب ۴ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر بود. تأمین آب شور از اختلاط آب چاه و زهکش موجود در ایستگاه انجام گردید. جداول ۱ و ۲ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و آب آبیاری منطقه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. صفات مورد اندازه‌گیری مرفوفیزیولوژیک شامل: طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک، میزان کلروفیل a و b با استفاده از اسپکتروفتومتر (Wellburn, 1994)، میزان پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (Mowludi *et al.*, 2014) و غلظت عنصر روی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکیوشیمیایی خاک در مناطق اجرای آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physicochemical soil characteristics at experimental site (depth 0-30 cm)

منطقه Location	روی قابل جذب Available Zn (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg/kg)	فسفر قابل جذب Available P (mg/kg)	کربن آلی O.C (%)	نیترژن کل T.N (%)	اسیدیته pH	ECe (dS/m)
خشکی در کبوترآباد Drought at Kaboutarabad	0.75	340	15	0.47	0.05	6.8	2.25
شوری در رودشت Salinity at Rodasht	0.72	400	27.5	0.14	0.07	7.2	8.6

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده برای آبیاری در تنش‌های مختلف

Table 2- Chemical characteristics of water used for irrigation in different stresses

منطقه Location	مجموع کاتیون‌ها S.Cations	سدیم Na <sup>+</sup>	منیزیم Mg	کلسیم Ca	مجموع آنیون‌ها S.Anion	سولفات SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	کلرید Cl <sup>-</sup>	بیکربنات HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	ECe (dS/m)
خشکی در کبوترآباد Drought at Kaboutarabad	55.3	30.7	24.6	55.6	15.9	36.2	3.5	0	7.7	0.4
شوری در رودشت Salinity at Rodasht	91.8	47.8	44	92.6	26.9	60	5.7	0	8.1	9.7

واریانس صفات مرفولوژیک در جدول ۳ آمده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک؛ اثر غلظت محلول‌پاشی سولفات روی بر عملکرد دانه و بیولوژیک؛ اثر ژنوتیپ‌های جو بر ارتفاع بوته، طول

## نتایج و بحث

آزمون بارتلت برای صفات مختلف انجام و واریانس صفات مورد بررسی یکنواخت بودن خطاهای آزمایشی (P=0.05) را نشان داد و تجزیه مرکب انجام شد. نتایج مربوط به تجزیه

داشتند. تعداد مطلوب سنبله در واحد سطح تحت تأثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرد و با رژیم رطوبتی خاک در طی دوره رشد گیاه ارتباط نزدیکی دارد (Gooding *et al.*, 2003). در تأیید نتایج محققین (Mahlooji *et al.*, 2016) نیز گزارش نمودند ژنوتیپ جو حساس به تنش بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح را داشت.

اثر متقابل منطقه در ژنوتیپ بر تعداد دانه در سنبله نشان داد (شکل ۱) که در تنش خشکی، ژنوتیپ ارمغان با ۵۵/۹ عدد بیشترین (۱۱ درصد بیش از لاین A-17) و ژنوتیپ گوهران با ۴۳/۴ عدد کمترین (۱۳ درصد کمتر از لاین A-17) تعداد دانه در سنبله را داشت و در محیط با تنش شوری، بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و همگی در یک سطح آماری (کلاس a) قرار داشتند. تعداد دانه در سنبله از جمله ویژگی‌های تعیین‌کننده ظرفیت مخزن به شمار می‌آید که تابع عوامل ژنتیکی و تغذیه‌ای است (Hekmae *et al.*, 2010). حساس‌ترین اجزای عملکرد به تنش، تعداد سنبله در سنبله است و مرگ پیش از بلوغ گلچه‌های انتهایی (Sangtarash, 2010)، عقیم شدن دانه‌گرده (Ji *et al.*, 2010) و یا سقط دانه (Fabian *et al.*, 2011) نیز در اثر تنش رخ می‌دهد.

اثر متقابل منطقه در ژنوتیپ بر وزن هزار دانه نشان داد که در تنش خشکی، ژنوتیپ گوهران با ۴۲/۴ گرم بیشترین وزن هزار دانه (کلاس a و ۹ درصد بیش از لاین A-17) را داشته و ژنوتیپ‌های ارمغان، مهر و لاین A-17 به ترتیب با ۳۹/۳، ۳۸/۹ و ۳۹ گرم در یک کلاس b آماری قرار داشتند. در تنش شوری، ژنوتیپ گوهران با ۴۰/۸ بیشترین میزان (۶ درصد بیشتر از لاین A-17) و پس از آن ژنوتیپ مهر با ۳۹/۷ (۳ درصد بیشتر از لاین A-17) و ژنوتیپ‌های ارمغان و لاین A-17 با ۳۸/۴ گرم وزن هزار دانه داشتند (شکل ۲). نتایج نشان می‌دهد در هر دو شرایط تنش خشکی و شوری، ژنوتیپ‌های گوهران و مهر وضعیت مطلوبی از نظر وزن هزار دانه داشتند. وزن هزار دانه یک خصوصیت ژنتیکی بوده و به شدت تحت تأثیر شرایط دوره رسیدگی، عوامل ژنتیکی و ژنوتیپ قرار می‌گیرد (Ghafari, 2012; Ghafari and Razmjoo, 2013; Fathi, 2012). هم‌چنین وزن هزار دانه، تحت تأثیر تنش قرار گرفته و افت شدید عملکرد دانه را سبب می‌گردد (Paknejad *et al.*, 2009).

سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، میزان کلروفیل a و کلروفیل b؛ اثر متقابل دوگانه منطقه در محلول‌پاشی سولفات روی بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک؛ اثر متقابل دو گانه منطقه در ژنوتیپ بر تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، میزان کلروفیل b و پرولین؛ اثر متقابل دو گانه ژنوتیپ در محلول‌پاشی بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک؛ اثر متقابل سه‌گانه منطقه در محلول‌پاشی در ژنوتیپ بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، میزان کلروفیل a و کلروفیل b معنی‌دار بودند.

**ارتفاع بوته و طول سنبله:** مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها از نظر ارتفاع بوته و طول سنبله (جدول ۴) نشان داد که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش (مهر و گوهران) نسبت به ژنوتیپ حساس به تنش (لاین A-17) ارتفاع بوته و طول سنبله بیشتری داشتند. ارتفاع بوته و طول سنبله ژنوتیپ مهر به ترتیب ۲۴ و ۱۰ درصد و ژنوتیپ گوهران به ترتیب ۱۴ و ۱۲ درصد بیشتر از لاین شاهد A-17 می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهد که تنش شوری بیش از تنش خشکی، ارتفاع بوته و طول سنبله را کاهش داده است (جدول ۴). مطالعات (Dadashi *et al.*, 1997; Tadayon and Emam, 2006; Ahmadi *et al.*, 2007) نیز این نکته را تأیید می‌کند. از آنجایی که طول سنبله از جمله فاکتورهایی است که قبل از رشد زایشی به حداکثر رشد خود می‌رسد بنابراین تحت تأثیر کمبود آب و مواد غذایی قرار گرفته و در نتیجه کاهش تعداد و اندازه سلول‌ها، طول سنبله را کاهش می‌دهد (Mashi *et al.*, 2008). بنظر می‌رسد تفاوت‌های ژنتیکی و فنوتیپی ژنوتیپ‌ها جو باعث رقابت بین بوته‌ها برای بدست آوردن آب شده و اختصاص مواد فتوسنتزی به ساقه‌ها کمتر و باعث کاهش ارتفاع بوته شده باشد (Moradiyan *et al.*, 2014; Kilic and Yagbasanlar, 2010).

**اجزای عملکرد دانه:** مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها از نظر تعداد سنبله در مترمربع (جدول ۴) نشان داد ژنوتیپ‌ها مقاوم و نیمه مقاوم به تنش (گوهران، مهر و ارمغان به ترتیب ۸۳۳، ۷۴۶ و ۷۶۴ عدد) تعداد سنبله در واحد سطح کمتری نسبت به ژنوتیپ حساس به تنش (لاین A-17 با تعداد ۹۵۵ عدد)

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی از خصوصیات چهار ژنوتیپ جو در مناطق و غلظت‌های مختلف سولفات روی

Table 3- Analysis of variance for some traits of four barley genotypes under different locations and zinc concentrations

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length	تعداد سنبله در مترمربع No. spike/square	تعداد دانه در سنبله No. grain/spike	وزن هزار دانه Thousand grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
منطقه Location	1	601.5	0.38	806.7	217.0	6.12**	1481981.8**	4987908.5*
خطا Error	4	79.8	0.11	41901.9	43.4	0.17	6779.2	18363.7
غلظت روی Zinc concentration	2	19.3	0.11	17324.8	11.0	1.04	87690.5**	233162.8*
غلظت روی * منطقه Zinc * Location	2	18.2	0.09	12761.5	31.9	0.12	69460.5**	142537.1*
خطا Error	8	218.6	0.17	32403.9	13.6	0.69	5100.6	27283.3
ژنوتیپ Genotype	3	427.2**	0.96**	161370.3**	95.5*	32.53**	114246.3**	2728.3*
ژنوتیپ * منطقه Genotype*Location	3	55.3	0.18	41042.1	203.6**	4.68**	414246.3**	424095.2**
ژنوتیپ * سولفات روی Genotype*Zinc	6	56.7	0.27	9858.5	49.7	0.34	17641.8**	75127.0**
ژنوتیپ * منطقه * سولفات روی Genotype*Location*Zinc	6	8.4	0.19	7404.9	17.3	0.35	16817.8**	101267.0**
خطا Error	36	37.7	0.17	19984.4	24.3	0.29	3815.6	18363.6

\*، \*\* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

\*، \*\* are significantly different at 5 and 1 percent, respectively.

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس برخی از خصوصیات چهار ژنوتیپ جو در مناطق و غلظت‌های مختلف سولفات روی

Table 3- Analysis of variance for some traits of four barley genotypes under different locations and zinc sulphate concentrations

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میزان کلروفیل a Chl-a amount	میزان کلروفیل b Chl-b amount	میزان پرولین Proline amount	میزان روی Zinc amount
منطقه Location	1	4.2	1.99	13359.3	47797.2
خطا Error	4	0.88	0.61	9090.0	11294.6
غلظت روی Zinc concentration	2	0.20	0.01	60993.7	1818.9
غلظت روی * منطقه Zinc * Location	2	0.27	0.20	8026.4	1438.9
خطا Error	8	0.15	0.29	42564.7	1692.9
ژنوتیپ Genotype	3	0.31 *	0.41 *	32559.4	599.7
ژنوتیپ * منطقه Genotype*Location	3	0.09	0.53 **	76944.0 *	1187.6
ژنوتیپ * سولفات روی Genotype*Zinc	6	0.11	0.16	39600.8	565.3
ژنوتیپ * منطقه * سولفات روی Genotype*Location*Zinc	6	0.69 **	0.47 **	14489.9	038.8
خطا Error	36	0.081	0.12	23309.1	472.3

\*، \*\* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

\*، \*\* are significantly different at 5 and 1 percent, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مختلف عوامل آزمایشی

Table 4- Mean comparison of different traits of experimental characteristics

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول سنبله Spike length (cm)	تعداد سنبله در مترمربع No. Spike/square	تعداد دانه در سنبله No. grain/spike	وزن هزار دانه Thousand grain weight (gr)	
منطقه Location	خشکی Drought	57.3	3.8	821.2	50.9	39.9 <sup>a</sup>
	شوری Salinity	51.6	3.7	827.9	47.4	39.3 <sup>b</sup>
غلظت سولفات روی Zinc concentration (درصد)	0	54.9	3.8	850.3	49.4	39.4
	0.5	53.4	3.7	826.5	48.4	39.8
	1.0	54.9	3.8	796.7	49.7	39.6
گوهرا ژنوتیپ Genotype	گوهرا Goharan	55.4 <sup>b</sup>	3.86 <sup>a</sup>	833.3 <sup>b</sup>	46.0 <sup>b</sup>	41.5 <sup>a</sup>
	مهر Mehr	60.4 <sup>a</sup>	3.78 <sup>a</sup>	745.9 <sup>b</sup>	49.8 <sup>a</sup>	39.3 <sup>b</sup>
	ارمغان Armaghan	53.1 <sup>b</sup>	3.96 <sup>a</sup>	764.0 <sup>b</sup>	51.5 <sup>a</sup>	38.9 <sup>c</sup>
	A-17 لاین	48.7 <sup>c</sup>	3.43 <sup>b</sup>	954.8 <sup>a</sup>	49.4 <sup>a</sup>	38.7 <sup>c</sup>

در هر ستون حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD می‌باشد.

At least one common letter in each column indicated no statistical difference at the 5% level of probability based on the LSD test.

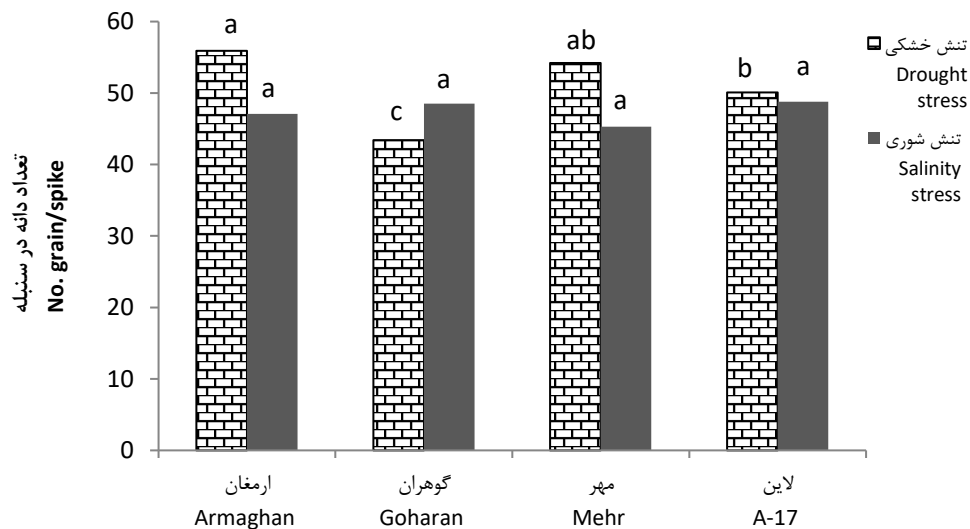
ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مختلف عوامل آزمایشی

Table 4- Mean comparison of different traits of experimental characteristics

تیمار Treatment	عملکرد					
	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)	بیولوژیک Biological yield (kg/ha)	میزان کلروفیل a Chl-a amount (mg/gr)	میزان کلروفیل b Chl-b amount (mg/gr)	میزان پرولین Proline amount (mg/kg)	
منطقه Location	خشک Drought	5575.3 <sup>a</sup>	11071.4 <sup>a</sup>	1.5	1.4	2682.0
	شوری Salinity	2706.0 <sup>b</sup>	5807.3 <sup>b</sup>	1.0	1.1	2954.4
غلظت سولفات روی Zinc concentration (%)	0	3556.4 <sup>c</sup>	7512.4 <sup>b</sup>	1.14	1.21	2242.2
	0.5	4763.5 <sup>a</sup>	9474.7 <sup>a</sup>	1.29	1.26	3178.7
	1.0	4102.1 <sup>b</sup>	8330.9 <sup>b</sup>	1.30	1.24	3033.8
گوهرا ژنوتیپ Genotype	گوهرا Goharan	3698.9 <sup>c</sup>	7600.6 <sup>c</sup>	1.10 <sup>c</sup>	1.09 <sup>b</sup>	3183.7
	مهر Mehr	4440.1 <sup>b</sup>	8992.8 <sup>b</sup>	1.16 <sup>b</sup>	1.13 <sup>b</sup>	2698.0
	ارمغان Armaghan	5108.8 <sup>a</sup>	10316.6 <sup>a</sup>	1.36 <sup>a</sup>	1.30 <sup>ab</sup>	3122.5
	A-17 لاین	3314.8 <sup>c</sup>	6847.3 <sup>c</sup>	1.35 <sup>ab</sup>	1.42 <sup>a</sup>	2268.7

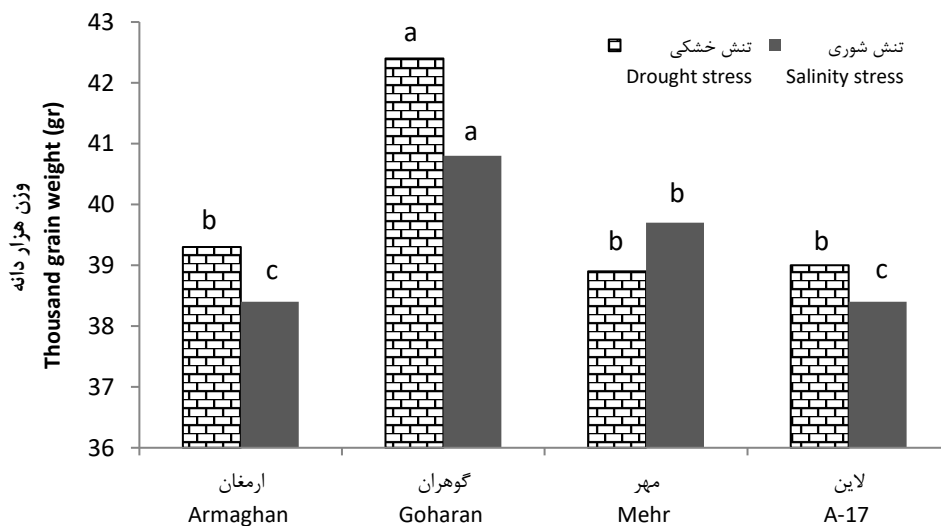
در هر ستون حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD می‌باشد.

At least one common letter in each column indicated no statistical difference at the 5% level of probability based on the LSD test.



شکل ۱- اثرات متقابل تنش و ژنوتیپ بر تعداد دانه در سنبله

Figure 1- Interaction effects for stress \* genotype on number of grain per spike



شکل ۲- اثرات متقابل تنش و ژنوتیپ بر وزن هزار دانه

Figure 2- Interaction effects for stress \* genotype on thousand grain of weight

درصد سولفات روی نسبت به بدون مصرف روی ۳۴ درصد عملکرد دانه بیشتر گردید (جدول ۴).

جدول ۵ نشان داد که در شرایط تنش خشکی و غلظت‌های ۰، ۰/۵ و ۱ درصد سولفات روی، ژنوتیپ ارماغان نیمه متحمل به تنش به ترتیب ۶۳۵۸، ۷۸۰۸ و ۷۱۵۸ کیلوگرم در هکتار، ژنوتیپ گوهران متحمل به تنش خشکی ۳۰۷۲، ۷۰۶۷ و ۴۳۶۱ کیلوگرم در هکتار، ژنوتیپ مهر متحمل به تنش شوری به ترتیب ۶۷۱۷، ۶۶۱۱ و ۴۹۵۵ کیلوگرم دانه در هکتار تولید نمودند.

**عملکرد دانه:** عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در تنش خشکی و شوری به ترتیب ۵۵۷۵ و ۲۷۰۶ کیلوگرم در هکتار و در غلظت ۰، ۰/۵ و ۱ درصد سولفات روی به ترتیب ۳۵۵۶، ۴۷۶۳ و ۴۱۰۲ کیلوگرم در هکتار و ژنوتیپ‌های گوهران، مهر، ارماغان و لاین A-17 به ترتیب ۳۶۹۹، ۴۴۴۰، ۵۱۰۹ و ۳۳۱۵ کیلوگرم بود. نتایج نشان داد تأثیر تنش شوری حاصل از مصرف آب شور در طی فصل رشد بیش از تنش خشکی انتهای فصل بر عملکرد دانه (کاهش ۲۸۶۹ کیلوگرم) بود. هم‌چنین مصرف ۰/۵

جدول ۵ نشان داد که در شرایط تنش خشکی و غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد سولفات روی، ژنوتیپ ارمغان به‌ترتیب ۱۴۶۳۵، ۱۵۰۷۱ و ۱۲۷۱۱ کیلوگرم در هکتار، ژنوتیپ گوهران ۶۰۱۷، ۱۲۲۲۶ و ۹۶۰۴ کیلوگرم در هکتار، ژنوتیپ مهر ۱۰۲۱۳، ۷۳۷۰ و ۱۲۹۸۸ کیلوگرم در هکتار شاخساره تولید نمودند. ژنوتیپ‌های ارمغان و گوهران در غلظت ۰/۵ درصد و ژنوتیپ مهر در غلظت یک درصد سولفات حداکثر عملکرد بیولوژیک را داشتند. در شرایط تنش شوری در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد سولفات روی، عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب ۵۵۶۶، ۷۷۴۱ و ۶۱۷۲ کیلوگرم در هکتار، ژنوتیپ گوهران ۵۲۴۸، ۶۶۴۸ و ۴۴۲۵ کیلوگرم در هکتار، عملکرد ژنوتیپ‌ها ۶۷۰۷، ۶۸۷۹ و ۴۹۳۸ کیلوگرم در هکتار و لاین حساس به تنش A-17 دارای ۵۰۱۴، ۶۲۳۶ و ۴۱۱۱ کیلوگرم در هکتار شاخساره بودند. بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در همه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش شوری در غلظت ۰/۵ درصد سولفات روی تولید شدند. علت تفاوت عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ‌های مختلف، پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌های جو به تنش و میزان آب در دسترس بیان شده است (Barati and Ghadiri, 2016). عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای کودی بر عملکرد بیولوژیکی گندم نیز گزارش شده است (Fathi, 2012). ولی پژوهش‌هایی نیز گزارش شده (Moussavi-Nik et al., 1997; Miradiyan et al., 2014) که ترکیبات آهن، روی و منگنز بر گندم و ترکیبات روی بر ژنوتیپ‌ها جو (Mahlooji, 2022) تأثیر مثبت و معنی‌داری بر بیوماس تولیدی دارند.

### میزان کلروفیل a برگ پرچم

میزان کلروفیل a برگ پرچم ژنوتیپ‌های جو در تنش خشکی و شوری به‌ترتیب ۱/۵ و ۱/۰ میلی‌گرم بر گرم برگ پرچم و در غلظت ۰/۵ و ۱ درصد سولفات روی به‌ترتیب ۱/۱۴، ۱/۲۹ و ۱/۳۰ میلی‌گرم بر گرم برگ پرچم و ژنوتیپ‌های گوهران، مهر، ارمغان و لاین A-17 به‌ترتیب ۱/۱۰، ۱/۱۶، ۱/۳۶ و ۱/۳۵ میلی‌گرم بر گرم برگ پرچم بود. این نتایج نشان‌دهنده میزان کلروفیل a بیشتر (۵۰ درصد) در تنش خشکی نسبت به شوری بوده هم‌چنین مصرف ۰/۵ درصد سولفات روی نسبت به بدون مصرف روی ۱۳ درصد میزان کلروفیل a بیشتر گردیده ولی تفاوت‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار نیست (جدول ۴). در

ژنوتیپ‌های متحمل و نیمه متحمل، بیشترین عملکرد دانه را در غلظت ۰/۵ درصد و کمترین عملکرد دانه را در بدون مصرف کود سولفات روی داشتند. لاین حساس به تنش A-17 بیشترین میزان عملکرد دانه را در غلظت یک درصد سولفات روی و کمترین عملکرد دانه را در بدون مصرف کود سولفات روی تولید نمود.

در شرایط تنش شوری در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد سولفات روی، ژنوتیپ ارمغان نیمه متحمل به تنش به‌ترتیب ۳۱۵۲، ۳۵۵۵ و ۲۶۱۹ کیلوگرم در هکتار، ژنوتیپ گوهران متحمل به تنش خشکی ۲۵۴۳، ۳۰۷۶ و ۲۰۷۲ کیلوگرم در هکتار، ژنوتیپ مهر متحمل به تنش شوری به‌ترتیب ۲۹۴۶، ۳۲۵۸ و ۲۱۵۲ کیلوگرم دانه در هکتار و لاین حساس به تنش A-17 به‌ترتیب ۲۲۰۵، ۲۹۱۳ و ۱۹۷۵ کیلوگرم در هکتار دلنه داشتند. بیشترین میزان عملکرد دلنه در همه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش شوری در غلظت ۰/۵ درصد سولفات روی و کمترین عملکرد دانه در بدون مصرف کود سولفات روی تولید شدند. نتایج حاکی از تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی در شرایط تنش خشکی و شوری است. محققین تأثیر عناصر کم‌مصرف در افزایش عملکرد را گزارش نمودند (Sheykhbagloo et al., 2009; Yari et al., 2005). تأثیر تنش در کاهش عملکرد دانه به اثبات رسیده است (Ahmadi et al., 2006; Narimani and Sharifi, 2020) که تأییدکننده نتایج مطالعه کنونی می‌باشند. علت کاهش عملکرد دانه در اثر تنش را عقیم‌شدن دانه‌های گرده، فتوسنتز غیر عادی، کاهش انتقال مواد فتوسنتزی، کاهش وزن هزاردانه و عملکرد دانه گزارش نمودند (Mollasadeghi and Dadbakhsh, 2011).

**عملکرد بیولوژیک:** عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ‌های جو در تنش خشکی و شوری به‌ترتیب ۱۱۰۷۱ و ۵۸۰۷ کیلوگرم در هکتار و در غلظت ۰/۵ و ۱ درصد سولفات روی به‌ترتیب ۷۵۱۲، ۹۴۷۵ و ۸۳۳۰ کیلوگرم در هکتار و ژنوتیپ‌های گوهران، مهر، ارمغان و لاین A-17 به‌ترتیب ۷۶۰۱، ۸۹۹۲، ۱۰۳۱۷ و ۶۸۴۷ کیلوگرم بود. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر بیشتر شوری نسبت به تنش آخر فصل خشکی بر کاهش عملکرد بیولوژیک (کاهش ۵۲۶۴ کیلوگرم) است. هم‌چنین مصرف ۰/۵ درصد سولفات روی نسبت به بدون مصرف روی ۲۶ درصد عملکرد بیولوژیک بیشتر گردید (جدول ۴).

در تنش خشکی ژنوتیپ ارمغان با مصرف ۱ درصد و ژنوتیپ گوهران با مصرف ۰/۵ درصد سولفات روی بیشترین میزان کلروفیل b را داشتند (جدول ۵) و ژنوتیپ متحمل به خشکی گوهران در منطقه خشک متأثر از مصرف کود سولفات روی میزان کلروفیل b بیشتری تولید نموده است. در تنش شوری لاین A-17، در هر سطح محلول‌پاشی سولفات روی بیشترین میزان کلروفیل b را داشت و در تنش شوری، میزان کلروفیل b بیشتر نشانه تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها نیست. به نظر می‌رسد علت کاهش غلظت کلروفیل در هنگام تنش شوری، ناشی از تخریب کلروفیل به دلیل اثر یون‌های سمی از جمله یون سدیم باشد. در مطالعه‌ای اثر تنش شوری بر میزان کلروفیل نشان داد که شوری موجب کاهش کلروفیل a و b می‌گردد (Farhangian- Kashani, 2009). تأثیر متفاوت تنش بر کلروفیل b ژنوتیپ‌های جو در تأیید نتایج این پژوهش توسط محققین ژنوتیپ‌ها (Bardehji et al., 2020) گزارش شده است.

**میزان پرولین برگ پرچم:** جدول ۴ عدم تفاوت معنی‌دار تیمارهای منطقه، غلظت سولفات روی و ژنوتیپ بر میزان پرولین را نشان می‌دهد. جدول ۳ نشان داد که اثر متقابل دو گلنه منطقه در ژنوتیپ بر میزان پرولین در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

در تنش خشکی میزان پرولین ژنوتیپ‌های ارمغان، گوهران، مهر و لاین A-17 به ترتیب ۲۵۱۶، ۲۷۵۳، ۲۳۶۰ و ۳۰۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن برگ پرچم و بدون تفاوت معنی‌دار (کلاس a) بود. در تنش شوری بیشترین میزان پرولین در ژنوتیپ‌های ارمغان، گوهران و مهر به ترتیب ۳۷۲۸، ۳۶۱۵ و ۳۰۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن برگ پرچم بدون تفاوت معنی‌دار (کلاس a) و میزان پرولین لاین A-17 کمترین مقدار (۱۴۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در سطح b بود (شکل ۳). بنظر می‌رسد در تنش شوری، افزایش میزان پرولین در تحمل ژنوتیپ‌ها مؤثر و معیاری برای انتخاب است ولی در تنش خشکی آخرفصل این ارتباط وجود نداشت. مقایسه میزان پرولین ژنوتیپ‌های ارمغان، گوهران و مهر (متحمل و نیمه متحمل به تنش) در تنش خشکی و شوری نشان داد که این ژنوتیپ‌ها در تنش شوری میزان بیشتری از پرولین در گیاه تولید نموده ولی لاین حساس روندی برعکس داشته است.

تنش خشکی ژنوتیپ‌های ارمغان و گوهران، بیشترین میزان کلروفیل a را در غلظت یک درصد و کمترین میزان کلروفیل a را در بدون مصرف کود سولفات روی داشته و نشان از تأثیر مثبت محلول‌پاشی در میزان کلروفیل a دارد. بر عکس این روند؛ ژنوتیپ‌های مهر و لاین A-17، بیشترین میزان کلروفیل a را در بدون مصرف سولفات روی داشتند (جدول ۵). بنظر می‌رسد ژنوتیپ متحمل به خشکی گوهران در منطقه خشک متأثر از مصرف کود سولفات روی میزان کلروفیل a بیشتری تولید نموده است و شاید بتوان در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی از این صفت استفاده نمود.

در تنش شوری بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به ژنوتیپ‌های مهر و لاین A-17 با مصرف سولفات روی و کمترین میزان کلروفیل a مربوط به همین ژنوتیپ‌ها و بدون مصرف سولفات روی بود. بنظر می‌رسد ژنوتیپ متحمل به شوری مهر در منطقه شور متأثر از مصرف کود سولفات روی میزان کلروفیل a بیشتری تولید نموده است و شاید بتوان در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به شوری از این صفت استفاده نمود. ارزیابی اثرات تنش شوری بر فتوسنتز و فلورسانس کلروفیل a ژنوتیپ‌ها مختلف جو نشان داد که میزان کلروفیل در تنش شوری کاهش یافته و این کاهش در ژنوتیپ‌های مختلف جو متفاوت بوده است (Yousefiniya and Ghasemiyan, 2016). کاهش میزان کلروفیل a در تنش خشکی را محققین گزارش نمودند (Nematpour et al., 2019; Lonbani and Arzani, 2011; ) (Nayyar and Gupta, 2006).

**میزان کلروفیل b برگ پرچم:** میزان کلروفیل b برگ پرچم ژنوتیپ‌های جو در تنش خشکی و شوری به ترتیب ۱/۴ و ۱/۱ میلی‌گرم بر گرم برگ پرچم و در غلظت ۰، ۰/۵ و ۱ درصد سولفات روی به ترتیب ۱/۲۱، ۱/۲۶ و ۱/۲۴ میلی‌گرم بر گرم برگ پرچم و ژنوتیپ‌های گوهران، مهر، ارمغان و لاین A-17 به ترتیب ۱/۰۹، ۱/۱۳، ۱/۳۰ و ۱/۲۴ میلی‌گرم بر گرم برگ پرچم بود. این نتایج نشان‌دهنده میزان کلروفیل a بیشتر (۲۷ درصد) در تنش خشکی نسبت به شوری بوده هم‌چنین مصرف ۰/۵ درصد سولفات روی نسبت به بدون مصرف روی ۴ درصد میزان کلروفیل a بیشتر گردیده ولی تفاوت‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار نیست (جدول ۴).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه منطقه × غلظت سولفات روی × ژنوتیپ‌های جو بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، میزان کلروفیل a و b  
 Table 5- Mean comparison of triple interaction (location\* concentration of zinc sulphate\* barley genotypes) on grain yield, biological yield, Chl-a and Chl-b amount

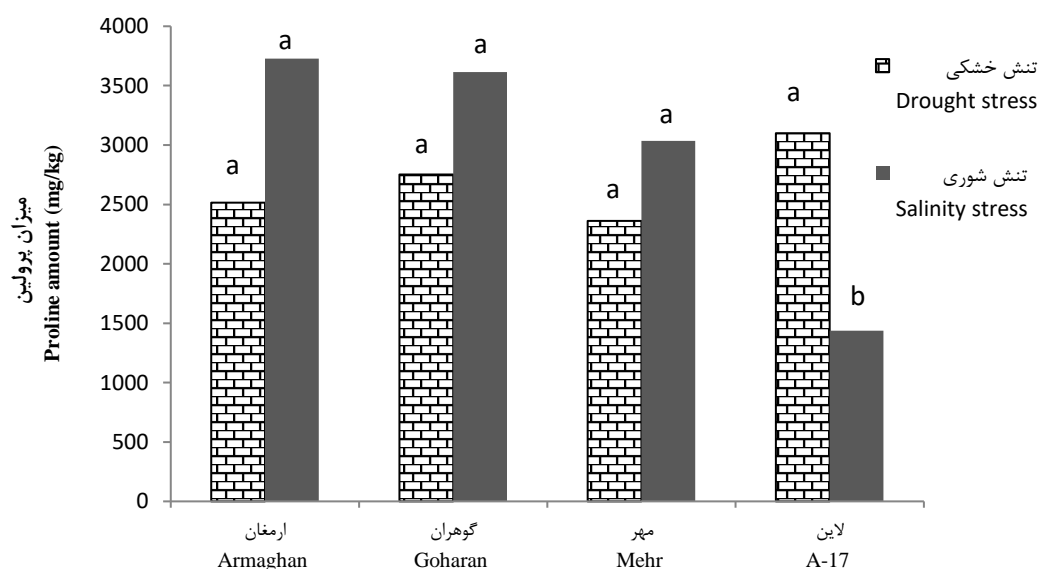
منطقه	غلظت سولفات روی	ژنوتیپ	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	میزان کلروفیل a	میزان کلروفیل b
Location	Zinc concentration(%)	Genotype	Grain yield(kg/ha)	Biological yield (kg/ha)	Chl-a amount (mg/gr)	Chl-b amount (mg/gr)
خشکی Drought	0	ارمغان Armaghan	6358 <sup>b</sup>	14635 <sup>a</sup>	1.17 <sup>b</sup>	1.55 <sup>ab</sup>
		گوهران Goharan	3072 <sup>d</sup>	6017 <sup>d</sup>	1.08 <sup>b</sup>	1.25 <sup>ab</sup>
		مهر Mehr	4955 <sup>c</sup>	10218 <sup>c</sup>	1.53 <sup>ab</sup>	1.55 <sup>ab</sup>
		لاین A-17	3216 <sup>d</sup>	6692 <sup>d</sup>	1.84 <sup>a</sup>	1.55 <sup>ab</sup>
		ارمغان Armaghan	7808 <sup>a</sup>	15071 <sup>a</sup>	1.77 <sup>ab</sup>	1.41 <sup>ab</sup>
		گوهران Goharan	7067 <sup>ab</sup>	13623 <sup>a</sup>	1.54 <sup>ab</sup>	1.67 <sup>a</sup>
	0.5	مهر Mehr	6717 <sup>b</sup>	12226 <sup>b</sup>	1.33 <sup>b</sup>	1.29 <sup>ab</sup>
		لاین A-17	3711 <sup>d</sup>	7370 <sup>d</sup>	1.04 <sup>b</sup>	0.99 <sup>b</sup>
		ارمغان Armaghan	7158 <sup>ab</sup>	12711 <sup>b</sup>	1.99 <sup>a</sup>	1.63 <sup>a</sup>
		گوهران Goharan	4361 <sup>cd</sup>	9640 <sup>c</sup>	1.64 <sup>ab</sup>	1.34 <sup>ab</sup>
		مهر Mehr	6611 <sup>b</sup>	12988 <sup>ab</sup>	1.25 <sup>b</sup>	1.14 <sup>ab</sup>
		لاین A-17	5866 <sup>bc</sup>	11658 <sup>bc</sup>	1.64 <sup>ab</sup>	1.47 <sup>ab</sup>
شوری Salt	0	ارمغان Armaghan	3152 <sup>a</sup>	5566 <sup>ab</sup>	1.17 <sup>ab</sup>	1.05 <sup>b</sup>
		گوهران Goharan	2543 <sup>ab</sup>	5248 <sup>b</sup>	0.97 <sup>b</sup>	1.10 <sup>ab</sup>
		مهر Mehr	2946 <sup>ab</sup>	6706 <sup>ab</sup>	0.38 <sup>c</sup>	0.33 <sup>b</sup>
		لاین A-17	2205 <sup>b</sup>	5014 <sup>b</sup>	0.96 <sup>b</sup>	1.32 <sup>ab</sup>
		ارمغان Armaghan	3555 <sup>a</sup>	7741 <sup>a</sup>	1.33 <sup>ab</sup>	1.37 <sup>ab</sup>
		گوهران Goharan	3076 <sup>ab</sup>	6648 <sup>ab</sup>	0.84 <sup>b</sup>	0.71 <sup>b</sup>
	0.5	مهر Mehr	3258 <sup>a</sup>	6879 <sup>ab</sup>	1.05 <sup>ab</sup>	1.09 <sup>b</sup>
		لاین A-17	2913 <sup>ab</sup>	6236 <sup>ab</sup>	1.46 <sup>a</sup>	1.55 <sup>ab</sup>
		ارمغان Armaghan	2619 <sup>ab</sup>	5172 <sup>ab</sup>	0.74 <sup>bc</sup>	0.80 <sup>b</sup>
		گوهران Goharan	2072 <sup>b</sup>	4425 <sup>b</sup>	0.55 <sup>bc</sup>	0.49 <sup>b</sup>
		مهر Mehr	2152 <sup>b</sup>	4938 <sup>b</sup>	1.43 <sup>ab</sup>	1.40 <sup>ab</sup>
		لاین A-17	1975 <sup>b</sup>	4111 <sup>b</sup>	1.14 <sup>ab</sup>	1.63 <sup>a</sup>

در هر ستون و تیمار منطقه حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون Lsmeans می‌باشد.

At least one common letter in each column and location indicated no statistical difference at the 5% level of probability based on the Lsmeans test

افزایش میزان پرولین در تنش (Bandurska and Stroinski, 2003) و تأثیر متفاوت ژنوتیپ‌های تحت تنش نیز در تأیید نتایج این پژوهش گزارش شده است (Mallick *et al.*, 2011).

لاین حساس به تنش، در منطقه شور پرولین کمتری تولید نمود. در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر شوری بر دو ژنوتیپ جو پرداختند و نشان دادند که افزایش شوری موجب افزایش میزان پرولین در برگ‌های ژنوتیپ جو افضل متحمل به شوری گردید (KamahNezhad *et al.*, 2006).



شکل ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثرات تنش و ژنوتیپ‌های جو بر میزان پرولین

Figure 3- Mean comparison of interaction effects for stress and genotypes of barley on proline amount

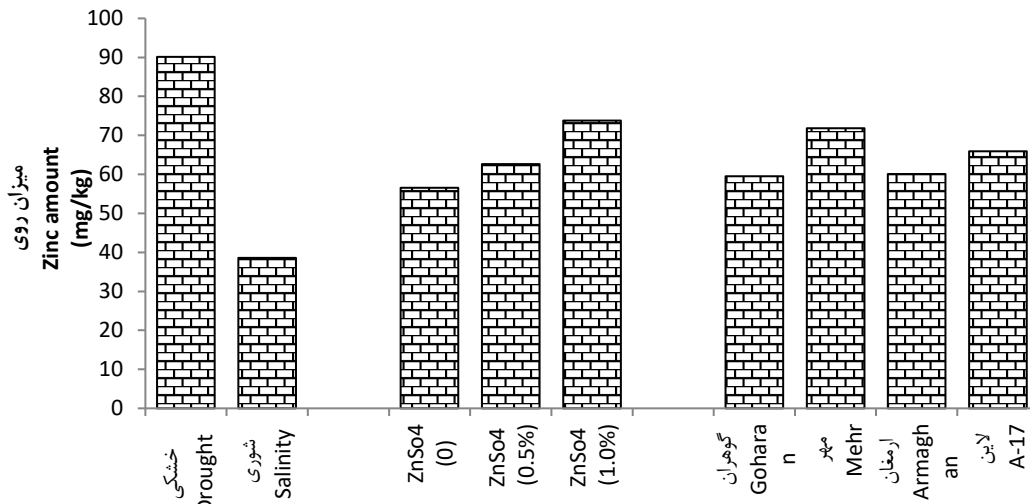
۳۰ درصد میزان روی بیشتر گردیده ولی تفاوت‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد اگرچه تأثیر تنش بر میزان عنصر روی در گیاه جو معنی‌دار نبود ولی میزان این عنصر در تنش خشکی آخر فصل بیشتر از تنش شوری بوده (شکل ۴) و نشان‌دهنده این مطلب است که تنش شوری عنصر روی بیشتر تحت تأثیر قرار داده و در گیاه کاهش داده است. تحقیقات انجام شده نشان‌دهنده این موضوع است که هر قدر مراحل رشد پیشرفت نماید تأثیر شوری بیشتر می‌شود (Borzouei *et al.*, 2011; Jahanbakhsh *et al.*, 2009).

هم‌چنین ژنوتیپ‌های جو از نظر غلظت روی در اندام هوایی با یکدیگر تفاوت دارند (Mahlooji *et al.*, 2014). با این حال بعضی از پژوهش‌ها عدم اختلاف ژنوتیپ‌های گندم از نظر غلظت روی در اندام هوایی را توصیف کردند (Fathi, 2012).

**غلظت عنصر روی برگ پرچم:** جدول ۳ عدم تفاوت معنی‌دار تیمارهای منطقه، غلظت سولفات روی و ژنوتیپ بر میزان عنصر روی در برگ پرچم را نشان می‌دهد.

میزان عنصر روی برگ پرچم ژنوتیپ‌های جو در تنش خشکی و شوری به ترتیب ۹۰/۱ و ۳۸/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم برگ پرچم و در غلظت ۰، ۰/۵ و ۱ درصد سولفات روی به ترتیب ۵۶/۶، ۶۲/۶ و ۷۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برگ پرچم و ژنوتیپ‌های گوهران، مهر، ارمغان و لاین A-17 به ترتیب ۵۹/۵، ۷۱/۸، ۶۰/۱ و ۶۵/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم برگ پرچم بود.

این نتایج نشان‌دهنده میزان عنصر روی بیشتر (۱۳۳ درصد) در تنش خشکی (۹۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به شوری (۳۸/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. هم‌چنین مصرف ۰/۵ و ۱ درصد سولفات روی نسبت به بدون مصرف روی ۱۰ درصد و

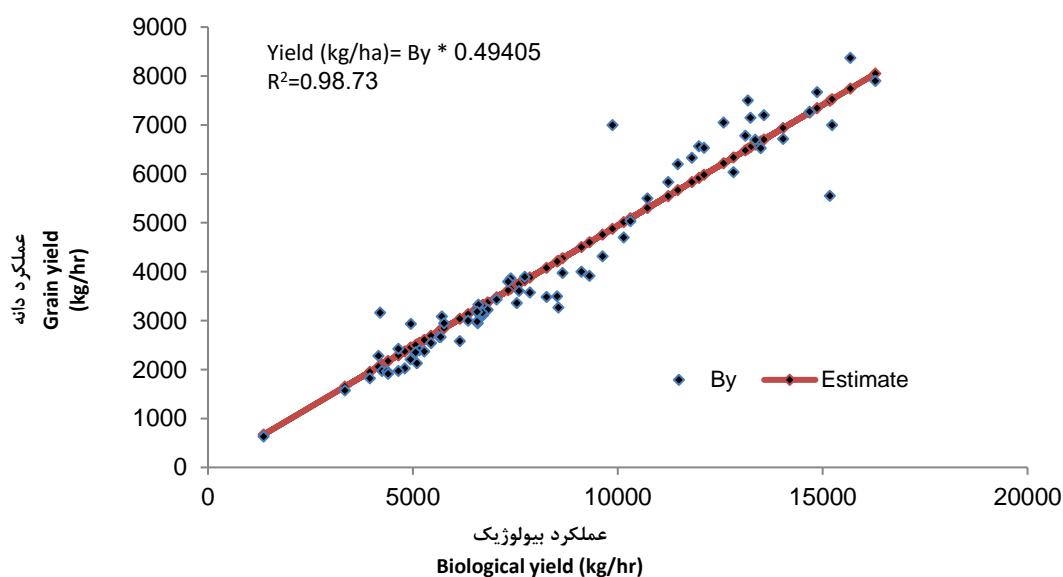


شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده تنش بر میزان روی برگ پرچم ژنوتیپ‌ها  
Figure 4- Mean comparison of simple effects for stress on zinc content of flag leaf

ارتفاع گیاه ( $r = 0.33, p = 0.01$ )، طول سنبله ( $p = 0.05$ )، تعداد دانه در سنبله ( $r = 0.31, p = 0.01$ )، عملکرد بیولوژیک ( $r = 0.96, p = 0.01$ )، میزان کلروفیل a ( $r = 0.44, p = 0.01$ )، میزان کلروفیل b ( $r = 0.29, p = 0.05$ ) و عنصر روی ( $r = 0.39, p = 0.01$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت که بیشترین همبستگی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک ( $r^2 = 0.99$ ) بود. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و بیوماس توسط محققین (Bardehji *et al.*, 2020) در تأیید نتایج گزارش شده است.

### رابطه عملکرد دانه و صفات مرفوفیزیولوژیک

ارتباط بین عملکرد دانه با صفات مرفوفیزیولوژیکی-زراعی (ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت) و صفات فیزیولوژیک (میزان کلروفیل a، میزان کلروفیل b، میزان پروتئین و عنصر روی در گیاه) با استفاده از تجزیه رگرسیون گام به گام نشان داد که رابطه خطی معنی‌دار بین عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک با ضریب تشخیص ( $r^2 = 0.99$ ) وجود داشت و به همین دلیل در شکل ۵ این صفت آورده شد. همچنین ضرایب پیرسون در جدول ۶ نشان داد که عملکرد دانه با صفات



شکل ۵- ارتباط عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ‌های جو در تنش خشکی و شوری

Figure 5- Relationship between grain yield and biological yield of barley genotypes at drought and salinity stresses

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و صفات مختلف ژنوتیپ‌های جو

Table 6- Coefficient correlations between grain yield and different traits of barley genotypes

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
عملکرد دانه Grain yield	1										
ارتفاع بوته Plant height	0.33**	1									
طول سنبله Spike length	0.31*	0.24*	1								
تعداد سنبله در مترمربع No. Spike/square	-0.13	0.09	-0.27*	1							
تعداد دانه در سنبله No. grain/spike	0.35**	0.09	0.17	0.05	1						
وزن هزار دانه Thousand grain weight	0.06	0.13	0.12	-0.05	-0.30*	1					
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.96**	0.29*	0.28*	-0.16	0.30**	0.08	1				
میزان کلروفیل a Chl-a amount	0.44**	0.24*	0.13	0.15	0.28*	0.03	0.40**	1			
میزان کلروفیل b Chl-b amount	0.29*	0.26*	0.05	0.36**	0.23	-0.07	0.24*	0.80**	1		
میزان پرولین Proline amount	-0.08	0.16	0.10	-0.11	-0.01	0.12	-0.12	0.02	0.01	1	
میزان روی Zinc amount	0.39**	0.30**	0.08	0.09	0.26	0.07	0.37**	0.50**	0.46**	0.06	1

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\*\* and \*, significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively

## نتیجه‌گیری کلی

است در تنش خشکی تفاوتی از نظر میزان پرولین بین ژنوتیپ‌ها نبوده ولی در تنش شوری، ژنوتیپ‌های متحمل و نیمه متحمل دارای میزان پرولین بیشتری نسبت به لاین حساس به تنش بودند. هم‌خوانی مثبتی بین عملکرد دانه با صفات ارتفاع گیاه، تعداد دانه در سنبله، طول سنبله، عملکرد بیولوژیک، میزان کلروفیل a، میزان کلروفیل b و عنصر روی وجود داشت که بیشترین همبستگی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک جو بود.

نوع تنش (خشکی و شوری) موجب تغییر در وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گردید. تنش خشکی آخر فصل نسبت به تنش شوری در طی فصل رشد دارای وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بیشتر و میزان پرولین کمتری بود. محلول پاشی ۵/۰ درصد سولفات روی موجب افزایش بیشتر عملکرد دانه و بیولوژیک گردید و قابل توصیه است. لازم به ذکر

در تنش خشکی، ژنوتیپ‌های ارمغان (نیمه متحمل به خشکی) و گوهران (متحمل به خشکی)، دارای میزان کلروفیل a بیشتری در کاربرد سولفات روی بودند. به نظر می‌رسد مکانیسم افزایش تحمل و عملکرد ژنوتیپ‌های ارمغان و گوهران در شرایط تنش خشکی، افزایش میزان کلروفیل a در اثر محلول پاشی سولفات روی می‌باشد. بدین منظور محلول پاشی ژنوتیپ‌های مناسب (ارمغان و گوهران) در شرایط تنش خشکی توصیه می‌گردد.

در تنش شوری، حداقل و حداکثر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به ترتیب در محلول پاشی ۱ و ۰/۵ درصد سولفات روی در کلیه ژنوتیپ‌ها بدست آمد. به نظر می‌رسد محلول پاشی ۰/۵ درصد سولفات روی کلیه ژنوتیپ‌های جو در تنش شوری کفایت می‌کند و محلول پاشی با غلظت بیشتر سولفات روی به دلیل کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک در این تنش توصیه نمی‌گردد.

## References

- Ahmadi, M., Astarai, A., Nasiri Mahallati, M. and Keshavarz, P., 2006. Effect of irrigation water salinity and zinc application on yield, yield components and zinc accumulation of wheat. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 4(2), pp.195-206. [In Persian]. doi: 10.22067/gsc.v4i2.1261
- Annan, K., 2001. Water for sustainable agriculture in developing regions more crop for every scarce drop, Proceeding of 8 th JIRCAS International Symposium, Epochal Tsukuba, Tsukuba science City, Japan, November 27-28, pp.132-133.
- Bandurska, H. and Stroinski, A., 2003. ABA and proline accumulation in leaves and roots of wild (*Hordeum spontaneum*) and cultivated (*Hordeum vulgare* 'Maresi') barley genotypes under water deficit conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 25, pp.55-61. doi: 10.1007/s11738-003-0036-x
- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S.S. and Mohamadian, A., 2010. Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*, 118, pp.105-114. [In Persian]. doi: 10.1016/j.fcr.2010.04.011
- Bardehji, S., Eshghizadeh, H.R. and Zahedi, M., 2020. Effect of drought stress and nitrogen fertilizer on yield and physiological traits of six barley cultivars. *Journal of Plant Physiology*, 9(39), pp.1-14. [In Persian]. doi: 10.1017/s0021859621000149
- Bardehji, S., Eshghizadeh, H.R., Zahedi, M., Sabzalian, M.R. and Gheisari, M., 2021. The combined effect of nitrogen fertilizer and sowing season on response to water-limited stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). *The Journal of Agricultural Science*, 159(1-2), pp.31-49. doi: 10.1017/s0021859621000149
- Barati, V. and Ghadiri, H., 2016. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer on yield, yield components and grain protein content of two barley cultivars. *Journal of Crop Production and Processing*, 6(20), pp.191-207. doi: 10.18869/acadpub.jcpp.6.20.191
- Borzouei, A., Kafi, M., Khazaei, H.R., Khorasani, A. and Majdabadi, A., 2011. The study of physiological characteristics and enzyme superoxide dismutas activity in two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars at different growth stages under irrigation water salinity. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 9(2), pp.190-201. [In Persian]. doi: 10.22067/gsc.v14i3.44391
- Costa, F.S., Leal, R.V.P., Pacheco, C.S.V., Amorim, F.A.C., de Jesus, R.M. and Santos, L.N., 2020.

- Multivariate optimization of an ultrasound-assisted extraction procedure for the determination of Cu, Fe, Mn, and Zn in plant samples by flame atomic absorption spectrometry. *Analytical Methods*, 12(19), pp.2509-2516. doi: **10.1590/s0001-37652013000300005**
- Dadashi, M.R., Majidi Hervan, I., Soltani, A. and Noorinia, A.A., 1997. Evaluation of different genotypes of barley to salinity stress. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(1), pp.181-191. [In Persian].
- Daryanto, S., Wang, L. and Jacinthe, P.A., 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PloS One*, 11, e0156362. doi: **10.1371/journal.pone.0156362**
- Fabian, A., Jager, K., Rakszegi, M. and Barnabas, B., 2011. Embryo and endosperm development in wheat (*Triticum aestivum* L.) kernels subjected to drought stress. *Plant Cell Reports*, 30, pp.551-563. doi: **10.1007/s00299-010-0966-x**
- FAO., 2018. The Stat of Food and Agriculture. Available at: <http://faostat3.fao.org>.
- Fathi, A.R., 2012. Effects of foliar application of nano-sized iron and zinc oxides on the response of wheat and corn cultivars to salinity. Department of Agronomy and Plant Breeding, M.Sc Thesis, Isfahan University of Technology. [In Persian].
- Farhangian-Kashani, S., 2009. The study of the effect of salinity stress on chlorophyll content in species of medicago and onobrichis. *Plant and Ecosystem*, 5(18), pp.77-89. [In Persian].
- Flexas, J., Ribas-Carbo, M., Diaz-Espejo, A., Galmes, J. and Medrano, H., 2008. Mesophyll conductance to CO<sub>2</sub>: current knowledge and future prospects. *Plant, Cell & Environment*, 31, pp.602-621. doi: **10.1111/j.1365-3040.2007.01757.x**
- Francia, E., Tondelli, A., Rizza, F., Badeck, F.W., Thomas, W.T.B., Ecuwijk, F.V., Romagosa, I., Stanca, A.M. and Pecchioni, N., 2013. Determinants of barley grain yield in drought-prone Mediterranean environments. *Italian Journal of Agronomy*, 8(1), pp.1-8. doi: **10.4081/ija.2013.e1**
- Ghafari, H., 2012. The effect of iron sources and rates on yield and yield components and quality of durum and bread wheat. Department of Agronomy and Plant Breeding, M.Sc Thesis, Isfahan University of Technology. [In Persian].
- Ghafari, H. and Razmjoo, J., 2013. Effect of foliar application of nano-iron oxidase, iron chelate and iron sulphate rates on yield and quality of wheat. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(11), pp.2997-3003.
- Gooding, M., Ellis, R., Shewry, P. and Schofield, J., 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science*, 37(3), pp.295-309. doi: **10.1006/jcrs.2002.0501**
- Hagbahari, M. and Sedsharifi, R., 2013. The effect of seed inoculation with growth-enhancing bacteria (PGPR) growth on yield, speed, and duration of wheat grain filling at different levels of soil salinity. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6, pp.65-75.
- Hekmae, N., Mohamad, M.R., Sadollah, A.A. and Behrooz, V., 2010. Study on the effects of foliar spray

- of micronutrient on yield and yield components of durum wheat. *Archives of Applied Science Research*, 2, pp.168-176.
- Hu, Y. and Schmidhalter, U., 2001. Effects of salinity and macronutrient levels on micronutrients in wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 24, pp.273-281. **doi: 10.1081/PLN-100001387**
- Jahanbakhsh-Godehkahriz, S., Karimzadeh, G.H. and Rastgar, F., 2009. Influence of vernalization on some physiological characteristics and cold tolerance in two susceptible and tolerant cultivars of bread wheat. *Electronic Journal of Crop Production*, 2(3), pp.85-106. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2008739.1388.2.3.6.8**
- Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D.C., Jenkins, C.L.D., Condon, A.G., Richards, R.A. and Dolferus, R., 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. *Plant Cell and Environment*, 33, pp.926-942. **doi: 10.1111/j.1365-3040.2010.02130.x**
- KamahNezhad, J.A., FarhAshtiyani, S. and Ghanati, F., 2006. Investigating the effects of salinity and potassium on growth rate and accumulation of proline in two varieties of barley. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 13(1), pp.58-66. [In Persian].
- Kilic, H. and Yagbasanlar, T., 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38, pp.164-170. **doi: 10.15835/nbha3814274**
- Lonbani, M. and Arzani, A., 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought-stress tolerance in triticale and wheat. *Agronomy Research*, 9, pp.315-329.
- Mahlooji, M. and Jenab, M., 2021. Effect of water deficit stress and foliar application of maternal plant on germination characteristics of three barley (*Hordeum vulgare*) cultivars. *Iranian Journal of Grain Research*, 8(1), pp.137-150. [In Persian]. **doi: 10.52547/yujs.8.1.137**
- Mahlooji, M. and Ramezani, A., 2021. Evaluation of production potential of barley cultivars in order to produce silage forage. *Fodder and animal Feed Magazine*, 2(2), pp.21-27. [In Persian].
- Mahlooji, M., Seyed-Sharifi, R., Sedghi, M., Sabzalian, M.R. and Kamali, M.R., 2014. Effect of salinity of irrigation water and nano and chelated zinc foliar application on photosynthesis parameters of barley genotypes. *Crop Production*, 7(4), pp.41-60. [In Persian].
- Mahlooji, M., 2016. Effects of salinity of irrigation water and nano zinc oxide foliar application on morphophysiological characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. Faculty of Agricultural Science, University of Mohaghegh Ardabili. [In Persian].
- Mahlooji, M., Seyed-Sharifi, R., Razmjoo, J., Sabzalian, M.R. and Sedghi, M., 2018. Effect of salt stress on photosynthesis and physiological parameters of three contrasting barley genotypes. *Photosynthetica*, 56(2), pp.549-556. **doi: 10.1007/s11099-017-0699-y**
- Mahlooji, M., 2022. Effects of saline water and foliar application of chelate and nano zinc oxide on yield and yield component in barley cultivars. *Applied Research in Field Crops*, 34(4), pp.57-73. [In

- Persian]. doi: **10.22092/aj.2022.354837.1551**
- Mallick, S.A., Gupta, M., Mondal, S.K. and Sinha, B.K., 2011. Characterization of wheat (*Triticum aestivum*) genotypes on the basis of metabolic changes associated with water stress. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 81(8), 767-771.
- Mashi, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and Noorinia, A., 2008. Salinity effect on grain yield and yield components in four Hull-less barley. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(5), pp.86-98. [In Persian].
- Mashouf, M., Esmaeili Azadgoleh, M., Babaeian Jelodar, N. and Kafi, M., 2004. Photosynthetic response and stomatal conductance of two barley cultivars under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 1, pp.43-51. [In Persian]. doi: **10.22067/gsc.v1i1.1200**
- Mollasadeghi, V. and Dadbakhsh, A., 2011. Evaluation of some yield components in wheat genotypes under the influence of drought stress after flowering. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5, pp.1137-1142.
- Moradiyan, P., Kazemi-Arbat, H. and Rezayi-MoradAla, M., 2014. Evaluation of some morphological and physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) lines and cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*, 29(1), pp.57-70. [In Persian].
- Moussavi-Nik, M., Rengel, Z., Hollamby, G.J. and Ascher, J., 1997. Grain manganese content is more important than Mn fertilization for wheat, growth under Mn deficient conditions. *Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment*, 4, pp.267-268. [In Persian].
- Movludi, A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Davari, M. and Parmoon, G., 2014. The effect of water deficit and nitrogen on the antioxidant enzymes' activity and quantum yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Notulae Botanicae Horticulture Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(2), pp.398-404. doi: **org/10.15835/nbha4229340**
- Narimani, H. and Sharifi, R., 2020. Effect of foliar and soil application of zinc on photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence and grain yield of wheat under soil salinity. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 10(2), pp.89-105. [In Persian]. doi: **10.22069/ejsms.2020.16140.1861**
- Nayyar, H. and Gupta, D., 2006. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 58, pp.106-113. doi: **10.1016/j.envexpbot.2005.06.021**
- Nematpour, A., Eshghizadeh, H.R. and Zahedi, M., 2019. Drought-tolerance mechanisms in foxtail millet (*Setaria italica*) and proso millet (*Panicum miliaceum*) under different nitrogen supply and sowing dates. *Crop and Pasture Science*, 70, pp.442-452. doi: **10.1071/cp18501**
- Omrani, S., Arzani, A., Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Najafi Mirak, T. and Mahlooji, M., 2022. Effect of salinity stress on grain yield and grain quality in wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. *Journal of Crop Production and Processing*, 12(2), pp.35-47. [In Persian]. doi: **10.47176/jcpp.12.2.20056**

- Omrani, S., Arzani, A., Esmaeilzadeh Moghaddam, M. and Mahlooji, M., 2022. Genetic analysis of salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *PloS One*, 17(3), e0265520. **doi: 10.1371/journal.pone.0265520**
- Paknejad, F., Jami AL-Ahmadi, M., Vazan, S. and Ardakani, M.R., 2009. Effects of water stress at different growth stages on yield and water use efficiency of some wheat cultivars. *Crop Production*, 2 (3), pp.17-36. [In Persian].
- Sangtarash, M.H., 2010. Responses of different wheat genotypes to drought stress applied at different growth stages. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 13, pp.114-119. **doi: 10.3923/pjbs.2010.114.119**
- Sheykhbagloo, N., Hassanzadeh Gorttapeh, A., Baghestani, M. and Zand, B., 2009. Study the effect of zinc foliar application on the quantitative and qualitative yield of grain corn under water stress. *Crop Production*, 2(2), pp.59-74. [In Persian].
- Tadayon, M.R. and Emam, Y., 2007. Physiological and morphological responses of two barley cultivars to salinity stress in relation to grain yield. *Journal of Water and Soil Science*, 11(1), pp.253-263. [In Persian].
- Wellburn, A.R., 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144(3), pp.307-313. **doi.org/10.1016/s0176-1617(11)81192-2**
- Yari, L., Modares, M.A. and Soroushade, A., 2005. The effect of foliar application of Mn and Zn on qualitative charactes in five spring safflower cultivars. *Journal Water and Soil Science*, 18, pp.143-151. 2005. [In Persian].
- Yousefiniya, M. and Ghasemiyan, A.R., 2016. Evaluation of salinity effects on photosynthesis and chlorophyll a fluorescence of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Development Biology*, 8(1), pp.35-44. [In Persian].
- Zivcak, M., Brestic, M., Balatova, Z., Drevenakova, P., Olsovska, K., Kalaji, H.M., Yang, X. and Allakhverdiev, S.I., 2013. Photosynthetic electron transport and specific photoprotective responses in wheat leaves under drought stress. *Photosynthetica Research*, 117, pp.529-546. **doi: 10.1007/s11120-013-9885-3**

## Morphophysiological responses of barley genotypes to concentration of Zinc sulphate under drought and salinity conditions

Amir Kazemi Arpanahi<sup>1</sup>, Mehrdad Mahlooji<sup>2,3\*</sup>, Seyed Keyvan Marashi<sup>3</sup>, Mani Mojaddam<sup>3</sup>, Tayeb Sakinezhad<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Ahwaz Branch, Ahwaz, Iran

<sup>2</sup> Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

<sup>3</sup> Department of Agronomy, Ahwaz branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran

\*Corresponding Author [cmmahlooji2000@yahoo.com](mailto:cmmahlooji2000@yahoo.com)

Received: 2 March 2023 Accepted: 11 April 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.388117.1327

### Abstract

**Introduction:** 90% of Iran's land area is in arid and semi-arid areas. It is expected that by 2025, about two-thirds of the world's agricultural lands will face a water deficit. The yield also decreases by 50 to 90% under drought stress conditions compared to non-stressed conditions. Among the different types of stress, drought stress at the end of the season is the most important stress in Mediterranean areas such as many areas of Iran. Therefore, the yield of small grains cultivated in these areas is affected by drought stress at the terminal of the season. Salinity and drought stress increases the concentration of dissolved solutes in the root environment, increases the osmotic potential of the soil, decreases the absorption of nutrients and decreases the mobility of zinc and iron elements in the soil solution. Elements in the plant can be compensated and tolerance to saline conditions can be increased. Researchers reported that the application of zinc increased the grain yield of wheat and barley cultivars. Researchers reported that the application of zinc increased the grain yield of wheat and barley cultivars. In stress conditions due to reduction of stomatal conductance and limited access to CO<sub>2</sub> for carboxylation reactions, the rate of photosynthesis decreases and increasing stomatal resistance is a suitable defense strategy for the survival of wheat and barley. Due to the cultivation of barley in these moderate areas and the role of the micronutrient element zinc in reducing the effects of drought and salinity stress, this research was carried out in different varieties of barley using different amounts of zinc sulfate.

**Materials and Methods:** This research was carried out in November of the agricultural year 2017-2018 in two areas: 1) Kobutrabad Agricultural Research Station (drought stress by removing water after spike emergence); 2) Rudasht Station (irrigation with salt water 10 dS/m). Planting was carried out by machine planter in November in both regions. In the dry area of Kabutrabad, the plots containing 6 rows of 6 meters with the distance between the rows of 20 cm (the planting area of each plot is 7.2 square meters) with a density of 400 grains per square meter were done. Data analysis and step-by-step regression were performed using SAS9.1 software and mean comparison was performed by LSD test at 5% probability level. If the interaction effect is significant, cutting (slicing) and comparison of means was done by Lsmmeans test at 5% probability level.

**Results and Discussion:** The results showed that barley cultivars under drought stress had higher thousand-grain weight, grain yield and biological yield and lower proline content than under salt stress. Drought stress at the end of the season compared to salinity stress during the growing season had higher thousand-grain weight, grain yield and biological yield and lower proline content. Foliar application of 0.5% zinc sulfate had higher grain yield (4763 kg/ha about 34%) and biological yield (4763 kg/ha about 26%) than without foliar application and is recommended. It should be noted that there was no difference in the amount of proline between cultivars in drought stress, but in salt stress, tolerant and semi-tolerant cultivars had more proline content than the stress-sensitive line. In drought stress, Armaghan (semi drought tolerant) and Goharan (drought tolerant) cultivars had more

chlorophyll a in the application of zinc sulfate. It seems that the mechanism of increasing the tolerance and performance of Armaghan and Goharan cultivars under drought stress conditions is the increase in the amount of chlorophyll a due to the application of zinc sulfate. For this purpose, foliar spraying of suitable cultivars (Armaghan and Goharan) is recommended in drought stress conditions. Grain yield had positive correlation with traits of plant height ( $p = 0.01$ ,  $r = 0.33$ ), spike length ( $p = 0.05$ ,  $r = 0.31$ ), number of grain per spike ( $p = 0.01$ ,  $r = 0.35$ ), biological yield ( $p = 0.01$ ,  $r = 0.96$ ), amount of chlorophyll a ( $p = 0.01$ ,  $r = 0.44$ ), amount of chlorophyll b ( $p = 0.05$ ,  $r = 0.29$ ) and zinc element ( $p = 0.01$ ,  $r = 0.39$ ), which is the highest correlation between grain yield and biological yield ( $r^2 = 0.99$ ). In terms of grain and biological yield, Armaghan and Goharan cultivars are recommended under drought stress and Armaghan and Mehr cultivars are recommended under salt stress with a concentration of 0.5% zinc sulfate. In salinity stress, the minimum and maximum grain yield and biological yield were obtained respectively in foliar spraying of 0.1 and 0.5% zinc sulfate in all genotypes.

**Conclusion:** It seems that foliar application of 0.5% zinc sulfate is sufficient for all barley cultivars under salinity stress, and foliar application with a higher concentration of zinc sulfate is not recommended due to the decrease in grain and biological yield in this stress.

**Keywords:** Biological yield, Chlorophyll, Correlation, Grain yield, Proline, Stress

## واکنش آگروفیز یولوژیکی کینوا (*Chenopodium quinoa*) به محلول پاشی نانو ذرات آهن و پرولین در تاریخ‌های مختلف کشت

رحمت صالحی<sup>۱</sup>، عباس ملکی<sup>۱\*</sup>، محمد میرزایی حیدری<sup>۲</sup>، علیرضا رنگین<sup>۳</sup>، امیر میرزایی<sup>۴</sup>

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام، ایلام، ایران  
 ۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران  
 ۳- گروه زیست شناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام، ایلام، ایران  
 ۴- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران  
 \* مسئول مکاتبه: [maleki97@yahoo.com](mailto:maleki97@yahoo.com)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.339946.1229

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۹

### چکیده

به منظور بررسی امکان سازگاری اکوفیزیولوژیکی گیاه کینوا در تاریخ‌های مختلف کشت تحت تأثیر محلول پاشی نانو ذرات آهن و پرولین، آزمایشی در دو سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در مزرعه مرکز تحقیقات سرآبله واقع در استان ایلام به صورت اسپلیت-اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل تاریخ کاشت در ۳ تاریخ ۱۵ بهمن، ۳۰ بهمن و ۱۵ اسفند بود. عامل فرعی شامل پرولین در ۲ سطح عدم مصرف و مصرف بود. عامل فرعی فرعی شامل نانو ذرات آهن در چهار سطح عدم مصرف، ۰/۳ گرم، ۰/۶ گرم و ۰/۹ گرم بود. نتایج نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت، نانو ذرات آهن و پرولین بر وزن هزار دانه، عملکرد عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی دار بود. در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه، مصرف پرولین و مصرف ۰/۹ گرم نانو ذرات آهن بیشترین تعداد شاخه گل‌دهنده به تعداد ۳۱/۴ عدد حاصل گردید. بیشترین وزن هزار دانه در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و مصرف ۰/۹ گرم نانو ذرات آهن به مقدار ۵/۸۷ گرم به دست آمد. در تمامی تاریخ‌های کاشت مصرف پرولین و مصرف ۰/۹ گرم نانو ذرات آهن موجب افزایش وزن هزار دانه و تعداد شاخه گل‌دهنده شد. بیشترین عملکرد در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند، مصرف ۰/۹ گرم نانو ذرات آهن و مصرف پرولین به مقدار ۲۹۴۸/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده تاریخ کاشت پانزدهم اسفند، مصرف پرولین و تیمار ۰/۹ گرم نانو ذرات آهن برای حصول تولید دانه بالا در شرایط کشت منطقه به جهت افزایش کمی اجزاء عملکرد توصیه می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اجزای عملکرد، ریزمغذی‌ها، سازگاری اکوفیزیولوژیکی، عملکرد

(et al., 2014)

### مقدمه

کاشت کینوا به دلیل نیاز آبی کم می‌تواند گسترش یابد (Hinojosa et al., 2019; Jamali et al., 2016). با کینوا جایگزین عالی برای برنج محسوب می‌شود و پخت ترکیبی آن با برنج می‌تواند ایران را از واردات برنج بی‌نیاز و سالانه یک تا دو میلیارد دلار صرفه‌جویی ارزی ایجاد نماید (Jamali et al., 2016). بذور کینوا به طور متوسط دارای ۱۶ درصد پروتئین هستند که بالاتر از مقدار پروتئین در بذر سایر غلات است (Abuggadare et al., 2009).

با توجه به افزایش رو به رشد نیاز غذایی ایران و خشکسالی‌های اخیر (Dawoudian et al., 2021; Kardoni et al., 2019; Bahamin et al., 2019). لازم است تا بتوان مناطق کشت نشده و مستعد کشاورزی را به گیاهانی اختصاص

ایران کشوری با تنوع آب و هوایی فراوان و جمعیتی رو به رو رشد دارد (Maleki et al., 2020; Foladvand et al., 2017). تأمین نیاز غذایی مردم به میزان کافی و با تنوع و کیفیت مطلوب با استفاده از پتانسیل‌های تولید محصولات کشاورزی، از ضروریات و الزامات کشور است (Fallah et al., 2017; Shamsibeiranvand et al., 2020). امروزه مصرف کینوا در کشورهای دیگر جهان نیز بسیار مرسوم شده است (Fathi and Kardoni, 2020; Hinojosa et al., 2019). در اکثر زمین‌های لم یزرع کشور که تا ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر شوری در اطراف آن وجود دارد (Bahamin et al., 2021; Fathi and Bahamin, 2018; Zabet et al., 2015) و هیچ گیاهی کشت نمی‌شود. می‌توان این گیاه را کشت کرد (Lavini

آنزیمی از جمله آنزیم‌های مسیر تنفس نوری و گلیکولات و آنزیم‌های تنظیم و کنترل تفرق گیاه شرکت داشته (Dolatsah et al., 2019) و منجر به افزایش کمی و کیفی محصولات می‌شود (Javadi et al., 2019). از طرفی فناوری نانوماند کودهای نانوآهن در کلیه عرصه‌های علمی از جمله بخش‌های مختلف کشاورزی در حال گسترش می‌باشد (Abkar et al., 2019; Ahmadi et al., 2020). از جمله ویژگی‌های قابل توجه مواد نانو سبک و کوچک بودن آن‌ها، استفاده در مقادیر کم چندکاربردی بودن و صرفه‌جویی در مواد مصرفی است. استفاده از نانوکودها که همه خصوصیات لازم مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل‌پذیری مناسب، ثبات و تأثیرگذاری بالا و رهایش کنترل شده را دارند، سبب افزایش کارایی عناصر غذایی و نهایتاً عملکرد می‌شوند (Ebrahimnia et al., 2019). هدف اصلی از اجرای این طرح، تعیین بهترین تاریخ کاشت برای منطقه بوده چرا که کینوا برای منطقه مورد کاشت گیاهی جدید به حساب می‌آید. اما با توجه به اینکه هر تاریخ کاشتی غیر از تاریخ کاشت مناسب، عملاً گیاه را با تنش سرمایی یا گرمایی و خشکی مواجه می‌کند، استفاده از پرولین به‌عنوان یک ترکیب تنظیم‌کننده درونی، مقاوم‌کننده و ضدتفرق؛ و نانوذرات آهن نیز به‌عنوان یک ترکیب ضد تنش و تقویت‌کننده سیستم فتوسنتزی می‌تواند تا حد زیادی اثرات تنش را تعدیل نماید؛ لذا استفاده از سطوح مختلف این ترکیبات ضدتفرق و مقاوم‌کننده به تنش در تاریخ‌های مختلف کاشت و برهمکنش آن‌ها بر هم‌دیگر می‌توانست محققان را به نتایج علمی برای کشت این گیاه همراه با ترکیبات تعدیل‌کننده تنش برساند. ضمن اینکه کاشت گیاهان در تاریخ مناسب و سیستم آبی هم به دلیل عدم کنترل بر تغییرات آب و هوایی، همواره با تنش همراه است بنابراین نتایج این طرح می‌تواند حاوی نکات جدیدی در مدیریت تغذیه‌ای تلفیقی کشت گیاهان زراعی باشد. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانو ذرات آهن و پرولین بر عملکرد، شاخص برداشت و خصوصیات مورفولوژیکی و زراعی گیاه کینوا در تاریخ‌های مختلف کشت انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### مکان اجرای طرح

این تحقیق در دو سال زراعی متوالی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و

داد که مناسب این شرایط باشند (Esfandiarfateh et al., 2019). با توجه به این که در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک نظیر، اغلب کشور ایران، آب به عنوان یک عامل محدود کننده مطرح است؛ امکان کشت دیم و مناطق مستعد کشت دیم ارقام مختلف کینوا و دانستن بهترین تاریخ کشت این محصول ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (Jamali, 2017). تصمیم‌گیری در مورد زمان کاشت مطلوب یک گیاه زراعی بسیار با اهمیت بوده و از عوامل مهم جهت کسب حداکثر عملکرد در گیاهان می‌باشد. تأثیر عوامل محیطی بر مراحل فنولوژیکی گیاه باعث می‌شود که تاریخ کاشت از منطقه‌ای به منطقه دیگر و حتی در یک منطقه بین ژنوتیپ‌ها متفاوت باشد (Esfandiarfateh et al., 2019). با تعیین بهترین زمان کاشت در هر منطقه می‌توان با حفظ گیاه از خطراتی مانند سرمازدگی، آفات و بیماری‌ها، به عملکرد قابل قبولی دست یافت (Zamani and Javadi, 2019).

آهن نیز از نهاده‌های مهم در تولید محصول است و در شرایط کمبود آهن، میزان فتوسنتز و سرعت تثبیت دی اکسید کربن در واحد سطح برگ کاهش می‌یابد. در نتیجه از ذخیره قند و نشاسته در برگ‌ها کاسته می‌شود که این امر موجبات کاهش وزن هزار دانله و عملکرد دانله را فراهم می‌آورد (Abkar et al., 2019). از طرفی انباشت پرولین در بافت گیاهی که در معرض استرس قرار دارند، سبب افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی ذخیره نیتروژن و کربن برای رشد پس از تنش تثبیت ماکرومولکول‌ها، حفاظت غشاها از دنا توره شدن حفظ آماس سلول و افزایش منبع انرژی می‌شود. برگ به طور گسترده‌ای به عنوان مواد غذایی برای انسان و دام استفاده می‌شود و منبع ارزان قیمت ویتامین‌ها و مواد معدنی را تشکیل می‌دهد. به طور کلی، برگ‌های جوان‌تر برای غذای انسان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Dolatsah et al., 2019).

اضافه کردن عناصر ریز مغذی به خاک و یا به صورت محلول‌پاشی، علاوه بر افزایش تولید، غلظت عناصر غذایی را در محصولات کشاورزی از جمله غلات افزایش می‌دهد (Fathi et al., 2017). آهن یکی از این عناصر است که نقش اساسی در واکنش‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فرایندهای متابولیکی مثل تثبیت نیتروژن، ساخت کلروفیل و تیلاکوئید، توسعه‌ی کلروپلاست، تولید رنگدانه‌ها و به عنوان کاتالیزور در فعالیت‌های

گردید. قبل از اجرای آزمایش نمونه خاک به صورت تصادفی از زمین محل اجرای آزمایش برداشت و جهت تعیین خصوصیات خاک به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

۱۳۹۸-۱۳۹۹ در مزرعه مرکز تحقیقات سرابله در شمال شرقی شهر ایلام، بین عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۱ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۷ دقیقه و ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا انجام

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the test site soil

پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نیترژن کل	کربن آلی	اسیدیته	هدایت الکتریکی	سیلت	رس	شن	بافت خاک
Absorbable potassium (mg kg <sup>-1</sup> )	Absorbable phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )	Total nitrogen (%)	OC (%)	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	Soil texture
245	9.5	0.11	0.3	7.1	1.1	43	35	32	لوم رسی

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی محل آزمایش در دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 2- Meteorological information of the test site in 2018 and 2019

سال	میانگین تبخیر - تعرق	میانگین رطوبت حداکثر	میانگین رطوبت حداقل	میانگین بارش	دمای سطح خاک	میانگین درجه حرارت	حداقل درجه حرارت	حداکثر درجه حرارت
Year	Average evaporation-transpiration (mm)	Average maximum humidity (%)	Average minimum humidity (%)	Average rainfall (mm)	Soil surface temperature (°C)	Average temperature (°C)	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)
2019	10.45	55	23	62.71	10.6	18.3	11.4	25.2
2020	9.63	57	24	93.25	10.9	14.9	11.9	26.9

پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ۷۲ کرت در هر سال اجرا شد. عامل اصلی شامل تاریخ کاشت در ۳ تاریخ ۱۵ بهمن ماه، ۳۰ بهمن ماه و ۱۵ اسفند ماه بود. عامل فرعی شامل پرولین در ۲ سطح عدم مصرف و مصرف (۱۰۰ میلی گرم در لیتر) بود. عامل فرعی شامل نانو ذرات آهن در چهار سطح عدم مصرف، مصرف ۰/۳ گرم، مصرف ۰/۶ گرم و مصرف ۰/۹ گرم بود. هر تکرار ۴ متر عرض و ۸۴ متر طول داشت. فاصله بین بلوک‌ها ۳ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف نیز ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

در این تحقیق از نانو ذرات اکسید آهن (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) عامل دار با خلوص ۹۸ درصد (کربوکسیل COOH، هیدروکسیل OH و آمین NH<sub>2</sub>) تهیه شده از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان استفاده شد. تیمار محلول پاشی پرولین از شرکت مرک با درصد خلوص ۳۵ درصد به شکل پودر (محلول در آب) در عصر و در هوای ملایم و صاف، با استفاده از سمپاش دستی اعمال گردید؛

## عملیات زراعی

زمین مورد کاشت در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ زیر کشت گندم بود. به منظور آماده‌سازی زمین مورد مطالعه، شخم با استفاده از گاوآهن برگردان دار در خرداد ماه انجام شد. عملیات ثانویه به صورت دو دیسک عمود بر هم انجام و تسطیح زمین با ماله انجام شد. کاشت در هر دو سال زراعی در تاریخ‌های ۱۵ بهمن ماه، ۳۰ بهمن ماه و ۱۵ اسفند به صورت دستی انجام شد. علف‌های هرز نیز به شکل دستی وجین شدند. در هنگام رسیدگی فیزیولوژیکی و رسیدن رطوبت دانه‌ها به ۱۴ درصد برداشت صورت گرفت. با توجه به عرف منطقه مقدار ۲۰۰ کیلوگرم کود اوره، ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تربیل به صورت پیش کاشت در مزرعه اعمال شد.

## طرح آزمایشی

آزمایش به صورت اسپلیت-اسپلیت پلات در قالب طرح

درصد برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

### نتایج و بحث ارتفاع بوته

علاوه بر اثرات اصلی، اثر متقابل نانوذرات آهن و پرولین و اثر متقابل تاریخ کاشت و پرولین در سطح ۱ درصد و اثر متقابل تاریخ کاشت و نانوذرات آهن در سطح ۵ درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). در خصوص اثر متقابل نانوذرات آهن و پرولین بیشترین ارتفاع بوته با ۹۵/۱۸ سانتی‌متر و مربوط به مصرف آهن ۰/۹ گرم و مصرف پرولین و کمترین ارتفاع بوته با ۷۰/۸ سانتی‌متر و مربوط به عدم مصرف پرولین و عدم مصرف نانو ذرات آهن بود. در تمام سطوح مصرف نانوذرات آهن، مصرف پرولین منجر به افزایش ارتفاع بوته شد (جدول ۴). در خصوص اثر متقابل تاریخ کاشت و پرولین، بیشترین ارتفاع بوته با ۱۱۲/۲۴ سانتی‌متر مربوط مصرف پرولین و تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و هم‌چنین کمترین میزان ارتفاع بوته با ۵۵/۵۹ سانتی‌متر مربوط به تاریخ کاشت پانزدهم بهمن ماه با عدم مصرف پرولین بود. در تمام تاریخ‌های کاشت مصرف پرولین موجب افزایش ارتفاع بوته شد، به طوری که در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند بین مصرف و عدم مصرف پرولین اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵).

در خصوص اثر متقابل تاریخ کاشت و نانوذرات آهن، بیشترین ارتفاع بوته با ۱۲۲/۸ سانتی‌متر مربوط مصرف ۰/۹ گرم نانوذرات آهن و تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و هم‌چنین کمترین میزان ارتفاع بوته با ۴۶/۹ سانتی‌متر مربوط به تاریخ کاشت پانزدهم بهمن ماه با عدم مصرف نانوذرات آهن بود. در تمام تاریخ‌های کاشت مصرف پرولین موجب افزایش ارتفاع بوته شد، به طوری که در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند بین مصرف و عدم مصرف پرولین اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت (جدول ۶).

پرولین به عنوان یک اسمولیت سازگار کننده نقش مهمی در تنظیم اسمزی درون سلولی، پایدار کردن ساختار پروتئین‌ها و غشاء سلولی، جاروب کردن گونه‌های اکسیژن رادیکال، تنظیم pH سلولی واکنش‌های اکسیداسیون و احیا، ایفا می‌کند. در تاریخ کاشت سوم با توجه به گرم شدن هوا و افزایش دما میزان تنش خشکی بیشتر گردید و مصرف پرولین باعث تعدیل در

به طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شده و به منظور بهبود جذب برگی پرولین، از تریتون X100 با غلظت ۰/۰۱ درصد (Arab et al., 2017) استفاده شد. در زمان ساقه رفتن، گل‌دهی و قبل از رسیدگی محلول پاشی آهن و پرولین در ۳ قسط مساوی برای هر تیمار انجام شد.

### نمونه برداری

پس از انجام آزمایش صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه گل‌دهنده، ارتفاع شاخه اصلی گل‌دهنده، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، ماده خشک ساقه، ماده خشک گل‌دهی، ماده خشک دانه بستن به روش ارائه شده انجام گردید.

با حذف ۵ بوته از ابتدا و بوته از انتها دو خط کشت میانی در کرت به طور تصادفی ۱۰ بوته انتخاب گردید و ارتفاع گیاه با استفاده از متر اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به عنوان ارتفاع گیاه در آن کرت در نظر گرفته شد. با حذف ۵ بوته از ابتدا و ۵ بوته از انتهای دو خط کشت میانی در کرت به طور تصادفی ۱۰ بوته انتخاب گردید و تعداد شاخه گل‌دهنده اندازه‌گیری شد. از دو خط میانی با حذف حاشیه‌ها ۵۰۰ دانه به طور تصادفی با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن گردیده و به وزن هزاردانه تعمیم داده شد. از دو خط میانی با حذف حاشیه‌ها به طور تصادفی ۱۰ بوته انتخاب گردید و عملکرد دانه در مترمربع محاسبه گردید و به هکتار تعمیم داده شد. برای تعیین عملکرد بیولوژیک از هر کرت ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب گردید و پس از خشک شدن با ترازوی دقیق وزن گردید و میانگین به هکتار تعمیم داده شد. از تقسیم عملکرد اقتصادی بر عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت به صورت درصد به دست آمد.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

قبل از تحلیل آماری و تجزیه واریانس، آزمون توزیع نرمال داده‌ها و خطاها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و هم‌چنین قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی انجام شد که حاکی از مناسب بودن داده‌ها برای تجزیه بود. سپس داده‌های دو سال با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ تجزیه مرکب و مقایسه میانگین و رسم گراف‌ها با استفاده از Excel انجام گرفت. از آزمون دانکن در سطح ۵

کاهش خشکی شد که منجر به افزایش ارتفاع بوته گردید (Karima et al., 2009).  
 تنش خشکی شد که منجر به افزایش ارتفاع بوته گردید (Karima et al., 2009).  
 در آزمایشی دریافتند که محلول پاشی نانو ذرات باعث افزایش قابل توجه ارتفاع بوته، می‌شود. این محققان بیان کردند

تنش خشکی شد که منجر به افزایش ارتفاع بوته گردید (Karima et al., 2009).  
 در آزمایشی دریافتند که محلول پاشی نانو ذرات باعث افزایش قابل توجه ارتفاع بوته، می‌شود. این محققان بیان کردند

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تاریخ کاشت، نانو ذرات آهن و پرولین بر عملکرد و صفات مرتبط با آن

**Table 3- Analysis of variance of the effect of planting date, iron and proline nanoparticles on yield and related traits**

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	ارتفاع بوته Height	تعداد شاخه گل دهنده of Number flowering branches	ارتفاع شاخه اصلی گل‌دهنده the of height flowering main branch	وزن هزار دانه 1000 seeds weight	عملکرد دانه yield Seed	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
سال Year (Y)	1	282.8**	167.2**	455.4**	0.39**	678976.1**	119255.1*	222.5**
تکرار (سال) Rep (Y)	4	895.1**	17.21**	211.2**	5.72**	3067927.1**	2103075**	573.7**
تاریخ کاشت Planting data (P)	2	33454**	2831**	7319.4**	76.7**	8914061.2**	16427782**	682.1**
سال×نانو آهن Y*P	2	217.7**	229.5**	123.7**	1.98**	314522.4**	1258536 <sup>ns</sup>	187.33**
خطای اصلی Residual	8	80.083	6.36	11.62	1.05	271387.3	1069167.2	165.38
نانو آهن Iron (I)	3	3074**	276.5**	629.2**	6.38**	456582.9**	533577**	54.39**
سال×نانو آهن Y*I	3	8.22 <sup>ns</sup>	6.62**	4.26**	0.02 <sup>ns</sup>	28978.6*	17041.1 <sup>ns</sup>	2.94*
تاریخ کاشت×نانو آهن P*I	6	24.18**	15.73**	14.38**	0.19**	52055.3**	24730.2 <sup>ns</sup>	7.62**
سال×تاریخ کاشت×نانو آهن Y*P*F	6	4.67 <sup>ns</sup>	7.83**	3.30**	0.20**	29746.2**	14704.2 <sup>ns</sup>	9.14**
خطای فرعی Ra	36	17.49	0.34	1.39	0.05	14846.6	292241	2.88
پرولین Prolin (Pr)	1	294.1**	51.3**	105.5**	1.15**	196396.6**	235710**	21.48**
سال×پرولین Y*Pr	1	10.56 <sup>ns</sup>	1.48**	1.38 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>	8070.1 <sup>ns</sup>	42.25 <sup>ns</sup>	1.50 <sup>ns</sup>
تاریخ کاشت×پرولین P*Pe	2	36.14**	3.96**	2.70**	0.06**	30581.1*	11718.4 <sup>ns</sup>	3.76*
سال×تاریخ کاشت×پرولین Y*P*Pr	2	21.89**	0.16 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	19405.4 <sup>ns</sup>	18972.7 <sup>ns</sup>	3.87*
نانو آهن×پرولین I*Pr	3	17.61*	0.25 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	0.013 <sup>ns</sup>	27676.9*	32250.2 <sup>ns</sup>	2.20 <sup>ns</sup>
سال×نانو آهن×پرولین Y*I*Pr	3	17.73*	2.25**	0.11 <sup>ns</sup>	0.024 <sup>ns</sup>	17626.1 <sup>ns</sup>	13236.2 <sup>ns</sup>	3.50*
تاریخ کاشت×نانو آهن×پرولین P*I*Pr	6	10.57 <sup>ns</sup>	0.44*	0.87 <sup>ns</sup>	0.030*	43256.5**	45667.1*	4.47**
سال×تاریخ کاشت×نانو آهن×پرولین Y*P*I*P	6	23.54**	1.43**	0.56 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>	10096.3 <sup>ns</sup>	11555.1 <sup>ns</sup>	2.83*
خطای کل R Totall	48	6.49	0.24	0.42	0.011	8563.21	19917.3	0.98
ضریب تغییرات CV	-	3.04	2.77	2.63	2.90	4.57	3.16	2.20

<sup>ns</sup>, \*\* و \* و به ترتیب غیر معنی داری و معنی داری در سطح احتمال یک و ۵٪ می‌باشند.

<sup>ns</sup>, \*\* and \* and are non-significant and significant at the probability level of one and 5%, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل نانوذرات آهن و پرولین بر ارتفاع بوته و عملکرد دانه

Table 4- Comparison of the mean of three interactions Iron and proline nanoparticles on plant height and seed yield

محلول پاشی پرولین Proline foliar application	محلول پاشی نانو آهن Nano-iron foliar application (g Litr <sup>-1</sup> )	ارتفاع Height (cm)	عملکرد Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )
0	0	70.80 <sup>g</sup>	1858.7 <sup>f</sup>
	0.3	78.53 <sup>e</sup>	1970.4 <sup>de</sup>
	0.6	84.88 <sup>c</sup>	2029.4 <sup>bc</sup>
	0.9	94.17 <sup>a</sup>	2091.1 <sup>ab</sup>
۱۰۰ میلی گرم در لیتر 100 mg Litr <sup>-1</sup>	0	75.21 <sup>f</sup>	1939.8 <sup>ef</sup>
	0.3	81.42 <sup>d</sup>	1999.4 <sup>de</sup>
	0.6	88.01 <sup>b</sup>	2062.1 <sup>bc</sup>
	0.9	95.18 <sup>a</sup>	2238.1 <sup>a</sup>

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معناداری توسط آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند

Columns with common letters do not have a statistically significant difference by LSD test at the level of 5%.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل تاریخ کاشت و پرولین بر ارتفاع بوته، ارتفاع شاخه گلدهنده و عملکرد دانه

Table 5- Comparison of mean interaction effects of planting date and proline on plant height, flowering branch height and seed yield

تاریخ کاشت Planting date	محلول پاشی پرولین Proline foliar application (mg Litr <sup>-1</sup> )	ارتفاع بوته Height (cm)	ارتفاع شاخه گلدهنده main the of Height branch flowering	عملکرد دانه Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )
۱۵ بهمن	0	55.59 <sup>e</sup>	12.30 <sup>f</sup>	1637.5 <sup>c</sup>
4 February	100	59.29 <sup>d</sup>	13.54 <sup>e</sup>	1673.1 <sup>e</sup>
۳۰ بهمن	0	82.47 <sup>c</sup>	23.12 <sup>d</sup>	1888.8 <sup>d</sup>
19 February	100	83.33 <sup>c</sup>	24.85 <sup>c</sup>	1943.7 <sup>c</sup>
۱۵ اسفند	0	108.23 <sup>b</sup>	36.48 <sup>b</sup>	2431.6 <sup>b</sup>
4 March	100	112.24 <sup>a</sup>	38.67 <sup>a</sup>	2562.7 <sup>a</sup>

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معناداری توسط آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند

Columns with common letters do not have a statistically significant difference by LSD test at the level of 5%.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل تاریخ کاشت و نانو آهن بر ارتفاع بوته و ارتفاع شاخه گلدهنده

Table 6- Comparison of mean interaction effects of planting date and iron nanoparticles on plant height and flowering branch height

تاریخ کاشت Planting date	محلول پاشی نانو آهن Nano-iron foliar application (g Litr <sup>-1</sup> )	ارتفاع بوته Height (cm)	ارتفاع شاخه گلدهنده main the of Height branch flowering
۱۵ بهمن 4 February	0	47.0 <sup>l</sup>	9.01 <sup>g</sup>
	0.3	54.5 <sup>k</sup>	12.2 <sup>fg</sup>
	0.6	60.9 <sup>g</sup>	14.2 <sup>f</sup>
	0.9	67.5 <sup>i</sup>	16.2 <sup>ef</sup>
۳۰ بهمن 19 February	0	73.9 <sup>h</sup>	18.8 <sup>e</sup>
	0.3	79.6 <sup>g</sup>	22.2 <sup>de</sup>
	0.6	84.4 <sup>f</sup>	25.5 <sup>d</sup>
	0.9	93.7 <sup>b</sup>	29.3 <sup>c</sup>
۱۵ اسفند 4 March	0	98.2 <sup>d</sup>	32.1 <sup>bc</sup>
	0.3	105.9 <sup>c</sup>	35.3 <sup>b</sup>
	0.6	114.1 <sup>b</sup>	38.9 <sup>ab</sup>
	0.9	122.8 <sup>a</sup>	43.8 <sup>a</sup>

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معناداری توسط آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند

Columns with common letters do not have a statistically significant difference by LSD test at the level of 5%.

**تعداد شاخه گل‌دهنده**

۰/۹ گرم نانو ذرات آهن بیشترین تعداد شاخه گل‌دهنده به‌تعداد ۳۱/۴ عدد و کمترین تعداد شاخه گل‌دهنده مربوط به تاریخ کشت پانزدهم بهمن ماه و عدم مصرف پرولین و نانو ذرات آهن به‌تعداد ۶/۶۶ عدد حاصل گردید. در تمامی تاریخ‌های کاشت همواره بیشترین تعداد شاخه گل‌دهنده با مصرف پرولین و مصرف ۰/۹ گرم نانو ذرات آهن حاصل شد (جدول ۷).

علاوه بر معنی‌دار بودن اثرات اصلی (در سطح ۱ درصد) و اثرات متقابل دو گانه (در سطح ۱ درصد)، اثر متقابل نانو ذرات آهن، نانو ذرات پرولین و تاریخ کاشت نیز در سطح ۵ درصد بر تعداد شاخه گل‌دهنده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه، مصرف پرولین و مصرف

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت، نانو ذرات آهن و پرولین بر برخی صفات

Table 7- Comparison of the mean interaction of planting date, iron nanoparticles and proline on some traits

تاریخ کاشت	محللول پاشی نانو آهن	محللول پاشی پرولین	تعداد شاخه گل‌دهنده	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
Planting date	Nano-iron foliar application (g Litr <sup>-1</sup> )	Proline foliar application (mg Litr <sup>-1</sup> )	Number of flowering branches	1000-seed weight (g)	Seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Biologic yield (kg ha <sup>-1</sup> )	HI (%)
۱۵ اسفند 4 March	0	0	6.66 t	1.85 s	1531.2 hjg	3688 fg	41.59 g
		100	14.75 n	3.36 m	1724.7 gh	4222.5 ef	40.66 h
	0.3	0	20.46 h	4.38 g	2303.2 e	4887.5 bc	46.92 d
		100	8.19 s	2.04 r	1562.2 j	3729 h	45.39 de
		0	15.26 m	3.49 l	1898.3 f	4458.5 de	42.51 g
		100	22.2 g	4.53 f	2358.8 de	4932.3 ab	47.66 cd
0.9	0	9.05 r	2.28 q	1599.7 ij	3793.3 h	42.6 f	
	100	15.86 m	3.61 k	1911.2 f	4478.2 de	42.61 g	
۳۰ بهمن 19 February	0	0	23.85 f	4.67 e	2400.5 cde	4953.5 ab	48.27 c
		100	11.26 q	2.47 p	1640.8 hij	3849.5 gh	42.86 f
	0.3	0	16.51 l	3.73 j	1925.3 f	4482.5 de	42.85 fg
		100	25.18 e	4.8 d	2432.2 bcd	4973.7 ab	48.69 bc
		0	11.06 q	2.57 op	1671 g-j	3886.2 fgh	43.21 ef
		100	17.01 k	3.82 j	1944.7 f	4520.3 de	42.94 fg
0.9	0	26.68 d	4.96 c	2472.5 bc	4992.5 ab	49.29 b	
	100	12.15 p	2.61 p	1714.7 ghi	3930.2 fgh	43.85 ef	
۱۵ بهمن 4 February	0	0	17.45 k	3.93 ij	1959.8 f	4543.7 de	43.06 f
		100	28.33 c	5.34 b	2511.7 bc	5020.5 ab	49.77 ab
	0.3	0	13.2 o	2.9 o	1748.2 gh	3978.2 fgh	44.13 e
		100	18.88 j	4.06 h	1974.8 f	4569.3 d	43.15 ef
		0	29.71 b	5.48 b	2550.6 b	5054.3 ab	50.17 ab
		100	14.11 n	3.09 n	1774.8 g	4044.8 fgh	44.06e
0.9	0	19.43 i	4.2 h	1991.3 f	4591.7 cd	43.31 ef	
	100	31.43 a	5.87 a	2948.2 a	5424.5 a	54.13 a	

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معناداری توسط آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند

Columns with common letters do not have a statistically significant difference by LSD test at the level of 5%.

کربوهیدرات‌ها و انباشت اسیدهای آمینه ضروری پرولین می‌گردد که باعث توسعه اندام‌های گیاهی و افزایش تعداد شاخه گل‌دهنده می‌شود (Lavini et al., 2014).

**ارتفاع شاخه اصلی گل‌دهنده**

نتایج نشان داد که علاوه بر معنی‌دار بودن اثرات اصلی (در

محققان (Eskandari et al., 2013) پژوهشی روی گیاه مرزه انجام دادند و گزارش کردند که مصرف عناصر کم مصرف آهن و روی فعالیت فتو سنتزی گیاه افزایش یافت و باعث توسعه پوشش گیاهی و افزایش شاخ و برگ می‌شود (Lavini et al., 2014). تنش کم آبی سبب افزایش غلظت آهن و روی در اندام‌های گیاه می‌شود و باعث تنظیم اسمزی از طریق انباشت

متقابل تاریخ کاشت و پرولین (در سطح ۱ درصد)، اثر سه گانه نانوذرات آهن، نانوذرات پرولین و تاریخ کاشت نیز در سطح ۵ درصد بر وزن هزار دانه معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و مصرف ۰/۹ گرم نانو ذرات آهن به مقدار ۵/۸۷ گرم به دست آمد و هم‌چنین کمترین وزن هزار دانه در تاریخ کشت پانزدهم بهمن ماه و عدم مصرف نانو ذرات آهن به مقدار ۱/۸۵ گرم به دست آمد. در تمامی تاریخ‌های کاشت مصرف پرولین و مصرف ۰/۹ گرم نانوذرات آهن موجب افزایش وزن هزار دانه شد (جدول ۷). مطالعات محققان (Monjezi *et al.*, 2012) نشان داد که تأثیر محلول‌پاشی عنصر آهن بر روی عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه گندم از طریق افزایش فتوسنتز و هم‌چنین انتقال محصول آن، یعنی قند به دانه‌ها و هم‌چنین افزایش سرعت انتقال مجدد مواد فتوسنتزی گیاه به دانه در مقایسه با تیمار شاهد، موجب افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه گردید. در مطالعه‌ای (Hinojosa *et al.*, 2019) دمای بالا باعث بهبود سرعت فتوسنتز گیاه کینوا در تاریخ‌های متفاوت کشت شد.

### عملکرد دانه

نتایج نشان داد که علاوه بر معنی دار بودن اثرات اصلی (در سطح ۱ درصد)، اثر متقابل تاریخ کاشت و آهن (در سطح ۱ درصد)، اثر متقابل تاریخ کاشت و پرولین (در سطح ۵ درصد) و اثر متقابل نانو آهن و پرولین (در سطح ۵ درصد)، اثر سه گانه نانوذرات آهن، نانوذرات پرولین و تاریخ کاشت نیز بر عملکرد دانه در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه با میزان ۲۲۳۸/۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۰/۹ گرم نانوذرات آهن و مصرف پرولین و هم‌چنین کمترین مقدار عملکرد دانه با میزان ۱۸۵۸/۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار عدم مصرف پرولین و عدم مصرف نانو ذرات آهن به دست آمد. در تمامی تاریخ‌های کاشت مصرف پرولین و مصرف ۰/۹ گرم نانوذرات آهن موجب افزایش عملکرد دانه شد (جدول ۷). محققان (Monjezi *et al.*, 2012) گزارش کردند که استفاده از نانو کودهای آهن باعث افزایش متابولیسم گیاهان و جذب بیشتر و موثرتر عناصر و کودهای اصلی و هم‌چنین رساندن هدف‌مند عناصر ریزمغذی به بافت‌های مشخص گیاهان می‌باشد. آهن نقش مهمی در سنتز کلروفیل دارد زیرا از اجرای اصلی کلروفیل، تنظیم کننده تنفس و فتوسنتز و کاهش دهنده

سطح ۱ درصد)، اثر متقابل تاریخ کاشت و نانوذرات آهن، و اثر متقابل تاریخ کاشت و نانوذرات پرولین نیز بر ارتفاع شاخه اصلی گل‌دهنده در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین ارتفاع شاخه گل‌دهنده با ۳۸/۶۷ سانتی‌متر مربوط مصرف پرولین و تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و هم‌چنین کمترین میزان ارتفاع شاخه گل‌دهنده با ۱۲/۳ سانتی‌متر مربوط به تاریخ کاشت پانزدهم بهمن ماه با عدم مصرف پرولین بود. در تمام تاریخ‌های کاشت مصرف پرولین موجب افزایش ارتفاع شاخه گل‌دهنده شد، به طوری که در تمامی تاریخ‌های کاشت بین مصرف و عدم مصرف پرولین اختلاف آماری معنی داری وجود داشت (جدول ۵). مصرف نانو ذرات آهن در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه باعث افزایش تعداد شاخه اصلی گل‌دهنده (۴۳/۸ سانتی‌متر) نسبت به شاهد (۳۲/۱۶ سانتی‌متر) در همان تاریخ کاشت و هم‌چنین افزایش چشم‌گیری نسبت به عدم مصرف نانو ذرات آهن در تاریخ کاشت پانزدهم بهمن ماه (۹/۰۱ سانتی‌متر) گردید (جدول ۶). انباشت پرولین نقش بسیار مؤثری در تطابق و سازگاری گیاه با شرایط خشکی ناشی از تاریخ کاشت دیر هنگام دارد که این تطابق باعث افزایش ارتفاع بوته و طبیعتاً افزایش ارتفاع شاخه گل‌دهنده می‌شود که با نتایج این تحقیق هم‌سو است (Moghadam *et al.*, 2015). افزایش غلظت اسید آمینه پرولین که به تنظیم اسمزی کمک می‌کند، ناشی از چند عامل گزارش شده است از جمله: ممانعت از تجزیه پرولین، جلوگیری از ورود پرولین به پروتئین و کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Lavini *et al.*, 2014) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد بطوری که بیشترین ارتفاع شاخه اصلی گل‌دهنده مربوط به تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و مصرف پرولین و هم‌چنین کمترین ارتفاع شاخه اصلی گل‌دهنده مربوط به پانزدهم بهمن ماه و عدم مصرف پرولین می‌باشد. محققان (Moghadam *et al.*, 2015) گزارش کردند که مصرف نانو کلات آهن روی شاخه‌های ریحان باعث افزایش دو برابری تعداد شاخه‌های فرعی نسبت به شاهد گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

### وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که علاوه بر معنی دار بودن اثرات اصلی (در سطح ۱ درصد)، اثر متقابل دوگانه تاریخ کاشت و آهن و اثر

### شاخص برداشت

نتایج نشان داد که علاوه بر معنی‌دار بودن اثرات اصلی (در سطح ۱ درصد)، اثر متقابل تاریخ کاشت و آهن (در سطح ۵ درصد) و اثر متقابل نانو آهن و پرولین (در سطح ۵ درصد)، اثر سه گانه نانوذرات آهن، نانوذرات پرولین و تاریخ کاشت نیز بر شاخص برداشت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار شاخص برداشت در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و مصرف ۰/۹ گرم نانوذرات آهن و مصرف پرولین (۵۴/۱۳ درصد) به دست آمد و کمترین مقدار شاخص برداشت در تاریخ کاشت سی‌ام بهمن ماه، و عدم مصرف نانوذرات آهن و پرولین (۴۰/۶۶ درصد) به دست آمد. در تمامی تاریخ‌های کاشت مصرف پرولین و مصرف ۰/۹ گرم نانوذرات آهن موجب افزایش شاخص برداشت شد (جدول ۷).

پژوهشگران (Pandey *et al.*, 2010) اظهار داشتند که اسید آمینه و نانو ذرات آهن هر دو سبب افزایش سطح برگ و افزایش فتوسنتز می‌شوند، بنابراین زمانی که آهن به صورت محلول پاشی برگی به گیاه منتقل می‌شود، میزان ساخت کلروفیل در گیاه افزایش می‌یابد، و به دنبال آن عملکرد دانه و شاخص برداشت افزایش می‌یابد. محققان (Thomas *et al.*, 2009) گزارش کردند که مصرف پرولین موجب افزایش شاخص برداشت می‌گردد که با نتایج این تحقیق هم‌سو است.

### نتیجه‌گیری کلی

وزن هزار دانه در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و مصرف ۰/۹ گرم نانو ذرات آهن به مقدار ۵/۸۷ گرم به دست آمد که حدود ۲/۳ برابر بیشتر از وزن هزار دانه در تاریخ کشت پانزدهم بهمن ماه و عدم مصرف نانو ذرات آهن بود. بیشترین عملکرد دانه با میزان ۲۲۳۸/۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۰/۹ گرم نانوذرات آهن و مصرف پرولین حاصل شد که ۲۹ درصد بیشتر از کمترین مقدار عملکرد دانه در تیمار عدم مصرف پرولین و عدم مصرف نانو ذرات آهن بود.

بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و مصرف ۰/۹ گرم نانوذرات آهن و مصرف پرولین (۵۴۲۴/۵ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که ۳۸ درصد بیشتر از عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت پانزدهم بهمن ماه، بدون مصرف نانوذرات آهن و عدم مصرف پرولین بود. بیشترین مقدار شاخص برداشت در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و مصرف ۰/۹ گرم نانوذرات آهن و مصرف پرولین (۵۴/۱۳ درصد) به دست

نیترات و سولفات است که نانو ذرات آهن و روی بطور چشم‌گیر باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گردید که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. پژوهشگران (Roosta *et al.*, 2015) اظهار داشتند که یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو، استفاده از نانو کودها جهت تغذیه گیاهان است. نانو کودها با رهاسازی تدریجی و آرام عناصر غذایی بهترین جایگزین برای کودهای مرسوم هستند. با بهره‌گیری از نانو کودها، عناصر غذایی به آرامی و با سرعتی مناسب در تمام فصل رشد گیاه آزاد می‌شود و به دلیل کاهش آبشویی، گیاهان قادر به جذب بیشتر عناصر خواهند بود که منجر به افزایش عملکرد و اجرای عملکرد می‌گردد که با نتایج این تحقیق هم‌سو می‌باشد. پژوهشگران (Pandey *et al.*, 2010) بیان کردند که محلول پاشی یا تغذیه برگی یکی از راه‌های مؤثر در رفع نیاز گیاهان به عناصر کم‌مصرف است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

### عملکرد بیولوژیک

نتایج نشان داد که علاوه بر معنی‌دار بودن اثرات اصلی (در سطح ۱ درصد)، اثر سه گانه نانوذرات آهن، نانوذرات پرولین و تاریخ کاشت نیز بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت پانزدهم اسفند ماه و مصرف ۰/۹ گرم نانوذرات آهن و مصرف پرولین (۵۴۲۴/۵ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد و کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت پانزدهم بهمن ماه بدون مصرف نانوذرات آهن و عدم مصرف پرولین (۳۶۸۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. در تمامی تاریخ‌های کاشت مصرف پرولین و مصرف ۰/۹ گرم نانوذرات آهن موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد (جدول ۷).

محققان (Roosta *et al.*, 2015) بیان کردند که هنگامی که کودی در خاک استفاده می‌شود، به دلایلی نظیر آبشویی، پیوند با سایر عناصر در خاک و نقش میکروارگانیسم‌ها (Dolatsah *et al.*, 2020)، ممکن است قسمت یا تمامی آن از دسترس گیاه خارج گردد، لذا محلول پاشی برخی عناصر ریزمغذی می‌تواند باعث عبور آن‌ها از موانع فیزیکی و شیمیایی مختلف و افزایش عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی در گیاه می‌شود. آهن در فرایند فتوسنتز و تولید کربو هیدرات‌ها دخالت دارد، بنابراین نقش این عناصر را می‌توان در کمک به تنظیم اسمزی دانست که با دخالت در سنتز آسمولیت‌ها برای سازگاری با تنش و حفظ فشار تورژانس نقش خود را اجرا می‌کنند.

نانوذرات آهن موجب افزایش ارتفاع بوته شد و از طرفی با توجه به آن که ارتفاع بوته بر عملکرد بیولوژیک تأثیرگذار است، این ترکیب تیماری موجب افزایش عملکرد ماده خشک گیاه شد. باتوجه به نتایج به دست آمده تاریخ کشت پانزدهم اسفند، مصرف پرولین و تیمار ۰/۹ گرم نانوذرات آهن برای حصول تولید دانه بالا در شرایط کشت منطقه توصیه می‌گردد.

آمد و ۲۸ درصد بیشتر از شاخص برداشت در تاریخ کاشت سی‌ام بهمن ماه، و عدم مصرف نانوذرات آهن و پرولین بود. به‌طور کلی در تمامی تاریخ‌های کاشت، مصرف پرولین و مصرف ۰/۹ گرم نانوذرات آهن موجب افزایش تعداد شاخه گل‌دهنده و وزن هزار دانه به‌عنوان اجزاء اصلی عملکرد دانه شد که به دنبال آن عملکرد دانه و شاخص برداشت افزایش یافت. هم‌چنین در تمامی تاریخ‌های کاشت، مصرف پرولین و مصرف ۰/۹ گرم

## References

- Vidueiros, S.M., Curti, R.N., Dyner, L.M., Binaghi, M.J., Peterson, G., Bertero, H.D. and Pallaro, A.N., 2015. Diversity and interrelationships in nutritional traits in cultivated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Northwest Argentina'. *Journal of Cereal Science*, 62(1), pp.87-93. doi: 10.1016/j.jcs.2015.01.001.
- Abkat, A., Nabizadeh, A. and Roshdi, M., 2020. Investigation of agronomic characteristics and yield of *Dracocephalum moldavica* L. Nitrogen consumption levels and trace elements. *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(41), pp.108-119. dor: 10.30495/jcep.2020.671176
- Abuggadare, L., Castro, E., Tapia, C., Añón, M.C., Gajardo, P. and Villarroel, A., 2009. Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(10), pp.2013-2020. doi: 10.1111/j.1365-2621.2009.02023.x.
- Ahmadi, F., Pasari, B. and Jewelry, M., 2020. Investigation of the reaction of corn (*Zea mays* L.) under the influence of various chemical, nano, nanobiological and organic extracts of seaweed. *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(41), pp.188-203. [In Persian]. doi: 20.1001.1.20085958.1399.12.41.16.3.
- Arab, S., Firoozabadi, M., Gholami, A., Asghari, H.R. and Rahimi, M., 2017. Effect of ascorbic acid and sodium nitroposide associating on protein content, grain yield and some traits of safflower under irrigation stress. *Journal of Crop Production*, 9(1), pp.69-87. [In Persian]. doi: 10.22069/ejcp.2016.2957.
- Bahamin, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Behashti, S., 2021. Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and nutrient efficiency indices in maize under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(3), pp.675-690. [In Persian]. doi: 10.22077/escs.2020.3095.1793.
- Bahamin, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Beheshti, S., 2019. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(1), pp.123-139. [In Persian]. doi: 10.22077/escs.2018.1152.1235.
- Dolatshah, M., Hassani Moghadam, A., Shaban, M. and Yarahmadi, R., 2020. The effect of foliar application of iron and zinc on volatile compounds of Lemongrass (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(42), pp.116-130. [In Persian]. dor: 10.1080/0972060x.2017.1325010.
- Ebrahimnia, R., Bijanzadeh, A., Behpoori, A. and Naderi, R., 2020. Changes in leaf chlorophyll content and protein and grain yield of three macaroni wheat cultivars (*Triticum durum*) due to the application of nano

- fertilizers. *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(40), pp.152-165. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.20085958.1399.12.40.13.8.**
- Esfandiarfateh, A. and Ebrahimi, A., 2019. The effect of planting date and density on quantitative and qualitative yield of *Pimpinella anisum*. *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(37), pp.178-190. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.20085958.1398.11.37.17.9.**
- Eskandari, M., 2013. Growth parameters and changes in the percentage of essential oil of *Satureja bachtiarica* Bunge under the influence of 28-hemobrasinolide and drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 29(1), pp.176-186. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijmapr.2013.2899.**
- Fallah, A.A., Marefpourian, Kh., Tadaion, S., Dehghani, F. and Zare, A., 2021. The effect of foliar application of ferrous sulfate and zinc sulfate on yield and yield components of rapeseed in Marvdasht region. *Journal of Plant Ecophysiology*, 13(44), pp.1-12. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.20085958.1400.13.44.1.1.**
- Fathi, A. and Kardoni, F., 2020. The importance of quinoa (*Chenopodium Quinoa* willd.) cultivation in developing countries: A review. *Cercetari Agronomice în Moldova*, 3(183), pp.337-356. **doi: 10.30495/jcep.2022.1928721.1797.**
- 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. [In Persian]. **doi: 10.22077/escs.2017.720.1146.**
- Foladvand, F., Khoshkhabar, H., Naghdi, N., Hosseinabadi, M., Bahamin, S. and Fathi, A., 2017. The effect of sowing date and nitrogen on yield, and essential oil of German chamomile. *Scientia Agriculturae*, 19(3), pp.85-92. **doi: 10.3390/agronomy12122912.**
- Hinojosa, L., Matanguihan, J.B. and Murphy, K.M., 2019. Effect of high temperature on pollen morphology, plant growth and seed yield in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Agronomy Crop Science*, 205, pp.33-45. **doi: 10.22067/jag.v13i3.83543.**
- Jamali, S., 2017. Investigation of the effect of different levels of salinity and irrigation on yield and yield components of quinoa. Master Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 3, pp.22-30. [In Persian]. **doi: 10.22069/jwsc.2018.13721.2841.**
- Jamali, S., Sharifan, H., Hezargaribi, A. and Sepahvand, N.A., 2016. The effect of different salinity levels on germination and growth indices of two cultivars of *Chenopodium quinoa* willd. *Scientific and Research Journal of Water and Soil Resources Protection*, 6(1), pp.98-87. [In Persian]. **doi: 10.22092/jwra.2021.355073.877.**
- Javadi, H., 2019. The effect of drought stress and foliar application of iron and zinc on yield and yield components of sunflower in the second crop. *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(39), pp.1-11. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.20085958.1398.11.39.1.7.**
- Javadi, H. and Zamani, Kh., 2019. Effect of planting date on yield, yield components and oil content of different safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(37), pp.1-12. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.20085958.1398.11.37.1.3.**
- Kardoni, F., Bahamin, S., Khalil Tahmasebi, B., Ghavim-Sadati, S. and Vahdani, S., 2019. Yield comparisons of

- mung-bean as affected by its different nutritions (chemical, biological and integration) under tillage systems. *Journal of Crop Ecophysiology*, 13(49(1)), pp.87-102. [In Persian]. doi: **10.30495/jcep.2019.664839**.
- Karima, M., Eldin, N. and Abdel-wahed, M.S.A., 2005. Effect of some amino acids on growth and essential oil content of chamomile plant. *International of Journal of Agriculture and Biology*, 15(3), pp.376-380. doi: **10.1088/1755-1315/1060/1/012102**.
- Lavini, A., Pulvento, C., Andria, R., Riccardi, M., Choukr-Allah, R., Belhabib, O., İncekaya, C., Metin Sezen, S., Qadir, M. and Jacobsen, S.E., 2014. Quinoa's potential in the Mediterranean region. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200, pp.344-360. doi: **10.1111/jac.12069**.
- Maleki, A., Fathi, A. and Bahamin, S., 2020. The effect of gibberellin hormone on yield, growth indices, and biochemical traits of corn (*Zea Mays* L.) under drought stress. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 15(59), pp.1-16. [In Persian]. doi: **20.1001.1.76712424.1399.15.59.1.8**.
- Moghaddam, A., Mahmoudi Sarestani, M., Farrokhian Firoozi, A., Ramezani, Z. and Eskandari, F., 2015. The effect of foliar application of iron chelate and iron nanoclolate on morphological traits and the amount of holy basil essential oil. *Journal of Crops Improvement*, 17(3), pp.595-606. [In Persian]. doi: **10.22059/jci.2015.54372**.
- Monjezi, F., Vazin., M. and Hassanzadehdelouei, M., 2012. Effects of iron and zinc spray on yield and yield components of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in drought stress. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 5(153), pp.23-32. doi: **10.2478/v10298-012-0072-z**.
- Pandey, A.C., Sanjay, S.S. and Yadav, R.S., 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. *Journal of Experimental Nanoscience*, 5, pp.488-497. doi: **10.1155/2022/1892759**.
- Roosta, H.R., Jalali, M. and Vakili Shahrababaki, M.A., 2015. Effect of nano-chelate, Fe-Eddha and FeSO<sub>4</sub> on vegetative growth, physiological parameters and some nutrient elements concentration of four varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L) in NFT system. *Journal of Plant Nutrition*, 38(14), pp.2176-2184. doi: **10.1080/01904167.2015.1043378**.
- Shamsibeiranvand, Z., Sadeghi, Z., Khoshkhabar, H., Hosseinabadi, M. and Bahamin, S., 2017. Survey some physiological characteristics of medicinal plant *Scrophularia striata* Boiss in Ilam province. *Scientia Agriculturae*, 19(3), pp.62-68. doi: **10.15192/psep.sa.2017.19.3.6268**.
- Thomas, J., Mandal, A.K.A., Raj Kumar, R. and Chordia, A., 2009. Role of biologically active amino acid formulations on quality and crop productivity of Tea (*Camellia* sp.). *International Journal of Agricultural Research*, 4, pp.228-236. doi: **10.3923/ijar.2009.228.236**.
- Zabet, M., Bahamin, S., Ghoreishi, S., Sadeghi, H. and Moosavi, S., 2015. Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on quantitative yield of aboveground part of forage pear millet (*Pennisetum glaucum*) in Birjand. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7(2), pp.187-194. [In Persian]. doi: **10.22077/escs.2015.175**.

## Agrophysiological reaction of *Chenopodium quinoa* to foliar application of iron and proline nanoparticles at different culture dates

Rahmat Salehi<sup>1</sup>, Abbas Maleki<sup>1\*</sup>, Mohammad Mirzaei Heidari<sup>2</sup>, Alireza Rangin<sup>3</sup>, Amir Mirzaei<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran

<sup>2</sup> Department of Production Engineering and Plant Genetics, Isfahan (Khorasgan) branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

<sup>3</sup> Department of Biology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ilam University, Ilam, Iran

<sup>4</sup> Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran

\*Corresponding Author: [maleki97@yahoo.com](mailto:maleki97@yahoo.com)

Received: 29 April 2022 Accepted: 29 June 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.339946.1229

### Abstract

**Introduction:** One of the benefits of agricultural research is the introduction of new and suitable plants for food production according to the agricultural conditions in the country. Quinoa consumption has become very common in countries around the world. On the other hand, climate change has made it necessary to pay attention to the planting date.

**Materials and Methods:** In order to investigate the possibility of ecophysiological compatibility of quinoa in different cultivation dates under the influence of foliar application of iron and proline nanoparticles on yield and related experimental traits in two consecutive years 2017-2018 and 2018-2019 in February in the farm of Sarableh Research Center in Ilam province as a split-split plot in the framework of the basic design, randomized complete blocks with three replications were implemented. The main factor included the planting date on 3 dates: 4th February, 19th February and 4th March. The secondary factor included proline in 2 levels of non-consumption and consumption. The sub-factor included iron nanoparticles in four levels of non-consumption, consumption of 3.0 grams, consumption of 6.0 grams and consumption of 9.0 grams. Before statistical analysis and analysis of variance, the test of normal distribution of data and errors was performed using SAS software and also before the combined analysis of variance, the homogeneity test of variance of experimental errors (Bartlett test) was performed. Then, two-year data were analyzed using SAS software version 9, combined analysis, and mean comparison and graph plots were performed using Excel. Duncan test was used to compare means.

**Results and Discussion:** The results showed that the interaction of iron nanoparticles and planting date on flowering branch height; The interaction effects of planting date, iron and proline nanoparticles on 1000-grain weight, grain yield, biological yield and harvest index were significant. On the 4th March planting date, proline consumption and consumption of 0.9 g of iron nanoparticles, the highest number of flowering branches was obtained with 31.4. The highest 1000-seed weight was obtained on the 4th March planting date and consumption of 0.9 g of iron nanoparticles in the amount of 5.87 g. In all planting dates, proline consumption and consumption of 0.9 g of iron nanoparticles increased the weight of 1000 seeds and the number of flowering branches. The highest amount of biological yield was obtained on the 4th March and the use of 0.9 g of iron nanoparticles and proline consumption (5424.5 kg ha<sup>-1</sup>) and the lowest amount of biological yield was obtained on the 4th February without iron nanoparticles and no proline (3688 kg ha<sup>-1</sup>) was obtained. In all planting dates, proline consumption and consumption of 0.9 g of iron nanoparticles increased biological yield. The highest grain yield with a rate of 2238.1 kg ha<sup>-1</sup> was obtained in the treatment of 0.9 g of iron nanoparticles and proline consumption and also the lowest grain yield with a rate of 1858.7 kg ha<sup>-1</sup> was obtained in the treatment of no proline consumption and no consumption of iron nanoparticles.

In all planting dates, proline consumption and consumption of 0.9 g of iron nanoparticles increased seed yield.

**Conclusion:** In general, in all planting dates, proline consumption and consumption of 0.9 g of iron nanoparticles increased the number of flowering branches and 1000-seed weight as the main components of grain yield, which was followed by grain yield and harvest index. Also, in all planting dates, proline consumption and consumption of 0.9 g of iron nanoparticles increased plant height and on the other hand, due to the fact that plant height has a transient effect on biological yield, this treatment combination increased plant dry matter yield. According to the obtained results, the date of cultivation is 4th March, the use of proline and treatment of 0.9 g of iron nanoparticles to achieve high grain production in the region under cultivation conditions is recommended to slightly increase the yield components.

**Keywords:** Antioxidant enzymes, Ecophysiological compatibility, Micronutrients, Yield components, Yield

## استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در ارزیابی اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی ایران

آناهیتا پهلوان<sup>۱</sup>، محمود سلوکی<sup>۲</sup>، براتعلی فاخری<sup>۲</sup>، بهمن فاضلی نسب<sup>۳\*</sup>

۱- گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

\* مسئول مکاتبه: [bfazelinasab@gmail.com](mailto:bfazelinasab@gmail.com)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.226842.1067

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵

### چکیده

ختمی خبازی از تیره ختمی و از مهم‌ترین گیاهان دارویی است که به‌صورت وحشی وجود داشته و در طب سنتی در درمان بسیاری از بیماری‌ها به‌کاربرده شده است. این بررسی با هدف مطالعه شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در ارزیابی ۹ اکوتیپ مختلف ختمی خبازی ایران در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به‌صورت گلدانی اجرا شد. بیشترین قطر ساقه (۹/۵۸ میلی‌متر)، طول ریشه (۶۱/۲۲ سانتی‌متر)، وزن تر ریشه (۱۸/۸۶ گرم)، وزن خشک ریشه (۴/۸۴ گرم) و محتوای پرولین (۰/۶۱۴) متعلق به اکوتیپ مشهد بود. تعداد برگ، همبستگی منفی و معنی‌داری با وزن تر گیاه داشته، درحالی‌که با ارتفاع گیاه و وزن خشک اندام هوایی دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته است. بیشترین همبستگی در صفات مورفولوژیکی بین وزن تر با وزن خشک ریشه ( $P < 0/01$ ) و در صفات فیزیولوژیکی بین کارتنوئید و کلروفیل b ( $P < 0/05$ ) بود. بیشترین تعداد گل و بیشترین تعداد بذر در بوته نیز در اکوتیپ‌های بندرعباس و تربت‌حیدریه بود. بر اساس رگرسیون گام‌به‌گام در مدل‌های ارائه‌شده، وزن تر ریشه و وزن خشک گیاه بیشترین تأثیر مثبت را بر طول ریشه داشته اما قطر ساقه و وزن تر گیاه بیشترین تأثیر منفی بر طول ریشه را داشته‌اند. کلروفیل b بیشترین تأثیر منفی و مستقیم بر عملکرد پرولین را داشته اما کلروفیل a، کارتنوئید، کربوهیدرات و پروتئین کل به ترتیب بیشترین تأثیر مثبت بر عملکرد پرولین را داشته‌اند. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، اکوتیپ مشهد از لحاظ اکثر صفات مورفوفیزیولوژیکی نسبت به سایر اکوتیپ‌ها در سطح بالاتری بود و در نتیجه جهت توسعه و اصلاح ختمی خبازی، اکوتیپ مشهد به‌عنوان یکی از والدین اصلی اصلاحی پیشنهاد می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** پرولین، صفات مورفولوژیکی، طول ریشه، قطر ساقه، کارتنوئید

### مقدمه

(2011). ترکیبات شیمیایی برگ ختمی خبازی شامل پلی‌فنول، ویتامین C، E و بتاکاروتن، گاسیپتین ۳، گلوکوسید، فلاونوئید است (Shale et al., 2005). مهم‌ترین مواد موجود در گل‌های ختمی خبازی، ال-آرابینوز، ال-رامنوز، دی-گالاکتوز رونیک اسید گزارش شده است. گل‌ها بیش از ۱۰ درصد موسیلاژ دارند که در اثر هیدرولیز، تبدیل به گالاکتوز، آرابینوز، گلوکز رامنوز و اسیدگالاکتورونیک می‌شود (Omidbeigi, 2012). همچنین گل‌های ختمی خبازی حاوی مقدار کمی تانن و حدود یک‌دهم درصد لوکوآنتوسیانین‌ها و آنتوسیانین است. ترکیبات شیمیایی تمام لندام‌های ختمی خبازی از جمله ریشه، دارای تانن، مواد لعابی فراوان، قند، اکسالات کلسیم، مواد رزینی و پکتیک هستند (Shale et al., 2005).

در اسانس (عطرمایه) برگ گیاه ختمی خبازی، تعداد ۱۸

ختمی خبازی (*Malva sylvestris* L.) از تیره ختمی، گیاهی یک‌ساله، دوساله و یا به‌ندرت چندساله است (Razavi et al., 2011). منشأ آن آسیای میانه گزارش شده اما تقریباً در تمام نقاط جهان رشد می‌کند (Shoshtariyan et al., 2010). در ایران ۷ گونه از ختمی خبازی (*M. M. verticillata* L. *M. M. leiocarpa* *M. iljini leonardi* I. Riedl *M. M. sylvestris* L و *M. armeniaca aegyptia* var شده است (Pakravan, 2006).

ختمی خبازی غنی از ویتامین‌های A، B و C بوده و به‌عنوان یکی از گیاهان مؤثر در کاهش عوارض سرماخوردگی به‌ویژه سرفه، همچنین در درمان التهاب تنفسی، مجاری ادراری و گوارشی و نیز جوش‌های پوستی است (Mustafa and Ali, 2006).

با تنش خشکی، از طریق مکانیسم‌های مختلف مانند فرار، اجتناب یا تحمل، سازگار می‌شوند. در این بین، تحمل به خشکی در برخی گیاهان با توسعه سیستم‌های عمیق ریشه همراه بوده است (Kashiwagi *et al.*, 2006). همچنین برخی گیاهان با افزایش کارتنوئیدها در کاهش خسارت ناشی از رادیکال‌های آزاد و حفاظت دستگاه فتوسنتزی در مقابل تنش اکسیداتیو مؤثر بوده‌اند و به‌نوبه خود میزان کلروفیل گیاه را افزایش داده‌اند (Azooz, 2009).

تأثیر تیمار هگزاکونازول بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه ختمی خبازی تحت تنش خشکی بررسی و سپس صفات فیزیومورفولوژیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در برگ گیاه مورد سنجش قرار گرفته و مشخص شده است که اثرات متقابل تنش خشکی و تیمار هگزاکونازول، موجب کاهش طول ساقه، ریشه و سطح برگ و افزایش نسبت ریشه به ساقه، وزن تر و خشک و غلظت پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گردیده اما تیمارها تأثیری بر روی تعداد برگ، کلروفیل a، b، کل و پروتئین کل نداشته‌اند (Kashefi and Bahri, 2019).

در تحقیقی اثر آلودگی هوا بر روی غلظت پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و صفات تشریحی-ریخت‌شناسی پنیرک گل ریز مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده که آلودگی هوا باعث افزایش غلظت پرولین و کربوهیدرات محلول در پنیرک گل ریز شده است. در بررسی‌های تشریحی تغییرات بارز در بافت اپیدرم و بافت کلانشیم مشاهده شده که همه این تغییرات در جهت افزایش مقاومت در گیاه بوده است (Seyyednejad *et al.*, 2013).

تأثیر استرس کادمیوم بر رشد و صفات فیزیولوژیک در *Phoenix dactylifera* L؛ و نقش پرولین اگزوزن در کاهش استرس کادمیوم بررسی و به این نتیجه رسیدند که استرس کادمیوم باعث کاهش رشد، محتوای عناصر مغذی ( $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$  و  $K^{+}$ )، شاخص پایداری غشاء (MSI)، محتوای نشاسته و فعالیت گایاکول پراکسیداز (POD) شده اما باعث افزایش  $H_2O_2$ ، قند محلول، فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX) و همچنین کل پلی‌فنول‌ها شده است. جالب‌توجه است، پرولین اگزوزن به‌طور مؤثری اثرات سوء کادمیوم را روی *phoenix dactylifera* L کاهش داده و در کل هنگامی که پرولین به گیاهان تنش‌زا اضافه شده، رشد و تغذیه معدنی افزایش یافته

ترکیب شناسایی شده است که عمده‌ترین آن‌ها اسپاتونول، دلتاکادین، لینالول، آلفا ترپینیل استات، آلفا کادینول، بتا اودسومول، کوبنول و لینالیل استات هستند (Javidnia *et al.*, 2002). گزارش شده که بیشترین میزان فنل، فلاونوئید و خواص آنتی‌اکسیدانی مربوط به برگ و کمترین میزان مربوط به بذر ختمی بوده است (Beghdad *et al.*, 2014).

نیروهای تکامل، در مناطق جغرافیایی مختلف جمعیت‌هایی از یک گونه به وجود می‌آورند که از نظر فعالیت‌های رشدی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، گیاه‌شناسی و در نهایت ژنتیکی متمایزند. بنابراین، در صورت وارد کردن یک گونه دارویی به صنعت، هر سازوکاری که در نظر گرفته شود اعم از بهره‌برداری از رویشگاه‌های طبیعی، اهلی کردن (در مورد جمعیت‌های وحشی) و یا اصلاح (انواع کشت شده) نیازمند بررسی ژنتیکی و شناسایی هویت و ویژگی‌های شیمیایی تولیدی ژرم‌پلاسم گونه دارویی مورد نظر است تا مواد اولیه با امنیت، پایداری و کارایی مناسب تأمین شود. بنابراین، با بررسی‌های دقیق ساختاری، فنوتیپی، شیمیایی و ژنتیکی جمعیت‌های طبیعی یک گیاه می‌توان نسبت به انتخاب آن‌ها و یا نمونه‌هایی از درون آن‌ها به‌عنوان گامی مهم در جهت فرایند اهلی کردن گیاه دارویی مورد نظر اقدام کرد (Alemzadeh Ansari *et al.*, 2014; Babalar *et al.*, 2013; Fazelienasab *et al.*, 2004).

در تولید گیاهان دارویی علاوه بر عوامل ژنتیکی، شرایط محیطی تحت کشت نیز از اهمیت زیادی برخوردار است؛ زیرا عوامل محیطی با تأثیر بر رشد رویشی و فیزیولوژی گیاهان بر کیفیت و کمیت مواد مؤثره محصول نیز مؤثر هستند (Davari *et al.*, 2018; Fazeli-nasab and Fooladvand, 2016). اولین شاخص‌هایی که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند، رشد و فتوسنتز بوده و برای به حداقل رساندن این تأثیرات و تلفات عملکرد بایستی مهم‌ترین پارامترهای رشد از جمله شاخص کلروفیل، ارتفاع گیاه، زیست‌توده، وزن صد دانه و عملکرد گیاه ارزیابی و همچنین درک بهتری از شاخص‌های متنوع مورفولوژیکی (طول ریشه، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، قطر ساقه و غیره) و فیزیولوژیکی (میزان پرولین، میزان کارتنوئید و غیره) مرتبط با عملکرد به دست آید (Sachdeva *et al.*, 2018) و بر این اساس ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انتخاب و مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی گیاهان، جهت مقابله

تنوع درون گونه‌ای، تنوعی لندک بین اکوتیپ‌های یافته‌اند و یا گاهی هیچ‌گونه تنوعی وجود نداشته است، نمی‌توان به‌عنوان یک پیش‌فرض برای هرگونه در نظر گرفت.

در ایران، تحقیقات محدودی بر روی شناسایی و ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی صورت گرفته است، بنابراین بررسی دقیق ژنوتیپ‌های بومی موجود در کشور جهت برنامه‌ریزی تحقیقات به نژادی و به زراعی بعدی هدف تحقیق حاضر است.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۹ اکوتیپ ختمی خبازی در سال ۱۳۹۶ از رویشگاه‌های مختلف ایران (مشهد، تربت حیدریه، فریمان، زابل، زرن، جیرفت، رودبار، بندرعباس و خرم‌دشت) جمع‌آوری (جدول ۱) و در آزمایشگاه گیاه‌شناسی دانشگاه تربت حیدریه شناسایی شد، سپس در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در اواخر بهمن‌ماه ۱۳۹۷ در گلخانه پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل کشت و در اردیبهشت ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفتند. بذور مربوط به هر اکوتیپ در گلدان‌های پنج لیتری (بعد از جوله‌زنی و تنک کردن، تعداد پنج بوته از هر اکوتیپ در هر گلدان) و در بستر کشت، مخلوطی از خاک زراعی، کوکو پیت، پرلیت، کود حیوانی کاملاً پوسیده هر کدام به نسبت مساوی کشت شدند. آبیاری بر اساس شرایط دمایی سیستان و حاکم بر گلخانه و همچنین ظرفیت زراعی خاک ترکیبی گلدان‌ها محاسبه و به‌صورت مرتب تا زمان گلدهی انجام شد.

### صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده

در مرحله گلدهی کامل، قطر ساقه و طول ساقه سه گیاه از هر گلدان به‌طور تصادفی اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها برای هر تیمار لحاظ گردید. در این مرحله تعداد گل‌های دارای بذر و تعداد برگ‌های هر گیاه شمارش شد. وزن تر و وزن خشک ریشه، ساقه و گیاه کامل با ترازو دیجیتال (دقت ۰/۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های تر در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (Paykarestan et al., 2012).

است (Zouari et al., 2016).

ارزیابی تنوع ژنتیکی در گیاهان برای برنامه‌های اصلاحی و حفاظت از ذخایر توارثی، حیاتی بوده و اطلاع از سطح تنوع ژنتیکی در گونه گیاهی برای انتخاب والدین جهت رسیدن به دو رگ مناسب از اهمیت زیادی برخوردار است (Singh, 2003). تنوع ژنتیکی می‌تواند به‌وسیله تخمین فاصله ژنتیکی با استفاده از اطلاعات شجره یا با استفاده از نشانگرهای مولکولی شناسایی شود (Stachel et al., 2000).

به‌منظور تخمین این تنوع انواع مختلفی از سیستم‌های نشانگری توسط به‌نژادگران گیاهی استفاده می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به نشانگرهای ریخت‌شناختی و مولکولی شامل بیوشیمیایی و DNA اشاره کرد.

در تحقیقی، تنوع ژنتیکی ۱۸ اکوتیپ پنیرک (*Malva neglecta*) مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج نشان داده است که بیشترین تشابه را اکوتیپ G۴ با اکوتیپ G۹ با ضریب ۰/۸۴ داشته‌اند. کمترین تشابه مربوط به اکوتیپ G۱ با اکوتیپ‌های G۹، اکوتیپ G۱۵ با G۶ و G۸ با ضرایب تشابه ۰/۵۷ بوده است (Noorian and Shirvani, 2020).

ارزیابی ژنتیکی برخی جمعیت‌های پنیرک با استفاده از نشانگر مولکولی ISSR و آیزوایم‌ها بررسی و به این نتیجه رسیده‌اند که پراکنش اکوتیپ‌ها بر اساس تنوع ژنتیکی با تنوع جغرافیایی تطابق نداشته است. ضمناً گزارش داده‌اند که ممکن است علت این موضوع جدایی منشأ جغرافیایی ژنوتیپ‌ها یا ایجاد و تجمع جهش‌های ژنتیکی مجزا در سطح ژنوم باشد که باعث ایجاد تنوع در آن‌ها نسبت به یکدیگر شده است. درحالی‌که در تعداد دیگری از ژنوتیپ‌ها چنین تطابقی دیده نشده که این امر می‌تواند به دلیل منشأ مشترک، مهاجرت و انتقال باشد (Hammad, 2009).

تنوع ژنتیکی ۲۰ ژنوتیپ گونه گیاهی در معرض خطر *Mangifera indica* بررسی شده و نتایج نشان داده است که بین اکوتیپ‌های پنیرک مورد مطالعه تنوع ژنتیکی وجود داشته و از آنجایی‌که این اکوتیپ‌ها نماینده توده‌های پنیرک موجود در بانک ژن می‌باشند لذا در بین کل اکوتیپ‌های موجود در بانک ژن نیز تنوع فراوانی وجود داشته است (Gajera et al., 2011)؛ بنابراین این مطلب را که در اکثر مطالعات مربوط به ارزشیابی

جدول ۱- مشخصات جمعیت‌های گیاه دارویی ختمی خبازی (*M. sylvestris* L.)Table 1- Specification of the population of *M. sylvestris* L.

ردیف Row	محل جمع آوری Origin		موقعیت جغرافیایی Geographic Situation		
	شهر City	استان Province	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا Elevation (m)
1	مشهد Mashhad	خراسان رضوی Khorasan Razavi	36, 20', 9.8''	59, 32', 40''	1050
2	بندرعباس Bandar Abbas	هرمزگان Hormozgan	27, 11', 43''	56, 17', 1.4''	25
3	تربت‌حیدریه Torbat Heydariyeh	خراسان رضوی Khorasan Razavi	35, 16', 56.6''	59, 13', 16.8''	1365
4	فریمان Fariman	خراسان رضوی Khorasan Razavi	35, 16', 56.6''	59, 13', 16.8''	1404
5	زرند Zarand	کرمان Kerman	30, 48', 38.7''	56, 33', 57.09''	1657
6	رودبار Rudbar	کرمان Kerman	28, 2', 19.5''	57, 59', 13.8''	488
7	جیرفت Jiroft	کرمان Kerman	28, 40', 46.8''	57, 44', 43.11''	680
8	خرمدشت Khorramdasht	تهران Tehran	35, 43', 20.8''	51, 15', 49.4''	1277
9	زابل Zabol	سیستان و بلوچستان Sistan va Baluchestan	31, 1', 51.07''	61, 29', 49.8''	482

W برابر با وزن تر نمونه برگ است.

### صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده

صفات کلروفیل a (رابطه شماره ۱)، کلروفیل b (رابطه شماره ۲) و کارتنوئید (رابطه شماره ۳) به روش آرنون (Arnon, 1965) و با استفاده از معادلات زیر صورت گرفت. میزان جذب نمونه‌ها برای کلروفیل a و b و کارتنوئید به ترتیب در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ با استفاده از اسپکتروفتومتر (ساخت آمریکا، شرکت Unico و مدل UV-2100) صورت گرفت.

(۱)

$$\text{Chlorophyll a} = (12.7 (A663)) - ((2.69) (A645)) \\ (V/1000(W))$$

(۲)

$$\text{Chlorophyll b} = (22.9(A645)) - (4.88(A663)) \\ (V/1000(W))$$

(۳)

$$\text{Carotenoides} = A480 + (0/114(A663)) - \\ (0/638(A645))$$

در روابط فوق A شدت جذب در طول موج‌های مربوط برحسب نانومتر است. در این رابطه، V برابر با حجم محلول و

### اندازه‌گیری پرولین و کربوهیدرات محلول و پروتئین کل

اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) و کربوهیدرات محلول به روش کلس و آنسل (Keleş and Öncel, 2002) و پروتئین به روش بردفورد (Bradford, 1976) انجام شد.

### تجزیه آماری داده‌ها

به منظور محاسبه ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورفولوژیک از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری صفات با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9 و Excel انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل تجزیه واریانس نشان داد که اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی از لحاظ صفات مورفولوژیکی و

رشد و عملکرد گیاهان در اکوسیستم‌ها، تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر نوع گونه، اقلیم منطقه، محیط خاک، ارتفاع از سطح دریا و موقعیت جغرافیایی قرار دارد. تنوع زیاد صفات مورد مطالعه در جمعیت‌های مورد بررسی نشان‌دهنده این است که انتخاب تک ژنوتیپ‌ها برای اصلاح جامعه گیاهی از لحاظ صفات مورد مطالعه مؤثر خواهد بود (Omidbeigi, 1996). در کل می‌توان گفت که وجود اختلاف معنی‌دار بین صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بیانگر وجود تنوع ژنتیکی است که اولین گام در اصلاح و استفاده بهینه از ژنوتیپ بومی است (Shaykh and Bazi, 2013). در تحقیق حاضر نیز مشخص شد که اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی از لحاظ صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی دارای اختلافات گوناگون و تنوع زیادی هستند.

در بررسی ویژگی‌های مورفولوژی دو اکوتیپ پونه، مشخص شده که بین اکوتیپ‌های مختلف به لحاظ ارتفاع گیاه، طول برگ، تعداد ساقه‌های جانبی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشته است (Abbaszadeh et al., 2012). همچنین در تحقیقی دیگر، مشخص شده است اثر ارتفاع گیاه و نوع اکوتیپ به‌طور معنی‌داری خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گزنه را تحت تأثیر قرار داده و از طرفی نیز طول برگ، عرض برگ و لندام هوایی گیاه با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش یافته است (Najarfiruzjaie et al., 2014). در تحقیق حاضر مشخص شد گیاهانی که دارای شاخ و برگ بیشتر بودند الزاماً مواد فیتوشیمیایی بیشتری نداشتند اما گیاهانی که دارای وزن خشک و تر ریشه بیشتر و همچنین طول ریشه بیشتر بودند، دارای مواد فیتوشیمیایی بیشتر نیز بودند که می‌تواند به این دلیل نیز باشد که گیاهانی که طول ریشه بیشتر داشتند با جذب مواد غذایی بیشتر، توانستند ثبات بیشتری در تولید مواد شیمیایی داشته است.

پرویلین یکی از اسیدآمین‌های فعال در پدیده اسمزی است که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش بسزایی دارد و گزارش‌هایی نیز بر وجود همبستگی مثبت بین انباشت پرویلین و سازش به شرایط تنش اسمزی و خشکی در گیاهان ذکر شده است (Babaie et al., 2010; Larkunthod et al., 2018; Li et al., 2018). در تحقیق حاضر اکوتیپ ختمی خبازی مشهد بیشترین انباشت پرویلین را داشته و بر اساس همبستگی

فیتوشیمیایی متفاوت بوده‌اند ( $P < 0.01$ ) (جدول‌های ۲ و ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد اکوتیپ مشهد از نظر صفات قطر ساقه، طول ریشه، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، اکوتیپ رودبار از نظر وزن تر لندام هوایی، اکوتیپ بندرعباس از نظر وزن تر و خشک لندام هوایی، تعداد برگ در بوته، تعداد گل، تعداد بذر و تعداد گل، اکوتیپ تربت‌حیدریه از نظر تعداد گل و تعداد بذر در بوته دارای برتری معنی‌دار نسبت به سایر ارقام بودند (جدول ۴).

بیشترین ارتفاع ساقه (۴۰/۵۵ سانتی‌متر) متعلق به اکوتیپ جیرفت و کمترین میزان ارتفاع ساقه (۱/۸۱ سانتی‌متر) متعلق به اکوتیپ مشهد بود. افزایش ارتفاع در گیاهان به دلیل تشکیل برگ‌های بیشتر باعث افزایش جذب نور خورشید شده و از طریق افزایش تولید مواد فتوسنتزی موجب محصول دهی بهتر می‌شود (Feizi and Fahmideh, 2017). بیشترین قطر ساقه (۹/۵۸ میلی‌متر) متعلق به اکوتیپ مشهد و کمترین قطر ساقه (۳/۵۴ میلی‌متر) متعلق به اکوتیپ زابل بود. بیشترین طول ریشه با ۶۱/۲۲ سانتی‌متر متعلق به اکوتیپ مشهد و کمترین طول ریشه با ۹/۵۵ سانتی‌متر متعلق به اکوتیپ رودبار بود (جدول ۴).

بیشترین مقدار وزن تر و وزن خشک ریشه متعلق به اکوتیپ مشهد و کمترین مقدار متعلق به اکوتیپ جیرفت بود. بیشترین مقدار وزن تر گیاه در اکوتیپ رودبار و کمترین مقدار در اکوتیپ خرم‌دشت مشاهده شد. بیشترین مقدار وزن خشک گیاه و تعداد برگ در بوته، متعلق به اکوتیپ بندرعباس و کمترین آن متعلق به خرم‌دشت بود. بیشترین تعداد گل و تعداد بذر در بوته نیز در اکوتیپ‌های بندرعباس و تربت‌حیدریه مشاهده شد و کمترین آن متعلق به اکوتیپ جیرفت و فریمان بود (جدول ۴).

آزمون دانکن نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در اکوتیپ فریمان، کمترین میزان کلروفیل b در اکوتیپ‌های مشهد و رودبار، کمترین میزان کارتنوئید در اکوتیپ بندرعباس، بیشترین میزان پرویلین و کربوهیدرات به ترتیب در اکوتیپ‌های مشهد و رودبار، کمترین میزان پرویلین در اکوتیپ زابل، کمترین میزان کربوهیدرات در اکوتیپ تربت‌حیدریه، بیشترین میزان پروتئین کل در اکوتیپ جیرفت و کمترین میزان پروتئین کل در اکوتیپ‌های فریمان، تربت‌حیدریه، بندرعباس و خرم‌دشت مشاهده شد (جدول ۵).

پرویلین و قندهای محلول در لندام‌های هوایی گردید (Lotfi *et al.*, 2014). همچنین گزارش شده که طول ریشه با پرویلین گیاه همبستگی مثبت داشته (Babaie *et al.*, 2010) در تحقیق حاضر اکوتیپ ختمی خبازی مشهد، پرویلین بیشتری داشت از طرفی دیگر طول ریشه بیشتری نیز نسبت به سایر اکوتیپ‌ها داشته است.

بین پرویلین و تحمل به خشکی، می‌توان گفت این اکوتیپ متحمل به خشکی خواهد بود هر چند جهت اثبات این قضیه، بایستی آزمایش‌های تکمیلی صورت گیرد. از طرفی بین پرویلین و تنش خشکی همبستگی بوده به طوری که گزارش شده تنش خشکی بر بیشتر صفات مورفولوژیک و عملکرد سرشاخه گل‌دار و برگ اثر منفی داشته اما موجب افزایش طول ریشه، میزان

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 2- Analysis of variance of morphological traits in different *M. sylvestris* ecotypes

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares									
		ارتفاع اندام هوایی Plant height	قطر ساقه Stem diameter	طول ریشه Root length	وزن تر ریشه Root wet weight	وزن خشک ریشه Plant dry weight	وزن تر اندام هوایی Plant fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Plant dry weight	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد گل Number of flowers	تعداد بذر در بوته Number of seeds
اکوتیپ Ecotype	8	2798.73**	41.77**	2174.75**	305.85**	21.85**	346.99**	9.78**	734.92**	151.38**	114.25**
خطا Error	72	23.27	2.3584	34.23	4.490	0.3978	20.674	1.1134	40.867	23.679	13.290

\*\*؛ معنی‌دار در سطح احتمال ۱

\*\*؛ significant at the level of 0.01

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 3- Analysis of variance of physiologic traits in different *M. sylvestris* genotypes

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares					
		کلروفیل a Chlorophyll-a	کلروفیل b Chlorophyll-b	کارتنوئید Carotenoids	پروتئین کل Total Protein	کربوهیدرات Carbohydrate	پرویلین Proline
اکوتیپ Ecotype	8	0.0943*	0.0250**	0.0598**	0.0213**	0.1655**	0.803**
خطا Error	18	0.0299	0.0031	0.0094	0.0010	0.0179	0.0029
CV	-	14.69	12.01	8.44	14.58	9.04	13.20

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

\*\* and \* significant at the level of 0.01 and 0.05, respectively

پرویلین (Sreevalli *et al.*, 2000) Petriwinkle medicina L. و قندهای محلول افزایش یافته و این افزایش غلظت اسمولیت‌های سازگار مانند کربوهیدرات و پرویلین تحت تأثیر تنش محیطی مانند خشکی نیز به اثبات رسیده است (Heidari and Karami, 2014). به نظر می‌رسد که تجمع ترکیباتی همانند پرویلین و کربوهیدرات در بافت سبز گیاه تحت

در برخی از گیاهان در مراحل اولیه تنش کم‌آبی چندین اسیدآمینو افزایش می‌یابد که با ادامه کم‌آبی فقط اسیدآمینو پرویلین بیشتر تجمع و ذخیره شده و در مطالعاتی با افزایش تنش خشکی در بادرنجبویه (Ardekani *et al.*, 2007)، بادرنجبویه (Safikhani, 2006) مریم‌گلی (Bettaieb *et al.*, 2009)، Cymbopogon martinii (Fatima *et al.*, 1999) و

### ضریب همبستگی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد مطالعه

ضرایب همبستگی ساده بین صفات ارزیابی مورد مطالعه، محاسبه شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که بین تعداد برگ با ارتفاع گیاه و وزن خشک اندام هوایی، همبستگی مثبت و معنی‌دار، در حالی که بین تعداد برگ با وزن تر اندام هوایی همبستگی منفی و معنی‌دار بوده است. تعداد بذر با وزن تر ریشه و قطر ساقه و وزن خشک ریشه اثر منفی و معنی‌داری را دارا بود. تعداد بذر با وزن خشک اندام هوایی و تعداد گل اثر همبستگی مثبت و معنی‌داری را داشته است.

تنش خشکی می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم آورد، اما اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و گیاه این هزینه را از طریق کاهش عملکرد جبران می‌کند (Good and Zaplachinski, 1994)؛ اما در تحقیق حاضر اکوتیپ ختمی خبازی مشهد هر چند نسبت به اکوتیپ ختمی خبازی بندرعباس در رتبه دوم وزن تر اندام‌های بوده اما بر اساس تمامی صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده بیشترین مقدار داشته است یعنی تجمع ترکیباتی همانند پرولین و کربوهیدرات در بافت سبز گیاه نتوانسته عملکرد گیاه را کاهش دهد که می‌تواند به علت طول ریشه و قطر ساقه بیشتر این اکوتیپ نسبت به سایر اکوتیپ‌ها دانست.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورفولوژی در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 4- Mean comparison of the morphological traits in different *M. sylvestris* L. ecotypes

اکوتیپ Ecotype	ارتفاع اندام هوایی Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (m)	طول ریشه Root length (cm)	وزن تر ریشه Root wet weight (g)	وزن خشک ریشه Plant dry weight (g)	وزن تر اندام هوایی Plant fresh weight (g)	وزن خشک اندام هوایی Plant dry weight (g)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد گل Number of flowers	تعداد بذر در بوته Number of seeds
زابل Zabol	33.66b	3.54d	13.44ef	1.18ef	0.47de	18.18c	4.08b	30.66ab	20.11a	17.11b
بندرعباس Bandar Abbas	36.77ab	3.93d	15.00f	0.62f	0.27de	24.23a	5.64a	30.77a	23.77a	20.55a
جیرفت Jiroft	40.55a	3.75d	17.22de	0.48f	0.20e	19.02bc	3.72bc	22.88c	14.33b	12.33c
رودبار Rudbar	33.55b	4.14cd	9.55f	0.65f	0.27de	25.49a	3.14bcd	24.00c	14.22b	12.11c
زرند Zarand	3.61c	5.51c	21.88cd	5.62bc	2.23bc	13.63d	2.25d	12.00d	20.11a	17.11b
تربت حیدریه Torbat	3.33c	3.88d	23.44c	3.16de	0.82d	10.41de	2.84cd	8.22d	23.77a	20.55a
Heydariyeh فریمان Fariman	2.27c	7.74b	29.22b	6.85b	2.70b	18.44c	3.55bc	24.44c	14.33b	12.33c
مشهد Mashhad	1.81c	9.58a	61.22a	18.86a	4.84a	23.23ab	3.37bc	24.66bc	14.22b	12.11c
خرمدشت Khorramdasht	3.55c	3.71d	32.66b	4.69cd	1.69c	7.59e	2.23d	7.44d	20.11a	17.11b

میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters are statistically not significant

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژی در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 5- Mean comparison of physiological traits in different *M. sylvestris* ecotype

اکوتیپ Ecotype	کلروفیل A Chlorophyll-A(mg/mL)	کلروفیل B Chlorophyll-B(mg/mL)	کارتنوئید Carotenoids (mg/mL)	پروتئین کل Total Protein (mg/mL)	کربوهیدرات Carbohydrate (mg/mL)	پرولین Proline (mg/mL)
زابل Zabol	0.877bcd	0.429cdef	1.114bc	0.237b	1.350def	0.154f
بندرعباس Bandar Abbas	0.937bcd	0.401def	0.975c	0.143c	1.748ab	0.456cd
جیرفت Jiroft	0.907bcd	0.565ab	1.136bc	0.369a	1.625abc	0.401d
رودبار Rudbar	0.862cd	0.492bcd	1.222b	0.271b	1.850a	0.552ab
زرنند Zarand	0.754d	0.390ef	1.076bc	0.243b	1.570bcd	0.501bc
تربت حیدریه Torbat	0.902bcd	0.465cde	1.129bc	0.180c	1.125f	0.233ef
Heydariyeh فریمان Fariman	1.330a	0.634a	1.481a	0.136c	1.427cde	0.554ab
مشهد Mashhad	1.166ab	0.345f	1.067bc	0.238b	1.315ef	0.614a
خرمدشت Khorramdasht	1.056cd	0.512bc	1.135bc	0.133c	1.305ef	0.254e

میانگین‌های با حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters are statistically not significant

رگرسیون‌های بر روی صفات طول ریشه، وزن خشک گیاه و وزن تر گیاه و صفت فیزیولوژیک محتوای پرولین از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. پس از بررسی هم‌راستایی بر روی متغیرهای اندازه‌گیری شده صفات مزاحم از ادامه محاسبات حذف و پس از آن تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام بر روی سایر صفات انجام شد. در این مدل مقدار آلفا برای ورود و خروج متغیرها از مدل رگرسیون به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۱ در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام اثر صفات بر عملکرد وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه و طول ریشه و به‌عنوان متغیر وابسته نشان داد که در وزن تر گیاه شش صفت ارتفاع گیاه از طوقه، طول ریشه، وزن تر ریشه، وزن خشک گیاه، تعداد برگ در بوته و تعداد گل به ترتیب وارد مدل شدند و در وزن خشک گیاه پنج صفت طول ریشه، وزن تر ریشه، تعداد برگ در بوته، تعداد بذر در بوته و وزن تر گیاه به ترتیب وارد مدل شدند و در طول ریشه چهار صفت به ترتیب قطر ساقه، وزن تر ریشه، وزن تر گیاه و وزن خشک گیاه وارد مدل شدند (معادله ۱).

ضرایب معادله مذکور، تأثیر نسبی تغییرات هر یک از

با تعیین ضریب همبستگی مشخص شد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن تر ریشه با وزن خشک ریشه ( $r=0/96$ )، وزن تر گیاه با وزن خشک گیاه ( $r=0/73$ )، تعداد بذر در بوته با تعداد گل ( $0/91$ )، وزن خشک ریشه با قطر ساقه ( $0/78$ )، تعداد برگ در بوته با وزن خشک ( $r=0/79$ ) وجود دارد. ارتفاع گیاه از طوقه با وزن خشک ریشه ( $-0/66$ )، وزن تر ریشه ( $-0/59$ )، طول ریشه ( $-0/61$ ) و همچنین با قطر ساقه ( $-0/45$ ) همبستگی منفی و معنی‌داری داشته است.

بین کارتنوئید با کلروفیل a ( $0/612$ ) و کلروفیل b ( $0/782$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. بین کلروفیل a و کلروفیل b ( $0/532$ ) و همچنین بین پرولین و کربوهیدرات ( $0/404$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. بین صفات پرولین، کربوهیدرات و پروتئین کل با کلروفیل a و کلروفیل b همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷).

### تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام

به منظور حذف اثر صفات غیر مؤثر یا کم تأثیر در مدل

متغیرهای موجود در مدل را بر وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه و طول ریشه نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال، طبق ضرایب این معادله، تغییر وزن تر گیاه به ازای هر واحد تغییر ارتفاع گیاه از طوقه ۰/۰۹ واحد است در حالی که به ازای هر واحد افزایش یا کاهش طول ریشه ۰/۲۷ واحد خواهد بود.

جدول ۶- مقادیر ضرایب همبستگی صفات در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 6- Amounts of traits correlation coefficient in different *M. sylvestris* ecotypes

منابع تغییر Sources of variation	ارتفاع اندام هوایی Plant height(cm)	قطر ساقه Stem diameter(mm)	طول ریشه Root length(cm)	وزن تر ریشه Root fresh weight(g)	وزن خشک ریشه Plant dry weight(g)	وزن تر اندام هوایی Plant fresh weight(g)	وزن خشک اندام هوایی Plant dry weight(g)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد گل Number of flowers
قطر ساقه Stem diameter	-0.45**								
طول ریشه Root length	-0.061**	0.64**							
وزن تر ریشه Root fresh weight	-0.59**	0.75**	0.94**						
وزن خشک ریشه Root dry weight	-0.66**	0.78**	0.89**	0.96**					
وزن تر اندام هوایی Plant fresh weight	0.51**	0.25*	-0.02 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>				
وزن خشک اندام هوایی Plant dry weight	0.52**	0.02 <sup>ns</sup>	-0.16 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>	-0.16 <sup>ns</sup>	0.73**			
تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	0.59**	0.14 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	-0.87**	0.79*		
تعداد گل Number of flowers	0.07 <sup>ns</sup>	-0.26*	-0.19 <sup>ns</sup>	-0.24*	-0.24*	-0.05 <sup>ns</sup>	0.30**	0.06 <sup>ns</sup>	
تعداد بذر در بوته Seed number	0.05 <sup>ns</sup>	-0.30**	-0.20 <sup>ns</sup>	-0.25*	-0.27*	-0.12 <sup>ns</sup>	0.25*	0.01 <sup>ns</sup>	0.91**

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و <sup>ns</sup> غیر معنی‌دار

\*\* and \* significant at the level of 0.01 and 0.05, respectively; ns none-significant

جدول ۷- مقادیر ضرایب همبستگی صفات در اکوتیپ‌های مختلف ختمی خبازی

Table 7- Amounts of traits correlation coefficient in different *M. sylvestris* ecotypes

منابع تغییر Sources of variation	کلروفیل a Chlorophyll-a	کلروفیل b Chlorophyll-b	کارتنوئید Carotenoids	پروتئین کل Total Protein	کربوهیدرات Carbohydrate
کلروفیل b Chlorophyll-b	0.532**				
کارتنوئید Carotenoids	0.612**	0.783**			
پروتئین کل Total Protein	-0.355 <sup>ns</sup>	-0.006 <sup>ns</sup>	-0.979 <sup>ns</sup>		
کربوهیدرات Carbohydrate	-0.231 <sup>ns</sup>	0.037 <sup>ns</sup>	-0.061 <sup>ns</sup>	0.283 <sup>ns</sup>	
پرولین Proline	0.285 <sup>ns</sup>	-0.021 <sup>ns</sup>	0.205 <sup>ns</sup>	0.113 <sup>ns</sup>	0.404*

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و <sup>ns</sup> غیر معنی‌دار

\*\* and \* significant at the level of 0.01 and 0.05, respectively; ns none-significant

نتایج ضرایب رگرسیون گام‌به‌گام (معادله ۱) نشان داد که بیشترین اثر روی طول ریشه بودند و ۰/۹۲ درصد تغییرات این صفت را توجیه کردند. طول ریشه و وزن تر ریشه و تعداد برگ قطر ساقه، وزن تر ریشه، وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه دارای

### معادله ۲- مقادیر ضرایب رگرسیونی متغیرهای

وارد شده به مدل رگرسیون گام به گام صفات فیزیولوژیک

$$\begin{aligned} & - \text{ (کلروفیل a)} = 0/42440 + 0/60102 - \text{ پرولین} \\ & \text{ (کارتنوئید)} + 0/4750 \text{ (کلروفیل b)} + 1/16193 \\ & \text{ (پروتئین)} + 0/399 + 0/3467 \text{ (کربوهیدرات)} \end{aligned}$$

اگرچه عملکرد اکثر گیاهان به ویژه گیاهان دارویی طی ده‌های گذشته افزایش یافته است، ولی فرآیندهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی زمینه‌ساز این افزایش عملکرد به خوبی شناخته نشده‌اند (Tollenaar, 1991). برخی محققین به همبستگی مثبت صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد گیاهان دارویی پونه (*Mentha pulegium*)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) و آویشن (*Thymus vulgaris*) اشاره کردند (Kültür, 2007; MirzaeeNadooshan et al., 2001) از طرفی اگر منابع افزایش عملکرد گیاهان دارویی شناخته شوند ممکن است بتوان راه‌هایی را برای بهبود مدیریت زراعی و تغذیه‌ای مشخص نمود (O'Connor, 2019)، بر این اساس مطالعه تنوع در گیاهان خانواده پنیرکیان از جمله ختمی خبازی نه تنها اطلاعات مفیدی درباره حفظ اکوتیپ‌های آن فراهم می‌کند بلکه می‌تواند به منظور ارزیابی جمع‌آوری و کاربرد ژرم پلاسما این گیاهان در برنامه‌های اصلاحی و تولید تجاری مفید باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

در نتایج تجزیه همبستگی و رگرسیون گام به گام گیاه دارویی ختمی خبازی بیشترین ضرایب مثبت رگرسیون عملکرد صفت پرولین، صفت وزن تر ریشه و وزن خشک گیاه بر عملکرد طول ریشه داشتند که نشانگر نقش اساسی تر این صفات در افزایش عملکرد و قابلیت اصلاحی این صفات می‌باشند. در مجموع در مطالعه حاضر نشان داد که صفت مربوط به ریشه در جمعیت ختمی خبازی مشهود تأثیر مهمی در عملکرد نهایی داشته و اکوتیپ مشهود نیز مطلوب‌ترین بازده را از نظر صفات مورد ارزیابی نشان داده که به دلیل داشتن عملکرد بالا در این صفات برای بهره‌برداران نظیر مراکز تحقیقاتی، دانشگاه‌ها و بخش‌های خصوصی که به امر کشت و اهلی کردن گیاهان دارویی مبادرت دارند این اکوتیپ قابل توصیه است.

در بوته، تعداد بذر در بوته و وزن گیاه دارای بیشترین اثر در وزن خشک گیاه بودند و ۰/۷۶ درصد تغییرات این صفت را توجیه کردند همچنین ارتفاع گیاه از طوقه، طول ریشه و وزن تر ریشه، وزن خشک گیاه، تعداد برگ در بوته و تعداد گل دارای بیشترین اثر در وزن تر گیاه بودند و ۰/۸۴ درصد تغییرات این صفات را توجیه کردند.

نتایج این تجزیه گام به گام نشان داد که بیشترین اثر مستقیم و مثبت مربوط به صفت وزن تر ریشه و وزن خشک گیاه بر عملکرد طول ریشه داشت و قطر ساقه و وزن تر گیاه اثر منفی را بر روی طول ریشه داشت. منفی بودن وزن تر گیاه و قطر ساقه بر صفت طول ریشه مؤید این امر است که با افزایش طول ریشه قطر ساقه و وزن گیاه با کاهش مواجه می‌شود. طول ریشه و تعداد برگ در بوته و تعداد بذر در بوته و وزن گیاه اثر مثبت و وزن تر ریشه اثر منفی را بر روی وزن خشک گیاه داشت همچنین ارتفاع از طوقه گیاه و وزن تر ریشه و وزن خشک گیاه و تعداد برگ در بوته و تعداد گل اثر مثبت و طول ریشه اثر منفی را بر روی عملکرد وزن تر گیاه داشت. منفی بودن طول ریشه بر صفت وزن تر گیاه مؤید این امر است که با افزایش وزن تر گیاه طول ریشه کاهش می‌یابد.

تجزیه رگرسیون برای عملکرد پرولین به عنوان متغیر تابع نتایج نشان داد که ۵ صفت کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، کربوهیدرات و پروتئین به ترتیب وارد مدل شدند و جمعاً ۰/۵۱ درصد از تغییرات صفت پرولین را توجیه نمودند (معادله ۲). با توجه به ضرایب رگرسیون به دست آمده مشاهده می‌شود که بیشترین ضرایب رگرسیون مربوط به صفت کارتنوئید است.

### معادله ۱- مقادیر ضرایب رگرسیونی متغیرهای

وارد شده به مدل رگرسیون گام به گام صفات مورفولوژیک

$$\begin{aligned} & 0.27 - \text{ (ارتفاع از طوقه گیاه)} = 8.64 + 0.09 \text{ = وزن تر گیاه} \\ & \text{ (وزن خشک گیاه)} + 1.73 \text{ (وزن تر ریشه)} + 1.02 \text{ (طول ریشه)} \\ & \text{ (تعداد گل)} + 0.14 \text{ (تعداد برگ در بوته)} + 0.29 \\ & 0.16 - \text{ (طول ریشه)} = -1.14 + 0.05 \text{ = وزن خشک گیاه} \\ & \text{ (تعداد بذر)} + 0.07 \text{ (تعداد برگ در بوته)} + 0.05 \text{ (وزن تر ریشه)} \\ & \text{ (وزن گیاه)} + 0.09 \text{ (در بوته)} \\ & \text{ (وزن تر)} + 2.092 \text{ (قطر ساقه)} - 0.82 = 17.84 \text{ = طول ریشه} \\ & \text{ (وزن خشک گیاه)} + 1.76 \text{ (وزن تر گیاه)} - 0.48 \text{ (ریشه)} \end{aligned}$$

## References

- Abbaszadeh, B., Rezaee, M. and Layegh haghghi, M., 2012. Investigation Morphological Characteristics and Essential Oil Component of 2 Ecotypes of Watermint (*Mentha aquatica* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 1, pp.248-257. doi: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.33.9
- Alemzadeh Ansari, N., Safaiyan, N., Mousavi, M. and Beiranvand, Z., 2014. Evaluation of genetic diversity some of Iranian parsley native populations using morphological characteristics and physiological properties. *Applied Crop Breeding*, 2, pp.139-152.
- Ardekani, M.R., Abbaszadeh, B., Sharifi-Ashourabadi, E., Lebaschi, M.H. and Paknejad, F., 2007. The effect of water deficit on quantitative and qualitative characters of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23, pp.251-261. [In Persian]
- Arnon, D.I., 1965. Ferredoxin and Photosynthesis: An iron-containing protein is a key factor in energy transfer during photosynthesis. *Science*, 149(3691), pp.1460-1470. doi: 10.1126/science.149.3691.1460
- Azooz, M., 2009. Salt stress mitigation by seed priming with salicylic acid in two faba bean genotypes differing in salt tolerance. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, pp.343-350. doi: 09-039/caj/2009/11-4-343-350
- Babaie, K., Aminidehghi, M., Modares Sanavi, A., and Jabari, R., 2010. Effect of drought stress on morphological traits, proline content and thymol percentage in Thyme. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 26, pp.239-251. [In Persian]. doi: 10.22092/ijmapr.2010.6939
- Babalar, M., Khoshokhan, F., Fattahi Moghaddam, M.R. and Pourmeidani, A., 2013. An Evaluation of the Morphological Diversity and Oil Content in some Populations of *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 44, pp.119-128. [In Persian]. doi: 10.22059/ijhs.2013.35045
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, pp.205-207. doi: 10.1007/bf00018060
- Beghdad, M.C., Benammar, C., Bensalah, F., Sabri, F.-Z., Belarbi, M. and Chemat, F., 2014. Antioxidant activity, phenolic and flavonoid content in leaves, flowers, stems and seeds of mallow (*Malva sylvestris* L.) from North Western of Algeria. *African Journal of Biotechnology*, 13, pp.486-491. doi: 10.5897/ajb2013.12833
- Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannas, W.A., Kchouk, M. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Scientia Horticulturae*, 120, pp.271-275. doi: 10.1016/j.scienta.2008.10.016
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, pp.248-254.
- Davari, A., Solouki, M. and Fazeli-Nasab, B., 2018. Effects of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on process of changes of phytochemical and antioxidant in genotypes of *Satureja hortensis* L. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 5, pp.1-20.
- Fatima, S., Abad Farooqi, A., Ansari, S. and Sharma, S., 1999. Effect of water stress on growth and essential oil metabolism in *Cymbopogon martinii* (palmarosa) cultivars. *Journal of Essential Oil Research*, 11, pp.491-496.

**doi: 10.1080/10412905.1999.9701193**

- Fazelienasab, B., Omidi, M. and Amiritokaldani, M. 2004. Effects of abscisic acid on callus induction and regeneration of different wheat cultivars to mature embryo culture. *News directions for a diverse planet: Proceedings of the 4th International Brisbane, Australia*, 26.
- Fazeli-nasab, B. and Fooladvand, Z. 2016. A Review on Iranian *Carum copticum* (L.): Composition and Biological Activities. *European Journal of Medicinal Plants*, 12, pp.1-8.
- Feizi, M. and Fahmideh, L., 2017. Evaluation of agronomic traits and Yield Potential Diversity Inbred Wheat Inbred Lines *Triticum aestivum* L. Derived from Roshan×Falat Cultivar. *Journal of Crop Breeding*, 8, pp.30-24. **doi: 20.1001.1.22286128.1395.8.20.3.0**
- Gajera, H., Tomar, R., Patel, S., Viradia, R. and Golakiya, B. 2011. Comparison of RAPD and ISSR markers for genetic diversity analysis among different endangered *Mangifera indica* genotypes of Indian Gir forest region. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 20, pp.217-223. **doi: 10.1007/s13562-011-0049-2**
- Good, A.G. and Zaplachinski, S.T., 1994. The effects of drought stress on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum*, 90(1), pp.9-14. **doi: 10.1111/j.1399-3054.1994.tb02185.x**
- Hammad, I. 2009. Genetic variation among *Hibiscus rosa-sinensis* (Malvaceae) of different flower colors using ISSR and isozymes. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3, pp.113-125.
- Heidari, M. and Karami, V., 2014. Effects of different *mycorrhiza* species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13, pp.9-13. **doi: 10.1016/j.jssas.2012.12.002**
- Javidnia, K., Miri, R., Kamalinejad, M. and Nasiri, A., 2002. Composition of the essential oil of *Salvia mirzayanii* Rech. f. & Esfand from Iran. *Flavour and Fragrance Journal*, 17, pp.465-467. **doi: 10.1002/ffj.1128**
- Kashefi, B. and Bahri, F., 2019. The effect of drought stress and hexaconazole on physio-morphological characteristics of *Malva sylvestris* L. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12, pp.877-887. [In Persian]. **doi: 10.22077/escs.2019.1591.1360**
- Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Crouch, J. and Serraj, R., 2006. Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. *Field Crops Res*, 95, pp.171-181. **doi: 10.1016/j.fcr.2005.02.012**
- Keleş, Y. and Öncel, I., 2002. Response of antioxidative defence system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings. *Plant Science*, 163(4), pp.783-790. **doi: 10.1016/s0168-9452(02)00213-3**
- Kültür, Ş., 2007. Medicinal plants used in Kırklareli province (Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*, 111, pp.341-364. **doi: 10.1016/j.jep.2006.11.035**
- Larkunthod, P., Nounjan, N., Siangliw, J.L., Toojinda, T., Sanitchon, J., Jongdee, B. and Theerakulpisut, P., 2018. Physiological responses under drought stress of improved drought-tolerant rice lines and their parents. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46, pp.679-687. **doi: 10.15835/nbha46211188**
- Li, J., Phan, T.-T., Li, Y.-R., Xing, Y.-X. and Yang, L.-T., 2018. Isolation, Transformation and Overexpression of

- Sugarcane SoP5CS Gene for Drought Tolerance Improvement. *Sugar Tech*, 20, pp.464-473. **doi: 10.1007/s12355-017-0568-9**
- Lotfi, M., Abbaszadeh, B. and Mirza, M., 2014. The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 30, pp.19-29. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijmapr.2014.5266**
- MirzaeeNadooshan, H., Rezaie, M.B. and Jaimand, K., 2001. Path analysis of the essential oil-related characters in *Mentha* spp. *Flavour and Fragrance Journal*, 16, pp.340-343. **doi: 10.1002/ffj.1007**
- Mustafa, A. and Ali, M., 2011. New steroidal lactones and homomonoterpenic glucoside from fruits of *Malva sylvestris* L. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 68, pp.393-401.
- Najarfiruzjaie, M., Hemati, K., Khorasaninejad, S., khani, A.D.G. and Fard, A.B., 2014. The effects of altitude on morphological characteristics and biochemical plant leaf *Urtica dioica* L. In Mazandaran and Golestan. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 9, pp.1-11. [In Persian]. **doi: 10.22092/jmpb.2020.343520.1232**
- Noroozi, M. and Kazemeini, S.A., 2013. Effect of water stress and plant density on growth and seed yield of safflower. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10, pp.781-788. [In Persian].
- O'Connor, K. 2019. Selection strategies to improve yield in macadamia using component traits and genomics (A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at The University of Queensland, 186 Pages).
- Omidbeigi, R., 1996. *Approaches to the production and processing of medicinal plants*, Vol 1 (Tehran: Fekreraz). [In Persian].
- Omidbeigi, R., 2012. *Production and processing of medicinal plants*, 6 edn (Tehran). [In Persian].
- Pakravan, M., 2006. New findings of the genus *Malva* L. in Iran. *Iranian Journal of Botany*, 11, pp.247-249.
- Paykarestan, B., Seify, M., Anajafi, M. and Chavoshi, S., 2012. Effect of mint essence and ultraviolet on thyme and hock seed germination. *Journal of New Finding in Agricultural*, 6, pp.215-220. [In Persian].
- Razavi, M., Zarrini, G., Molavi, G. and Ghasemi, G., 2011. Bioactivity of *Malva Sylvestris* L., a Medicinal Plant from Iran. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 14, pp.574-579.
- Sachdeva, S., Bharadwaj, C., Sharma, V., Patil, B., Soren, K., Roorkiwal, M., Varshney, R. and Bhat, K., 2018. Molecular and phenotypic diversity among chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes as a function of drought tolerance. *Crop Pasture Sci*, 69, pp.142-153. **doi: 10.1071/cp17284**
- Safikhani, F. 2006. Investigation on physiological resistance aspects under drought stress of *Dracocephalum moldavica* L (Chamran University). Ph.D. Thesis, Chamran University. 352 pp. [In Persian].
- Seyyednejad, S.M., Yusefi, M., Vaezi, J. and Karamizadeh, F., 2013. Air Pollution Effect on Physiological, Anatomical and Morphological Characteristics of Two Plant Species *Malva Parviflora* and *Hordeum Glaucum* in Steel Factory Area in Ahvaz. *Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture)*, 35, pp.105-116.
- Shale, T., Stirk, W. and Van Staden, J., 2005. Variation in antibacterial and anti-inflammatory activity of different growth forms of *Malva parviflora* and evidence for synergism of the anti-inflammatory compounds. *Journal of Ethnopharmacology*, 96, pp.325-330. **doi: 10.1016/j.jep.2004.09.032**

- Shaykh, F. and Bazi, H. 2013. Investigation on the variation of indigenous populations of squash in Golestan province. In National Symposium on Natural Products and Medicinal Plants. [In Persian].
- Shoshtariyan, S., Ghahramanlo, A., Izadidarbandi, E. and Alirezaienoghondar, M., 2010. Effect of cropping pattern (cultivar distance) on yield of bacon bacon. *National Conference on Medicinal Plants and Recognition of its Economic Potential and its Occupation, Islamic Azad University, Birjand Branch*, [In Persian].
- Singh, S. 2003. Cluster analysis for heterosis in wheat [*Triticum aestivum* (L.) em. Theil.]. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 63, pp.249-250.
- Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R. and Kulkarni, R., 2000. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. *Agricultural and Food Sciences*. 22, pp.356-358.
- Stachel, M., Lelley, T., Grausgruber, H. and Vollmann, J. 2000. Application of microsatellites in wheat (*Triticum aestivum* L.) for studying genetic differentiation caused by selection for adaptation and use. *Theoretical and applied genetics*, 100, pp.242-248. doi: 10.1007/s001220050032
- Tollenaar, M., 1991. Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Science*, 31, pp.119-124. doi: 10.2135/cropsci1991.0011183x003100010029x
- Zouari, M., Elloumi, N., Ahmed, C.B., Delmail, D., Rouina, B.B., Abdallah, F.B. and Labrousse, P., 2016. Exogenous proline enhances growth, mineral uptake, antioxidant defense, and reduces cadmium-induced oxidative damage in young date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Ecological Engineering*, 86, pp.202-209. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.11.016

## The use of morphological and physiological characteristics and regression step by step to the evaluation of the different ecotypes of Iranian Malva (*Malva sylvestris* L.)

Anahita Pahlavan<sup>1</sup>, Mahmoud Solouki<sup>2</sup>, Baratali Fakhri<sup>2</sup>, Bahman Fazeli-Nasab<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Horticultural, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>2</sup> Department of Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>3</sup> Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran

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

Received: 13 April 2022

Accepted: 29 May 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.226842.1067

### Abstract

**Introduction:** *Malva sylvestris*, commonly known as the common mallow, is a flowering plant species in the genus Malva. It is native to Europe, North Africa, and Western Asia, and has been introduced to other parts of the world. The plant has been known since ancient times and is considered the "type-species" for the genus. The leaves are edible and the plant (and seeds) are used as herbal remedies. *Malva sylvestris* is either a perennial or biennial plant. It spreads readily from seed and can self-seed prolifically. The seeds resemble small wheels or discs. The plant is known to be susceptible to a virus called Malva vein clearing potyvirus, which is transmitted by aphids. It also contains compounds such as malvin, malonylmalvin, and the naphthoquinone malvone A. The aim of this article is to evaluate the various (nine) ecotypes of Iranian *Malva sylvestris* L. by analyzing their morphological and physiological characteristics. By employing a step-by-step regression approach, the study seeks to identify significant traits that differentiate these ecotypes. The research intends to enhance understanding of the adaptive strategies of *Malva sylvestris* in diverse environmental conditions. Ultimately, the findings aim to contribute valuable insights for conservation efforts and the potential use of these ecotypes in horticulture and agriculture. This comprehensive evaluation will also provide a foundation for future studies on the species' ecological adaptability.

**Materials and Methods:** In this study, 9 ecotypes of *Malva sylvestris* were collected in 2017 from different habitats in Iran (Mashhad, Torbat-e Heydariyeh, Fariman, Zabol, Zarand, Jiroft, Rudbar, Bandar Abbas and Khorramdasht) (Table 1) and identified in the Herbarium of Torbat-e Heydariyeh University. They were then cultivated in a completely randomized design with three replications in late February 2018 in the greenhouse of the Agricultural Research Institute of the University of Zabol and evaluated in May 2019. The seeds of each ecotype were planted in 5-liter pots (after germination and thinning, five plants of each ecotype were kept in each pot) in a growing medium consisting of an equal mixture of agricultural soil, coco peat, perlite, and well-rotted animal manure. Irrigation was calculated based on the temperature conditions in Sistan and the greenhouse, as well as the field capacity of the pot mixture, and was carried out regularly until flowering. At full flowering, the stem diameter and length of three plants from each pot were randomly measured and their means were considered for each treatment. At this stage, the number of flowers with seeds and the number of leaves of each plant were counted. Fresh and dry weights of root, stem and whole plant were measured with a digital scale (0.01 g accuracy). For dry weight measurement, fresh samples were placed in an oven at 70°C for 48 hours. Chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid contents were determined. The absorbance of the samples for chlorophyll a and b and carotenoids was measured at wavelengths of 663, 645 and 470 nm, respectively, using a spectrophotometer. Proline, soluble carbohydrates, and protein were measured. Pearson correlation coefficients were used to calculate simple correlation coefficients between morphological traits. Statistical analysis of traits was performed using SAS Ver. 9 and Excel software, and means were compared by Duncan's method at 1% and 5% probability levels.

**Results and Discussion:** The highest stem diameter (9.58 mm), root length (61.22 cm), root weight (18.86 g), root dry weight (4.84 g), and proline content (0.614) belonged to Mashhad ecotype. The number of leaves had a negative and significant correlation with the fresh weight of the plant, while it had a positive and significant correlation with plant height and shoot dry weight. Other traits did not show a significant correlation with the number of leaves per plant. The highest correlation was observed between morphological traits between fresh weight and leaf dry weight ( $P < 0.01$ ) and in phytochemical traits between carotenoid and chlorophyll b ( $P < 0.05$ ). Based on stepwise regression in the presented models, root weight and plant dry weight had the most positive effect on root length, but stem diameter and plant weight had the most negative effect. Chlorophyll b had the most negative and direct effect on proline yield, but chlorophyll a, carotenoids, carbohydrates, and total protein had the most positive effects, respectively. The variance analysis results indicated significant differences among the various ecotypes of *Malva sylvestris* regarding morphological and phytochemical traits ( $P < 0.01$ ) (Tables 2 and 3). Mean comparisons revealed that the Mashhad ecotype excelled in stem diameter, root length, and fresh and dry root weight, while the Rudbar ecotype showed the highest fresh weight in aerial parts. The Bandar Abbas ecotype had superior fresh and dry weights of aerial parts, leaf count, flower count, and seed count, and the Torbat-e Heydariyeh ecotype was notable for flower and seed counts per plant (Table 4). The tallest stem (40.55 cm) was recorded in the Jiroft ecotype, while the shortest (1.81 cm) was from Mashhad. The greatest stem diameter (9.58 mm) belonged to the Mashhad ecotype, and the smallest (3.54 mm) was found in Zabol. Root length also varied, with the Mashhad ecotype having the longest (61.22 cm) and Rudbar the shortest (9.55 cm) (Table 4). The highest fresh and dry root weights were observed in the Mashhad ecotype, while the Jiroft ecotype had the lowest.

**Conclusion:** In the results of step-wise correlation and regression analysis of the medicinal plant *Malva sylvestris* L., the highest positive regression coefficients for yield were related to the traits of proline content, root fresh weight, and plant dry weight, which indicates their more fundamental role in increasing yield and their potential for improvement. Overall, the present study showed that root-related traits had an important effect on the final yield in the Mashhad population of *Malva sylvestris* L., and the Mashhad ecotype also showed the most desirable performance in terms of the evaluated traits. Due to its high performance in these traits, the Mashhad ecotype is recommended for researchers, universities, and private sectors involved in the cultivation and domestication of medicinal plants.

**Keywords:** Carotenoid, Morphological Traits, Proline, Root height, Stem diameter

## اثر تنظیم کننده‌های رشد جیبرلین و سیتوکنین بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و وزن خشک گیاه استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni)

سیده مهتا رحیم زاده<sup>۱</sup>، وحید پوزش<sup>۲\*</sup>، سید فاضل فاضلی کاخکی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم گیاهی، دانشکده زیست شناسی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

۲- گروه علوم گیاهی، دانشکده زیست شناسی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

\* مسئول مکاتبه: [poozesh@du.ac.ir](mailto:poozesh@du.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.361299.1273

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۸

### چکیده

ارتباط بین یاخته‌ای در گیاهان آلی به منظور رشد و نمو به وسیله پیام آورهای شیمیایی به نام تنظیم کننده‌های رشد گیاه انجام می‌شود. به منظور بررسی تغییرات برخی ترکیبات شیمیایی و وزن خشک اندام هوایی گیاه استویا آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی خراسان رضوی در سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل جیبرلین (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و سیتوکنین (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار قندهای محلول از کاربرد ۵۰ ppm جیبرلین به همراه ۱۰۰ ppm سیتوکنین بدست آمد که نسبت به شاهد ۲۵ درصد افزایش نشان داد. مقدار پروتئین برگ تنها در حضور غلظت‌های مختلف تنظیم کننده رشد جیبرلین معنی‌دار بود. بیشترین مقدار پرولین از کاربرد تلفیقی ۱۰۰ ppm جیبرلین و ۰ ppm سیتوکنین حاصل شد که نسبت به شاهد ۶۳ درصد افزایش نشان داد. بیشترین مقدار کلروفیل b از اعمال سطوح ۵۰ ppm همزمان سیتوکنین و جیبرلین به دست آمد. کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در حضور تیمار ترکیبی دو تنظیم کننده رشدی در سطح ۱۰۰ ppm مشاهده شد و بیشترین مقدار در سطح ۱۰۰ ppm تنظیم کننده رشد جیبرلین به دست آمد. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که وزن خشک اندام هوایی با میزان پرولین همبستگی مثبت و معنی‌داری ( $r = 0.63^{**}$ ) داشت. به طور کلی نتایج نشان داد که سطوح مختلف جیبرلین بر صفت‌های بیوشیمیایی و مورفولوژیکی استویا مؤثرتر از تنظیم کننده رشد سیتوکنین بود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول

### مقدمه

گونه *S. rebaudiana* بیشترین مقدار اسانس شیرین را در میان همه گونه‌ها دارد. گیاهی خود ناسازگار، روز کوتاه، علفی و چند ساله با سیستم ریشه‌ای گسترده، ساقه‌های ترد و شکننده کوچک و برگ‌های افتاده است. ارتفاع گیاه استویا بطور متوسط حدود ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر است که در مواردی به ۱۲۰ سانتی‌متر هم می‌رسد. گیاه استویا در مراحل اولیه زندگی دارای رشد آهسته‌تری است، ولی پس از گذراندن ماه اول و سازگاری با شرایط آب و هوایی منطقه، سرعت رشد گیاه افزایش می‌یابد (Brandle et al., 1998).

ترکیبات شیرین در استویا مربوط به حضور دی‌ترین گلیکوزاید انت-کائورن است که در آب محلول بوده و ۳۰۰ بار شیرین‌تر از شکر معمولی (ساکارز) هستند (Ramesh et al., 2006). برگ‌های استویا از حداقل ۸ گلیکوزاید مختلف انباشته شده است که استویوزید به‌عنوان فراوان‌ترین ترکیب

گیاهان به عنوان یکی از اجزای طبیعت، دارای طیف وسیعی از ویژگی‌های دارویی بوده که از دیرباز پشت‌تولنه غنی نیازهای بشری بوده‌اند (Ahmadi et al., 2004; Omid Beigi, 2011). افزایش جمعیت و کاهش فعالیت بدنی و نوع تغذیه آنها نسبت به گذشته نامناسب‌تر، ناسالم‌تر و پرچم‌تر شده و در نهایت مجموعه این عوامل سبب شیوع بیماری‌های مختلفی از جمله دیابت شده است. در ایران حداقل ۳ میلیون نفر از جمعیت ایران مبتلا به دیابت و بیش از ۶ میلیون نفر در معرض خطر ابتلا به آن هستند (Azarpour et al., 2013). استفاده از گیاهان دارویی مانند استویا می‌تواند نسبت به کنترل شیوع آن در جامعه مفید باشد. گیاه استویا یکی از ۹۵۰ جنس متعلق به خانواده بزرگ کاسنی (Astraceae) است (Talaie, 2010). اگرچه بیش از ۲۰۰ گونه گیاهی در جنس استویا وجود دارد، اما

شیرین کننده، ۵ تا ۱۰ درصد وزن برگ خشک را شامل می شود. ترکیبات ربادیوزید A (۲ تا ۴ درصد برگ خشک)، ربادیوزید B، C (۱ تا ۲ درصد)، ربادیوزید D و E (۰/۴ تا ۰/۷ درصد برگ خشک) و هم چنین دالکوزید AY و استویول بیوزید نیز در این گیاه وجود دارند. از استویا و ترکیب استویوزید می توان بعنوان یک شیرین کننده سالم استفاده کرد (Kim et al., 2011; Ramesh et al., 2006).

رشد و نمو گیاهان حاصل برهمکنش ژنتیک و محیط است به عبارتی دیگر هم عوامل درونی و هم عوامل بیرونی در رشد و نمو گیاهان تأثیر دارند. از مهمترین عوامل درونی، تنظیم کننده های رشد گیاه هستند که عهده دار تنظیم و هماهنگی فرآیندهای مختلف داخل گیاه می باشند (Ahmadi et al., 2004). در مطالعه ای نشان داده شد که در شرایط آزمایشگاهی تیمارهای تنظیم کننده های رشد گیاهی عامل مهمی در بهبود چشمگیر تکثیر و سرعت ریشه زایی گیاه استویا بودند (Haji Mohammadi et al., 2017).

### مواد و روش ها

رشد و نمو گیاهان حاصل برهمکنش ژنتیک و محیط است به عبارتی دیگر هم عوامل درونی و هم عوامل بیرونی در رشد و نمو گیاهان تأثیر دارند. از مهمترین عوامل درونی، تنظیم کننده های رشد گیاه هستند که عهده دار تنظیم و هماهنگی فرآیندهای مختلف داخل گیاه می باشند (Ahmadi et al., 2004). در مطالعه ای نشان داده شد که در شرایط آزمایشگاهی تیمارهای تنظیم کننده های رشد گیاهی عامل مهمی در بهبود چشمگیر تکثیر و سرعت ریشه زایی گیاه استویا بودند (Haji Mohammadi et al., 2017).

هم چنین استفاده بهینه از تنظیم کننده های رشد گیاهی برای تحریک رشد و تمایز قلمه های استویا ضروری است (Hartmann et al., 2010). در آزمایشی بخوبی نشان داده شد که رشد قلمه های استویا در واکنش به تنظیم کننده های رشد گیاهی IAA و NAA به طور پیوسته در حال افزایش بود (Abha Manohar et al., 2022). در این میان GA3 از جمله شناخته ترین تنظیم کننده های رشد گیاهی جیبرلین است که واکنش های رشدی مختلفی را در گیاه سبب می شوند و بیشتر فعالیت آنها رشد طولی میان گره ها است (Rafeekher et al., 2001).

سیتوکینین نوعی دیگر از تنظیم کننده های رشد گیاهی است که مهمترین تأثیر آن در فرآیند تقسیم یاخته ای است (Ojha et al., 2010). بررسی ها نشان داد که می توان از تنظیم کننده رشد سیتوکینین در جهت افزایش لندام زایی و تولید استفاده کرد. بیشترین داده ها در خصوص تأثیر این تنظیم کننده رشد گیاه مربوط به کشت بافت و تأثیر آن بر اندام زایی است و در خصوص تأثیر این تنظیم کننده رشد بر مراحل مختلف فنولوژی گیاه اطلاعات اندکی در دسترس است. در همین ارتباط نشان داده شد که کاربرد کینتین (۵۰ میلی گرم در لیتر) موجب توسعه و نمو بیشتر سرآغاز خوشه گردید

رشد و نمو گیاهان حاصل برهمکنش ژنتیک و محیط است به عبارتی دیگر هم عوامل درونی و هم عوامل بیرونی در رشد و نمو گیاهان تأثیر دارند. از مهمترین عوامل درونی، تنظیم کننده های رشد گیاه هستند که عهده دار تنظیم و هماهنگی فرآیندهای مختلف داخل گیاه می باشند (Ahmadi et al., 2004). در مطالعه ای نشان داده شد که در شرایط آزمایشگاهی تیمارهای تنظیم کننده های رشد گیاهی عامل مهمی در بهبود چشمگیر تکثیر و سرعت ریشه زایی گیاه استویا بودند (Haji Mohammadi et al., 2017).

هم چنین استفاده بهینه از تنظیم کننده های رشد گیاهی برای تحریک رشد و تمایز قلمه های استویا ضروری است (Hartmann et al., 2010). در آزمایشی بخوبی نشان داده شد که رشد قلمه های استویا در واکنش به تنظیم کننده های رشد گیاهی IAA و NAA به طور پیوسته در حال افزایش بود (Abha Manohar et al., 2022). در این میان GA3 از جمله شناخته ترین تنظیم کننده های رشد گیاهی جیبرلین است که واکنش های رشدی مختلفی را در گیاه سبب می شوند و بیشتر فعالیت آنها رشد طولی میان گره ها است (Rafeekher et al., 2001).

سیتوکینین نوعی دیگر از تنظیم کننده های رشد گیاهی است که مهمترین تأثیر آن در فرآیند تقسیم یاخته ای است (Ojha et al., 2010). بررسی ها نشان داد که می توان از تنظیم کننده رشد سیتوکینین در جهت افزایش لندام زایی و تولید استفاده کرد. بیشترین داده ها در خصوص تأثیر این تنظیم کننده رشد گیاه مربوط به کشت بافت و تأثیر آن بر اندام زایی است و در خصوص تأثیر این تنظیم کننده رشد بر مراحل مختلف فنولوژی گیاه اطلاعات اندکی در دسترس است. در همین ارتباط نشان داده شد که کاربرد کینتین (۵۰ میلی گرم در لیتر) موجب توسعه و نمو بیشتر سرآغاز خوشه گردید

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil

اسیدیته pH	چگالی حجمی Bulk density (g.cm <sup>-3</sup> )	شوری خاک EC (dS.m <sup>-1</sup> )	درصد کربن آلی OC (%)	نسبت کربن به نیتروژن C:N	نیتروژن N	فسفر P (mg.kg <sup>-1</sup> )	پتاسیم K
7.05	1.34	1.26	1.42	24	0.158	17	297

۹۸ درصد ورتکس شد. بعد از گذشت یک ساعت جذب محلول در طول موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد و با استفاده از منحنی استاندارد، غلظت قندهای احیا کننده محاسبه گردید. برای تنظیم دستگاه، مخلوط ۱ میلی لیتر آب مقطر به همراه ۰/۵ میلی لیتر فنول ۵ درصد و ۱/۵ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد، با رعایت همه شرایط مانند عصاره مورد استفاده قرار گرفت.

### روش سنجش پرولین

جهت سنجش پرولین از روش بیتس و تایر (Bates and Teare, 1973) استفاده شد. ۰/۱ گرم از بافت تر گیاه در ۳ میلی لیتر محلول سه درصد اسید سولفوسالیسیلیک سائیده شد و مخلوط یکنواختی تهیه گردید. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۵۰۰۰ xg سانتریفیوژ شد. سپس ۱ میلی لیتر از محلول رویی با ۱ میلی لیتر معرف نین هیدرین و ۱ میلی لیتر اسید استیک خالص مخلوط شده و بعد از مسدود کردن درب لوله‌ها، یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. بعد از این مدت، جهت متوقف کردن کلیه واکنش‌ها، لوله‌های محتوی مخلوط در حمام یخ، سرد گردید. سپس جذب محلول‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد و غلظت پرولین در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید. برای تنظیم دستگاه ۱ میلی لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به همراه ۱ میلی لیتر نین هیدرین و ۱ میلی لیتر اسید استیک با رعایت همه شرایط مانند عصاره مورد استفاده قرار گرفت.

### پروتئین

برای سنجش پروتئین از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده گردید. به این منظور ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تر گیاه در یک هاون چینی سرد محتوی سه میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم

### آنالیزهای بیوشیمیایی

#### رنگیزه‌های فتوسنتزی

به منظور سنجش میزان کلروفیل و کارتنوئیدها از روش لیختنتالر (Lichtenthaler, 1987) استفاده شده است. ۰/۱ گرم بافت تازه برگ به همراه ۵ میلی لیتر استون ۸۰٪ در هاون چینی سائیده و محلول همگن حاصل، به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Visible در طول موج‌های ۶۴۷ و ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. جهت تنظیم دستگاه استون ۸۰٪ مورد استفاده قرار گرفته است. غلظت رنگیزه‌ها با استفاده از رابطه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ محاسبه شده است:

$$\text{Chla} = (12/25 A_{663} - 2/79 A_{647}) \quad (1)$$

$$\text{Chlb} = (21/21 A_{647} - 5/1 A_{663}) \quad (2)$$

$$\text{ChIT} = (7/15 A_{663} + 18/71 A_{647}) \quad (3)$$

$$\text{Car} = A_{470} + [(0/114)(A_{663}) - (0/638)(A_{647})] \quad (4)$$

فرمول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب معرف غلظت‌های کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها (شامل کاروتن‌ها و گزانتوفیل‌ها) است.

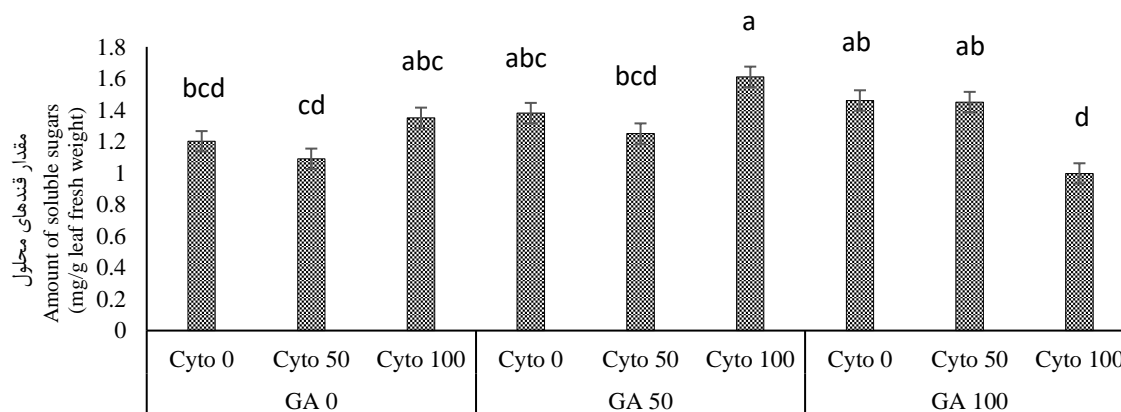
### قندهای محلول

سنجش قندها به روش میلر (Miller, 1959) انجام شد. مقدار قندهای محلول به روش فنول سولفوریک و براساس هیدرولیز اسیدی قندهای محلول و ایجاد ترکیب فورفورال که با فنول یک کمپلکس رنگی ایجاد می‌کند، اندازه‌گیری شد. به منظور تهیه عصاره گیاهی، ۰/۰۵ گرم بافت تر گیاه به همراه ۵ میلی لیتر آب مقطر در هاون چینی سائیده شد. محلول فوق به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس ۱ میلی لیتر از محلول رویی جدا شده و پس از اضافه کردن ۰/۵ میلی لیتر فنول ۵٪ و ۱/۵ میلی لیتر اسید سولفوریک

## نتایج و بحث قندهای محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقدار قندهای محلول تحت تأثیر اثر متقابل تنظیم کننده‌های رشد جیبرلین (GA3) و سیتوکنین (Cyto) معنی‌دار ( $p \leq 0.01$ ) بود؛ اما تحت تأثیر اثرات ساده این تیمارها قرار نگرفت (جدول ۲). نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار قندهای محلول از کاربرد ۵۰ ppm جیبرلین به همراه ۱۰۰ ppm سیتوکنین و به مقدار ۱/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ حاصل شد که نسبت به شاهد حدود ۲۵ درصد افزایش نشان داد. کمترین مقدار قندهای محلول در اثر کاربرد حداکثر مقدار هر دو تیمار جیبرلین و سیتوکنین (۱۰۰ ppm) دست آمد (شکل ۱). بنظر می‌رسد نسبت‌های مختلف سیتوکنین و جیبرلین در کاربرد تلفیقی، در حفظ و نگهداری و یا تولید قندهای محلول تأثیرگذار می‌باشد. نتایج همبستگی بین صفات هم نشان داد که بین قندهای محلول و مقدار پرولین ( $r = 0.46^*$ ) همبستگی مثبت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۶). بطوری‌که با افزایش قندهای محلول، میزان پرولین هم افزایش یافت. بنظر می‌رسد که هر دو صفت در شرایط اعمال تنظیم کننده‌های رشد گیاهی افزایش می‌یابند (Ardakani *et al.*, 2012).

با  $pH=7.5$  به طور کامل سائیده شد. مخلوط همگن به دست آمده به لوله سانتریفیوژ منتقل شد و پس از ۱۰ دقیقه سکون، توسط سانتریفیوژ یخچال‌دار در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۲۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ گردید. در پایان مرحله سانتریفیوژ، لوله‌ها به آرامی از دستگاه خارج و محلول رویی در چند لوله‌ی آزمایش توزیع گردید. عصاره‌های حاصل، برای سنجش غلظت پروتئین مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور سنجش غلظت پروتئین، به لوله‌های آزمایش مقدار ۱۰۰ میکرولیتر عصاره‌ی پروتئینی و ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد افزوده و سریعاً ورتکس شد. جذب محلول با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. از لوله‌ای که در آن ۱۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم و ۳ میلی‌لیتر معرف برادفورد مخلوط شده بود به عنوان شاهد و برای صفر نمودن دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS و SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ و ۵٪ انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند و به منظور تعیین روابط بین صفات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.



شکل ۱- تأثیر برهمکنش تنظیم کننده‌های رشد جیبرلین (GA) و سیتوکنین (Cyto) بر مقدار قندهای محلول. GA0, GA50, GA100: به ترتیب غلظت تنظیم کننده رشد جیبرلین در صفر، ۵۰ و ۱۰۰ ppm و در تنظیم کننده رشد سیتوکنین مقادیر Cyto0, Cyto50, Cyto100: به ترتیب صفر، ۵۰ و ۱۰۰ ppm می‌باشند. حروف مشترک در هر نمودار نشانگر غیر معنی‌دار بودن و حروف غیر مشترک نشانگر معنی‌دار بودن اختلافات در سطح احتمال ۵٪ است (مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  SE است).

Figure 1- The effect of gibberellin (GA) and cytokinin (Cyto) interaction on the amount of soluble sugars. GA0, GA50, GA100: gibberellin hormone concentration at 0, 50 and 100 ppm, respectively, and Cytokinin hormone values of Cyto0, Cyto50, Cyto100: 0, 50 and 100 ppm respectively. Common letters in each graph indicate non-significance and non-common letters indicate significant differences at the 5% probability level (values are mean  $\pm$  SE of 3 replicates).

و تولید برگ‌های بزرگتر، افزایش تعداد و اندازه ریشه‌های جانبی می‌شود (Gibson, 2005).

هم‌چنین تری‌هالوزها که یکی دیگر از اجزای قندهای محلول است می‌تواند نمو، شکل و فعالیت اندام برای مثال در گل آذین، برگ، غده، و دانه را تحت تأثیر قرار دهد (Paul and Dijck, 2011). به نظر می‌رسد تلفیق دو تیمار تنظیم کننده رشد گیاهی، بسیاری از مسیرهای سیگنالینگ را به راه می‌اندازد که منجر به تولید بیشتر قندهای محلول و در نتیجه افزایش ساختار رویشی و زایشی گیاه می‌شود. با این حال، نسبت تعادلی این دو تنظیم کننده رشدی در وضعیت ترکیبی جهت تولید بیشتر قندهای محلول دارای اهمیت است.

نمو هماهنگ گیاهان وابسته به قابل دسترس بودن مواد غذایی از قبیل قندهای محلول است و به عنوان یک منبع مطمئن در تهیه مواد ساختمانی و انرژی لازم برای انجام برنامه‌های توسعه‌ای ویژه در گیاه کمک می‌کند (Gibson, 2005).

افزایش قندهای محلول (ساکاروز، گلوکز و فروکتوز) ضمن اینکه یک ماده غذایی محسوب می‌شود به عنوان یک سیگنال، بسیاری از تغییرات فیزیولوژیکی نموی همگام با تغییرات محیطی را در گیاه سبب می‌شود (Lemoine et al., 2013). بررسی‌ها نشان داده است زمانی که قندهای محلول در غلظت زیاد در اندام وجود دارد، سبب تکثیر یاخته‌های آن اندام

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنظیم کننده‌های رشد جیبرلین و سیتوکنین بر روی صفات مورد بررسی در گیاه استویا در شرایط گلخانه

Table 2- Results of analysis of variance (mean square) effect of gibberellin and cytokinin hormones on investigated traits in stevia plant under greenhouse conditions

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	قندهای محلول Soluble sugars	پروتئین Protein	پرولین Proline	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کاروتنوئید Carotenoid	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight
جیبرلین GA	2	0.096 <sup>ns</sup>	0.015 <sup>**</sup>	0.291 <sup>ns</sup>	2.11 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.034 <sup>**</sup>	0.137 <sup>ns</sup>
سیتوکنین Cyto	2	0.016 <sup>ns</sup>	0.000 <sup>ns</sup>	0.111 <sup>ns</sup>	0.154 <sup>ns</sup>	0.274 <sup>**</sup>	0.510 <sup>*</sup>	0.107 <sup>*</sup>
جیبرلین * سیتوکنین GA×Cyto	4	0.175 <sup>**</sup>	0.000 <sup>ns</sup>	0.515 <sup>*</sup>	1.53 <sup>ns</sup>	0.015 <sup>**</sup>	0.292 <sup>ns</sup>	0.073 <sup>*</sup>
خطای آزمایشی Error	18	0.035	0.000	0.130	1.28	0.012	0.085	0.028
ضریب تغییرات CV (%)		11.5	6.11	8.14	7.41	6.54	5.33	12.1

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

ns, \* and \*\*: non-significant and significant at the probability level of 5 and 1%, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده تنظیم کننده رشد جیبرلین بر صفات بیوشیمیایی و وزن خشک اندام هوایی گیاه استویا

Table 3- Means comparison of the Gibberellin hormone effect on the biochemical traits and shoot dry weight of Stevia

جیبرلین GA Treatment	قندهای محلول Soluble sugars (mg.g DW <sup>-1</sup> )	پرولین Proline (mg.gFW <sup>-1</sup> )	کلروفیل a Chl a (mg.gFW <sup>-1</sup> )	کلروفیل b Chl b (mg.gFW <sup>-1</sup> )	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)
GA 0	1.21 ± 0.08 a	0.532 ± 0.13 a	2.54 ± 0.62 a	0.936 ± 0.08 a	1.10 ± 0.21 a
GA 50	1.41 ± 0.06 a	0.599 ± 0.12 a	1.86 ± 0.07 a	1.06 ± 0.19 a	1.23 ± 0.18 a
GA 100	1.30 ± 0.08 a	0.871 ± 0.18 a	1.60 ± 0.10 a	0.992 ± 0.07 a	1.41 ± 0.45 a

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

GA0: صفر، GA50: ۵۰ و GA100: ۱۰۰ ppm تنظیم کننده رشد جیبرلین

Averages that have a common letter are not significantly different based on Duncan's test at the 5% probability level.

GA0: zero, GA50: 50 and GA100: 100 ppm gibberellin hormone

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده تنظیم کننده رشد سیتوکنین بر صفات بیوشیمیایی و وزن خشک اندام هوایی گیاه استویا

Table 4- Means comparison of the Cytokinin hormone effect on the biochemical traits and shoot dry weight of Stevia

سیتوکنین Cyto Treatment	قندهای محلول Soluble sugars (mg.g DW <sup>-1</sup> )	پروتئین Protein (mg.g FW <sup>-1</sup> )	پروترین Proline (mg.gFW <sup>-1</sup> ) ۱)	کلروفیل a Chl a (mg.gFW <sup>-1</sup> ) ۱)	کلروفیل b Chl b (mg.gFW <sup>-1</sup> ) ۱)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)
Cyto0	1.26 ± 0.08 a	0.474 ± 0.01 a	0.695 ± 0.16 a	1.91 ± 0.04 a	1.06 ± 0.08 a	1.55 ± 0.32 a
Cyto50	1.35 ± 0.07 a	0.487 ± 0.01 a	0.762 ± 0.17 a	1.94 ± 0.07 a	1.19 ± 0.17 a	1.22 ± 0.81 ab
Cyto100	1.32 ± 0.093 a	0.485 ± 0.01 a	0.545 ± 0.10 a	2.15 ± 0.67 a	0.732 ± 0.05 b	0.971 ± 0.14 b

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.  
Cyto0: صفر، Cyto50: ۵۰ و Cyto100: ۱۰۰ ppm تنظیم کننده رشد سیتوکنین

Averages that have a common letter are not significantly different based on Duncan's test at the 5% probability level.

Cyto0: zero, Cyto50: 50 and Cyto100: 100 ppm cytokinin hormone

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنظیم کننده‌های رشد جیبرلین و سیتوکنین بر صفات بیوشیمیایی گیاه استویا

Table 5- Means comparison of the interaction effect of Gibberellin and Cytokinin hormones on the biochemical traits of Stevia

جیبرلین در سیتوکنین GA × Cyto	پروتئین Protein (mg.g FW <sup>-1</sup> )	پروترین Proline (mg.gFW <sup>-1</sup> )	کلروفیل a Chl a (mg.gFW <sup>-1</sup> )	کاروتنوئید Carotenoid (mg.gFW <sup>-1</sup> )
GA0	Cyto0	0.427 ± 0.02 a	0.473 ± 0.02 b	1.63 ± 0.07 a
	Cyto50	0.445 ± 0.00 a	0.855 ± 0.38 ab	1.52 ± 0.06 a
	Cyto100	0.451 ± 0.00 a	0.469 ± 0.05 b	1.30 ± 0.08 a
GA50	Cyto0	0.472 ± 0.00 a	0.299 ± 0.09 b	1.38 ± 0.06 a
	Cyto50	0.491 ± 0.01 a	0.454 ± 0.23 b	1.51 ± 0.07 a
	Cyto100	0.486 ± 0.00 a	0.843 ± 0.18 ab	1.15 ± 0.04 a
GA100	Cyto0	0.524 ± 0.01 a	1.31 ± 0.11 a	1.57 ± 0.02 a
	Cyto50	0.525 ± 0.00 a	0.978 ± 0.32 ab	1.48 ± 0.04 a
	Cyto100	0.518 ± 0.00 a	0.323 ± 0.15 b	1.22 ± 0.05 a

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

GA0: صفر، GA50: ۵۰ و GA100: ۱۰۰ ppm تنظیم کننده رشد جیبرلین؛ Cyto0: صفر، Cyto50: ۵۰ و Cyto100: ۱۰۰ ppm تنظیم کننده رشد سیتوکنین

Averages that have a common letter are not significantly different based on Duncan's test at the 5% probability level.

GA0: zero, GA50: 50 and GA100: 100 ppm gibberellin hormone; Cyto0: zero, Cyto50: 50 and Cyto100: 100 ppm cytokinin hormone

## پروتئین

بر روی گیاه محلول‌پاشی شدند نیز همین موضوع مشاهده گردید. دامنه تغییرات مقدار پروتئین برگ ناشی از برهمکنش دو تنظیم کننده رشد گیاه ذکر شده بین ۰/۴۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ در تیمار شاهد و ۰/۵۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ در تیمار ۱۰۰ ppm تنظیم کننده رشد جیبرلین و ۵۰ ppm تنظیم کننده رشد سیتوکنین بود (جدول ۵).

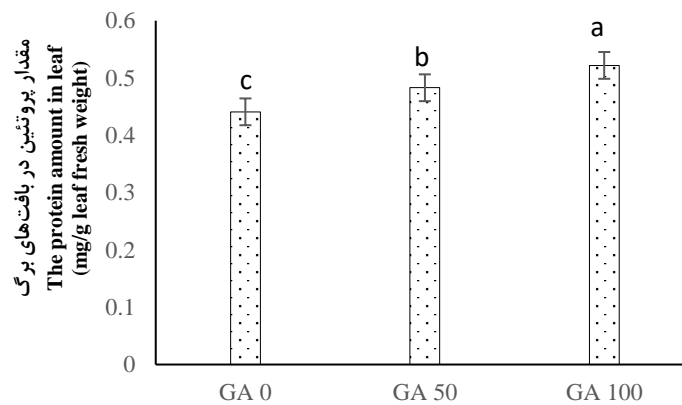
فرآیند پیری تحت تأثیر سننتر و فعالیت برخی پروتئین‌ها است. کار بر روی گونه‌های متعدد نشان داده است که همبستگی قوی بین کاهش محتوای سیتوکینین برگ و آغاز و توسعه پیری است (Balibrea et al., 2004). همچنین گزارش شده است که سیتوکینین‌ها در نگهداری و حفظ پروتئین‌ها مؤثر و سازنده هستند (Richmond and Lang, 1957). لذا بنظر می‌رسد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقدار پروتئین برگ تحت تأثیر غلظت‌های مختلف تنظیم کننده رشد جیبرلین معنی‌دار ( $p \leq 0.01$ ) بود، اما تحت تأثیر اثر ساده تنظیم کننده رشد سیتوکنین و برهمکنش جیبرلین و سیتوکنین معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیشترین مقدار پروتئین برگ از کاربرد ۱۰۰ ppm تنظیم کننده رشد جیبرلین حاصل شد که نسبت به سطوح صفر و ۵۰ ppm این تنظیم کننده رشد گیاهی به ترتیب ۲۰ و ۱۲ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲). اثر ساده تنظیم کننده رشد سیتوکنین نتوانست تغییر محسوس در مقدار پروتئین برگ ایجاد نماید (جدول ۴). حتی زمانی که این دو تنظیم کننده رشد به صورت تلفیقی

داده‌های مطالعه حاضر نیز نشان داد که سیتوکنین می‌تواند سبب افزایش پروتئین شود ولی مقدار آن معنی‌دار نبوده است. تنظیم کننده رشد جیبرلین می‌تولند در سنتز پروتئین‌های متصل به DNA نقش داشته باشد. جیبرلین می‌تواند رونوشت‌برداری mRNA را القا نماید. از طرفی جیبرلین می‌تواند در سنتز و آزادسازی پروتئین‌های تنظیم کننده تولید mRNA نقش داشته باشد. این پروتئین‌ها به شکل فعال فقط در یاخته‌های آلورونی دیده می‌شود که پیام تنظیم کننده رشد گیاه را دریافت کرده‌اند. به نظر می‌رسد جیبرلین مقدار و یا فعالیت پروتئین اتصالی را افزایش می‌دهد اما چگونگی این عمل هنوز ناشناخته بوده است (Taiz and Zeiger, 2012).

سیتوکنین‌ها از طریق تأثیری که بر مقدار پروتئین‌ها دارند، می‌توانند فرآیند پیری را به تأخیر ببندازند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که سیتوکنین سنتز شده در ریشه از طریق جریان تعرق به داخل برگ منتقل می‌شود. با این حال سیتوکنین در برگ می‌تواند به صورت مکانی نیز تولید شود. همچنین سیتوکنین می‌تواند روابط منبع و مخزن را از طریق فعالیت اینورتاز دیواره یاخته‌ای اعمال نماید (Zwack and Rashotte, 2013).

در مطالعه‌ای نشان داده شد که در یاخته‌های جدا شده از ساقه‌های جوان ذرت و تنباکو با اعمال تیمارهای تنظیم کننده رشدی سیتوکنین، مقدار پروتئین به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش می‌یابد (Szweykowska et al., 1981). نتایج



شکل ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف جیبرلین بر مقدار پروتئین در بافت‌های برگ گیاه استویا. GA0: صفر، GA50: ۵۰ و GA100: ۱۰۰ ppm جیبرلین

Figure 2- The effect of different concentrations of gibberellin on the protein amount in stevia leaf tissues; GA0: zero, GA50: 50 and GA100: 100 ppm gibberellin hormone

تنظیم کننده رشد سیتوکنین در ترکیب با جیبرلین به ppm ۵۰ و جیبرلین به ppm ۱۰۰ بود، مقدار پرولین به ۰/۹۷۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ رسید. در کاربرد سطوح پایین تنظیم کننده رشد جیبرلین با سطوح مختلف سیتوکنین نسبت به سطوح بالای جیبرلین مقدار تولید پرولین کمتری مشاهده شد (جدول ۵).

بیوسنتز پرولین از گلوتامات از طریق فسفریلاسیون گاما-گلوتامیل فسفات ( $\gamma$ -glutamyl phosphate) به وسیله فعالیت آنزیم  $\gamma$ -glutamyl kinase انجام می‌شود. با این حال در این

## پرولین

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که مقدار اسید آمینه پرولین در برگ تحت تأثیر اثرات ساده تنظیم کننده‌های رشد جیبرلین و سیتوکنین معنی‌دار نبود، اما برهمکنش این دو تنظیم کننده رشد گیاه تأثیر معنی‌داری ( $p \leq 0.05$ ) بر مقدار آن داشت. بیشترین مقدار پرولین از کاربرد تلفیقی ppm ۱۰۰ جیبرلین به همراه عدم استفاده از سیتوکنین و به مقدار ۱/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ حاصل شد که نسبت به شاهد حدود ۶۳ درصد افزایش نشان داد. از طرفی زمانی که غلظت

۱/۹۱، ۱/۹۴ و ۲/۱۵ میلی گرم بر گرم ماده تازه برگ بود (جدول ۴). نتایج برهمکنش این دو تنظیم کننده رشد نشان داد که بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد به دست آمد و دامنه تغییرات کلروفیل a بین ۱/۱۵ و ۱/۶۳ میلی گرم بر گرم ماده تازه برگ قرار داشت (جدول ۵).

نتایج مطالعه‌ای نشان داد که کاربرد زآتین در گیاه چاودار سبب به تأخیر لنداختن پیری برگ و کاهش مقدار کلروفیل برگ می‌شود (Musgrave *et al.*, 1987). به نظر می‌رسد سیتوکینین در واکنش به حضور سوپر اکسید در یاخته، مولکول‌های آمید را تولید می‌کند (Liu and Haung, 2002). اتم‌های کربن در موقعیت آلفا در مولکول آمید می‌توانند با اتم هیدروژن ترکیب حاصل کرده و برای یک جفت الکترون موجود بر روی رادیکال آزاد آن را خنثی کند. بنابراین حضور سیتوکینین از طریق کاهش تولید رادیکال‌های آزاد و کمک به چرخش الکترون سبب افزایش سبزی‌نگی برگ و تأخیر در پیری آن شده است. همچنین سیتوکینین می‌تواند سبب انباشتگی کلروفیل و تبدیل اتیوپلاست به کلروپلاست گردد (and Maldiney, 1999). از طرفی این احتمال وجود دارد که افزایش غلظت تنظیم کننده‌های رشد بویژه جیبرلین منجر به افزایش تقسیم یاخته‌ای و به دنبال آن فزونی سطح برگ گردد، بنابراین ضخامت برگ کاهش یافته و در نتیجه مقدار کلروفیل برگ‌ها و غلظت کلروفیل a کاهش می‌یابد. بنظر می‌رسد نسبت تعادلی در مقدار این دو تنظیم کننده رشدی می‌تواند بر مقدار تولید کلروفیل a تأثیر گذار باشد (Sifola and Barbieri, 2006).

**کلروفیل b**: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقدار کلروفیل b تحت تأثیر تنظیم کننده رشد سیتوکینین و برهمکنش سیتوکینین و جیبرلین معنی‌دار شد، اما اثر ساده تنظیم کننده رشد جیبرلین تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول ۲). با افزایش غلظت سیتوکینین به ۱۰۰ ppm، مقدار کلروفیل b، بطور معنی‌داری به ۰/۷۳۲ میلی گرم بر گرم ماده تازه برگ کاهش یافت (جدول ۴). نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل b با اعمال ۵۰ ppm از هر دو تنظیم کننده رشدی سیتوکینین و جیبرلین (۱/۶۵ میلی گرم بر گرم ماده تازه برگ) به دست آمد. در این میان با محلول پاشی ترکیب ۱۰۰ ppm تنظیم کننده رشد سیتوکینین با ۵۰ ppm تنظیم کننده رشد جیبرلین، کمترین مقدار

مسیر آنزیم‌های دیگری شامل پیرولین-۵- کربوکسیلاز ریدکتاز (pyrroline-5-carboxylate reductase) و گاما-گلوتامیل فسفات ریدکتاز (γ-glutamyl phosphate reductase) نیز مشارکت دارند. پیرولین می‌تواند در تنظیم اسیدپتید سیتوپلاسم و به عنوان یک ذخیره کربن و ازت در شرایط تنش و همچنین به عنوان یه مولکول پیام‌رسان در فعال کردن پاسخ‌های دفاعی شرکت کند (Bandurska *et al.*, 2017). مطالعات نشان داده است که تنظیم کننده‌های رشد گیاه می‌توانند میزان فراوانی mRNAهای به خصوصی را تغییر دهند و بنابراین پلی‌پپتیدهای مناسبی را تولید خواهند کرد.

تنظیم کننده‌های رشد گیاه از طریق بیان ژن‌ها می‌توانند بر مسیر بیوسنتزها ترکیبات گیاهی و در مجموع بر روی متابولیت‌ها خصوصاً اسیدهای آمینه‌ای مانند پیرولین تأثیر بگذارند. پیرولین یکی از اجزای ساختمانی پروتئین‌ها است و به عنوان یک محلول سازگار تحت شرایط تنش محیطی نقش مهمی دارد. همچنین این ماده می‌تواند به عنوان یک منبع ذخیره انرژی برای بهبود در شرایط تنش‌های محیطی مورد استفاده گیاه قرار گیرد (Lehmann *et al.*, 2010). از این رو تحقیقات بسیاری نشان داده شده است که مقدار پیرولین در شرایط تنش‌های زنده و غیر زنده افزایش می‌یابد (Mattioli *et al.*, 2009). بر اساس نتایج این مطالعه اعمال تیمارهای تنظیم کننده‌های رشد گیاهی در مقدارهای متفاوت می‌تواند سبب تغییر در متابولیسم و مقدار انرژی یاخته شده که به نظر می‌رسد یاخته‌ها از طریق تغییر میزان پیرولین، انرژی لازم برای مقاومت در برابر تغییر نوسانات داخلی خود را مدیریت می‌نمایند.

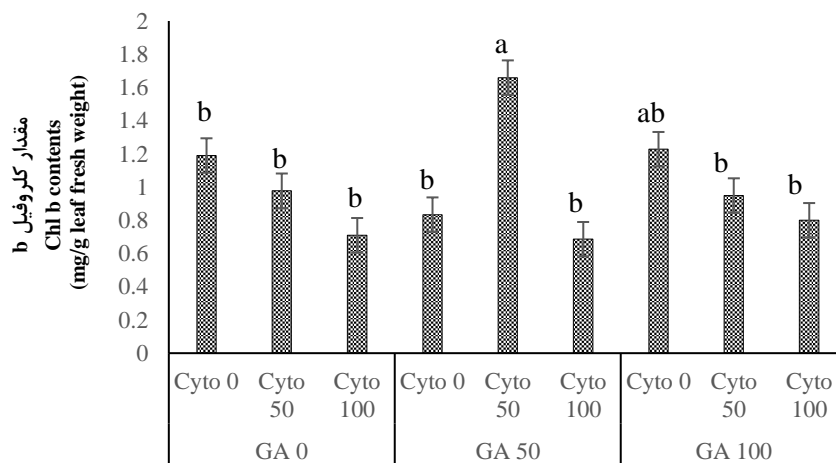
## رنگیزه‌های فتوسنتزی

**کلروفیل a**: غلظت‌های به کار برده شده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل a نداشت (جدول ۲). با این حال محلول پاشی با تنظیم کننده رشد جیبرلین سبب کاهش مقدار کلروفیل a شد، به طوری که در سطوح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ ppm تنظیم کننده رشد، مقدار کلروفیل a به ترتیب ۲/۵۴، ۱/۸۶ و ۱/۶۰ میلی گرم بر گرم ماده تازه برگ بود (جدول ۳). اما محلول پاشی با تنظیم کننده رشد سیتوکینین سبب افزایش مقدار کلروفیل a شد. در صفر، ۵۰ و ۱۰۰ ppm سیتوکینین مقدار صفت مورد بررسی به ترتیب

دارد لذا برای جلوگیری از بازدارندگی نوری در مرکز فتوسیستم II حضور مولکول‌های کارتنوئید ضروری است (Zeiger and Taiz, 2006). به نظر می‌رسد تنظیم کننده رشد سیتوکینین از طریق تقویت غشاهای یاخته‌ای و به تأخیر انداختن پیری برگ، سبب افزایش کارایی فرآیندهای گیاهی می‌شود (Liu and Haung, 2002).

کلروفیل b بدست آمد (شکل ۳).

بنظر می‌رسد نسبت توازن سیتوکینین و جیبرلین بر غلظت کلروفیل b مؤثر است. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد مقدار کلروفیل b با مقدار رنگیزه کارتنوئید همبستگی مثبت و معنی‌دار ( $r = 0.47^*$ ) داشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد از آنجا که حضور مولکول‌های کلروفیل در گسیل انرژی الکترونی نور به اولین پذیرنده الکترون فوتین نقش حیاتی در فرآیند فتوسنتز



شکل ۳- تأثیر برهمکنش تنظیم کننده‌های رشدی جیبرلین (GA) و سیتوکینین (Cyto) بر مقدار کلروفیل b. GA0, GA50, GA100: به ترتیب غلظت جیبرلین در صفر، ۵۰ و ۱۰۰ ppm و در سیتوکینین مقادیر Cyto0, Cyto50, Cyto100: به ترتیب صفر، ۵۰ و ۱۰۰ ppm می‌باشند. حروف مشترک در هر نمودار نشانگر غیر معنی‌دار بودن و حروف غیر مشترک نشانگر معنی‌دار بودن اختلافات در سطح احتمال ۵٪ است (مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  SE است)

Figure 3- The interaction effect of gibberellin (GA) and cytokinin (Cyto) on chlorophyll b. GA0, GA50, GA100: Gibberellin hormone concentration is zero, 50, and 100 ppm, and Cytokinin hormone values are Cyto0, Cyto50, Cyto100: zero, 50, and 100 ppm, respectively. Common letters in each graph indicate non-significance and non-common letters indicate significant differences at the 5% probability level (values are mean  $\pm$  SE of 3 replicates)

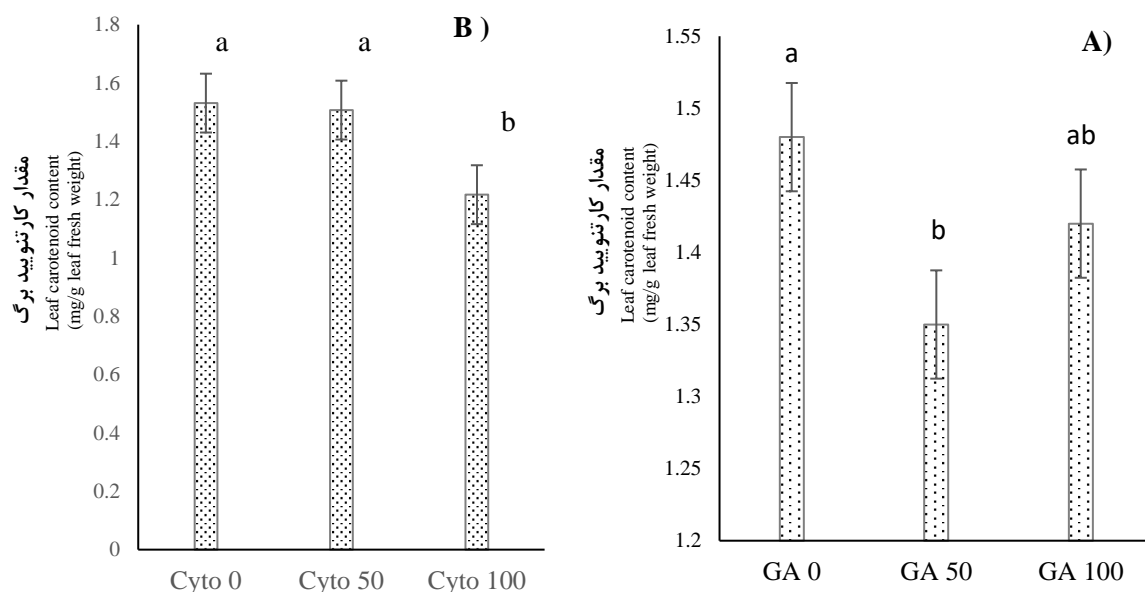
رشدی جیبرلین کاهشی بود، به طوری که در شاهد بیشترین مقدار کارتنوئید (۱/۴۸ میلی‌گرم بر گرم ماده تازه برگ) به دست آمد که نسبت به سطوح ۵۰ و ۱۰۰ ppm آن به ترتیب ۷ و ۴ درصد بیشتر بود. البته سطح ۱۰۰ ppm تنظیم کننده رشد جیبرلین با شاهد معنی‌دار نبود و تنها با سطح ۵۰ ppm آن معنی‌دار شد (شکل ۴).

کارتنوئیدها رنگیزه‌های جذب کننده نور هستند که نقش اصلی آن در جلوگیری از فتواکسیداسیون مولکول کلروفیل و کمک با جذب طیف‌های نوری و گسیل آن به مرکز واکنش در مرکز فتوسیستم نوری II است. گزارتنوئیدها یکی از مولکول‌های غنی از اکسیژن و از اجزای مولکول‌های کارتنوئید است که در پیری و زوال برگ نقش دارد. به نظر می‌رسد تحت شرایط اعمال

کارتنوئید: محلول پاشی تنظیم کننده‌های رشد سیتوکینین و جیبرلین به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر مقدار کارتنوئید داشتند، اما این رنگیزه تحت تأثیر برهمکنش دو تنظیم کننده رشد گیاه قرار نگرفت (جدول ۲). واکنش تغییرات کارتنوئید نسبت به اعمال تیمارهای تنظیم کننده رشد سیتوکینین روند کاهشی و معنی‌داری را نشان داد (شکل ۴). به طوری که تیمار شاهد و سطح ۵۰ ppm سیتوکینین تنها ۰/۲۴ میلی‌گرم بر گرم ماده تازه برگ با هم اختلاف داشتند و این تفاوت معنی‌دار نبود. اما زمانی که غلظت تنظیم کننده رشد سیتوکینین به ۱۰۰ ppm رسید سبب کاهش معنی‌دار مقدار کارتنوئید شد، بطوری‌که به مقدار ۱/۲۱ میلی‌گرم بر گرم ماده تازه برگ رسید. روند تغییرات مقدار کارتنوئید با اعمال تیمار تنظیم کننده

لوبیای چشم بلبلی و باقلا شد (Shaddad, 1989). هم‌چنین نتایج نشان داد که محلول پاشی اسید جیبرلیک باعث افزایش میزان کاروتنوئید در همیشه بهار (Sardoei and Mozafari and) و پسته (Shahdadneghad, 2014) و پسته (Mozafari and Khaleghi, 2016) شده است.

سیتوکنین مقدار این مولکول (گزانوفیل) به طور چشمگیری کاهش یافته و سبب بازدارندگی پیری برگ شده است (Czerpak and Bajguz, 1997). در آزمایشی نشان داده شد که محلول پاشی گیاه توسط تنظیم‌کننده‌های رشد باعث تحریک سطح سبز و بدنبال آن افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در ذرت،



شکل ۴- تأثیر محلول پاشی غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلین (A) و سیتوکنین (B) بر مقدار کاروتنوئید برگ. GA0, GA50, GA100: به ترتیب غلظت‌های جیبرلین در صفر، ۵۰ و ۱۰۰ ppm و Cyto0, Cyto50, Cyto100: به ترتیب غلظت‌های سیتوکنین در صفر، ۵۰ و ۱۰۰ ppm. حروف مشترک در هر نمودار نشانگر غیر معنی‌دار بودن و حروف غیر مشترک نشانگر معنی‌دار بودن اختلافات در سطح احتمال ۵٪ است (مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  SE است).

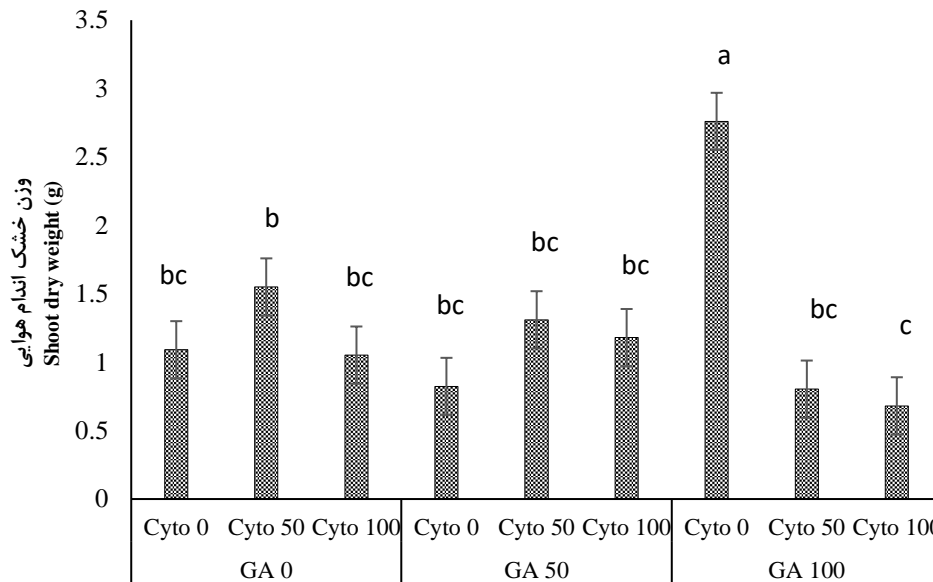
Figure 4- The effect of foliar spraying with different concentrations of gibberellin (A) and Cytokinin (B) hormone on the amount of leaf carotenoids. GA0, GA50, GA100: Gibberellin hormone concentration is zero, 50, and 100 ppm, and Cytokinin hormone values are Cyto0, Cyto50, Cyto100: zero, 50, and 100 ppm, respectively. Common letters in each graph indicate non-significance and non-common letters indicate significant differences at the 5% probability level (values are mean  $\pm$  SE of 3 replicates)

نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که تلفیق دو تنظیم‌کننده رشد در سطح ۱۰۰ ppm آنها کمترین وزن خشک اندام هوایی را داشت و بیشترین مقدار آن در سطح ۱۰۰ ppm تنظیم‌کننده رشد جیبرلین با سطح صفر تنظیم‌کننده رشد سیتوکنین به دست آمد (شکل ۵). دامنه تغییرات مقدار وزن خشک اندام هوایی گیاه استویا در کاربرد تلفیقی این دو تنظیم‌کننده رشد بین ۰/۶۸۱ تا ۲/۷۶ گرم قرار داشت و از لحاظ آماری کلیه این تغییرات در سه طبقه آماری قرار گرفت (شکل ۶). نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که وزن خشک اندام هوایی با میزان پرولین همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۶۳\*\*\*  $r$ ) داشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد افزایش مقدار پرولین در

وزن خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقدار وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر برهمکنش اعمال دو تیمار تنظیم‌کننده رشدی جیبرلین و سیتوکنین و نیز اثر ساده تنظیم‌کننده رشد سیتوکنین معنی‌دار شد؛ اما تحت تأثیر اثر ساده تنظیم‌کننده رشد جیبرلین قرار نگرفت (جدول ۲). در تیمار اثر ساده سیتوکنین، بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی از سطح صفر تنظیم‌کننده رشد سیتوکنین و کمترین مقدار آن (۰/۹۷۱ گرم) از ۱۰۰ ppm تنظیم‌کننده رشد سیتوکنین حاصل شد (جدول ۴). در مجموع روند کاهشی با اعمال سطوح مختلف تنظیم‌کننده رشد سیتوکنین در وزن خشک اندام هوایی مشاهده شد.

افزایش و سبب رشد اندام هوایی گردد (Bandurska *et al.*, 2017).

یاخته سبب تأمین انرژی و نیز منبع برای تأمین کربن و نیتروژن لازم برای اندام‌زایی و افزایش وزن خشک گیاه را فراهم کرده باشد لذا در شرایط نامساعد می‌تواند قدرت دفاعی گیاه را



شکل ۵- تأثیر برهمکنش تنظیم کننده رشد جیبرلین (GA) و سیتوکینین (Cyto) بر مقدار وزن خشک اندام هوایی. GA0, GA50, GA100: به ترتیب غلظت تنظیم کننده رشد جیبرلین در صفر، ۵۰ و ۱۰۰ ppm و در تنظیم کننده رشد سیتوکینین مقادیر Cyto0, Cyto50, Cyto100: به ترتیب صفر، ۵۰ و ۱۰۰ ppm می باشند. حروف مشترک در هر نمودار نشانگر غیر معنی دار بودن و حروف غیر مشترک نشانگر معنی دار بودن اختلافات در سطح احتمال ۵٪ است (مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± SE است).

Figure 5- Effect of gibberellin (GA) and cytokinin (Cyto) interaction on shoot dry weight. GA0, GA50, GA100: Gibberellin hormone concentration is zero, 50, and 100 ppm, and Cytokinin hormone values are Cyto0, Cyto50, Cyto100: zero, 50, and 100 ppm, respectively. Common letters in each graph indicate non-significance and non-common letters indicate significant differences at the 5% probability level (values are mean ± SE of 3 replicates).

فیزیولوژیکی، متابولیکی، بیوشیمیایی و رشدی، در ارتباط با سایر تنظیم کننده‌های رشد داخلی گیاه می‌باشد. در این ارتباط نشان داده شده است، هنگامی سیتوکینین می‌تواند سبب افزایش رشد شود که مقدار اکسین در بافت‌های گیاهی در مقدار مناسب و مورد نیاز باشد (Taiz and Zaiger, 2012). بررسی‌های انجام شده نشان داد که در کشت بافت تنباکو اعمال مقدار مناسب اکسین سبب افزایش تکثیر DNA یاخته می‌شود. با این حال یاخته‌ها تقسیم نشدند مگر این که سیتوکینین در مقدار مناسب به آنها اضافه شد (Zamanzadeh *et al.*, 2011). این مطالب نشان می‌دهد که چرخه تکثیری و رشد گیاه حاصل برآیند نسبت‌های مناسب از تنظیم کننده‌های رشد در آنها می‌باشد. در خصوص جیبرلین مسئله مقداری متفاوت است و به نظر می‌رسد واکنش رشد یاخته به کاربرد

سیتوکینین‌ها در ریشه و جنین‌های در حال رشد سنتز شده و از طریق آوند چوبی به صورت غیر فعال به اندام‌های هوایی منتقل و در یاخته‌های جوان و در حال تقسیم سریع مریستم انتهایی ساقه و ریشه انباشته می‌شوند، مکانیزم عمل این تنظیم کننده رشد وابسته به عوامل دیگری است. بررسی تغییرات صفات مورد بررسی نشان می‌دهد که تنظیم کننده‌های رشد گیاهی به تنهایی عمل نمی‌کنند و بافت‌های گیاهی ممکن است دارای تنظیم کننده‌های رشدی داخلی بوده که به انجام یک واکنش ممکن است کمک، تأخیر و یا مانع انجام آن شوند. بنابراین تغییرات صفات مورد بررسی در گیاهان عالی تحت تأثیر ارتباط‌های پیچیده میان تنظیم کننده‌های رشد گیاهی است. برای مثال اثرگذاری مؤثر سیتوکینین‌ها در تنظیم واکنش‌های

افزایش طولی شدن آن شود و این تنظیم کننده رشد تأثیری بر اسموزیته یاخته‌ای نداشت (Métraux, 1987). به نظر می‌رسد که تنظیم کننده رشد اکسین (اسیدی شدن و سست شدن دیواره یاخته‌ای) و جیبرلین از طریق تغییر ویژگی‌های دیواره یاخته‌ای امکان طولی شدن و رشد را فراهم می‌آورند. بنابراین بر اساس نتایج این آزمایش افزایش وزن خشک اندام هوایی را می‌توان به این اثر جیبرلین و نسبت‌های متفاوتی از تنظیم کننده‌های رشد داخل گیاه نسبت داد.

جیبرلین، متفاوت از غلظت سایر تنظیم کننده‌های رشد داخلی باشد. جیبرلین تقسیم یاخته‌ای و طولی شدن آنها را افزایش می‌دهند، برای مثال در اثر کاربرد تنظیم کننده رشد جیبرلین تعداد قطعات میتوزی در گیاه بذرالبنج افزایش یافت (Taiz and Zaiger, 2012). بنابراین تأثیر جیبرلین بر تکثیر و طولی شدن یاخته‌ها در گیاهان به ثبت رسیده است. در مطالعه‌ای بر روی گیاه کاهو نشان داده شد که کاربرد جیبرلین می‌تواند از طریق تأثیر بر توسعه دیواره یاخته‌ای سبب

جدول ۶- نتایج ضرایب همبستگی بین صفات بیوشیمیایی و وزن خشک اندام هوایی در گیاه استویا

Table 6- Results of correlation coefficients between biochemical traits and shoot dry weight in Stevia plant

صفات Traits	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	پروترین Proline	پروتئین Protein	قندهای محلول Soluble sugars	کلروفیل b Chl b	کلروفیل b Chl b	کلروفیل a Chl a	کاروتنوئید Carotenoid
وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	1							
پروترین Proline	0.63**	1						
پروتئین Protein	0.17 <sup>ns</sup>	0.25 <sup>ns</sup>	1					
قندهای محلول Soluble sugars	0.13 <sup>ns</sup>	0.46*	0.16 <sup>ns</sup>	1				
کلروفیل b Chl b	0.39*	0.28 <sup>ns</sup>	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.08 <sup>ns</sup>	1	1		
کلروفیل a Chl a	0.20 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	-0.19 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	1	
کاروتنوئید Carotenoid	0.17 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	-0.04 <sup>ns</sup>	0.47*	0.47*	-0.04 <sup>ns</sup>	1

ns, \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, \* and \*\*: non-significant and significant at the five and one percent probability level, respectively

می‌تواند تأثیر قابل توجه‌تری در افزایش تراکم شاخ و برگ گیاه استویا از خود نشان دهد که منجر به افزایش درصد شیرین کننده‌های طبیعی و دارویی گیاه استویا می‌شود. لذا کاربرد این تنظیم کننده رشدی از طریق محلول‌پاشی می‌تواند در بالا بردن کیفیت و کمیت مواد شیرین کننده کارآمد و مفید باشد.

### سپاس‌گزاری

از دانشگاه دامغان بابت حمایت مالی و معنوی این پژوهش کمال سپاسگزاری را داریم.

### نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که تأثیر تنظیم کننده رشد جیبرلین بر بسیاری از ساختارهای بیوشیمیایی و مورفولوژیکی بیشتر از تنظیم کننده رشد سیتوکنین بود. تأثیر غلظت ۱۰۰ ppm جیبرلین بر مقدار پروتئین، قندهای محلول و پروترین نسبت به سایر سطوح آن قابل توجه بود. رنگ‌های فتوسنتزی واکنش‌های متفاوتی را به غلظت‌های مختلف تنظیم کننده‌های رشد مورد مطالعه نشان دادند. هم‌چنین بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی از تأثیر ۱۰۰ ppm جیبرلین به دست آمد. بنابراین بنظر می‌رسد تنظیم کننده رشد جیبرلین

## References

- Abha Manohar, K., Shukla, G., Roy, B. and Chakravarty, S., 2022. Effects of plant growth regulators and growing media on propagation and field establishment of *Stevia rebaudiana*: a medicinal plant of commerce. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(4), pp.1-12. doi: 10.1186/s43170-021-00072-5
- Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P. and Jabari, F., 2004. An introduction to plant physiology, first volume. University of Tehran. 653pp. [In Persian].
- Ardakani, M.R., Abbaszadeh, B., Assare, M.H., Paknezhad, F., Kashani, A. and Layegh Haghghi, M., 2012. Evaluation of morphological characters, essential oil percentage and some mineral elements of *camphorosma monspilica* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28(2), pp.267-279. [In Persian]. doi: 10.22092/ijmapr.2012.3041
- Azarpour, A., Motamed, M.K. and Zaguri, H.R., 2013. Cultivation and propagation of Stevia (botany, planting, growing, harvesting, chemistry, industry and processing). Lahijan Azad University Publications. 826 pp. [In Persian].
- Balibrea Lara, M.E., Gonzalez Garcia, M.C., Fatima, T., Ehness, R., Lee, T.K., Proels, R., Tanner, W. and Roitsch, T., 2004. Extracellular invertase is an essential component of cytokinin-mediated delay of senescence. *Plant Cell*, 16(5), pp.1276-87. doi: 10.1105/tpc.018929
- Bandurska, H., Niedziela, J., Pietrowska-Borek, M., Nuc, K., Chadzinikolau, T. and Radzikowska, D., 2017. Regulation of proline biosynthesis and resistance to drought stress in two barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes of different origin. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, pp.427-437. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.07.006
- Bates, L., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, pp.205-207. doi: 10.1007/bf00018060
- Bradford, M.M., 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry*, 72, pp.248-254. doi: 10.1006/abio.1976.9999
- Brandle, J.E., Starratt, A.N. and Gijzen, M., 1998. *Stevia rebaudiana*: its agricultural, biological, and chemical properties. *Canadian Journal of Plant Science*, 78, pp.527-536. doi: 10.4141/P97-114
- Brault, M. and Maldiney, R., 1999. Mechanisms of cytokinin action. *Plant Physiology and Biochemistry*, 37, pp.403-412. doi: 10.1016/s0981-9428(99)80046-1
- Czerpak, R. and Bajguz, A., 1997. Stimulatory effect of auxins and cytokinins on carotenes, with differential effects on xanthophylls in the green alga *Chorella pyrenoidosa* chick. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 66(1), pp.41-46. doi: 10.5586/asbp.1997.006
- Gibson, S.L., 2005. Control of plant development and gene expression by sugar signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, 8, pp.93-102. doi: 10.1016/j.pbi.2004.11.003
- Haji Mohammadi, A., Zarghami, R., Kashani, A., Heydari Sharifabad, H. and Nour Mohammadi, G., 2017. Effect of Different Hormonal Treatment on *Stevia (rebaudiana Bertoni)* Micro-propagation. *Pakistan Journal of*

- Biological Sciences*, 20, pp.457-464. doi: **10.3923/pjbs.2017.457.464**
- Hartmann, H.T., Kester, D., Davies, F. and Geneve, R., 2010. Plant propagation. Principles and practices. 8th ed. Prentice Hall, New Jersey, NJ, USA. 2010. 770p.
- Kim, S., Yang, M., Lee, O.H. and Kang, S.K., 2011. The antioxidant activity and the bioactive compound content of *Stevia rebaudiana* water extracts. *Food Science and Technology*, 44(5), pp.1328-1332. doi: **10.1016/j.lwt.2010.12.003**
- Lehmann, S., Franck, D. and Szabados, L., 2010. Proline metabolism and transport in plant development. *Amino Acids*, 39, pp.949-962. doi: **10.1007/s00726-010-0525-3**
- Lemoine, R., Camera, S., Atanassova, R., Dedald echamp, F., Allario, T., Pourtau, N., Bonnemain, J.L., Laloi, M., Coutos-Thevenot, P., Maurousset, L., Faucher, M., Girousse, Lemonnier, C.P., Parrilla, J. and Durand, M., 2013. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science*, 4, pp.272. doi: **10.3389/fpls.2013.00272**
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. In: Douce, R. and Packer, L. (eds.), *Methods Enzymol.* 148, 350-382, Academic Press Inc., New York.
- Liu, X. and Huang, B., 2002. Cytokinin effects on creeping bentgrass response to heat stress: II. Leaf senescence and antioxidant metabolism. *Crop Science*, 42(2), pp.466-472. doi: **10.2135/cropsci2002.4660**
- Mattioli, R., Costantino P. and Trovato, M., 2009. Proline accumulation in plants: not only stress. *Plant Signal and Behaviour*, 4(11), pp.1016-1018. doi: **10.4161/psb.4.11.9797**
- Métraux, J.P., 1987. Gibberellins and Plant Cell Elongation. In: Davies, P.J. (eds) *Plant Hormones and their Role in Plant Growth and Development*. Springer, Dordrecht. pp: 296-317. Kluwer, Boston. doi: **10.1007/978-94-009-3585-3\_16**
- Miller, G.L., 1959. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), pp.426-428. doi: **10.1021/ac60147a030**
- Modares Sanavi, A., Mahdavi, B., Hamialavanq, V. and Ehtshami, R., 2006. The effect of gibberellin and cytokinin on salinity tolerance in the germination stage of corn cultivars. The 9th Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran. Tehran. [In Persian].
- Mozafari, V. and Khaleghi, F., 2016. Effects of gibberellic acid and nitrogen on some physiology parameters and micronutrients concentration in Pistachio under salt stress. *Journal of Water and Soil*, 30(3), pp.955-967. doi: **10.22067/jsw.v30i3.42977**
- Musgrave, M.E., Miller, C.O. and Siedow, J.N., 1987. Do some plant responses to cytokinins involve the cyanide-resistant respiratory pathway?. *Planta*, 172, pp.330-335. doi: **10.1007/bf00398661**
- Ojha, A., Sharma, V.N. and Sharma, V., 2010. An efficient protocol for in vitro clonal propagation of natural sweetener plant (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *African Journal of Plant Science*, 4(8), pp.319-321.
- Omid Beigi, R., 2011. Production and processing of medicinal plants. The first volume, Astan Quds Razavi Publishing House, Mashhad, 348 pp. [In Persian]. dor: **9789640208274**
- Paul, M. and Dijck, P., 2011. How do sugars regulate plant growth? *Front Plant Science*, 2, pp.90. doi:

**10.3389/fpls.2011.00090**

- Rafeekher, M., Gondane, S.U., Goramnagar, H.B., Murkute, A.A., Chandhari, D.U. and Patil, R.R., 2001. Hormonal regulation of growth, sex expression and yield of cucumber in Kharif Season. *Journal of Soils and Crops*, 11(1), pp.95-98.
- Ramesh, K., Singh, V. and Megeji, N.W., 2006. Cultivation of Stevia [*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni]: A Comprehensive Review. *Advances in Agronomy*, 89, pp.137-177. doi: **10.1016/s0065-2113(05)89003-0**
- Richmond, A.E. and Lang, A., 1957. Effect of Kinetin on Protein Content and Survival of Detached Xanthium Leaves. *Science*, 125, pp.650-651. doi: **10.1126/science.125.3249.650**
- Sardoei, A.S. and Shahdadneghad, M., 2014. Effects of foliar application of gibberellic acid on chlorophyll and carotenoids of Marigold (*Calendula officinalis* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(6), pp.1887-1893.
- Shaddad, M.A. and El-Tayeb, M.A., 1989. Interactive Effects of Soil Moisture Content and Hormonal Treatment on Dry Matter and Pigment Contents of Some Crop Plants. *Acta Agronomica*, 39(1-2), pp.49-57.
- Sifola, M.I. and Barbieri, G., 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. *Scientia Horticulturae*, 108(4), pp.408-413. doi: **10.1016/j.scienta.2006.02.002**
- Szweykowska, A., Gwózdź, E. and Sychała, M., 1981. The Cytokinin Control of Protein Synthesis in Plants. In: Guern, J., Péaud-Lenoël, C. (eds) *Metabolism and Molecular Activities of Cytokinins*. Proceedings in Life Sciences. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tafzali, A. and Esmailizadeh, M., 2000. Effects of quintine gibberellic acid on flowering and fruit characteristics of grape (*Vitis vinifera* L.) Shiraz black variety. *Horticultural Sciences and Techniques of Iran*, 1(1,2), pp.43-54. [In Persian].
- Talaei, N., 2010. Research on production of stevia plant (*Stevia rebaudiana*) in Gilan province. Master thesis, Faculty of Agricultural Sciences, University of Gilan. [In Persian].
- Taiz, L. and Zeiger, E., 2006. *Plant Physiology*, 4<sup>th</sup> edition. Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts, USA.
- Taiz, L. and Zeiger, E., 2012. *Plant Physiology*. Sunderland: Sinauer Associates. 778 pp.
- Zamanzadeh, Z., Ehsanpour, A.A. and Amini, F., 2011. The study of auxin content in regenerated plants from transgenic tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) roots carrying Ri-TDNA. *Journal of Cell & Tissue (JCT)*, 1(2), pp.1-7. doi: **10.52547/jct.1.4.1**
- Zwack, P.J. and Rashotte, A.M., 2013. Cytokinin inhibition of leaf senescence. *Plant Signaling & Behavior*, 8(7), pp.e24737. doi: **10.4161/psb.24737**

## Effect of gibberellin and cytokinin growth regulators on some biochemical characteristics and dry weight of stevia plant (*Stevia rebaudiana* Bertoni)

Seyed Mehta Rahimzadeh<sup>1</sup>, Vahid Pozesh<sup>2\*</sup>, Seyed Fazel Fazeli Kakhki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc Graduate, Department of Plant Sciences, Faculty of Biology, Damghan University, Damghan, Iran

<sup>2</sup> Department of Plant Sciences, Faculty of Biology, Damghan University, Damghan, Iran

<sup>3</sup> Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

\*Corresponding Author: [poozesh@du.ac.ir](mailto:poozesh@du.ac.ir)

Received: 9 September 2022 Accepted: 9 November 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.361299.1273

### Abstract

**Introduction:** Communication between cells in organic plants for growth and development is done by chemical messengers called hormones. Meanwhile, GA3 is one of the most well-known plant hormones that cause various growth reactions in the plant, and most of their activity is the longitudinal growth between the nodes. Cytokinin is another type of plant phytohormones whose most important effect is in the process of cell division. In this research, the effect of cytokinin and gibberellin hormones on some chemical compounds and the dry weight of the Stevia plant shoot was studied under controlled conditions.

**Materials and Methods:** A factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design in the greenhouse of Razavi Khorasan Agricultural Research and Training Center in three replications in 2017. Factors included gibberellin (0, 50 and 100 ppm) and cytokinin (0, 50 and 100 ppm). The average temperature of the greenhouse was approximately 25 to 30 degrees Celsius and its humidity was 65%. Irrigation was done regularly every three days. Before treatment, the potted plants were adapted to the greenhouse environment for two weeks. The treatment was carried out as foliar spraying, in this way, for six weeks and before watering at 10 am for each plant, 20 cc at the beginning and 50 cc at the end of the growth were sprayed with the desired solutions so that the leaves were completely wet. At the end of the experiment, the aerial parts were removed from the ground and placed in paper envelopes inside a ventilated oven with a temperature of 70°C for 48 hours. The samples were weighed immediately after leaving the oven with a scale of 0.001.

**Results and Discussion:** The results showed that the highest amount of soluble sugars was obtained from the application of 50 ppm of gibberellin along with 100 ppm of cytokinin (1.61 mg/g dry weight of leaves), which showed an increase of about 25% compared to the control. The amount of leaf protein was significant only in the presence of different concentrations of gibberellin hormone. The highest amount of proline was obtained from the combined application of 100 ppm gibberellin and 0 ppm cytokinin (1.31 mg/g fresh weight of leaf), which showed an increase of about 63% compared to the control. Foliar spraying with gibberellin hormone decreased the amount of chlorophyll a. The highest amount of chlorophyll b was obtained from simultaneous application of 50 ppm levels of cytokinin and gibberellin. The lowest dry weight of the shoot was shown in the presence of the combined treatment of two hormones at the level of 100 ppm, and the highest value was obtained at the level of 100 ppm of gibberellin hormone. The results of the correlation coefficients showed that the dry weight of the shoot had a positive and significant correlation with the amount of proline ( $r=0.63^{**}$ ). It seems that the hormone auxin (acidification and loosening of the cell wall) and gibberellin enable elongation and growth by changing the characteristics of the cell wall. Therefore, based on the results of this experiment, the increase in the dry weight of aerial parts can be attributed to the effect of gibberellin and different ratios of hormones inside the plant.

**Conclusion:** In general, the results showed that gibberellin levels were more effective than cytokinin hormone on the biochemical and morphological indicators of stevia plant; So that the maximum dry weight of shoot was obtained from the effect of 100 ppm gibberellin hormone. Photosynthetic

pigments showed different reactions to different concentrations of studied hormones. The effect of 100 ppm concentration of gibberellin on the amount of protein, soluble sugars and proline was significant compared to other levels.

**Keywords:** Photosynthetic pigments, Proline, Protein, Soluble sugars



## اثر محلول پاشی گلايسين بتائين بر صفات بيوشيميايي، فیزیولوژیک و زراعی گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

سید فاطمه موسوی ساردو<sup>۱\*</sup>

۱- دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

\* مسئول مکاتبه: [mfateme604@pnu.ac.ir](mailto:mfateme604@pnu.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.457698.1417

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۴

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر گلايسين بتائين در کاهش اثرات زیان آور تنش کمبود آب در گیاه کینوا، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰) در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان انجام شد. فاکتور اصلی شامل سه سطح تیمار آبیاری (آبیاری تا مرحله رسیدگی کامل (کنترل)، آبیاری تا شروع مرحله گل‌دهی (تنش شدید) و آبیاری تا شروع مرحله خمیری (تنش ملایم)) و فاکتور فرعی شامل دو سطح گلايسين بتائين (۰ و ۳ میلی‌مولار) بود. اثر سال و اثرات متقابل سال با سایر فاکتورها بر روی صفات مطالعه شده معنی‌دار نبود. اثر آبیاری بر روی کلیه صفات اندازه‌گیری شده و اثر گلايسين بتائين و اثر متقابل آن‌ها بر روی همه صفات به غیر از شاخص برداشت معنی‌دار بودند. بیشترین محتوای پروتئین و فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در تیمار تنش شدید آبی و محلول پاشی با گلايسين بتائين به دست آمد. بیشترین عملکرد بیولوژیک و دانه تحت شرایط کنترل و محلول پاشی با گلايسين بتائين مشاهده شد. میزان کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش آبی ملایم و شدید در سطح عدم محلول پاشی و محلول پاشی با گلايسين بتائين به ترتیب ۱۶/۸۵ و ۲۰/۰۴ درصد و ۳۴/۱۹ و ۴۵/۳۷ درصد بود. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که محلول پاشی گیاهان با گلايسين بتائين از طریق افزایش مکانیزم‌های دفاعی غیرآنزیمی و آنزیمی می‌تواند سبب بهبود عملکرد دانه شود. بنابراین گلايسين بتائين به سبب کاهش اثرات زیان آور تنش خشکی می‌تواند برای بهبود رشد و عملکرد دانه در گیاه کینوا استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اثر متقابل، پروتئین، تنش کمبود آب، عملکرد دانه

### مقدمه

آنتی‌اکسیدانی آن به محتوای ترکیبات فنلی مانند توکوفرول‌ها (ویتامین E) مرتبط است که فرآیند زنجیره رادیکال خود اکسیداسیون روی اسیدهای چرب را متوقف می‌کند، با رادیکال‌های پراکسید اسید چرب واکنش می‌دهد و محصولات پایدار و غیر رادیکالی را تشکیل می‌دهد (Schneider, 2005). خشکی، گرما، شوری و ... انواعی از تنش‌های غیرزنده هستند که رشد گیاه را کاهش می‌دهند و سبب افت شدید عملکرد گیاهان زراعی به سبب تغییرات مختلف در سطح فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و مولکولی می‌شوند (Mahmood et al., 2010). اثرات کاهش‌دهنده خشکی بر روی تولید و رشد گیاه در نتیجه تغییرات در متابولیسم گیاهی و کاهش توسعه سلولی، فعالیت آنزیم‌های متابولیکی مختلف، تنفس، جابه‌جایی، جذب یون و سطوح پارامترهای رشدی است (Praba et al., 2009). هم‌چنین کمبود آب به طور زیان‌آوری چندین فرآیند بیوشیمیایی و مولکولی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که نتیجه آن

دانه‌های شبه غلات ارزش غذایی و عملکرد بالایی دارند که با کیفیت و کمیت پروتئین‌ها، چربی‌ها و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی آن‌ها مرتبط است (Gorinstein and Lojek, 2008). کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild.) متعلق به خانواده تاج خروس (Amaranthaceae) یک شبه غلات است که یکی از قدیمی‌ترین محصولات قاره آمریکا و یک گیاه بومی در منطقه آند است (Matiacevich et al., 2006). در مقایسه با سایر غلات، کینوا پروتئین بیشتر (۲۲۱-۷۴۷ گرم در کیلوگرم) و ترکیب اسید آمینه متعادل تری با مقدار لیزین ۵-۸ درصد و متیونین ۲/۴-۵/۱ درصد دارد. هم‌چنین سرشار از فیبر غذایی و مواد مغذی معدنی (۳ درصد) و طیف وسیعی از ویتامین‌ها است. به دلیل این ارزش‌های تغذیه‌ای، کینوا در نان، ماکارونی و غذای کودک و هم‌چنین در رژیم‌های غذایی رایج در دهه اخیر مورد استفاده قرار گرفته است (Hirose et al., 2010). ظرفیت

بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سرعت تعرق، محتوای رنگیزه و فتوسنتز می‌باشد و بدین ترتیب رشد و نمو گیاه را به طور جزئی یا کامل ممانعت می‌کند (Quiroga *et al.*, 2020).

علاوه بر این، تنش خشکی ممکن است باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان شود که به ساختارهای لیپیدی و پروتئینی آسیب می‌رساند و باعث می‌شود که غشای سلولی نفوذپذیری و انتخاب‌پذیری را از دست بدهد. نشت یون‌های داخل سلولی منجر به اختلال در متابولیسم، تجزیه کلروپلاست و کاهش محتوای کلروفیل می‌شود. در موارد شدید ممکن است منجر به مرگ گیاه نیز گردد (Lin and Chao, 2021). کاهش پارامترهای رشدی و عملکرد گیاه کینوا تحت شرایط کمبود آب توسط محققین متعددی گزارش شده است (Lin and Chao, 2021; Fischer *et al.*, 2013) (Mohammadi *et al.*, 2021).

گیاهان برای مقابله با تنش‌های مختلف و محافظت از خود، مکانیسم‌های پیچیده و سازمان‌یافته‌ای را تکامل داده‌اند. بیوسنتز و تجمع انواع مختلف اسمولیت‌ها یکی از مهم‌ترین پاسخ‌های گیاهان میزبان برای مبارزه با تنش اکسیداتیو و هم‌چنین تنش اسمزی ناشی از عوامل تنش‌زا هستند (Beebs *et al.*, 2011). اصطلاح اسمولیت‌ها به ترکیب‌ها یا متابولیت‌های مختلف با وزن مولکولی کم از جمله قندهای محلول (ترهالوز، ساکارز، گلوکز و فروکتوز)، پلی‌آمین‌ها، متابولیت‌های ثانویه، اسیدهای آمینه (تری متیل گلیسین، پرولین و ...) و پلی‌ال‌ها (مانیتول، اینوزیتول و سوربیتول) اشاره دارد (Gosh *et al.*, 2021; Lin and Chao 2021).

علاوه بر این گیاهان مکانیسم‌های سم‌زدایی آنزیمی برای مبارزه با آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن تکامل داده‌اند. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان شامل سوپر اکساید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیدازها، آسکوربات پراکسیداز، مونویدروآسکوربات ردوکتاز، ردوکتاز دی هیدروکتاز، گلوکاتایون پراکسیداز، گلوکاتایون ردوکتاز و گلوکاتایون S-ترانسفرازها می‌باشند (Rajput *et al.*, 2021; Fahad *et al.*, 2017) (Zeinab *et al.*, 2021). تأثیر تنش خشکی بر روی تجمع اسمولیت‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان مختلف مانند کینوا (Elewa *et al.*, 2017)، یولاف (Shehzadi *et al.*, 2019) و ذرت (Shafiq *et al.*, 2021) مشاهده شده

است.

گلیسین بتائین یک ترکیب آمونیوم چهارتایی است که به طور درون‌زا در کلروپلاست‌ها در پاسخ به عوامل تنش‌زای غیرزنده مانند خشکی و شوری سنتز می‌شود (Ashraf and Foolad, 2007). گلیسین بتائین نه تنها به عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی عمل می‌کند بلکه ساختار و فعالیت آنزیم‌ها و کمپلکس‌های پروتئینی را تثبیت می‌کند و یکپارچگی غشاها در برابر اثرات مخرب خشکی را حفظ می‌کند (Quan *et al.*, 2004).

تیمار گلیسین بتائین رشد، زنده‌مانی و تحمل گیاهان به شرایط تنش مختلف را از طریق تنظیم فرآیندهای متابولیکی مختلف، بهبود سرعت جذب CO<sub>2</sub> خالص، حفظ پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و لیپیدهای دستگاه فتوسنتزی و حفظ جریان الکترون از طریق غشاهای تیلاکوئید و تنظیم سیستم فتوسنتزی و هموستازی یون‌ها افزایش می‌دهد (Raza *et al.*, 2007). گزارش شده است که گلیسین بتائین سبب بهبود پارامترهای رشدی و عملکرد، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه کینوا تحت شرایط تنش شوری شده است (Maqsood *et al.*, 2021). تأثیر مثبت گلیسین بتائین بر روی پارامترهای رشدی و فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان مانند آفتابگردان (Iqbal *et al.*, 2008) و گز روغنی (Abd Elhamid *et al.*, 2021) تحت شرایط تنش خشکی نیز مشاهده شده است.

با توجه به اینکه استان کرمان جزء مناطق خشک می‌باشد و تنش خشکی تأثیر منفی بر روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان دارد و در نهایت منجر به کاهش عملکرد گیاهان می‌شود، بررسی تأثیر اسمولیت‌ها بر روی بهبود پارامترهای رشدی و مکانیسم‌های فیزیولوژیکی گیاهان تحت شرایط کمبود آب ضروری است. از آن‌جا که تأثیر گلیسین بتائین بر روی پارامترهای عملکرد و فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه کینوا تحت شرایط تنش کمبود آب در شرایط آب و هوایی منطقه کرمان انجام نشده است، تحقیق حاضر برای بررسی تأثیر گلیسین بتائین بر روی صفات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کینوا تحت تیمارهای آبیاری مختلف صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان (ایستگاه جوپار) با موقعیت جغرافیایی ۵۷ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۹۰۰ متر از سطح دریا بر روی گیاه کینوا رقم تی‌تی‌کاکا انجام شد. آب و هوای منطقه، خشک و نیمه معتدل بوده،

متوسط بارندگی سالیانه آن تقریباً ۱۵۰ میلی‌متر در سال و حداقل و حداکثر متوسط دمای سالیانه آن به ترتیب ۱۴- و ۴۰+ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط بارندگی در ماه‌های دو سال زراعی (۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱) در جدول ۱ و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- میانگین بارندگی در ماه‌های دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱

Table 1- Average rainfall in the months of 2020-2021 and 2021-2022

ماه‌ها Months	میزان بارندگی Rainfall (ml)	
	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022
خرداد June	1.5	0
تیر July	0	0
مرداد August	0	0
شهریور September	0	0
مهر October	26.5	25.5
آبان November	19.6	0

جدول ۲- نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۶۰-۰ سانتی‌متر)

Table 2- The results of physical and chemical properties of soil (0-60 cm depth)

مشخصات خاک Soil characteristics	نتایج تجزیه خاک Results of soil analysis	
	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022
بافت خاک Soil Pattern	لومی شنی Sandy Loam	لومی شنی Sandy Loam
شن Sand (%)	69	71
رس Clay (%)	13	12
سیلت Silt (%)	18	17
واکنش خاک pH	7.7	7.9
هدایت الکتریکی EC(dS.m <sup>-1</sup> )	1.98	1.91
پتاسیم K (mg/Kg)	255	250
فسفر P (mg/Kg)	7.9	8.1
نیترژن کل Total N (%)	0.07	0.08

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰) انجام گردید. فاکتور اصلی شامل سه سطح تیمار آبیاری (آبیاری تا مرحله رسیدگی کامل (کنترل)، آبیاری تا شروع مرحله گل‌دهی (تنش آبی شدید) و آبیاری تا شروع مرحله خمیری (تنش آبی ملایم)) و فاکتور فرعی شامل دو سطح محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین (۰ و ۳ میلی‌مولار) بود. گلاسیسین بتائین از شرکت مرک آلمان تهیه شد. عرض و طول کرت‌ها ۲/۴ در ۳ متر، فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها سه متر در نظر گرفته شد. در هر کرت فرعی چهار ردیف کاشت قرار داشته و فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها در هر خط کاشت ۱۰ سانتی‌متر بود. قبل از کاشت و بعد از سبز شدن، آبیاری هفته‌ای یکبار تا شروع مرحله گل‌دهی (۱ مهر) برای شرایط تنش آبی شدید انجام شد. در شرایط تنش ملایم، آبیاری تا شروع مرحله خمیری (۲۰ مهر) ادامه داشته و در شرایط کنترل (بدون تنش) آبیاری تا رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد. برای کاشت ابتدا خاک مزرعه تسطیح و شخم به عمق ۳۰ سانتی‌متر با گاواهن قلمی انجام گردید. مقدار کود مصرفی ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل بود. کل کود سوپر فسفات تریپل و نصف کود اوره قبل از کاشت به کار رفت و نصف باقیمانده کود اوره نیز قبل از گل‌دهی استفاده شد. قبل از کاشت، بذور با قارچ‌کش برای جلوگیری از بیماری بوته‌میری ضدعفونی شدند. کاشت بذور در تاریخ ۱۵ مرداد ماه و در عمق ۱ سانتی‌متری و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. محلول‌پاشی گیاهان با گلاسیسین بتائین در زمان غروب آفتاب در ۲ مرحله (یکبار در مرحله شروع گل‌دهی و بار دوم ۲ هفته پس از محلول‌پاشی نوبت اول) با استفاده از سم‌پاش دستی انجام شد. برداشت گیاهان در تاریخ ۲۵ آبان ماه پس از زرد شدن بوته‌ها و رسیدگی فیزیولوژیک به صورت دستی انجام گردید.

### اندازه‌گیری صفات مورد بررسی

**عملکرد بیولوژیک:** جهت تعیین عملکرد بیولوژیک بوته‌ها، پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها و حذف حاشیه، از سطح یک متر مربع هر کرت آزمایشی، بوته‌ها از سطح زمین برداشت شده و پس از خشک شدن، وزن خشک بوته‌ها با

استفاده از ترازوی دیجیتال به دست آمد. **عملکرد دانه:** برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، دانه‌های جمع‌آوری شده از بوته‌های برداشت شده از سطح یک متر مربع با ترازوی دیجیتال وزن شد.

**شاخص برداشت:** از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید و بر اساس درصد بیان شد.

**محتوای پرولین:** اندازه‌گیری مقدار پرولین برگ به شرح زیر انجام شد: ابتدا ۰/۰۵ گرم از بافت برگ در ۵ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به خوبی ساییده شده و محلول به دست آمده با کاغذ صافی صاف گردید. ۳ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده با ۲ میلی‌لیتر محلول اسید ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک مخلوط شد. مخلوط به دست آمده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از آن لوله‌ها به حمام یخ انتقال داده شدند. سپس ۶ میلی‌لیتر تولوئن به لوله‌ها اضافه گردید و لوله‌ها به خوبی تکان داده شدند. پس از حدود ۲۰ ثانیه دو فاز مجزا تشکیل شد. از فاز رویی برای تعیین میزان پرولین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Hitachi-japan U1800) در طول موج ۵۲۹ نانومتر استفاده گردید (Bates et al., 1973).

**محتوای فنل کل:** برای اندازه‌گیری میزان فنل کل، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی برگ‌ها با ۲/۵ میلی‌لیتر از معرف فولین-سیو کالتو ۱۰ درصد و ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد به خوبی مخلوط شد. سپس نمونه‌ها در حمام آب گرم ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه نگهداری شدند. پس از آن، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتری قرائت شد. مقدار محتوای فنل کل نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک به دست آمد و بر اساس میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن تر گزارش شد (Ardestani and Yazdanparast, 2007).

**محتوای فلاونوئید کل:** برای سنجش مقدار فلاونوئید کل، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی برگ‌ها، ۴/۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس ۰/۳ میلی‌لیتر نیتريت سدیم ۵ درصد اضافه شده و پس از ۶ دقیقه ۰/۶ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد به آن اضافه گردید. پس از ۵ دقیقه، ۲ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۱ مولار به محلول به دست آمده اضافه شد. پس از ۱۵ دقیقه، میزان جذب نمونه‌ها به

(2000).

**فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز:** برای اندازه گیری فعالیت این آنزیم، تعدادی لوله آزمایش در حمام آب گرم در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس به هر کدام از لوله ها ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار (pH=7) و ۲۰ میکرو لیتر پیروگال ۰/۰۲ مولار اضافه گردید و تا زمانی که دمای لوله ها به ۴۰ درجه سانتی گراد برسد، در این شرایط نگهداری شد. سپس به هر لوله ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی افزوده گردید. نمونه ها با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر به مدت ۴ دقیقه خوانده شدند (Janovitz-Klapp *et al.*, 1990).

### تجزیه و تحلیل داده ها

ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از روش کولموگروف اسمیرنوف و یکنواختی خطای آزمایش با استفاده از روش بارتلت با نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. سپس تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده و آزمون مقایسه میانگین آن ها با روش حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح پنج درصد با نرم افزار SAS انجام گردید.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات زراعی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک در جدول ۳ آورده شده است. نتایج تجزیه نشان داد که اثر سال و اثر متقابل سال با سایر تیمارها برای همه صفات مطالعه شده به غیر از اثر متقابل سال و تیمار آبیاری برای محتوای پروتئین و اثر متقابل سال و گلاسیسین بتائین برای محتوای فنل کل معنی دار نبود. این نتایج بیانگر این است که این صفات تحت تأثیر شرایط آب و هوایی قرار نگرفته و واکنش تیمارهای مختلف آبیاری و سطوح مختلف گلاسیسین بتائین برای صفات اندازه گیری شده در شرایط مختلف آب و هوایی سال متفاوت نبوده است. اثرات معنی دار تیمار آبیاری، گلاسیسین بتائین و اثر متقابل آن ها بر روی کلیه صفات ارزیابی شده به غیر از اثر گلاسیسین بتائین و اثر متقابل تیمار آبیاری و گلاسیسین بتائین برای شاخص برداشت مشاهده شد. معنی دار بودن اثر متقابل نشان می دهد که عکس العمل تیمارهای مختلف آبیاری برای این صفات به سطوح مختلف فاکتور گلاسیسین بتائین متفاوت بوده است.

وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت گردید. مقدار فلاونوئید کل با استفاده از منحنی استاندارد کوئرستین به دست آمده و بر مبنای میلی گرم کوئرستین در گرم وزن تر بیان شد (Zang *et al.*, 2015).

**فعالیت آنزیم کاتالاز:** برای تهیه عصاره آنزیمی، ۲۰۰ میلی گرم بافت سبز برگ با ۴ میلی لیتر بافر استخراج فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار با pH=7 در هاون چینی ساییده شده و سپس با کاغذ صافی صاف گردید. محلول صاف شده با سرعت ۱۶ هزار دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. برای سنجش میزان فعالیت آنزیمی فاز رویی مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، ۵۰ میکرو لیتر عصاره آنزیم با ۲/۸ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار (pH=7) و ۳۰۰ میکرو لیتر پراکسید هیدروژن مخلوط شد. مخلوط به دست آمده با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه قرائت گردید. مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از ضریب خاموشی  $3.9/4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  و از تقسیم فعالیت حجمی کاتالاز بر میزان پروتئین عصاره به دست آمد (Beers and Sizer, 1952).

**فعالیت آنزیم پراکسیداز:** به منظور اندازه گیری فعالیت این آنزیم، ۵۰ میکرو لیتر از عصاره آنزیم با ۲/۸ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار (pH=7)، ۱۰۰ میکرو لیتر پراکسید هیدروژن و ۱۰۰ میکرو لیتر گایاکول ۱۸ میلی مولار مخلوط شد. جذب مخلوط ها به مدت ۲ دقیقه در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. سنجش فعالیت این آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی پراکسیداز  $2.6/6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  محاسبه شد و بر اساس واحد در میلی گرم پروتئین بیان گردید (Fielding and Hall, 1978).

**فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز:** برای سنجش فعالیت این آنزیم، ۵۰ میکرو لیتر عصاره آنزیم با ۲/۸ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار (pH=7)، ۳۰۰ میکرو لیتر پراکسید هیدروژن و آسکوربات ۵ میلی مولار مخلوط شد. جذب مخلوط ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۹۰ نانومتر خوانده شد. ضریب خاموشی آسکوربات پراکسیداز  $2.9/8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  است و یک واحد از فعالیت آن نشان دهنده مقدار آنزیمی است که برای اکسید کردن یک میکرومول آسکوربات در یک دقیقه نیاز می باشد (Yoshimura *et al.*, )

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات زراعی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه کینوا تحت ۳ تیمار آبیاری و دو سطح گلیسین بتائین در دو سال  
 Table 3- Analysis of variance of agronomy, biochemical and physiological traits of quinoa plant under three levels of irrigation treatments and two levels of glycine betaine in two years

منابع S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares				
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	پرولین Proline	فنل کل Total phenol
سال Year	1	78.88 <sup>ns</sup>	3.85 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>
تکرار (سال) Rep. (Y)	4	893.77	48.59	0.54	0.02	0.02
تیمار آبیاری Irrigation treatment	2	418429.20 <sup>**</sup>	26262.69 <sup>**</sup>	9.29 <sup>**</sup>	23.12 <sup>**</sup>	11.84 <sup>**</sup>
تیمار آبیاری × سال Y × I	2	186.27 <sup>ns</sup>	2.56 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>*</sup>	0.01 <sup>ns</sup>
(سال) تیمار آبیاری × تکرار Rep. × I (Y)	8	607.20	68.18	0.25	0.004	0.006
گلیسین بتائین Glycine Betaine	1	156069.44 <sup>**</sup>	11473.82 <sup>**</sup>	3.35 <sup>ns</sup>	3.35 <sup>**</sup>	2.06 <sup>**</sup>
گلیسین بتائین × تیمار آبیاری I × GB	2	19379.32 <sup>**</sup>	1832.19 <sup>**</sup>	1.06 <sup>ns</sup>	1.87 <sup>**</sup>	0.29 <sup>**</sup>
گلیسین بتائین × سال Y × GB	1	372.73 <sup>ns</sup>	10.72 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>*</sup>
گلیسین بتائین × تیمار آبیاری × سال Y × I × GB	2	186.09 <sup>ns</sup>	5.05 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>
خطا Error	12	879.88	60.01	0.73	0.02	0.007

ns: غیر معنی دار و \* و \*\*: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

Ns: non-significant and \* and \*\*: significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس صفات زراعی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه کینوا تحت ۳ تیمار آبیاری و دو سطح گلیسین بتائین در دو سال  
 Continued table 3- Analysis of variance of agronomy, biochemical and physiological traits of quinoa plant under three levels of irrigation treatments and two levels of glycine betaine in two years

منابع S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares				
		فلاونوئید کل Total flavonoid	آنزیم کاتالاز Catalase	آنزیم آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	آنزیم پراکسیداز Peroxidase	آنزیم پلی فنل اکسیداز Poly phenol oxidase
سال Year	1	0.00007 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.0004 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.000004 <sup>ns</sup>
تکرار (سال) Rep. (Y)	4	0.01	0.004	0.001	0.02	0.004
تیمار آبیاری Irrigation treatment	2	0.54 <sup>**</sup>	2.38 <sup>**</sup>	5.84 <sup>**</sup>	5.72 <sup>**</sup>	2.81 <sup>**</sup>
تیمار آبیاری × سال Y × I	2	0.0005 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>ns</sup>	0.000003 <sup>ns</sup>
(سال) تیمار آبیاری × تکرار Rep. × I (Y)	8	0.005	0.004	0.001	0.005	0.004
گلیسین بتائین Glycine Betaine	1	0.28 <sup>**</sup>	1.25 <sup>**</sup>	0.32 <sup>**</sup>	6.96 <sup>**</sup>	0.60 <sup>**</sup>
گلیسین بتائین × تیمار آبیاری I × GB	2	0.03 <sup>**</sup>	1.52 <sup>**</sup>	0.60 <sup>**</sup>	0.12 <sup>**</sup>	0.03 <sup>**</sup>
گلیسین بتائین × سال Y × GB	1	0.0001 <sup>ns</sup>	0.000002 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>	0.000001 <sup>ns</sup>
گلیسین بتائین × تیمار آبیاری × سال Y × I × GB	2	0.00004 <sup>ns</sup>	0.000003 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.000005 <sup>ns</sup>
خطا Error	12	0.001	0.005	0.001	0.009	0.003

ns: غیر معنی دار و \* و \*\*: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

Ns: non-significant and \* and \*\*: significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

## محتوای پرولین

داد. بیشترین مقدار آن ۷/۵۲ میکرومول بر گرم وزن تر تحت شرایط تنش آبی شدید و محلول پاشی با گلايسين بتائين مشاهده شد. بیشترین افزایش محتوای پرولین تحت شرایط تنش آبی شدید در هر دو سطح گلايسين بتائين به دست آمد (جدول ۴).

محتوای پرولین تحت هر دو تنش آبی (آبیاری تا شروع مرحله خمیری (تنش ملایم) و آبیاری تا شروع مرحله گل دهی (تنش شدید)) در هر دو سطح گلايسين بتائين (عدم محلول پاشی و محلول پاشی با گلايسين بتائين) افزایش نشان

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آبیاری و گلايسين بتائين بر محتوای پرولین و فنل و فلاونوئید کل در گیاه کینوا

Table 4- Mean comparison of irrigation treatment and glycine betaine interaction on proline and total phenol and flavonoid contents in quinoa plant

تیمار آبیاری Irrigation treatments	گلايسين بتائين Glycine betaine	پرولین	فنل کل	فلاونوئید کل
		Proline ( $\mu\text{mol/g FW}$ )	Total phenol (mg GA/g FW)	Total flavonoid (mg Q/g FW)
آبیاری تا مرحله رسیدگی کامل Irrigation to the full maturity stage	عدم کاربرد	4.388 <sup>e</sup>	4.448 <sup>e</sup>	0.948 <sup>f</sup>
	کاربرد application	4.114 <sup>f</sup>	5.254 <sup>d</sup>	1.207 <sup>d</sup>
آبیاری تا شروع مرحله گلدهی Irrigation to the beginning of the flowering stage	عدم کاربرد	6.469 <sup>b</sup>	6.550 <sup>b</sup>	1.467 <sup>b</sup>
	کاربرد application	7.524 <sup>a</sup>	6.998 <sup>a</sup>	1.533 <sup>a</sup>
آبیاری تا شروع مرحله خمیری irrigation to the beginning of the development stage	عدم کاربرد	4.965 <sup>d</sup>	5.295 <sup>d</sup>	1.143 <sup>e</sup>
	کاربرد application	5.963 <sup>c</sup>	5.481 <sup>c</sup>	1.350 <sup>e</sup>

برای هر صفت میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means with a same letter are not significantly different at 5% level of probability according to the LSD test.

در مطالعه حاضر، محلول پاشی گیاهان با گلايسين بتائين سبب افزایش محتوای پرولین در شرایط آبیاری تنش ملایم و شدید شد. محتوای پرولین به میزان ۱۶/۷۳ و ۱۴/۰۲ درصد به ترتیب تحت شرایط تنش آبی ملایم و شدید با محلول پاشی گیاهان با گلايسين بتائين در مقایسه با عدم محلول پاشی افزایش نشان داد (جدول ۴).

گلايسين بتائين یکی از محلول‌های سازگاری است که نه تنها به عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی عمل می‌کند، هم‌چنین ساختارها و فعالیت‌های آنزیم‌ها و کمپلکس‌های پروتئینی را تثبیت می‌کند و یکپارچگی و پایداری غشاها را بر علیه اثرات مخرب تنش خشکی در گیاهان حفظ می‌کند (Sakamoto and Murata, 2002).

افزایش پرولین با کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشدی مختلف توسط سایر محققین مشابه با نتایج ما مشاهده شده

افزایش محتوای پرولین تحت شرایط تنش خشکی در گیاه کینوا توسط سایر محققین مشابه با نتایج ما گزارش شده است (Lin and Chao Sadak *et al.*, 2019; Elewa *et al.*, 2017; 2021). پرولین می‌تواند تحت تنش خشکی به پروتئین‌ها متصل شود تا از پروتئین‌ها در برابر تجزیه شدن ناشی از کمبود آب محافظت کند و هم‌چنین وضعیت ساختار سلولی را تثبیت می‌کند. پرولین به سرعت تحت تنش تجمع می‌یابد و به عنوان یک ماده مهم تنظیم‌کننده اسمزی در گیاهان عمل می‌کند (Fang and Xiong, 2015). هم‌چنین پرولین نقش حیاتی در تثبیت و محافظت از آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و غشاها از اثرات مخرب تنش‌های خشکی - اسمزی دارد (Ashraf and Foolad, 2007). افزایش محتوای پرولین تحت تنش خشکی در سایر گیاهان نظیر فلفل (Korkmaz *et al.*, 2015) و ذرت (Sahafiq *et al.*, 2021) نیز مشاهده شده است.

فلاونوئید تحت شرایط تنش خشکی در سایر گیاهان مانند گز روغنی (Abd Elhamid *et al.*, 2021) و ذرت (Shafiq *et al.*, 2021) نیز گزارش شده است.

در مطالعه حاضر، محلول پاشی گیاهان با گلیسین بتائین سبب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید کل در هر سه شرایط آبیاری شد. محلول پاشی گیاهان با گلیسین بتائین سبب تجمع محتوای فنل کل به میزان ۱۵/۳۴، ۳/۳۹ و ۶/۴۰ درصد و محتوای فلاونوئید کل به میزان ۲۱/۴۶، ۱۵/۳۶ و ۴/۳۱ درصد به ترتیب در شرایط کنترل، تنش آبی ملایم و تنش آبی شدید در مقایسه با عدم محلول پاشی گردید (جدول ۴).

افزایش متابولیت‌های ثانویه مانند فنل و فلاونوئید کل با کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشدی مختلف توسط سایر محققین مطابق با نتایج ما گزارش شده است. در مطالعه‌ای تجمع محتوای فنلیک‌ها با محلول پاشی اسمولیت پرولین در گیاه کینوا تحت هر دو شرایط تنش و غیرتنش کمبود آب مشاهده شد (Elewa *et al.*, 2017). در مطالعه دیگری افزایش معنی‌دار فنلیک‌ها و فلاونوئیدها تحت کاربرد خارجی گلیسین بتائین در غلظت‌های مختلف در گیاه گز روغنی گزارش شده است (Abd Elhamid *et al.*, 2012). افزایش فنلیک‌ها در گیاه ذرت تحت شرایط تنش و غیرتنش کمبود آب با محلول پاشی گیاهان با گلیسین بتائین نیز مشاهده شده است (Shafiq *et al.*, 2021).

### فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

تنش آبی ملایم (آبیاری تا شروع مرحله خمیری) و شدید (آبیاری تا شروع مرحله گل‌دهی) سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در هر دو سطح گلیسین بتائین به غیر از فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح عدم محلول پاشی گلیسین بتائین شد. بیشترین فعالیت هر چهار آنزیم به ترتیب به میزان ۲/۴۰۷، ۲/۴۵۳، ۳/۶۳۱ و ۱/۸۹۹ تحت شرایط تنش آبی شدید و محلول پاشی با گلیسین بتائین ثبت شد (جدول ۵).

تنش منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان می‌شود. بنابراین گیاهان مکانیزم دفاعی را برای کاهش آسیب گونه‌های فعال اکسیژن به سلول و تثبیت ساختار سلولی توسعه داده‌اند. مکانیزم دفاعی شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند

است. در مطالعه‌ای تجمع محتوای پرولین با محلول پاشی اسمولیت پرولین در گیاه کینوا تحت هر دو شرایط تنش و غیرتنش کمبود آب مشاهده شد (Elewa *et al.*, 2017). در مطالعه دیگری نیز در گیاه فلفل افزایش محتوای پرولین با محلول پاشی گلیسین بتائین به دست آمد (Korkmaz *et al.*, 2015). این افزایش ممکن است به نقش محافظتی گلیسین بتائین بر روی برخی از آنزیم‌های کلیدی نسبت داده شود که نقش فعالی در بیوسنتز قندهای محلول و پرولین آزاد دارند. افزایش محتوای پرولین با محلول پاشی گلیسین بتائین در گیاهان مختلف نشان‌دهنده نقش مثبت این ترکیب در افزایش تحمل به تنش خشکی از طریق تنظیم مکانیزم‌های درگیر در رشد و تولید عملکرد تحت شرایط تنش است (Shehzadi *et al.*, 2019).

### محتوای فنل و فلاونوئید کل

محتوای فنل و فلاونوئید کل تحت هر دو تنش آبی (آبیاری تا شروع مرحله خمیری (تنش ملایم) و آبیاری تا شروع مرحله گل‌دهی (تنش شدید)) در هر دو سطح گلیسین بتائین (عدم محلول پاشی و محلول پاشی با گلیسین بتائین) افزایش نشان دادند. بیشترین مقادیر آن‌ها به ترتیب، ۷/۰۰ میلی گرم گالیک اسید در گرم وزن تر و ۱/۵۳ میلی گرم کوئرستین در گرم وزن تر تحت شرایط تنش آبی شدید و محلول پاشی با گلیسین بتائین مشاهده شد. بیشترین افزایش این ترکیبات تحت شرایط تنش آبی شدید در هر دو سطح گلیسین بتائین به دست آمد (جدول ۴).

سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی (فنلیک‌ها، کاروتنوئیدها، آسکوربیک اسید و توکوفرول‌ها) منجر به حفظ سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو می‌شود (Akram *et al.*, 2017). مشابه با نتایج ما افزایش محتوای فنلیک‌ها در گیاه کینوا تحت شرایط تنش خشکی مشاهده شده است (Elewa *et al.*, 2017). افزایش در محتوای فنلیک‌ها در پاسخ به تنش خشکی در گیاه کینوا ممکن است به این دلیل باشد که این متابولیت‌ها در مهار گونه‌های فعال اکسیژن عمدتاً از طریق آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو نقش دارند. در مطالعه دیگری نیز تنش خشکی منجر به افزایش محتوای فنلیک کل در گیاه کینوا گردید (Aziz *et al.*, 2018). افزایش محتوای فنلیک‌ها و

گیاه کینوا مشاهده شد (Lin and Chao, 2021). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تنش خشکی در گیاه ذرت نیز مشاهده شده است (Shafiq *et al.*, 2021). در مطالعه حاضر محلول پاشی گیاهان با گلیسین بتائین منجر به افزایش فعالیت هر چهار آنزیم آنتی‌اکسیدان در هر سه شرایط آبیاری به غیر از فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز تحت شرایط عدم تنش آبی (کنترل) شد (جدول ۵). مطابق با نتایج ما افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپر اکساید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز به وسیله گلیسین بتائین در گیاه کینوا مشاهده شده است (Maqsood *et al.*, 2021). در سایر گیاهان نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با کاربرد خارجی گلیسین بتائین مانند برنج (Farooq *et al.*, 2010)، فلفل (Korkmaz *et al.*, 2015) و یولاف (Shehzadi *et al.*, 2019) گزارش شده است.

سوپر اکساید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز می‌باشد (Chao and Hsueh, 2019). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همراه با مولکول‌های آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی از غشاهای سلولی و اندامک‌ها در برابر اثرات مضر گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کنند و به حفظ یکپارچگی و پایداری آن‌ها در شرایط تنش خشکی کمک می‌کنند (Arora *et al.*, 2002). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت شرایط تنش خشکی در گیاه کینوا مطابق با نتایج ما گزارش شده است. در مطالعه‌ای افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپر اکساید دیسموتاز و پراکسیداز تحت شرایط تنش خشکی در گیاه کینوا گزارش شد (Aziz *et al.*, 2017). در مطالعه دیگری نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپر اکساید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز تحت شرایط تنش کمبود آب در

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آبیاری و گلیسین بتائین بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه کینوا

Table 5- Mean comparison of irrigation treatment and glycine betaine interaction on antioxidant enzymes activity in quinoa plant

تیمار آبیاری Irrigation treatments	گلیسین بتائین Glycine betaine	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز
		Catalase	Ascorbate peroxidase	Peroxidase	Poly phenol oxidase
		unit/mg protein			
آبیاری تا مرحله رسیدگی کامل Irrigation to the full maturity stage	عدم کاربرد Non-application	1.349 <sup>d</sup>	1.112 <sup>e</sup>	1.497 <sup>f</sup>	0.723 <sup>f</sup>
	کاربرد application	1.177 <sup>e</sup>	0.930 <sup>f</sup>	2.213 <sup>d</sup>	1.065 <sup>d</sup>
آبیاری تا شروع مرحله گلدهی Irrigation to the beginning of the flowering stage	عدم کاربرد Non-application	1.229 <sup>e</sup>	2.378 <sup>b</sup>	2.821 <sup>c</sup>	1.748 <sup>b</sup>
	کاربرد application	2.407 <sup>a</sup>	2.453 <sup>a</sup>	3.631 <sup>a</sup>	1.899 <sup>a</sup>
آبیاری تا شروع مرحله خمیری irrigation to the beginning of the development stage	عدم کاربرد Non-application	2.088 <sup>c</sup>	1.269 <sup>d</sup>	1.843 <sup>e</sup>	0.985 <sup>e</sup>
	کاربرد application	2.197 <sup>b</sup>	1.951 <sup>c</sup>	2.955 <sup>b</sup>	1.265 <sup>c</sup>

برای هر صفت میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means with a same letter are not significantly different at 5% level of probability according to the LSD test.

و ۲۵۹/۹۰ گرم در متر مربع در شرایط عدم تنش آبی (کنترل) و محلول پاشی با گلیسین بتائین مشاهده شد. کمترین آن‌ها به ترتیب ۶۴۸/۱۵ و ۱۳۲/۸۲ گرم در متر مربع در شرایط تنش آبی شدید و عدم محلول پاشی با گلیسین بتائین به دست آمد. میزان کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش آبی ملایم در

### عملکرد بیولوژیک و دانه

تنش آبی ملایم (آبیاری تا شروع مرحله خمیری) و شدید (آبیاری تا شروع مرحله گل‌دهی) در هر دو سطح تیمار گلیسین بتائین منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه شد. بیشترین عملکرد بیولوژیک و دانه به ترتیب به میزان ۱۱۲۲/۰۶

سطح عدم محلول پاشی و محلول پاشی با گلیسین بتائین به ترتیب ۱۶/۸۵ و ۲۰/۰۴ درصد بود. تنش آبی شدید عملکرد دانه را به میزان ۳۴/۱۹ و ۴۵/۳۷ درصد به ترتیب در سطح عدم محلول پاشی و محلول پاشی با گلیسین بتائین کاهش داد (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آبیاری و گلیسین بتائین بر عملکرد بیولوژیک و دانه در گیاه کینوا

Table 6- Mean comparison of irrigation treatment and glycine betaine interaction on biological and seed yield in quinoa plant

تیمار آبیاری Irrigation treatments	گلیسین بتائین Glycine betaine	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
		Biological yield	Seed yield
		g/m <sup>2</sup>	
آبیاری تا مرحله رسیدگی کامل Irrigation to the full maturity stage	عدم کاربرد	944.5 <sup>c</sup>	201.9 <sup>b</sup>
	کاربرد	1122.1 <sup>a</sup>	259.9 <sup>a</sup>
آبیاری تا شروع مرحله گلدهی Irrigation to the beginning of the flowering stage	عدم کاربرد	648.2 <sup>f</sup>	132.8 <sup>d</sup>
	کاربرد	687.0 <sup>e</sup>	142.0 <sup>d</sup>
آبیاری تا شروع مرحله خمیری irrigation to the beginning of the development stage	عدم کاربرد	867.7 <sup>d</sup>	167.9 <sup>c</sup>
	کاربرد	1005.3 <sup>b</sup>	207.8 <sup>b</sup>

برای هر صفت میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means with a same letter are not significantly different at 5% level of probability according to the LSD test.

گردیده و بر پر شدن دلنه تأثیر می‌گذارد و در نتیجه عملکرد کاهش می‌یابد (Alqudah et al., 2011). هم‌چنین تنش خشکی باعث عقیم‌سازی دانه‌های گرده و اختلال در گرده‌افشانی، فتوسنتز و انتقال ذخایر ساقه به سنبله، کاهش تعداد دانه در سنبله و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود (Richars et al., 2001).

محلول پاشی گیاهان با گلیسین بتائین منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه در هر سه تیمار آبیاری شد. میزان افزایش عملکرد بیولوژیک به وسیله محلول پاشی گیاهان با گلیسین بتائین، ۱۵/۸۲، ۱۷/۷۷ و ۵/۶۶ درصد به ترتیب در شرایط کنترل، تنش ملایم و تنش شدید آبی در مقایسه با عدم محلول پاشی بود. محلول پاشی گیاهان با گلیسین بتائین عملکرد دانه را به میزان ۲۲/۳۴، ۱۹/۲۱ و ۶/۴۵ درصد به ترتیب تحت شرایط کنترل، تنش ملایم و تنش شدید آبی نسبت به عدم محلول پاشی افزایش داد (جدول ۶).

مطابق با نتایج ما افزایش قابل قبول در عملکرد گیاه کینوا مشاهده شد، وقتی که دانه‌های آن با گلیسین بتائین تیمار

مطابق با نتایج ما کاهش پارامترهای رشدی و صفات مرتبط با عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی در گیاه کینوا توسط سایر محققین نیز گزارش شده است. در مطالعه‌ای کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی در گیاه کینوا مشاهده شد (Fischer et al., 2013). در مطالعه دیگری نیز کاهش ارتفاع، قطر ساقه، وزن هزار دلنه، تعداد دلنه در گیاه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در گیاه کینوا گزارش شد (Mohammadi et al., 2021). تأثیر منفی تنش خشکی بر روی پارامترهای رشدی و عملکرد دانه در سایر گیاهان مانند آفتابگردان (Iqbal et al., 2008) و گز روغنی (Abd Elhamid et al., 2021) نیز گزارش شده است.

یکی از واکنش‌های گیاهان به تنش خشکی بسته شدن روزنه‌ها می‌باشد که در نتیجه آن جذب دی اکسید کربن کاهش پیدا کرده و در نهایت منجر به کاهش فتوسنتز می‌گردد (Mohammadi et al., 2021). تنش خشکی سرعت فتوسنتز و تجمع ماده خشک را کاهش می‌دهد و تعادل متابولیسم کربوهیدرات را مختل می‌کند که منجر به کاهش تعداد سنبله

عملکرد دانه به وسیله محلول پاشی با گلاسیسین بتائین مربوط به تجمع اسمولیت ها و اسیدهای آمینه ضروری و افزایش سیستم دفاعی آنزیمی می باشد (Shafiq *et al.*, 2021). در مطالعه حاضر نیز به نظر می رسد که گلاسیسین بتائین از طریق بهبود عملکرد بیولوژیک و سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی (تجمع پرولین و فنل و فلاونوئید کل) سبب افزایش عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و غیر تنش شده است.

### شاخص برداشت

اثر گلاسیسین بتائین و اثر متقابل تیمار آبیاری و گلاسیسین بتائین بر روی شاخص برداشت معنی دار نبود. اثر تیمار آبیاری بر روی این صفت معنی دار بود که مقایسه میانگین آن در جدول ۷ آورده شده است. تنش آبی ملایم و شدید سبب کاهش این صفت شد. بیشترین شاخص سطح برداشت در شرایط کنترل (۲۲/۲۹ درصد) ثبت گردید. طبق نتایج ما کاهش شاخص برداشت تحت شرایط تنش خشکی در گیاه کینوا مشاهده شده است (Mohammadi *et al.*, 2021).

شدند (Maqsood *et al.*, 2021). افزایش عملکرد دانه به وسیله کاربرد خارجی گلاسیسین بتائین در گیاه آفتابگردان (Iqball *et al.*, 2008) و ذرت (Shafiq *et al.*, 2021) نیز مشاهده شده است. گلاسیسین بتائین محلول پاشی شده بر روی گیاهان می تواند به راحتی توسط برگ ها جذب شود و به اندام های دیگر منتقل شود، جایی که می تواند با افزایش توانایی سلول های گیاهی برای تنظیم اسمزی و حفظ ثبات و یکپارچگی غشای سلولی، به بهبود تحمل به تنش کمک کند (Korkmaz *et al.*, 2015). در مطالعه دیگری نیز گزارش شده است که تیمار خارجی گلاسیسین بتائین رشد گیاه گز روغنی را تحت شرایط نرمال افزایش دادند و تحمل به تنش خشکی را از طریق افزایش پارامترهای رشدی بهبود دادند (Abd Elhamid *et al.*, 2021).

گلاسیسین بتائین می تواند اثرات زیان آور تنش خشکی را از طریق افزایش پارامترهای رشدی، اجزای رنگیزه ها، محتوای محافظ های اسمزی و تثبیت پروتئین های ضروری خنثی کند (Liaquat *et al.*, 2020). هم چنین گزارش شده است که بهبود

جدول ۷- مقایسه میانگین شاخص برداشت گیاه کینوا در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 7- Mean comparison for harvest index of quinoa plant in different irrigation treatments

تیمار آبیاری Irrigation treatments	شاخص برداشت Harvest index	
	%	
آبیاری تا مرحله رسیدگی کامل Irrigation to the full maturity stage	22.29 <sup>a</sup>	
آبیاری تا شروع مرحله گلدهی Irrigation to the beginning of the flowering stage	21.56 <sup>b</sup>	
آبیاری تا شروع مرحله خمیری irrigation to the beginning of the development stage	20.54 <sup>c</sup>	

میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means with a same letter are not significantly different at 5% level of probability according to the LSD test.

به تنش اکسیداتیو است. کاربرد گلاسیسین بتائین در هر سه شرایط آبیاری (کنترل و تنش ملایم و شدید آبی) منجر به بهبود عملکرد بیولوژیک و دانه و صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی شد. بنابراین گلاسیسین بتائین سبب جبران اثرات نامطلوب تنش آبی بر روی رشد و تولید عملکرد از طریق سیستم دفاعی آنزیمی و غیر آنزیمی شده است. از این رو، کاربرد خارجی گلاسیسین بتائین می تواند برای افزایش تحمل به تنش آبی در گیاه کینوا استفاده شود.

### نتیجه گیری کلی

عملکرد بیولوژیک و دانه تحت هر دو شرایط تنش آبی در هر دو سطح تیمار گلاسیسین بتائین کاهش و محتوای پرولین و فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان افزایش داشتند که نشان دهنده اثرات مخرب این تنش بر روی پارامترهای رشدی و عملکرد بود. افزایش تجمع متابولیت ها (پرولین و فنل و فلاونوئید کل) و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان (کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و پلی فنول اکسیداز) در شرایط تنش به ترتیب نشان دهنده پاسخ های دفاعی غیر آنزیمی و آنزیمی

**References**

- Abd Elhamid, E.M., Sadak, M. Sh, Ezzo, M.I. and Abdalla, A.M., 2021. Impact of glycine betaine on drought tolerance of *maringa oleifera* plant grown under sandy soil. *Asian Journal of Plant Sciences*, 20, pp.578-589. **doi: 10.3923/ajps.2021.578.589**
- Akram, N.A., Shafiq, F. and Ashraf, M., 2017. Ascorbic acid a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 8, 613. **doi: 10.3389/fpls.2017.00613**
- Alqudah, A.M., Samarah, N.H. and Mullen, R.E., 2011. Drought stress effect on crop pollination, seed yield and quality. In *Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation*; Lichtfouse, E., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp.193-213. **doi:10.1007/978\_94\_007\_0186\_1\_6**
- Ardestani, A. and Yazdanparast, R., 2007. Antioxidant and free radical scavenging potential of *Achillea santolina* extracts. *Food Chemistry*, 104, pp.21-29. **doi: 10.1016/j.foodchem.2006.10.066**
- Arora, A., Sairam, R.K. and Srivastava, G.C., 2002. Oxidative stress and antioxidative systems in plants. *Current Science*, 82, pp.1227-1238. **doi: 10.016/j.envexpbot.2005.12.006**
- Ashraf, M. and Foolad, M.A., 2007. Improving plant abiotic stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycine betaine and proline. *Environmental and Experimental Botany*, 59, pp.206-216. **doi: 10.1016/j.envexpbot.2005.12.006**
- Aziz, A., Akram, N.A. and Ashraf, M., 2018. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123, pp.192-203. **doi: 10.1016/j.plaphy.2017.12.004**
- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, pp.205-207. **doi: 10.1007/bf00018060**
- Beebs, S., Ramirez, J. Javis, A., Rao, I.M., Mosquera, G. and Bueno, J.M., 2011. Genetic improvement of common beans and the challenges of climate change. *Crop Adaptation to Climate Change*, 10, pp.356-369. **doi: 10.1002/9780470960929.ch25**
- Beers, G.R. and sizer, I.W., 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Biological Chemistry*, 195, pp.133-140. doi.org/10.1016/s0021\_9258(19)50881\_x
- Chao, Y.Y. and Hsueh, I.E., 2019. Insights into physiological mechanisms of salt stress tolerance in djulis (*Chenopodium formosanum* koidz) sprouts. *Journal of Plant Physiology*, 62, pp.263-273. **doi: 10.1007/s/2374-019-0053-y**
- Elewa, T.A., Sadak, M.Sh. and Saad, A.M., 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*, 14, pp.21-33. **doi: 10.1080/00103624.2046036**
- Fahad, S., Bajwa, A.A., Nazir, U., Amjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A. et al., 2017. Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, 8, pp.40-50 **doi: 103389/fpls.2017.01147**
- Fang, Y. and Xiong, L., 2015. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance

- improvement in plants. *Cell Mol. Life Science*, 72, pp.673-689. doi: **10.1007/s00018-014-1767-0**
- Farooq, M., Wahid, A., Lee, D.J., Cheema, S.A. and Aziz, T., 2010. Drought stress comparative time course action of the foliar applied glycine betaine, salicylic acid, nitrous oxide, brassinosteroids and spermine in improving drought resistance of rice. *Journal of Agronomy Crop and Science*, 196, pp.336-345. doi: **10.1111/j.1439-037x.2010.00422.x**
- Fielding, J.L. and Hall, J., 1978. A biochemical and cytochemical Study of peroxidase activity in root pea. *Journal of Experimental Botany*, 29, pp.978-989. doi: **10.1093/jxb/29.4.983**
- Fischer, S., Wilckens, R., Jara, J. and Aranda, M., 2013. Variation in antioxidant capacity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Will) subjected to drought stress. *Industrial Crops and Products*, 46, pp.341-349. doi: **10.1016/j.indcrop.2013.01/037**
- Ghosh, U.K., Islam, M.N., Siddiqui, M.N. and Khan, Md. A. R., 2021. Understanding the roles of osmolytes for acclimatizing plants to changing environment: a review of potential mechanism. *Plant Signaling and Behavior*, e1913306, pp.1-15. doi: **10.1080/15592324.2021.1913306**
- Gorinstein, S. and Lojek, A., 2008. Comparison of composition and antioxidant capacity of some cereals and pseudocereals. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, pp.629-637. doi: **10.1111/j.1365-2621.2007.01498.x**
- Hirose, Y., Fujita, T., Ishii, T. and Ueno, N., 2010. Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan. *Food Chemistry*, 119, pp.1300-1306. doi: **10.1016/j.foodchem.2009.09.008**
- Iqbal, N., Ashraf, M. and Ashraf, M.Y., 2008. Glycinebetaine, an osmolyte of interest to improve water stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.): water relations and yield. *South African Journal of Botany*, 74, pp.274-281. doi: **10.1016/j.sajb.2007.11.016**
- Janovitz-Klapp, A.H., Richard, F.C., Goupy, P.M. and Nicolas, J.J., 1990. Inhibition studies on apple polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 38, pp.926-931. doi: **10.1021/jf00094a002**
- Korkmaz, A., Deger, O. and Kocacinar, F., 2015. Alleviation of water stress effects on pepper seedlings by foliar application of glycinebetaine. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural*, 43, pp.18-31. doi: **10.1080/0114067.2014.936945**
- Liaquat, S., Masroor, A., Ghafoor, F., Magqsood, Z., Tasleem, W. and Ghafoor, A., 2020. Effect of glycine betaine as a growth promoter and stress mitigator in *Brassica oleracea* Var. Italica. *Journal La Lifescience*, 1, pp.31-35. doi: **10.37899/journallalifesci.v1i4.206**
- Lin, M., Han, P., Li, Y., Wang, W., Lai, D. and Zhou, L., 2019. Quinoa secondary metabolites and their biological activities or functions: A review. *Molecules*, 24, pp.22512. doi: **10.3390/molecules24132512**
- Lin, P.H. and Chao, Y.Y., 2021. Different drought-tolerant mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) and djulis (*Chenopodium formosanum* Koidz.) based on physiological analysis. *Plants*, 10, pp.2279. doi: **10.3390/plants10112279**
- Mahmood, K.T., Mugal, T. and Haq, I.U., 2010. *Moringa oliefera*. A natural gift-A review. *Journal of*

- Pharmaceutical Sciences and Research*, 2, pp.775-781. doi: **10.25081/rip.2014.v14.8807**
- Maqsood, M.F., Shahbaz, M., Arfan, M. and Basra, S.M.A., 2021. Presowing seed treatment with glycine betaine confers NaCl tolerance in quinoa by modulating some physiological processes and antioxidant machinery. *Turkish Journal of Botany*, 45, pp.1-14. doi: **10.3906/bot-2009-13**
- Matiacevich, S., Castellion, M., Maldonado, S. and Buera, P., 2006. Water-dependent thermal transitions in quinoa embryos. *Thermochimica Acta*, 448, pp.117-122. doi: **10.1016/j.tca.2006.06.016**
- Mohammadi, F., Maleki, A. and Fathi, A., 2021. Effects of drought stress and humic acid on plant growth, yield quality and its components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild). *Journal of Crop Nutrition*, 7, pp.11-23. doi: **10.22059/jci.2021.312419.2469**
- Praba, M.L., Cairns, J.E., Babu, R.C. and Laffite, H.R., 2009. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195, pp.30-46. doi: **10.1111/j.1439-037x.2008.00341.x**
- Quan, R., Shang, M., Zhang, H., Zhao, Y. and Zhang, J., 2004. Engineering of enhanced glycine betaine synthesis improves drought tolerance in maize. *Plant Biotechnology*, 2, pp.477-486. doi: **10.1111/j.1467-7652.2004.00093.x**
- Quiroga, G., Erice, G., Aroca, R., Zamarreno, A.M., Garcia-Mina, J.M. and Ruiz-Lozano, A., 2020. Radical water transport in arbuscular mycorrhizal maize plants under drought stress conditions is affected by indol-acetic acid (IAA) application. *Journal of Plant Physiology*, 1, pp.246-247. doi: **1016/j.jplph.2020.153115**
- Rajput, V.D., Harish, H., Singh, R.K., Verma, K.K., Sharma, L., Quiroz-Figueroa, F.R., et al., 2021. Recent developments in enzymatic antioxidant defense mechanism in plants with special reference to abiotic stress: A review. *Biology*, 10, 267. doi: **10.3390/biology10040267**
- Raza, S.H., Athar, H.R., Ashraf, M. and Hameed, A., 2007. Glycine betaine- induced modulation of antioxidant enzymes activities and ion accumulation in two wheat cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 60, pp.368-376. doi: **10.1016/j.envexpbot.2006.12.009**
- Richards, R.A., Condon, A.G. and Rebetzke, G.J., 2001. Traits to improve yield in dry environments. *Application of Physiology in Wheat Breeding* (CYMMYT.). 240 pp. doi: **10.3389/fpls.2021.684205**
- Sadak, M.S., El-Bassiouny, H.M.S. and Dwood, M.G., 2019. Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit. *Bulletin of the National Research Centre*, 43, pp.5-10. doi: **10.1186/s42269-018-0039-9**
- Sakamoto, A. and Murata, M., 2002. The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. *Plant, Cell and Environment*, 25, pp.163-171. doi: **10.1046/j.0016-8025.2001.007**
- Schneider, C., 2005. Chemistry and biology of vitamin E. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49, pp.7-30. doi: 10.1002/mnfr.200400049
- Shafiq, S., Akram, N.A., Ashraf, M., Garcia-Caparros, P., Ali, O.M. and Latef, A.A.H.A., 2021. Influence of glycine betaine (natural and synthetic) on growth, metabolism and yield production of drought-stressed maize (*Zea mays* L.) plants. *Plants*, 10, 2540. doi: **10.3390/plants10112540**

- Shehzadi, A., Akram, N.A., Ali, A. and Ashraf, M., 2019. Exogenously applied glycine betaine induced alteration in some key physio-biochemical attributes and plant anatomical features in water stressed oat (*Avena sativa* L.) plants. *Journal of Arid Land*, 11, pp.292-305. doi: **10.1007/s40333-019-0007-8**
- Yoshimura, K., Yabute, Y., Ishikawa, T. and Shigeoka, S., 2000. Expression of spinach ascorbate peroxidase isoenzymes in response to oxidative stresses. *Plant Physiology*, 123, pp.223-233. doi: **10.1104/pp.123.1.223**
- Zhang, D.Y., Yao, X.H., Duan, M.H., Wei, F.Y., Wu, G.H. and Li, L., 2015. Variation of essential oil content and antioxidant activity of *Lonicera* species in different sites of China. *Industrial Crops and Products*, 77, pp.772-779. doi: **10.1016/j.indcrop.2015.09.048**
- Zeinab, Q., Tanees, C.M., Xiongming, D.U. Lori, H. and Tehseen, M.A., 2021. Review of oxidative stress and antioxidative defense mechanisms in *Gossypium Hirsutum* L. in response to extreme abiotic conditions. *Journal of Cotton Research*, 4, pp.1-9. doi: **10.1186/s42397-021-00086-4**

## The effect of foliar application of glycine betaine on biochemical, physiological, and agronomic traits of quinoa plant (*Chenopodium quinoa* Wild.) under different irrigation regimes

Seyyed Fatemeh Mousavi Sardou<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Payame Noor University, Tehran, Iran

\*Corresponding Author: [mfateme604@pnu.ac.ir](mailto:mfateme604@pnu.ac.ir)

Received: 3 June 2024 Accepted: 5 July 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.457698.1417

### Abstract

**Introduction:** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) is a pseudocereal that is one of the oldest crops in the Americas and a native plant in the Andes region. Compared to other grains, quinoa has more protein and a more balanced amino acid composition with 8-5% lysine and 1.5-2.4% methionine. Drought, heat, salinity, etc. are types of abiotic stresses that reduce plant growth and cause a sharp drop in crop yield due to various changes at the physiological, morphological, and molecular levels. In addition, drought stress may cause the production of reactive oxygen species in plants, which damage lipid and protein structures and cause the cell membrane to lose permeability and selectivity. Leakage of intracellular ions leads to disturbance in metabolism, chloroplast decomposition, and reduction of chlorophyll content.

Glycine betaine not only acts as an osmotic regulator but also stabilizes the structure and activity of enzymes and protein complexes and maintains the integrity of membranes against the damaging effects of drought. Glycine betaine treatment increases the growth, survival, and tolerance of plants to different stress conditions by regulating different metabolic processes, improving the rate of absorption of pure CO<sub>2</sub>, maintaining proteins, enzymes, and lipids of the photosynthetic apparatus, and maintaining the flow of electrons through thylakoid membranes.

This research was conducted to investigate the effect of glycine betaine foliar application on agronomic, biochemical, and physiological traits of quinoa under water stress conditions.

**Materials and Methods:** The experiment of split plots based on randomized complete blocks design with three replications was performed at the station of Research in the 2020-2021 and 2021-2022 crop years, Agriculture and Natural Resources Center in Kerman province of Iran. The main factor included three levels of irrigation treatment (irrigation to the full maturity stage (control), irrigation to the beginning of the flowering stage, and irrigation to the beginning of the development stage) and the secondary factor included two levels of glycine betaine (0 and 3 mM). Biological and seed yields and harvest index, biochemical traits including proline and total phenol and flavonoid contents, and physiological traits including the activity of antioxidant enzymes such as catalase, ascorbate peroxidase, peroxidase, and polyphenol oxidase were measured. Variance analysis of all traits and LSD mean comparison test at five percent level was conducted with SAS software version 9.2.

**Results and Discussion:** The effect of irrigation factor and glycine betaine and their interaction effect on the most measured traits were significant. The highest biological and seed yields were observed in control condition and the application of glycine betaine. The lowest of them were in plants grown under irrigation condition to the beginning of the flowering stage and non-application of glycine betaine. Water stress was increased the content of proline and total phenol and flavonoid and the activity of antioxidant enzymes in both level of glycine betaine. The foliar application of glycine betaine caused an increase in the biological and seed yields and biochemical and physiological traits at all three irrigation conditions.

**Conclusion:** Under water stress conditions at both glycine betaine levels, the biological and seed yields decreased while the biochemical and physiological traits increased. These results show that the quinoa plant responds to water stress with enzymatic and non-enzymatic defense systems. The application of glycine betaine led to the improvement of biological and seed yields and biochemical

and physiological traits in all three irrigation treatments. So, glycine betaine can be used to compensate for the harmful effects of water stress in quinoa.

**Keywords:** Antioxidant enzymes, Interaction effect, Proline, Seed yield, Water stress



## ارزیابی خصوصیات اقتصادی و بوم‌شناختی نظام تولید گندم در منطقه سیستان با استفاده از تکنیک روش امرژی

فاطمه عنایت<sup>۱</sup>، احمد قنبری<sup>۲</sup>، محمدرضا اصغری پور<sup>۲\*</sup>، اسماعیل سیدآبادی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

\* مسئول مکاتبه: [m\\_asgharipour@uoz.ac.ir](mailto:m_asgharipour@uoz.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.375746.1299

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

### چکیده

گندم، مهم‌ترین محصول زراعی سیستان است که بسته به وجود آب، معیشت جمعیت زیادی از کشاورزان منطقه را تأمین می‌کند؛ بنابراین تداوم تولید این محصول هم به لحاظ تأمین بخشی از نیاز غذایی خانواده‌ها و هم درآمدی که بابت فروش آن عاید تولیدکنندگان می‌شود از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو تصمیم گرفته شد تا پایداری تولید گندم در منطقه با استفاده از تکنیک تحلیل امرژی و شاخص‌های وابسته به این روش مورد ارزیابی قرار گیرد. اطلاعات مورد نیاز برای رسیدن به این هدف در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ از سطح ۲۸۵ مزرعه گندم منطقه جمع‌آوری شد. این تعداد از طریق فرمول کوکران مشخص و کشاورزان از طریق روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شدند. اطلاعات جمع‌آوری شده به دو گروه محیطی و اقتصادی تقسیم شدند که از مجموع این ورودی‌ها ( $10^6 \times 5/35$  ام ژول خورشیدی در سال) سهم نهاده‌های محیطی قابل توجه بود و نهاده‌های اقتصادی تنها حدود ۱۵ درصد از منابع را به خود اختصاص دادند. تأثیر زیاد نهاده‌های محیطی در روند تولید موجب شد تا مقدار شاخص‌های EIR و EYR در وضعیت مطلوبی قرار گیرد. این سامانه تحت حمایت ۳۴ درصدی منابع تجدیدپذیر قرار داشت. این موضوع موجب شد تا نظام تولیدی با توجه به شاخص نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده، رفتار منعطف‌تری با بوم‌نظام‌های اطراف داشته باشد. با توجه به اینکه نهاده‌های محیطی غیرقابل تجدید به ویژه فرسایش خاک، تأثیر زیادی در فرایند تولید داشت، اقدامات مدیریتی جهت حفظ بقایای گیاهی در داخل مزرعه تأثیر مثبتی در تداوم تولید گندم منطقه دارد.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی پایداری، فرسایش خاک، معیشت کشاورزان، نسبت بارگذاری محیطی، نهاده‌های تجدیدپذیر

### مقدمه

حیات و ردپای اکولوژیک برای ارزیابی پایداری این نظام‌های تولیدی وجود دارد. اما با توجه به اینکه بوم‌نظام‌های کشاورزی در جایگاهی میان نظام‌های اقتصادی و زیست‌محیطی قرار دارند که هم به منابع حاصل از اقتصاد انسانی و هم جریان‌های آزاد محیطی وابسته هستند (Rydberg and Haden, 2006)، تکنیک تحلیل امرژی به دلیل اینکه قادر است مجموع جریان‌های ورودی به نظام تولیدی را در نظر بگیرد (Amaral *et al.*, 2016)، روش مناسبی برای بررسی پایداری این سامانه‌ها است. تجزیه و تحلیل امرژی پلی است که نظام‌های اقتصادی و زیست‌محیطی را به هم متصل می‌کند و ناتوانی پول در ارزش‌گذاری نهاده‌های غیربازاری را به شیوه‌ای عینی جبران می‌کند (Hau and Bakshi, 2004). مزیت اصلی رویکرد امرژی این است که امکان تبدیل کلیه جریان‌ها و ذخایر طبیعی و منابع اقتصادی را به یک واحد مشترک برای اندازه‌گیری همه انواع نهاده‌ها فراهم می‌کند (Odum, 1996)، بنابراین امکان

برخی از محصولات کشاورزی به لحاظ تأمین نیازهای غذایی جمعیت انسانی، اهمیت به عنوان ماده اولیه صنایع و ارزآوری، جزء محصولات استراتژیک برای کشورها محسوب می‌شوند. گندم از جمله این محصولات است که با طیف وسیعی از محیط‌ها سازگار است (Battenfield *et al.*, 2016) و عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک که به شدت مستعد کم‌آبی هستند کشت می‌شود (Acevedo *et al.*, 2018). سیستان جزء مناطق خشک با شرایط آب و هوایی سخت است و گندم مهم‌ترین محصول زراعی آن محسوب می‌شود. این منطقه روزگاری به سبب تولید گندم به انبار غله ایران معروف بود که این نشان از ارزش تولید این محصول در این سرزمین دارد؛ بنابراین با توجه به اهمیت تولید گندم در منطقه، نیاز است تا پایداری تولید این محصول مورد ارزیابی قرار گیرد. روش‌های مختلفی از جمله تحلیل انرژی، ارزیابی چرخه

بخش قرار گیرد که نتیجه آن رسیدن به اهداف مورد نظر است. با این حال ارزیابی‌های صورت گرفته درباره اصولی که کشاورزان برای افزایش بازده پیرو آن هستند نشان می‌دهند که خروجی از نظام‌های تولیدی کمتر از نهاده‌های تزریقی به این نظام‌ها شده است که این امر موجب اختلال در تداوم تولید این سامانه‌ها می‌شود. بنابراین اهمیت دادن به موضوع پایداری می‌تواند نقش مهمی در استمرار فعالیت‌های بخش کشاورزی داشته باشد. برای این منظور در مطالعه حاضر، نظام تولید گندم که مهم‌ترین محصول زراعی منطقه سیستان است و روزی به انبار غله ایران معروف بود را با توجه به سهم نهاده‌های ورودی و خروجی دریافتی از طریق تکنیک امرژی مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. نتایج این مطالعه می‌تواند به کشاورزان در هدایت صحیح نظام تحت مدیریت خود به سمت پایداری کمک کند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

این تحقیق به بررسی پایداری نظام تولید گندم در منطقه سیستان شامل شهرهای زابل، زهک، هامون، هیرمند و نیمروز در محدوده جغرافیایی بین ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا واقع در جنوب شرق ایران و شمال استان سیستان و بلوچستان می‌پردازد. این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک با میانگین بلند مدت (سال‌های ۹۷-۱۳۶۷) دمای ۲۲/۷ درجه سانتی‌گراد، متوسط رطوبت ۳۶/۳ درصد، بارش ۵۱/۴ و تبخیر ۴۶۸۳/۱ میلی‌متر است.

گندم، مهم‌ترین محصول زراعی در منطقه سیستان است. کشت این محصول معمولاً از آبان‌ماه آغاز و بسته به شرایط آب و هوایی، ماه اردیبهشت زمان شروع برداشت گندم از مزارع منطقه است. به طور معمول عملیات آماده‌سازی بستر و برداشت محصول در منطقه توسط ماشین‌آلات صورت می‌گیرد و نیروی انسانی در سایر مراحل تولید مانند بذر پاشی، نقش پررنگی دارد. این موضوع موجب می‌شود تا بذر به صورت یکنواخت در مزرعه پخش نشود که حاصل آن می‌تواند موجب کاهش عملکرد گندم منطقه شود. مسئله دیگری که بر میزان خروجی نظام تولیدی مؤثر است، مشکل کمبود آب در منطقه است. بنابراین

مقایسه عادلانه‌تری در داخل و بین نظام‌ها فراهم می‌شود (Amaral *et al.*, 2016). از این‌رو تحلیل امرژی ارزیابی جهانی‌تری از نیازمندی‌های تولید کشاورزی نسبت به روش‌های دیگر که صرفاً بر ورودی‌های انرژی تجاری تمرکز می‌کنند ارائه می‌دهد (Fluck, 1992).

از ابتدای معرفی تحلیل امرژی به جامعه علمی تا به امروز به دلیل اهمیت دادن این تکنیک به نقش مجموع نهاده‌های ورودی در فرایند تولید، توجه زیادی را به خود جلب کرده و پژوهش‌های متعددی با این موضوع انجام شده است. از آن جمله می‌توان به مطالعه تأثیر اندازه مزرعه بر پایداری تولید گندم به وسیله تحلیل امرژی در سبزوار اشاره کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که اندازه مزرعه تأثیرات متفاوتی بر میزان و ساختار امرژی ورودی داشت. مزارع کوچک مقیاس برای تولید محصول به کمترین میزان امرژی نیاز داشتند در صورتی که مزارع با مساحت زیاد برعکس بودند. عملکرد اقتصادی گندم در مزارع بزرگ به ترتیب ۲۰ و ۱۲۰ درصد بیشتر از مزارع متوسط و کوچک مقیاس بود، در صورتی که در مقیاس‌های کوچک به دلیل تولید سنتی و استفاده نکردن از بذرهای اصلاح شده تراکم کاشت به صورت یکنواخت انجام نشد و این موضوع موجب شد تا عملکرد کاهش یابد (Fallahinejad *et al.*, 2022). استفاده از تحلیل امرژی جهت مقایسه اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید چهار محصول گندم، جو، چغندرقد و زعفران به عنوان محصول جدید نشان داد که ورود زعفران به منطقه مورد مطالعه که خوشاب استان خراسان رضوی است، موجب افزایش پایداری تولید شد (Fallahinejad *et al.*, 2021). ارزیابی پایداری چهار محصول گلخانه‌ای خیار، بادمجان، گوجه فرنگی و فلفل دلمه‌ای با استفاده از تحلیل امرژی در جیرفت نشان از پایداری بیشتر نظام تولید خیار نسبت به سه نظام دیگر داشت (Asgharipour *et al.*, 2020). هم‌چنین ارزیابی پایداری دو نوع نظام تولید معیشتی و تجاری کلزا در خرم‌آباد نشان داد که کشت معیشتی کلزا نسبت به زراعت تجاری آن از نظر بوم‌شناختی پایدارتر است (Amiri *et al.*, 2019).

کشاورزی در درجه اول به افزایش عملکرد محصول و بهبود کارایی اقتصادی نظام‌های تولید توجه دارد. این موضوع موجب شده تا مجموعه‌ای از فرایندها مانند کاربرد زیاد کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی در دستور کار فعالیت‌های این

است (Cavalett *et al.*, 2006). جریان‌های ورودی به نظام مورد مطالعه به سه گروه تجدیدپذیر محیطی، تجدیدنپذیر محیطی و خریداری شده (تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر) تقسیم می‌شوند. اطلاعات منابع محیطی تجدیدپذیر از داده‌های آماری ثبت شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه بدست آمد. فرسایش و کاهش ماده آلی خاک از جمله جریان‌های تجدیدنپذیر محیطی هستند که اطلاعات مورد نیاز برای فرسایش آبی بر اساس مدل جهانی فرسایش خاک (USLE<sup>۲</sup>) و کاهش ماده آلی از طریق نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک و تعیین مقدار ماده آلی نمونه‌های جمع‌آوری شده قبل از کشت و پس از برداشت، بدست آمد. سایر داده‌های لازم برای این مطالعه که مربوط به نهاده‌های اقتصادی است از طریق مصاحبه حضوری با مدیران نظام‌های تولیدی حاصل شد.

منابع خریداری شده مورد نظر در این مطالعه شامل تمامی نهاده‌های ورودی به نظام توسط کشاورز است. این نهاده‌ها شامل بذر با (۲۰ درصد تجدیدپذیری)، نیروی انسانی (۱۰ درصد تجدیدپذیری)، الکتریسیته (۵ درصد تجدیدپذیری)، کود شیمیایی، سوخت‌های فسیلی و ماشین‌آلات هستند (Asgharipour *et al.*, 2020). میزان ورودی ماشین‌آلات و تاسیسات بر اساس طول عمر پیش‌بینی شده آن‌ها بیان می‌شود. مقدار انرژی خروجی به عنوان کالری قابل سوختن با استفاده از روش ارائه شده در ISO1928 تعریف شد (Dorado *et al.*, 2006). مجموع ورودی‌های مزارع گندم در واحد هکتار به همراه فاکتور تجدیدپذیری آن‌ها در جدول ۱ دسته‌بندی شده‌اند.

پس از محاسبه همه جریان‌های ورودی و خروجی، با ضرب انواع جریان انرژی و مواد در ضرایب تبدیل مناسب که مسیر تحولات انرژی در جهان را منعکس می‌کنند و سلسله مراتب انرژی را طراحی می‌کنند (Brown *et al.*, 2004) می‌توان آن‌ها را به واحد انرژی خورشیدی (sej) تبدیل کرد (Asgharipour *et al.*, 2019). همه مقادیر به ضریب انرژی پایه سیاره‌ای  $1.2 \times 10^{24}$  امزول خورشیدی درسال تبدیل شدند (Brown *et al.*, 2016). جدول ۱ ارائه دهنده مجموع جریان‌های انرژی نظام‌های تولیدی نیز است.

تنش حاصل از کم‌آبی عملکرد گندم را نسبت به سایر مناطق که با این مشکل مواجه نیستند به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد.

## جامعه آماری و جمع‌آوری داده‌ها

این مطالعه در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ پس از طراحی پرسشنامه‌ای دقیق از طریق مصاحبه حضوری با مدیران مزارع گندم پنج شهرستان (زابل، زهک، هیرمند، هامون و نیمروز) حوزه سیستان انجام شد. به منظور مشخص شدن جامعه آماری مورد مطالعه، تعداد مزارع گندم موجود در منطقه به عنوان نمونه کل انتخاب، سپس برای پیدا کردن حجم نمونه مورد مطالعه از فرمول کوکران استفاده شد (Cochran, 1942).

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{n} \left( \frac{z^2 pq}{d^2} - 1 \right)} \quad (1)$$

که در آن مقدار  $Z_{\alpha/2}$ ،  $1/96$  در سطح خطای ۵ درصد در نظر گرفته شده، و مقدار خطای مجاز (d)  $0/5$  تعیین شده است. N اندازه جامعه هدف، n اندازه نمونه، P نسبت یک صفت در جامعه و q (1-p) درصد افراد فاقد آن ویژگی در جامعه است. استفاده از این فرمول مشخص کرد که حجم نمونه مورد مطالعه ۲۸۵ مزرعه گندم است، همچنین انتخاب کشاورزان نیز از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده صورت گرفت.

## روش تحلیل امرژی و تبدیل واحد مجموع منابع به امزول خورشیدی

اولین گام در تحلیل امرژی تعیین مرزهای زمانی و مکانی و در ادامه ترسیم نمودار زبان نظام‌های انرژی (ESL<sup>۱</sup>) است (Odum and Peterson, 1996). این امر برای سازمان‌دهی روابط بین اجزای اصلی و فرایند یک نظام و همچنین به تصویر کشیدن پایه‌های زیست‌محیطی نظام بوم‌شناختی و ارتباط آن با اقتصاد بزرگ‌تر ضروری است (Cavalett *et al.*, 2006). نمودار زبان نظام‌های انرژی ترسیم شده با استفاده از نمادهای با معانی خاص برای نظام‌های تولید گندم توسط شکل ۱ مشخص شده است. گام دوم برای ارزیابی امرژی سازمان‌دهی ورودی‌های مختلف در جدول ارزیابی امرژی بر اساس نمودار ترسیم شده

<sup>2</sup> Universal Soil Loss Equation

<sup>1</sup> Energy Systems Language

جدول ۱- ورودی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی و نتایج تحلیل امرزی نظام‌های تولید گندم در منطقه سیستان

**Table 1- Economic and environmental inputs and results of emergy analysis of wheat production systems in Sistan region**

ورودی‌ها Inputs	واحد Unit	فاکتور تجدیدپذیری (%) Ran. Factor	اطلاعات خام Raw	ضریب تبدیل ( $sej\ Unit^{-1}$ ) UEV	منابع برای ضریب تبدیل Refs. for transformity	امرزی ( $sej$ ) Emergy	Share
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر							
Renewable environmental inputs							
انرژی خورشید Solar energy	J	1	2.92E+13	1.00E+00	Definition	2.92E+13	0.05%
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	J	1	6.26E+10	1.25E+03	Campbell and Erban 2016	7.83E+13	0.15%
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	J	1	4.90E+11	2.25E+04	Campbell (man.)	1.10E+16	20.60%
انرژی ژئوپتانسیل باران Rain, geopotential	J	1	1.69E+08	1.34E+04	Campbell et al., 2005	2.26E+12	0.00%
زیرمجموعه Subtotal						1.10E+16	
ورودی محیطی غیرقابل تجدید							
Non-renewable environmental inputs							
آب زیرزمینی Groundwater	J	0	1.47E+10	3.61E+04	Cuadra and Rydberg, 2006	5.31E+14	0.99%
تبخیر و تعرق آب باران Evapotranspiration, ground water	J	0	1.14E+10	2.88E+04	Campbell (man.)	3.28E+14	0.61%
کاهش ماده آلی خاک SOM reduction	J	0	1.33E+11	9.36E+04	Brown and Bardi, 2001	1.24E+16	23.25%
فرسایش خاک Soil erosion	g	0	1.68E+07	1.27E+09	Brown and Bardi, 2001	2.13E+16	39.87%
زیرمجموعه Subtotal						3.46E+16	
ورودی‌های خریداری شده							
Purchased inputs							
نیروی انسانی Human labor	J	0.1	1.53E+08	2.22E+06	Lu et al., 2009	3.40E+14	0.63%
ماشین‌آلات Machinery	g	0	1.28E+03	1.01E+10	Campbell et al., 2005	1.29E+13	0.02%
سوخت‌های فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	g	0	6.63E+09	8.60E+04	Bastianoni et al., 2009	5.70E+14	1.07%
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	0	2.00E+05	3.09E+10	Brandt-Williams, 2002	6.18E+15	11.55%
الکتریسیته Electricity	J	0.05	7.74E+08	2.31E+05	Amiri et al, 2019	1.79E+14	0.33%
بذر Seed	Rials	0.2	8.00E+06	6.76E+07	Asgharipour et al., 2020	5.41E+14	1.01%
زیرمجموعه Subtotal						7.82E+15	
مجموع Total						5.35E+16	100%
خروجی							
Output							
دانه گندم Wheat grain	g		2.08E+06				
دانه گندم Wheat grain	J		3.05E+10				
کاه گندم Wheat straw	g		2.25E+06				
کاه گندم Wheat straw	J		2.81E+10				

جدول ۲- مشخصات و فرمول شاخص‌های امرزی نظام‌های تولید گندم سیستان

شاخص‌ها	فرمول	خصوصیات
Indices	Formula	Specifications
ضریب تبدیل Transformity (Tr)	$Tr = U / E (sej J-1)$	مقدار امرزی مورد نیاز برای تولید یک خروجی اقتصادی بر حسب ژول، معیاری برای کارایی نظام. Amount of emergy required to produce an economic output in joules, a measure of system efficiency.
امرزی ویژه Specific emergy (SpE)	$SE = U / W$	مقدار امرزی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی که بر حسب گرم اندازه گیری می شود. W وزن قابل دسترس محصول است. Amount of energy required to produce an output unit measured in grams. W is the accessible weight of the product.
درصد تجدیدپذیری امرزی Emergy renewability (R%)	$\%R = (R+FR) / U$	درصد امرزی تجدیدپذیر استفاده شده توسط نظام Percentage of renewable emergy used by the system
نسبت مبادله امرزی Emergy exchange ratio (EER)	$EER = YM / U$	نسبت مبادله امرزی بر اساس عملکرد محصول در واحد سطح Emergy exchange ratio based on crop yield per unit area
نسبت عملکرد امرزی Emergy yield ratio (EYR)	$EYR = U / (FR+FN)$	توانایی یک فرایند برای استفاده از منابع محلی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر زمانی که منابع اقتصادی از خارج در نظام به عنوان ورودی سرمایه سرمایه گذاری می شود. Ability of a process to use local renewable and non-renewable resources when economic resources from outside are invested in the system as a capital input.
نسبت بارگذاری محیطی Environmental Loading Ratio (ELR)	$ELR = (FN + N0 + FR)/R$	نسبت منابع امرزی خریداری شده و محیطی تجدیدناپذیر به امرزی محیطی تجدیدپذیر رایگان ELR is the ratio of emergy resources purchased and Non-renewable environmental to the free renewable environmental emergy
نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio (ELR*)	$ELR* = (FN + N0)/(R + FR)$	نسبت منابع امرزی خریداری شده تجدیدناپذیر و محیطی تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر رایگان محیطی و تجدیدپذیر خریداری شده است. ELR* is the ratio of emergy resources Non-renewable purchased and Non-renewable environmental to the free renewable environmental emergy and Renewable purchased
نسبت پایداری محیط زیست Emergy sustainability ratio (ESI)	$ESI = EYR / ELR$	وابستگی خروجی نظام به محیط، هر چه مقدار بیشتر باشد، پایداری نظام قوی تر است The dependence of the system output on the environment, the greater the value, the stronger the sustainability of the system
نسبت پایداری محیط زیست اصلاح شده Modified emergy sustainability ratio (ESI*)	$ESI* = EYR / ELR*$	شاخص پایداری جایگزین که بر استفاده از منابع تجدیدپذیر بدون توجه به بارگذاری توجه دارد. Alternate Sustainability Index that focuses on the use of renewable resources regardless of loading.
نسبت سرمایه‌گذاری امرزی Emergy investment ratio (EIR)	$EIR = (FN + FR) / (R + N0)$	EIR نسبت منابع امرزی خریداری شده از خارج به مجموع منابع محیطی رایگان در نظام محلی EIR is the ratio of emergy resources purchased from outside to all free environmental emergy in the local system
نسبت سرمایه‌گذاری امرزی اصلاح شده Modified emergy investment ratio (EIR*)	$EIR* = (FN + FR) / R$	EIR* نسبت منابع امرزی خریداری شده از خارج به امرزی تجدیدپذیر رایگان محیطی EIR* is the ratio of emergy resources purchased from outside to the free renewable environmental emergy
ارزش عملکرد اقتصادی Market value of the economic yield	$Y_M$	پول دریافت شده برای محصولات در هنگام فروش Money received for the crops when sold.

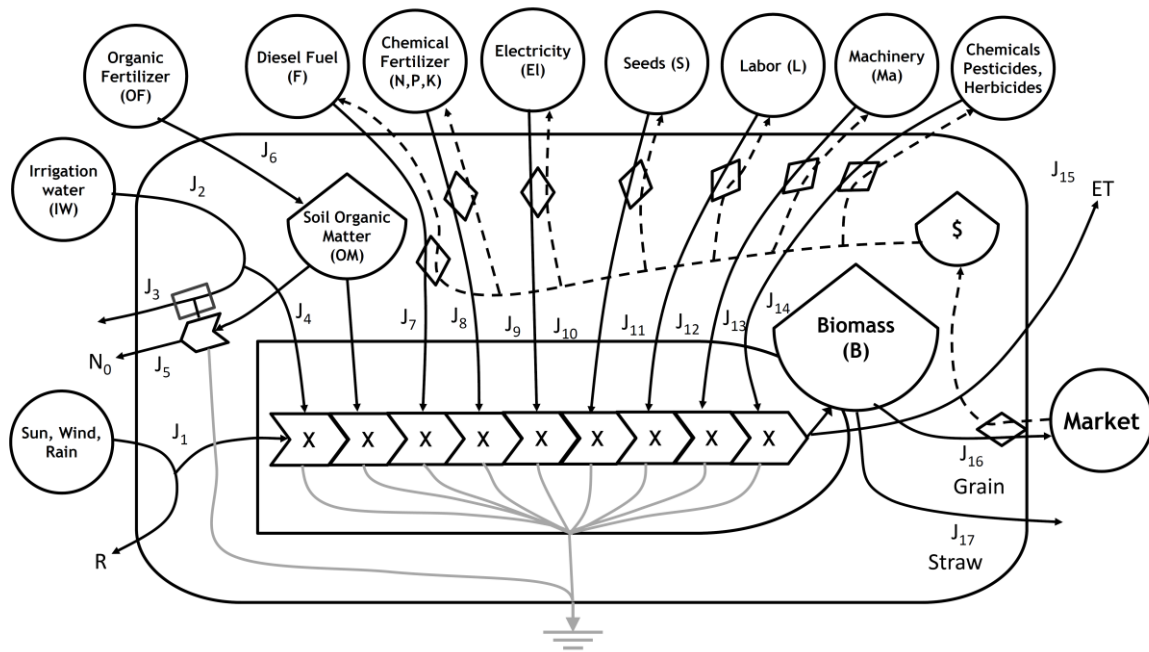
$$U = FN + FR + R + N0$$

$$Y_M = \text{ضریب تبدیل پول} \times \text{ارزش بازاری عملکرد اقتصادی محصول}$$

$$Y_M = \text{Market value of the product economic yield} \times \text{Money transformity}$$

$$E = \text{عملکرد اقتصادی}$$

$$E = \text{Economic yield}$$



شکل ۱- نمودار زبانی نظام‌های انرژی تولید گندم در منطقه سیستان

Figure 1- Energy Systems Language diagram of wheat production in the Sistan region

محیطی و خریداری شده) به نظام تولید گندم در منطقه سیستان در جدول ۱ ارائه شده است. این ورودی‌های انرژی پس از ضرب در ضرایب تبدیل مناسب به یک واحد مشترک به نام ام‌ژول خورشیدی تبدیل می‌شوند که خلاصه آن در همین جدول قلیل مشاهده است. با استناد به جدول ۱، مجموع ورودی‌های انرژی به نظام تولید گندم در منطقه  $5/35 \times 10^{16}$  ام ژول خورشیدی در هکتار بود که از این مقدار سهم منابع محیطی  $4/57 \times 10^{16}$  و منابع اقتصادی  $7/82 \times 10^{15}$  ام ژول خورشیدی در سال بود. بنابراین نظام تولید گندم منطقه از حمایت بیشتر منابع محیطی نسبت به نهاده‌های اقتصادی برخوردار است، اما باید توجه داشت که سهم قابل توجهی (حدود ۷۶ درصد) از این منابع محیطی مربوط به نوع تجدیدپذیری آن است. فرسایش خاک مؤثرترین نهاده محیطی نظام تولید گندم در منطقه است. این نهاده ۳۹/۸۷ درصد از مجموع ورودی‌ها به نظام تولیدی را به خود اختصاص داد. پس از فرسایش خاک، کاهش ماده آلی خاک در رتبه دوم قرار گرفت. شیوه‌های خاک‌ورزی غیراصولی به همراه حذف کامل بقایای گندم پس از برداشت را می‌توان از دلایل میزان بالای فرسایش و کاهش ماده آلی خاک در نظر گرفت. برگرداندن اصولی بقایا به خاک می‌تواند در حفاظت از ذرات خاک مؤثر

مقدار انرژی محاسبه شده نمی‌تواند معرفی دقیقی از یک نظام تولیدی ارائه دهد. بنابراین نیاز است تا شاخص‌های وابسته به انرژی برای بررسی هزینه‌های اقتصادی و اکولوژیکی سامانه‌ها محاسبه شود. تعدادی از شاخص‌ها که برای ارزیابی نظام‌های تولید گندم از مقادیر انرژی محاسبه شده قابل استنباط است شامل ضریب تبدیل (Tr)، انرژی ویژه (SpE)، درصد تجدیدپذیری انرژی (R%)، نسبت عملکرد انرژی (EYR)، نسبت‌های بارگذاری محیطی (ELR\* و ELR)، شاخص‌های پایداری محیط زیست (ESI\* و ESI)، نسبت‌های سرمایه‌گذاری انرژی (EIR\* و EIR) و نسبت مبادله انرژی (EER) هستند. این شاخص‌ها نظام‌های تولیدی را از نظر کارایی استفاده از انرژی (SpE, Tr)، تعامل با محیط (ELR, EYR, ELR\*)، EIR\* و EIR، عدالت تجاری برای ورودی‌ها و خروجی‌ها (EER) و پایداری نظام (R%, ESI\* و ESI) با هم مقایسه می‌کنند (Lu et al., 2017; Jaklic et al., 2014). رولپت ریاضی و تعاریف شاخص‌های مورد نظر در این مطالعه به طور خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است.

### نتایج و بحث

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، مجموع نهاده‌های ورودی

(*al.*, 2022).

### شاخص‌های امرژی

شاخص‌های امرژی می‌توانند به بررسی جزئیات سهم هر یک از نهاده‌های ورودی به نظام تولیدی و بوم‌نظام‌های حامی این سامانه‌ها بپردازند. نتایج این شاخص‌ها برای نظام‌های تولید گندم منطقه سیستان در جدول ۳ ارائه شده است.

باشد. مجموع امرژی ورودی به مزارع کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس گندم در سبزواری به ترتیب  $1.39 \times 10^{16}$ ،  $1.95 \times 10^{16}$  و  $2.16 \times 10^{16}$  ام‌ژول خورشیدی بود. محققان بیان داشتند که با افزایش مساحت مزرعه، مجموع امرژی ورودی به نظام افزایش یافت. آن‌ها همچنین اعلام کردند که در مزارع با مساحت متوسط و بزرگ، منابع محیطی تجدیدناپذیر بیش از ۵۰ درصد ورودی‌ها به سامانه را به خود اختصاص دادند که سهم تلفات ماده آلی و فرسایش خاک قابل توجه بود (Fallahinejad *et al.*).

جدول ۳- شاخص‌های تحلیل امرژی نظام‌های تولید گندم در منطقه سیستان

Table 3- Indicators of energy analysis of wheat production systems in Sistan region

شاخص‌های مبتنی بر امرژی	مقدار
Emergy based indices	Quantity
Transformity (Tr) (sej/J) grain	1.75E+06
SpE (sej/g) grain	2.58E+10
Transformity (sej/J) straw	1.90E+06
SpE (sej/g) straw	2.38E+10
R%	34%
EYR	6.84
ELR	3.85
ELR*	0.517
ESI	1.78
ESI*	13.2
YM	7.71E+15
EER	6.94
EIR	0.171
EIR*	0.710

حاصل برای کاه ( $2.38 \times 10^{10}$  ام‌ژول خورشیدی بر گرم) کمتر از گندم ( $2.58 \times 10^{10}$  ام‌ژول خورشیدی بر گرم) است که دلیل آن برتری وزنی کاه نسبت به دانه است.

### تعامل با محیط

اولین شاخصی که در این گروه به آن پرداخته می‌شود، نسبت عملکرد امرژی است. نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت مجموع امرژی خورشیدی تقسیم بر ارزش امرژی ورودی‌های خریداری شده است. در واقع این نسبت، معیاری از توانایی یک فرایند برای بهره‌برداری و در دسترس قرار دادن منابع محلی است (Cavalett *et al.*, 2006). کمترین مقدار ممکن برای EYR، یک است که نشان می‌دهد یک فرایند همان مقدار امرژی را ارائه می‌دهد که برای هدایت آن استفاده شده است و نمی‌تواند بطور مفید از هیچ منبع محلی بهره‌برداری کند (Cavalett *et al.*, 2006). نسبت عملکرد امرژی برای نظام

### کارایی استفاده از امرژی

ضریب تبدیل و امرژی ویژه (Tr و SpE) شاخص‌هایی هستند که میزان کارایی استفاده از امرژی در نظام تولیدی را مورد بررسی قرار می‌دهند. ضریب تبدیل نسبی است که از تقسیم مجموع امرژی ورودی به یک فرایند بر انرژی حاصل از همان فرایند بدست می‌آید و امرژی ویژه، به صورت امرژی در هر واحد جرم تعریف می‌شود (Brown and Ulgiati, 2004). خروجی نظام‌های تولید گندم در منطقه علاوه بر دانه، کاه و کلش حاصل از ساقه و خوشه گندم است. بنابراین نظام تولیدی دارای دو ضریب تبدیل و امرژی ویژه است. ضریب تبدیل دانه و کاه حاصل از نظام تولیدی در منطقه سیستان به ترتیب  $1.75 \times 10^6$  و  $1.90 \times 10^6$  ام‌ژول خورشیدی بر ژول محاسبه شده که نشان می‌دهد ضریب تبدیل انرژی دانه گندم نسبت به کاه آن بیشتر است. محاسبه کارایی با استفاده از امرژی ویژه در نظام تولیدی عکس ضریب تبدیل است. در این شاخص مقدار

تولید گندم در منطقه مورد مطالعه، ۶/۸۴ محاسبه شد. مقدار این شاخص برای نظام مورد مطالعه بیشتر از مقدار محاسبه شده برای تولید برنج (۵/۱۳) در مازندران (Amini et al., 2020)، کلزای تجاری و معیشتی (۲/۳۱ و ۱/۵۳) در استان لرستان (Amiri et al., 2019) و تولید برنج (۱/۱۵)، سبزیجات (۱/۰۵) و تناوب برنج و سبزیجات (۱/۰۷) در چین (Lu et al., 2010) بود. این نتایج نشان‌دهنده وابستگی بیشتر تولید گندم به ورودی‌های محیطی نسبت به سایر منابع مورد بررسی در مازندران، لرستان و چین بود.

شاخص‌های دیگری که در گروه تعامل با محیط قرار دارند، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR) و نسخه اصلاح شده آن (EIR\*) هستند. این شاخص، نسبت منابع خریداری شده به ورودی‌های محلی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر را بیان می‌کند (Cavalett et al., 2006). به عبارتی نسبت سرمایه‌گذاری امرژی نشان می‌دهد که یک سامانه تولیدی وابسته به چه نوع نهاده‌ای (خریداری شده یا محیطی) است. مقدار EIR کمتر نشان‌دهنده نظام‌های مؤثرتر با استفاده بهتر از منابع امرژی داخلی است (Cavalett et al., 2006) و هر چه این مقدار بزرگتر باشد وابستگی نظام تولیدی به منابع خریداری شده را آشکار می‌کند. نسبت سرمایه‌گذاری امرژی برای نظام تولید گندم در منطقه سیستان ۰/۱۷۱ محاسبه شد. مقدار این شاخص برای تولید گندم در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس سبزواری به ترتیب برابر ۲/۵۷، ۳/۹۳ و ۵/۱۹ گزارش شد (Fallahinejad et al., 2022). بنابراین تولید گندم در منطقه سیستان نسبت به تولید این محصول در سبزواری وابستگی بیشتری به ورودی‌های محیطی دارد. البته باید یادآور شد که سهم قابل توجهی از این منابع محیطی مربوط به نهاده‌های تجدیدناپذیر است. محاسبه نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده نیز مانند نسخه استاندارد این شاخص است با این تفاوت که ورودی‌های تجدیدناپذیر محیطی از مخرج کسر حذف می‌شوند. پس عدد کوچکتر منعکس‌کننده نظامی با حمایت بیشتر از نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر است. مقدار EIR\* تولید گندم در منطقه سیستان ۰/۷۱۰ برآورد شد که وابستگی بیشتر این نظام به نهاده‌های تجدیدپذیر نسبت به تولید موسیر در نظام کشت مکانیزه (۲۱/۸۷۲)، سنتی (۲۵/۳۰۸) و حفاظتی (۴۰/۹۳۲) استان لرستان را نشان می‌دهد (Amiri et al.,

2021).

آخرین شاخص‌های این گروه نسبت‌های بارگذاری محیطی (ELR و ELR\*) هستند. نسبت بارگذاری محیطی، نشان‌دهنده فشار یک فرایند بر محیط است و می‌تواند معیاری برای سنجش استرس اکونظام ناشی از یک فرایند تولیدی در نظر گرفته شود (Cavalett et al., 2006). نسبت بارگذاری محیطی حاصل تقسیم مجموع ورودی‌های تجدیدناپذیر و خریداری شده به ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر است (Ridolfi et al., 2019). ELR حدود دو یا کمتر نشان‌دهنده تأثیرات محیطی نسبتاً کم، بین ۳ تا ۱۰ نشان‌دهنده تنش متوسط و بیشتر ۱۰ نشان‌دهنده استرس زیست‌محیطی بسیار بالاتر به دلیل جریان‌های بزرگ امرژی غیرقابل تجدید متمرکز در یک محیط محلی نسبتاً کوچک است (Brown and Ulgiati, 2004). مقدار ELR برای نظام تولید گندم در منطقه سیستان ۳/۸۵ محاسبه شد. بنابراین این نظام تولیدی تنش متوسطی را به محیط اعمال می‌کند. تنش وارده به محیط از طریق مزارع گندم در منطقه سیستان کمتر از استرسی است که تولید گندم (۶۳/۵۶)، جو (۶۶/۰۶)، چغندر قند (۲۳/۵۶) و زعفران (۷۹/۶۳) در خوشاب ایجاد کردند (Fallahinejad et al., 2021). در واقع هنگامی که یک فرایند به خدمات زیست‌محیطی نیاز دارد باری بر محیط زیست وارد می‌کند (Cavalett et al., 2006).

وقتی که نهاده‌های تجدیدپذیر خریداری شده در رابطه ELR از صورت به مخرج کسر منتقل شوند شاخص ELR\* با همان ویژگی‌ها ایجاد می‌شود. ELR\* برای نظام تولید گندم در منطقه سیستان ۰/۵۱۷ برآورد شد. این میزان کمتر از مقدار گزارش شده برای تولید برنج (۱/۱۱) در مازندران (Amini et al., 2021)، کلزای تجاری و معیشتی (۱۷/۵۸ و ۴) در لرستان (Amiri et al., 2019) و گندم (۳/۱۳) در خوشاب استان خراسان رضوی (Fallahinejad et al., 2021) بود. بنابراین تولید گندم در منطقه هدف مطالعه نسبت به برنج در مازندران و کلزا در لرستان از نهاده‌های تجدیدپذیر بیشتری بهره‌مند می‌شود.

### عدالت تجاری برای ورودی‌ها و خروجی‌ها

نسبت مبادله امرژی (EER) به عنوان امرژی خورشیدی یک محصول یا جریان تقسیم بر ارزش امرژی خورشیدی ارز

ناپایداری نظام را نشان می‌دهد (Brown and Ulgiati, 1998). مقدار ESI در این مطالعه ۱/۷۸ بدست آمد. مقدار حاصل نشان داد که تولید گندم در منطقه مورد مطالعه پایدارتر از تولید لوبیا با انواع نظام‌های کشت اکولوژیک (۰/۰۸)، تلفیقی (۰/۰۴)، ورودی کم (۰/۰۷)، متوسط (۰/۰۴) و بالا (۰/۰۳) در خرم‌دشت استان مرکزی بود (Asgharipour et al., 2019). وقتی در رابطه ESI جای ELR با ELR\* عوض می‌شود، ESI\* حاصل می‌شود. مقدار شاخص پایداری محیط زیست اصلاح شده برای نظام تولید گندم در سیستان، ۱۳/۲ بدست آمد. عدد حاصل حکایت از پایداری و وابستگی نظام تولید به منابع محیطی دارد.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که از مجموع ورودی‌ها به نظام تولیدی سهم نهاده‌های محیطی بویژه نوع تجدیدپذیر آن بیشتر است. این در حالی است که نهاده‌های تجدیدپذیر در مجموع حدود یک سوم ورودی‌های نظام را به خود اختصاص دادند. تنها با تبدیل نهاده‌های ورودی به معادل امرژی آن‌ها نمی‌توان درک درستی از تأثیر این ورودی‌ها به نظام مورد مطالعه و اثر این سامانه بر محیط اطراف داشت. بنابراین شاخص‌های وابسته به امرژی می‌تواند جزئیات بیشتری از مدیریت نظام تولیدی آشکار کند. شاخص‌های مورد نظر در این مطالعه شامل ضریب تبدیل و امرژی ویژه (SpE و Tr)، نسبت عملکرد امرژی (EYR)، نسبت بارگذاری محیطی و نسخه اصلاح شده آن (ELR و ELR\*)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی و نسخه اصلاح شده آن (EIR و EIR\*)، شاخص پایداری محیط زیست و نسخه اصلاح شده آن (ESI و ESI\*) و نسبت مبادله امرژی (EER) هستند.

کارایی استفاده از امرژی با استفاده از شاخص ضریب تبدیل در دانه بهتر از گندم بود. دلیل این امر بیشتر بودن ضریب تبدیل امرژی دانه در مقایسه با گندم است. مقدار شاخص نسبت عملکرد امرژی در این نظام ۶/۸۴ و شاخص پایداری محیط زیست ۰/۱۷۱ محاسبه شد که این اعداد نشان از وابستگی مزارع گندم به ورودی‌های رایگان محیطی داشت. با استفاده از حاصل شاخص نسبت مبادله امرژی (۶/۹۴) مشخص شد که امرژی دریافتی توسط تولید کننده کمتر از مقداری است که به نظام تولیدی وارد شده است. وابستگی مزارع گندم به نهاده‌های

پرداخت شده برای آن شناخته شده است. به عبارت دیگر، نسبت امرژی مبادله شده در یک فرایند (آنچه دریافت می‌شود) به آنچه داده می‌شود) است (Cavalett et al., 2006). هر چه مقدار حاصل از این شاخص بزرگتر باشد نشان می‌دهد که ارزش فروش یک محصول کمتر از مقدار امرژی است که برای تولید آن مصرف شده است. نسبت مبادله امرژی برای تولید گندم در منطقه مورد مطالعه ۶/۹۴ برآورد شد. EER محاسبه شده نشان می‌دهد که مقدار امرژی دریافت شده کمتر از میزان هزینه شده برای نظام تولیدی است. بنابراین دریافتی تولیدکننده کمتر از مجموع امرژی است که به نظام تولیدی تزریق می‌کند.

### پایداری نظام

شاخص‌هایی که به بررسی پایداری محیط زیست می‌پردازند شامل درصد امرژی تجدیدپذیر و شاخص پایداری محیط زیست استاندارد و اصلاح شده هستند.

درصد امرژی تجدیدپذیر (R%)، نسبت مجموع امرژی تجدیدپذیر به کل امرژی ورودی به نظام تولیدی را بیان می‌کند (Brown and Ulgiati, 2004). نسبت امرژی تجدیدپذیر برای تولید گندم در منطقه سیستان ۳۴ درصد بود. مقدار برآورد شده نشان می‌دهد که یک سوم نهاده‌های ورودی به نظام تولید گندم از نوع تجدیدپذیر است. نسبت امرژی تجدیدپذیر برای گندم (۱۱/۵۴)، جو (۹/۰۵) و چغندر قند (۲۰/۸۱) در خوشاب (Fallahinejad et al., 2021) و کلزای معیشتی و تجاری (۱۹/۹۰ و ۵/۳۰) در لرستان (Amiri et al., 2019) کمتر از گندم در منطقه هدف مطالعه بود. این در حالی است براون و اولجیاتی معتقدند در بلند مدت، تنها فرایندهایی با درصد تجدیدپذیری بالا پایدار هستند (Brown and Ulgiati, 2004).

شاخص‌های بعدی که در این گروه قرار می‌گیرند، شامل شاخص‌های پایداری محیط زیست و نسخه اصلاح شده آن (ESI و ESI\*) هستند. ESI حاصل تقسیم EYR بر ELR است. یعنی یک اندازه‌گیری جمعی از سهم بالقوه در نظام بزرگتر (EYR) به ازای هر واحد بارگذاری تحمیلی در نظام محلی (ELR) صورت می‌گیرد (Brown and Ulgiati, 2004). در توصیف مقدار حاصل از این شاخص این‌گونه آمده است که در صورت بالاتر از ۱۰ بودن، نظام پایدار و کوچکتر از یک

در مزرعه و آبیاری در مراحل فنولوژیک حساس به تنش خشکی می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های اقتصادی و اکولوژیک و افزایش عملکرد شود.

محیطی نشان از سنتی بودن این نظام‌های تولیدی در منطقه سیستان دارد. هم‌چنین این منطقه معمولاً با تنش خشکی نیز مواجه است. استفاده از ماشین‌آلات برای کاشت بذر، حفظ بقایا

## References

- Acevedo, M., Zurn, J. D., Molero, G., Singh, P., He, X., Aoun, M., ... & McCandless, L., 2018. The role of wheat in global food security. In *Agricultural development and sustainable intensification*, pp. 81-110.
- Amaral, L.P., Martins, N. and Gouveia, J.B., 2016. A review of emergy theory, its application and latest developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, pp.882-888. doi: 10.1016/j.rser.2015.10.048
- Amini, S.h., Rohani, A., Aghkhani, M.H., Abbaspour-Fard, M.H. and Asgharipour, M.R., 2020. Sustainability assessment of rice production systems in Mazandaran Province, Iran with emergy analysis and fuzzy logic. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40, p.100744. doi: 10.1016/j.seta.2020.100744
- Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and Armin, M., 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*, 226, pp.1051-1066. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.091
- Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, Kh., Kakolvand, E. and Hassani Moghadam, E., 2021. Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. *Journal of Cleaner Production*, 292, p.126000. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126000
- Asgharipour, M.R., Amiri, Z. and Campbell, D.E., 2020. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. *Ecological Modelling*, 424, p.109021. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2020.109021
- Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I. and Ghadiri, A., 2019. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, pp: 2-25. doi: 10.1007/s10661-018-7123-3
- Bastianoni, S., Pulselli, F.M., Castellini, C., Granai, C., Dal Bosco, A. and Brunetti, M., 2009. Emergy evaluation and the management of systems towards sustainability: A response to Sholto Maud. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 120, pp.472-474. doi: 10.1016/j.agee.2006.08.010
- Battenfield, S.D., Guzman, C., Gaynor, R.C., Singh, R.P., Pena, R.J., Dreisigacker, S. and Poland, J. A., 2016. Genomic selection for processing and end-use quality traits in the CIMMYT spring bread wheat breeding program. *The Plant Genome*, 9, pp.1-12. doi: 10.3835/plantgenome2016.01.0005
- Brandt-Williams, S.L., 2002. Handbook of emergy evaluation: a compendium of data for emergy computation issued in a series of Folios. Center for Environmental Policy Environmental Engineering Science. University of Florida, Gainesville.
- Brown, M.T., Odum, H.T. and Jorgensen, S.E., 2004. Energy hierarchy and transformity in the universe. *Ecological Modelling*, 178, pp.17-28. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2003.12.002

- Brown, M.T. and Ulgiati, S., 1998. Emery-based indices and ratio to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 9, pp.51-69. **doi: 10.1016/s0925-8574(97)00033-5**
- Brown, M.T. and Ulgiati, S., 2004. Emery analysis and environmental accounting. *Encyclopedia of Energy*, 2, pp.329-354.
- Brandt-Williams, S.L., 2002. Handbook of emery evaluation: a compendium of data for emery computation issued in a series of Folios. *Center for Environmental Policy Environmental Engineering Science. University of Florida, Gainesville.*
- Brown, M.T., Campbell, D.E., De Vilbiss, Ch. and Ulgiati, S., 2016. The geobiosphere emery baseline: A synthesis. *Ecological Modelling*, 339, pp.92-95. **doi: 10.1016/j.ecolmodel.2016.03.018**
- Campbell, D.E. and Erban, L., 2016. A reexamination of the emery input to a system from the wind. In: Brown, M.T., Sweeney, S., Campbell, D.E., Huang, S., Rydberg, T., Ulgiati, S. (Eds.), *Proceedings of the Ninth Biennial Emery Research Conference*, pp.13–19 Gainesville.
- Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L. and Meisch, M.E.A., 2005. Environmental accounting using emery: evaluation of the state of West Virginia (No. EPA/600/R-05/006). *USEPA, Narragansett, RI.*
- Cavalett, O., Queiroz, J.F.D. and Ortega, E., 2006. Emery assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193, pp.205-224. **doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.07.023**
- Cochran, W.G. 1942. Sampling theory when the sampling-units are of unequal sizes. *Journal of the American Statistical Association*, 37, pp.199-212.
- Cuadra, M. and Rydberg, T., 2006. Emery evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. *Ecological Modelling*, 196(3-4), pp.421-433. **doi: 10.1016/j.ecolmodel.2006.02.010**
- Dorado, M.P., Cruz, F., Palomar, J.M. and Lopez, F.J., 2006. An approach to the economics of two vegetable oil-based in Spain. *Renewable Energy*, 31(8), pp.1231-1237. **doi: 10.1016/j.renene.2005.06.010**
- Fallahinejad, S., Armin, M. and Asgharipour, M.R., 2021. A survey on the ecological sustainability of introducing new crops in the cropping pattern using emery approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, p.100083. **doi: 10.1016/j.crsust.2021.100083**
- Fallahinejad, S., Armin, M. and Asgharipour, M.R., 2022. The effect of farm size on the sustainability of wheat production using emery approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, p.100161. **doi: 10.1016/j.crsust.2022.100161**
- Fluck, R.C., 1992. Energy in farm production. In: Stout, B.A. (Ed.), *Energy in World Agriculture*, vol. 6. Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam.
- Hau, J.L. and Bakshi, B.R., 2004. Promise and problems of emery analysis. *Ecological Modelling*, 178 (1-2), pp.215-225. **doi: 10.1016/j.ecolmodel.2003.12.016**
- Iran Statistics Center, population and housing census results., 2014. Sistan and Baluchistan province.
- Jaklic, T., Juvancic, L., Kavcic, S. and Debeljak, M., 2014. Complementarity of socio-economic and emery

- evaluation of agricultural production systems: The case of Slovenian dairy sector. *Ecological Economics*, 107, pp.469-481. doi: **10.1016/j.ecolecon.2014.09.024**
- Lu, H., Bai, Y., Ren, H. and Campbell, D.E., 2010. Integrated energy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: Implications for agricultural policy in China. *Journal of Environmental Management*, 91, pp.2727-2735. doi: **10.1016/j.jenvman.2010.07.025**
- Lu, H.F., Tan, Y.W., Zhang, W.Sh., Qiao, Y.Ch., Campbell, D.E., Zhou, L. and Ren, H., 2017. Integrated energy and economic evaluation of lotus-root production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Journal of Cleaner Production*, 158, pp.367-379. doi: **10.1016/j.jclepro.2017.05.016**
- Lu, H., Kang, W.L., Campbell, D.E., Ren, H., Tan, Y.W., Feng, R.X., Luo, J.T. and Chen, F. P., 2009. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering*, 35, pp.1743-1757. doi: **10.1016/j.ecoleng.2009.08.001**
- Odum, H.T., 1996. Environmental accounting: emergy and environmental decision making. Wiley, New York, 379p.
- Odum, H.T. and Peterson, N., 1996. Simulation and evaluation with energy systems blocks. *Ecological Modelling*, 93, pp.155-173. doi: **10.1016/0304-3800(95)00221-9**
- Ridolfi, R., Pulselli, F.M., Morandi, F., Oliveira, M. and Bastianoni, S., 2019. Emergy and sustainability. *Earth Systems and Environmental Sciences*, 4, pp.294-306. doi: **10.1016/B978-0-12-409548-9.00590-X**
- Rydberg, R. and Haden, A.C., 2006. Emergy evaluations of Denmark and Danish agriculture: Assessing the influence of changing resource availability on the organization of agriculture and society. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 117, pp.145-158. doi: **10.1016/j.agee.2006.03.025**

## Evaluation of economic and ecological characteristics of wheat production system in Sistan region using emergy analysis technique

Fatemeh Enayat<sup>1</sup>, Ahmad Ghanbari<sup>2</sup>, Mohammad Reza Asgharipour<sup>2</sup>, Esmaeel Seyedabadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PhD Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>2</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

\*Corresponding Author: [m\\_asgharipour@uoz.ac.ir](mailto:m_asgharipour@uoz.ac.ir)

Received: 6 December 2022 Accepted: 13 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.375746.1299

### Abstract

**Introduction:** Wheat is the most important agricultural product in Sistan, which, depending on the availability of water, provides a substantial portion of the region's farmers with a living. Consequently, farmers attempt to expand their cultivated area. But any progress towards increasing production will be valuable if it continues for an extended period of time, particularly the continuation of the production of this product, which is of great importance in terms of meeting a portion of families' food needs and generating income for its producers. Proper management of the production system, environment, and natural resources is required to ensure the long-term sustainability of this crop. In order to determine whether this production system will continue to exist in the future, it is necessary to examine the production stability of these systems by analyzing the total input and the effect of these inputs on the substrate and the surrounding environment. Consequently, it was decided to evaluate the sustainability of wheat production in the Sistan region by employing the emergy analysis technique and determining the contribution of each input and their impact on the production system and the surrounding ecosystems using this method's indicators. The emergy exchange ratio was used to assess the sustainability of wheat systems in this article.

**Materials and Methods:** In 2020, wheat fields in Sistan (including Zabol, Zahak, Hamoun, Nimrouz, and Hirmand) were surveyed for this study. Each category was further subdivided into renewable and nonrenewable categories. Regional meteorological stations recorded renewable environmental inputs. The USLE model was used to calculate soil erosion, and wheat fields were measured for organic matter changes. The amount of economic inputs was determined by interviewing wheat farmers, and the amount of machinery was based on its lifespan. The ISO1928 method defines energy output in calories. Multiplying the total input current by the transformities yielded solar emjoules (sej). In addition to inputs, emergy indices, a function of environmental and purchased flows, must be calculated to evaluate wheat production sustainability. The desired indicators for this study are transformity (Tr), specific emergy (SpE), emergy renewability percentage (R%), emergy yield ratio (EYR), environmental load ratios (ELR and ELR\*), environmental sustainability indices (ESI and ESI\*), emergy investment ratios (EIR and EIR\*), and emergy exchange ratio (EER).

**Results and Discussion:** It was important that environmental inputs contributed  $5.35E+16$  sej ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> to the total inputs that the production system required. Both EYR and EIR have favourable values, as a result of the strong impact that environmental inputs have on the production process. Considering that all methods of production include the use of natural resources, it is inevitable that there would be negative effects on the surrounding ecosystem. As a result of the significance of this matter, an index that has been given the name environmental loading ratio has been established in order to provide an approximation of the amount of pressure that this system puts on the environment. The determined value of this index is 3.85, which suggests that the manufacturing system only puts a moderate amount of stress on the environment. However, taking into account the fact that this system was sustained by 34% renewable resources, the revised environmental load ratio index caused the production system to behave more flexibly with the ecosystems that were located in its immediate vicinity.

**Conclusion:** The normal operation of a production system requires the interaction of natural and purchased inputs, and the absence of one of these inputs causes more of the other type to be

introduced. The substantial contribution of natural resources to the production process, relative to purchased inputs, demonstrated that wheat production in the Sistan region is traditional. This traditional production method has had the greatest impact on wheat production in the region due to soil erosion. Therefore, management practices that preserve plant residues within the field can have a positive effect on the region's wheat production.

**Keywords:** Environmental loading ratio, Farmers' livelihood, Renewable inputs, Soil erosion, Sustainability assessment

## ارزیابی تأثیر منابع کودی مختلف بر برخی خصوصیات بانه و عملکرد گل زعفران

محمد باقر عالی زاده<sup>۱</sup>، حسن مکاریان<sup>۲\*</sup>، علی عبادی<sup>۳</sup>، ابراهیم ایزدی دربندی<sup>۴</sup>، احمد غلامی<sup>۲</sup>، عباس نصیری دهسرخ<sup>۵</sup>

۱-دانش آموخته دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

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

۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۵- دانش آموخته دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.390675.1331

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۲

## چکیده

مدیریت صحیح تغذیه گیاهی یکی از ابزارهای لازم برای بر خورداری از یک بوم‌نظام کشاورزی اکولوژیک پایدار و پرسود در گیاه زعفران می‌باشد. در همین راستا، به منظور بررسی اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیکی بر خصوصیات بانه و عملکرد گل زعفران (*Crocus sativus* L.) آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی اردبیل انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: کود آلی در سه سطح، شاهد، کود دامی (۲۵ تن در هکتار) و ورمی کمپوست (۱۰ تن در هکتار) که در کرت‌های اصلی قرار گرفت و عامل دوم کود شیمیایی نیتروژن و فسفر (NP) به نسبت مساوی در دو سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و عامل سوم پنج سطح کود زیستی شامل: عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح با *Azotobacter chroococcum*، *Pseudomonas aeruginosa* و *Bacillus subtilis* و تلقیح سه‌گانه آن‌ها بود. کاربرد تلفیقی کودهای زیستی، وزن خشک برگ زعفران را ۷۶ درصد و همچنین وزن خشک بانه را ۸۱ درصد نسبت به شاهد عدم تلقیح افزایش داد. کاربرد ورمی کمپوست همراه با ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از کود NP، بیشترین وزن تر گل (۲۷۷/۶۳ کیلوگرم در هکتار) را به همراه داشت. کاربرد ورمی کمپوست بعلاوه ۱۰۰ کیلوگرم کود NP نسبت به کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم کود NP به تنهایی، وزن تر گل را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. براساس نتایج این پژوهش، کاربرد تلفیقی کود آلی و شیمیایی ضمن کاهش مصرف کود شیمیایی، منجر به افزایش رشد و عملکرد گل زعفران می‌شود که گام مهمی در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کود آلی، کود زیستی، مدیریت پایدار، ورمی کمپوست

## مقدمه

است طول این دوره کاهش یابد (Koocheki et al., 2022). باوجود اینکه ایران در بین کشورهای تولیدکننده زعفران مقام نخست را از نظر سطح زیرکشت و میزان تولید سالیانه دارد، ولسی میانگین عملکرد آن در مقایسه با متوسط عملکرد جهانی این محصول اندک می‌باشد (Kumar et al., 2009). به‌نظر می‌رسد که تفاوت معنی‌دار عملکرد تولیدی در ایران و سایر کشورهای عمده تولیدکننده، به‌دلیل نامناسب بودن راه‌های تغذیه این گیاه و نیز تفاوت در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مناطق رشد باشد. بر این اساس ضروری به‌نظر می‌رسد که با به‌کارگیری فناوری‌های نوین تغذیه گیاه، شرایط را برای بهبود عملکرد زعفران فراهم نمود (Heidari et al., 2014). در حال حاضر استفاده از کودهای شیمیایی یکی از شناخته‌شده‌ترین

در بین گیاهان دارویی، زعفران (*Crocus sativus* L.) جایگاه ویژه‌ای در تغذیه و سلامت انسان دارد. این گیاه نقش قابل توجهی در وضعیت اجتماعی و اقتصادی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پیدا کرده است. زعفران به دلیل نیاز آبی پایین و ارزش اقتصادی بالا به‌طور ویژه‌ای مورد استقبال واقع شده است (Dastranj and Sepaskhah, 2019). زعفران گیاهی ژئوفیت و عقیق است که به صورت رویشی از طریق تشکیل بانه تکثیر می‌یابد. این گیاه مراحل مختلف رشد را در هر فصل زراعی با گل‌دهی آغاز و با تولید بانه‌های دختری از بانه مادری به اتمام می‌رساند. بانه‌های دختری روی بانه مادری تشکیل می‌شوند. دوره بهره‌برداری از مزرعه زعفران می‌تواند تا بیش از یک دهه ادامه یابد، هر چند که بسته به مدیریت زراعی بهتر

افزایش معنی‌دار عملکرد زعفران گردید (Kirmani *et al.*, 2014). در پژوهشی که با هدف بررسی تأثیر مصرف برخی کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر خصوصیات کمی و کیفی زعفران انجام شد، نتایج حاکی از آن بود که تلقیح بنه‌های زعفران با باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس با اثر بر جذب عناصر غذایی باعث بهبود اکثر صفات کمی و کیفی زعفران شد. کاربرد همزمان کود زیستی و شیمیایی عملکرد کمی و کیفی زعفران را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن همان قدر بر عملکرد کلاله مؤثر بود که کاربرد نصف مقدار کود شیمیایی (۲۵ کیلوگرم) به همراه کود زیستی مؤثر بود. همچنین کاربرد هم‌زمان کود شیمیایی و زیستی عملکرد کلاله را نسبت به کاربرد منفرد کود شیمیایی به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Heidari *et al.*, 2014).

باتوجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور و خشک‌سالی‌های اخیر ضروری است گیاهانی که نیاز آبی پایینی دارند بیشتر مورد توجه قرار گیرند. از جمله گیاهانی که با توجه به شرایط اقلیمی استان اردبیل مورد توجه قرار گرفته، زعفران می‌باشد که می‌تواند جایگاه بالایی در صادرات و ایجاد اشتغال در مناطق روستایی و کشاورزی استان داشته باشند. از طرفی دیگر، کاربرد تلفیقی باکتری‌های محرک رشد به همراه کودهای شیمیایی و آلی در کشت زعفران در استان اردبیل مورد مطالعه قرار نگرفته است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کودهای زیستی حاوی باکتری *P. A. chorococum*، *B. subtilis* و *aeruginosa* و مقادیر مختلف کودهای شیمیایی و کودهای آلی بر برخی خصوصیات بنه و عملکرد گل زعفران انجام گردید.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی اردبیل با طول جغرافیایی ۴۸ دقیقه و ۱۹ درجه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۸ دقیقه و ۱۳ درجه شرقی و ارتفاع ۱۳۳۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل: عامل اول کود آلی در سه سطح، شاهد، کود دامی (۲۵ تن در

راهکارهای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان زراعی می‌باشد. اما در سال‌های اخیر به منظور حذف اثرات مخرب زیست‌محیطی کودهای شیمیایی، رویکرد کاهش مصرف کودهای شیمیایی و استفاده از منابع غذایی جایگزین از قبیل کودهای زیستی و آلی در بین محققین افزایش یافته است.

اگرچه زعفران نسبت به حاصلخیزی خاک گیاهی نسبتاً کم‌توقع می‌باشد، اما کاربرد کودهای آلی به عنوان بستر کاشت، بهینه‌سازی رشد و سپس بهبود وزن و سایر خصوصیات بنه دختری زعفران را به دنبال دارد (Saeidi Aboueshaghi *et al.*, 2022). پژوهش‌گران اظهار داشتند کاربرد ورمی کمپوست نسبت به کودهای معدنی، تعداد و وزن بنه‌های دختری را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Seyyedi *et al.*, 2018). در پژوهش دیگری که با هدف مطالعه اثر کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های بنه‌های دختری و گل زعفران انجام شد، نتایج نشان داد کاربرد کودهای آلی در مقایسه با کود شیمیایی اثر بیشتری بر ویژگی بنه‌های دختری زعفران و عملکرد زعفران داشت (Shariatmadari *et al.*, 2018). در پژوهشی که به منظور بررسی نقش کودهای دامی، شیمیایی و اندازه بنه مادری بر ویژگی‌های بنه‌های دختری و عملکرد زعفران انجام شد، نتایج آزمایش حاکی از نقش مثبت فراهمی عناصر غذایی از منابع کود دامی و شیمیایی در بهبود رشد و عملکرد بنه‌های دختری زعفران بود. از سویی دیگر، کاربرد کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی اثر بیشتری بر ویژگی‌های بنه‌های دختری زعفران داشت (Koocheki *et al.*, 2014).

از منابع نوین و ارزان کودی که در تغذیه گیاهان استفاده می‌شود، می‌توان به کودهای زیستی اشاره کرد. کودهای زیستی حاوی ریزموجودات مفید خاکزی از قبیل باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها یا متابولیت‌های حاصل از آن‌ها می‌باشند که به طرق مختلف رشد گیاه میزبان را تحریک می‌کنند (Zhang *et al.*, 2013). در تحقیقی، پژوهش‌گران تأثیر مثبت تیمار باکتری *B. subtilis* را بر کلیه صفات رویشی و زایشی زعفران گزارش نمودند، به گونه‌ای که این کود عملکرد کلاله خشک را ۱۲ درصد افزایش داد (Sharaf-*et al.*, 2008). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کاربرد منفرد از توباکتر در زراعت زعفران تأثیری بر رشد این گیاه نداشته، ولی کاربرد تلفیقی آن با ۹۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن سبب

آن‌ها (*B. subtilis* + *P. aeruginosa* + *A. chorococum*) بود. نیاز کودی براساس آزمون خاک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن خالص) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل (۴۶ درصد فسفر خالص) تعیین گردید و در تیمار نصف نیاز کودی نیز، ۵۰ کیلوگرم از هر کدام از کودهای فوق‌الذکر استفاده گردید. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از پنج نقطه به طور تصادفی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری خاک به عمل آمد و به آزمایشگاه خاک دانشگاه محقق اردبیلی ارسال شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

هکتار) و ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار) بود که در کرت‌های اصلی قرار گرفت. عامل دوم کود شیمیایی نیتروژن و فسفر (NP) به نسبت مساوی در دو سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در کرت‌های فرعی استفاده شد و عامل سوم پنج سطح کود زیستی شامل: عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح با *A. chorococum* (باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن)، تلقیح با *P. aeruginosa* (حل‌کننده فسفات با ۱۰۸ سلول زنده در هر میلی‌لیتر) و تلقیح با *B. subtilis* (باکتری حل‌کننده فسفر که با ترشح اسیدهای آلی سبب افزایش حلالیت فسفر نامحلول می‌شوند با ۱۰۸ سلول زنده در هر میلی‌لیتر) و تلقیح سه‌گانه

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

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

بافت خاک	رس	سیلت	شن	ماده آلی	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نیتروژن کل	هدایت الکتریکی	pH
Soil texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Organic matter (%)	Potassium (mg/kg)	Phosphorus (mg/kg)	Nitrogen (%)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	
شنی لومی	22.56	30.72	46.72	1.86	183	21	0.062	448	7.8

نیمه آبان‌ماه سال ۱۳۹۵، با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای (نیم متر فاصله با هر ضلع کرت)، از کل سطح کرت‌ها برداشت و وزن تر آن‌ها تعیین شد. وزن تر برگ زعفران در پایان فصل رشد سال اول کاشت زعفران قبل از زرد شدن برگ‌ها با استفاده از کوادرات ۰/۵ × ۰/۵ متر و پس از حذف اثر حاشیه‌ای از سه نقطه در هر کرت برداشت و در آزمایشگاه توزین گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ نیز از آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت استفاده گردید و سپس توزین شد. تعداد بنه دختری، وزن تر بنه دختری، وزن خشک بنه دختری و قطر بنه دختری نیز در خرداد ماه سال ۱۳۹۵ پس از زرد شدن کامل برگ‌ها و خارج کردن تصادفی بنه‌ها در سه نقطه از هر کرت اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن اندام‌ها از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ استفاده شد. هم‌چنین قطر بنه‌ها با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ و برای اندازه‌گیری طول آن‌ها از خط‌کش استفاده شد.

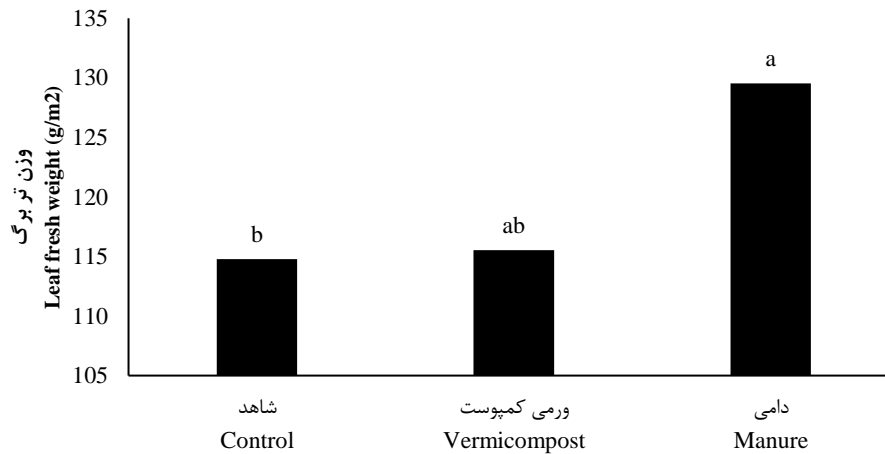
در این پژوهش از نرم‌افزار MSTATC جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 صورت گرفت.

کرم زعفران برای کاشت از شهرستان قاینات تهیه و بنه‌های ۸ تا ۱۰ گرمی انتخاب و پس از آماده‌سازی بستر در کرت‌هایی به ابعاد ۵×۲ متر کاشته شد. بنه‌ها با تراکم ۶۰ عدد در مترمربع در ردیف‌های ۳۰ سانتی‌متری با فواصل بوته پنج سانتی‌متر و در عمق ۲۰ سانتی‌متر با دست کاشت شدند. باکتری‌های *A. chorococum* PTCC و *P. aeruginosa* و *B. subtilis* به صورت مایع از آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شدند و در سال اول قبل از کشت، عملیات تلقیح بنه‌ها با سوسپانسیون آماده باکتری‌های *A. chorococum*، *P. aeruginosa* و *B. subtilis* در تراکم ۱۰۸ - CLF L<sup>1</sup> آب مقطر انجام شده و در ۱۵ شهریور سال ۱۳۹۴ کاشت شد. کود اوره همراه آب آبیاری دوم (پس از برداشت گل) به زمین اضافه شد. عملیات تلقیح کودهای زیستی شامل آغشته نمودن بنه‌های زعفران با محلول صمغ عربی (۲۰ گرم صمغ عربی در یک لیتر آب) و سپس با محلول باکتریایی تلقیح انجام گرفت و سپس با خشک شدن بنه‌ها در سایه و به دور از تابش مستقیم نور خورشید بلافاصله اقدام به کاشت گردید. میزان مصرف هر یک از کودهای زیستی ۶ لیتر در هکتار بود (Heidari et al., 2014). گل‌های زعفران در اولین ساعات صبح از نیمه مهرماه تا

## نتایج و بحث وزن تر و خشک برگ

آلی بر وزن تر و خشک برگ زعفران در سطح احتمال پنج درصد و اثر ساده کودهای زیستی بر وزن تر و خشک برگ به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کودهای



شکل ۱- تأثیر کودهای آلی بر وزن تر برگ‌های زعفران

Figure 1- Effect of organic fertilizer on leaf fresh weight

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر صفات مورد مطالعه

Table 2- Analysis of variance (Mean squares) of effect the organic, biological and chemical fertilizers on studied traits

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	تعداد کل بنه	وزن تر بنه
SOV	df	Leaf fresh weight	Leaf dry weight	Total corm	Corm fresh weight
تکرار	2	10452.9**	1571.91**	2.17 <sup>ns</sup>	257898 <sup>ns</sup>
Replication					
کود آلی	2	2170.71*	378.25*	2.74 <sup>ns</sup>	10081 <sup>ns</sup>
Organic fertilizer					
خطای الف	4	301.48	21.78	1.31	42232
Error a					
کود شیمیایی	1	308.39 <sup>ns</sup>	218.05 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	283271**
Chemical fertilizer					
کود آلی * کود شیمیایی	4	489.91 <sup>ns</sup>	186.18 <sup>ns</sup>	7.81 <sup>ns</sup>	455520**
Organic fertilizer*Chemical fertilizer					
خطای ب	6	728.28	141.45	1.73	4176
Error b					
کود زیستی	4	18203.64*	4668.36**	92.37**	578121*
Bio-fertilizer					
کود آلی * کود زیستی	8	674.76 <sup>ns</sup>	119.48 <sup>ns</sup>	2.78*	20010 <sup>ns</sup>
Organic fertilizer*Bio-fertilizer					
کود شیمیایی * کود زیستی	4	619.89 <sup>ns</sup>	99.07 <sup>ns</sup>	1.055 <sup>ns</sup>	10540 <sup>ns</sup>
Chemical fertilizer*Bio-fertilizer					
کود آلی * کود شیمیایی * کود زیستی	8	624.74 <sup>ns</sup>	197.71 <sup>ns</sup>	2.047 <sup>ns</sup>	42802 <sup>ns</sup>
Organic*Chemical*Bio-fertilizer					
خطای کل	41	2931.74	660.93	11.068	118083
Total error					
ضریب تغییرات	-	22.38	21.52	12.89	22.28
CV (%)					

\*\* و \* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns به معنی تفاوت غیرمعنی‌دار است.

ns = non-significant. \* = Significant at 5% level. \*\* = Significant at 1% level.

ادامه جدول ۲

Table 2 Continued.

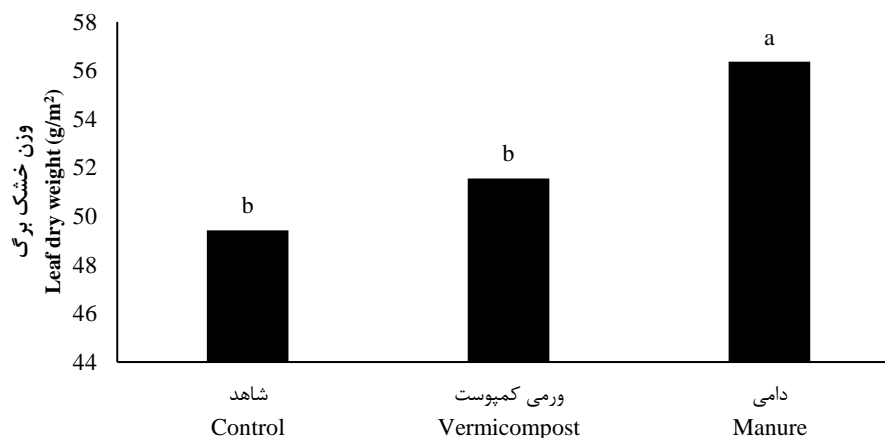
منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	وزن خشک بنه Corm dry weight	قطر بنه Corm diameter	تعداد گل Number of flowers	وزن تر گل Flower fresh weight
تکرار Replication	2	31635**	83.71**	159**	1426
کود آلی Organic fertilizer	2	11166*	11.55 <sup>ns</sup>	205 <sup>ns</sup>	151649**
خطای الف Error a	4	14.30	3.45	480	930
کود شیمیایی Chemical fertilizer	1	35724**	85.58**	17696*	35657**
کود آلی*کود شیمیایی Organic fertilizer*Chemical fertilizer	4	31367**	16.13 <sup>ns</sup>	530 <sup>ns</sup>	8427*
خطای ب Error b	6	1486	8.06	2705	1212
کود زیستی Bio-fertilizer	4	96693**	190.65**	6643**	32474**
کود آلی*کود زیستی Organic fertilizer*Bio-fertilizer	8	5838 <sup>ns</sup>	3.135 <sup>ns</sup>	119 <sup>ns</sup>	2652*
کود شیمیایی*کود زیستی Chemical fertilizer*Bio-fertilizer	4	1767 <sup>ns</sup>	5.315 <sup>ns</sup>	288 <sup>ns</sup>	1033 <sup>ns</sup>
کود آلی*شیمیایی*زیستی Organic*Chemical*Bio-fertilizer	8	5845 <sup>ns</sup>	4.023 <sup>ns</sup>	154 <sup>ns</sup>	1247 <sup>ns</sup>
خطای کل Total error	41	16732.46	29.55	3393	13046
ضریب تغییرات CV (%)	-	19.31	7.86	19.06	14.45

\*\* و \* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns به معنی تفاوت غیرمعنی‌دار است.

ns = non-significant. \* = Significant at 5% level. \*\* = Significant at 1% level.

به‌دست آمد (شکل‌های ۱ و ۲ و جدول ۳)، به‌طوری‌که کود دامی نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) به ترتیب باعث افزایش ۱۳ و ۱۵ درصدی وزن تر و خشک برگ شد.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین وزن تر و خشک برگ در تیمار مصرف کود دامی و مصرف تلفیقی کودهای زیستی (*B. subtilis* + *P. aeruginosa* + *A. chorococum*)



شکل ۲- تأثیر کودهای آلی بر وزن خشک برگ‌های زعفران

Figure 2- Effect of organic fertilizer on leaf dry weight

برگ به صورت منفرد نشان داد که تیمار کود زیستی ازتوباکتر تفاوت معنی داری نسبت به بقیه تیمارها داشته است. اما تفاوت در بین کودهای زیستی بر وزن خشک برگ معنی دار نبود (جدول ۳).

همچنین کاربرد تلفیقی کودهای زیستی، وزن تر و خشک برگ زعفران را به ترتیب ۸۱ و ۷۶ درصد نسبت به شاهد (بدون تلفیح با باکتری) افزایش داد. مقایسه میانگین کاربرد کودهای زیستی بر وزن تر و خشک

جدول ۳- تأثیر کودهای زیستی بر صفات مورد مطالعه

Table 3- The effect of bio-fertilizers on studied traits

کود زیستی Bio-fertilizer	صفات Traits					
	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g/m <sup>2</sup> )	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g/m <sup>2</sup> )	وزن تر بنه Corm fresh weight (g/m <sup>2</sup> )	وزن خشک بنه Corm dry weight (g/m <sup>2</sup> )	قطر بنه Corm diameter (mm)	تعداد گل در مترمربع Number of flowers
شاهد Control	78.589c	42.32c	555.37c	249.25c	16.22d	92.11c
باسیلوس Bacillus	120.35b	51.59b	646.05bc	311.53b	20.68bc	127.11b
ازتوباکتر Azotobacter	152.817ab	52.28b	751.26b	343.24b	21.72b	124.75b
سودوموناس Pseudomonas	121.622b	48.74b	749.74b	333.21b	20.10c	129.77b
تلفیقی Integrated	166.367a	77.30a	1032.54a	451.4a	25.28a	177.19a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5 % probability level (LSD test).

(Khorramdel, 2016) با کاربرد کود دامی و محلول پاشی برگی و تأثیر مثبت آن‌ها بر افزایش وزن خشک برگ گزارش شده است. به نظر می‌رسد کاربرد کود دامی از طریق بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری و تخلخل، شرایط ریزوسفر را برای بنه‌ها بهبود بخشیده که این امر از طریق بهبود رشد اندام‌های رویشی و بنه‌ها، افزایش وزن خشک برگ و بنه را به دنبال داشته است (Rasoulzadeh and Yaghoubi, 2010). محققین (Mollafilabi and Khorramdel, 2016) بیان نمودند که تغذیه مناسب و کاربرد مقادیر مطلوب حاصلخیز کننده‌های آلی عامل مهمی در بهبود رشد گیاه محسوب می‌شود.

علاوه بر این، آزادسازی تدریجی عناصر غذایی نیز می‌تواند در درازمدت علاوه بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی تحت تأثیر افزایش آبشویی و در نتیجه تلفات عناصر غذایی، موجب بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها و حرکت در جهت نیل به پایداری بوم‌نظام‌ها شود.

پژوهش‌گران (Mollafilabi and Khorramdel, 2016) گزارش کردند، وزن تر و خشک برگ همبستگی بالایی با طول برگ، تعداد برگ، اندازه و وزن بنه دارد و تثبیت عناصر و انحلال آن‌ها توسط باکتری‌ها اثر معنی داری بر وزن تر و خشک برگ می‌گذارد. هم‌چنین کودهای آلی نیز با بهبود محتوای ماده آلی خاک و بهبود ذخیره رطوبتی و سبک کردن آن بر وزن تر و خشک برگ تأثیر مثبتی می‌گذارد.

آنچه حائز اهمیت است، تأثیر مثبت کودهای زیستی بر وزن تر و خشک برگ با افزایش تثبیت نیتروژن می‌باشد. زیرا وزن تر برگ در تیمار کاربرد ازتوباکتر به تنهایی در حد تیمار تلفیقی کودهای زیستی بود و این احتمال وجود دارد که ازتوباکتر با تثبیت نیتروژن مقدار وزن تر برگ را بالا ببرد. بنابراین مطابق با گزارش پژوهش‌گران (Heidari et al., 2014) به نظر می‌رسد توانایی ازتوباکتر در فرایند تثبیت نیتروژن و نیز انحلال فسفات‌های نامحلول، به طور مؤثری باعث افزایش این صفت شده است.

نتایج مشابهی نیز توسط محققین (Mollafilabi and

## تعداد بانه

زیستی نشان داد که بیشترین تعداد بانه‌ها از تیمارهای کود آلی همراه با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و کمترین تعداد بانه‌ها از تیمار شاهد (بدون مصرف کود آلی و زیستی)، کود دامی و ورمی کمپوست (عدم کاربرد کود زیستی) به‌دست آمد (جدول ۴).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کودهای زیستی و برهمکنش کود زیستی و آلی به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد بر تعداد بانه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش کودهای آلی و

جدول ۴- اثر برهمکنش کودهای آلی و زیستی بر تعداد بانه و وزن تر گل

Table 4- Interaction effect of organic and biological fertilizers on number of corm and flower fresh weight

کود آلی Organic fertilizer	کود زیستی Bio-fertilizer	صفات Traits	
		تعداد بانه Number of corms	وزن تر گل Flower fresh weight (kg/ha)
شاهد Control	شاهد Control	4.33g	79.19g
	باسیلوس Bacillus	6ef	113.53fg
	ازتوباکتر Azotobacter	7.33de	94.36g
	سودوموناس Pseudomonas	7.56d	108.55fg
	تلفیقی Integrated	10.31ab	165.55e
ورمی کمپوست Vermicompost	شاهد Control	4.3g	164.26e
	باسیلوس Bacillus	7.33de	225.85cd
	ازتوباکتر Azotobacter	8.16cd	270.171b
	سودوموناس Pseudomonas	7.66d	262.88bc
	تلفیقی Integrated	11.16a	329.35a
دامی Manure	شاهد Control	5fg	114.16fg
	باسیلوس Bacillus	6.83de	149.09ef
	ازتوباکتر Azotobacter	7.5d	139.06ef
	سودوموناس Pseudomonas	9.5bc	142.28ef
	تلفیقی Integrated	11a	218.46d

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5 % probability level (LSD test).

(*al.*, 2022). نتایج پژوهشی نشان داد که مصرف کود دامی نقش مؤثری در افزایش تعداد و عملکرد بانه‌های زعفران داشت (Amiri, 2008). در پژوهش دیگری که با هدف مطالعه اثر کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های بانه‌های دختری و گل

اگرچه زعفران نسبت به حاصلخیزی خاک گیاهی نسبتاً کم‌توقع می‌باشد، اما کاربرد کودهای آلی به عنوان بستر کاشت، بهینه‌سازی رشد و سپس بهبود وزن و سایر خصوصیات بانه دختری زعفران را به دنبال دارد (Saeidi Aboueshaghi *et al.*)

می‌رسد که افزایش فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد بنه‌ها به دلیل تحریک فتوسنتز برگ‌ها از طریق کودهای زیستی، موجب نمو بیشتر برگ‌ها و تولید بنه‌های درشت‌تر شده است. این فرایند با افزایش تولید مواد پرورده، فعال شدن جوانه‌های بیشتر روی بنه‌های دختری و تولید بنه‌های درشت‌تر و همچنین افزایش تعداد آن‌ها، ظرفیت گل‌دهی را بهبود می‌بخشد (Mollafilabi and Khorramdel, 2016). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کودهای آلی و شیمیایی نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست با کود شیمیایی ۱۰۰ درصد باعث افزایش وزن تر و خشک بنه زعفران نسبت به شاهد (بدون مصرف کود آلی) شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که تیمار کود شیمیایی توصیه شده (۲۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی NP در هکتار) اختلاف معنی‌داری با تیمارهای کودهای آلی همراه با نصف کود شیمیایی توصیه شده (۱۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی NP در هکتار) بر صفات وزن تر و خشک بنه زعفران نداشت (جدول ۵).

زعفران انجام شد، نتایج نشان داد کاربرد کودهای آلی در مقایسه با کود شیمیایی اثر بیشتری بر ویژگی بنه‌های دختری زعفران و عملکرد زعفران داشت (Shariatmadari et al., 2018).

### وزن تر و خشک بنه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کودهای شیمیایی و زیستی به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد بر وزن تر بنه و اثر ساده کودهای آلی، شیمیایی و زیستی به ترتیب در سطح پنج و یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود، هم‌چنین برهمکنش کودهای آلی و شیمیایی بر صفت وزن تر و خشک بنه زعفران در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین، کاربرد تلفیقی کودهای زیستی (*P. aeruginosa*, *A. chorococum* و *B. subtilis*) وزن تر و خشک بنه را به ترتیب ۸۵ و ۸۱ درصد نسبت به شاهد (بدون تلقیح) افزایش داد (جدول ۳). به‌نظر

جدول ۵- برهمکنش اثر کودهای آلی و شیمیایی بر صفات مورد مطالعه

Table 5- Interaction effect of organic and chemical fertilizers on studied traits

کود شیمیایی نیتروژن و فسفر (کیلوگرم در هکتار) NP Chemical fertilizer (kg/ha)	کود آلی Organic fertilizer	صفات Traits		
		وزن تر بنه Corm fresh weight (g/m <sup>2</sup> )	وزن خشک بنه Corm dry weight (g/m <sup>2</sup> )	وزن تر گل Flower fresh weight (kg/ha)
100	شاهد Control	565.59c	303.52b	112.98d
	ورمی کمپوست Vermicompost	744.56bc	341.97b	223.37b
	دامی Manure	762.52b	308.04b	118.49d
200	شاهد Control	730.88bc	325.49b	120.77d
	ورمی کمپوست Vermicompost	970.63a	413.99a	277.63a
	دامی Manure	707.77bc	333.59b	184.45c

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5 % probability level (LSD test).

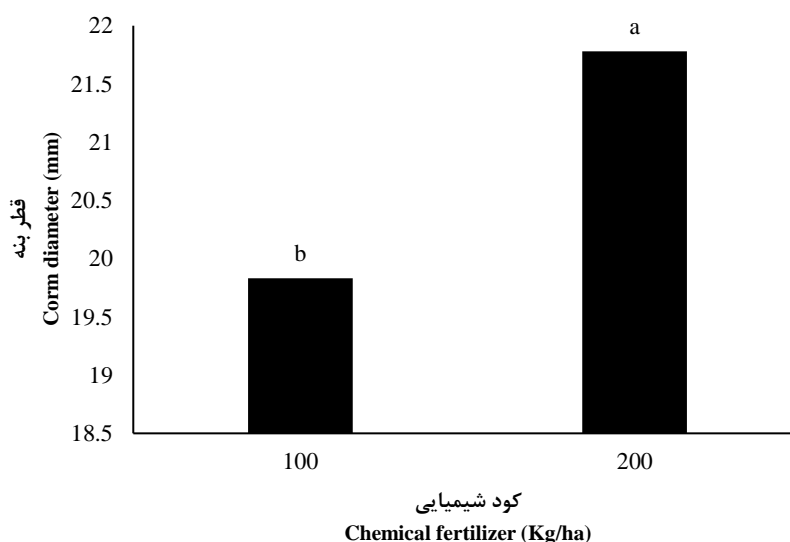
آن به خاک می‌تواند موجب تحریک رشد و گسترش سلولی شود. از طرفی با کاربرد توأم کود شیمیایی با ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار) با بهبود شرایط برای تغذیه و تولید کربوهیدرات، باعث افزایش عملکرد تر و خشک بنه زعفران شده

با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد که کاربرد نیمی از کود شیمیایی با کودهای آلی باعث افزایش وزن تر و خشک بنه، مشابه کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی بود. از آنجایی که نیتروژن و فسفر از مهم‌ترین عناصر برای رشد بنه است، افزودن

(Seyyedi *et al.*, 2018).

### قطر بانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کودهای شیمیایی و زیستی در سطح احتمال یک درصد بر قطر بانه معنی دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها در مورد کاربرد کودهای شیمیایی نشان داد که تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی بیشترین قطر بانه (۲۱/۷۸ میلی‌متر) را به خود اختصاص داد که اختلاف معنی داری با تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی داشت (شکل ۳).



شکل ۳- تأثیر کود شیمیایی بر قطر بانه

Figure 3- The effect of chemical fertilizer on corm diameter

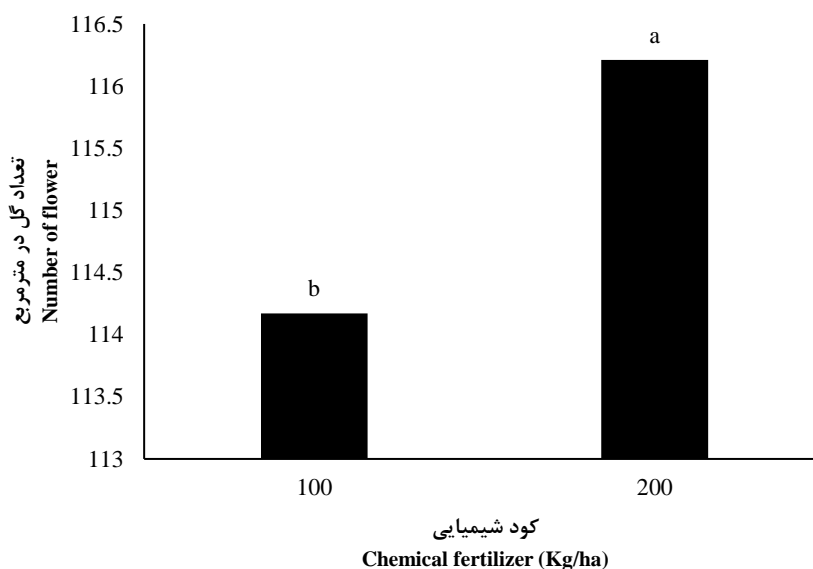
بانه‌های مادری در اندازه بزرگ می‌تولند به دلیل ذخیره بیشتر عناصر غذایی در ابتدای دوره و نیز سرعت رشد و جذب بیشتر عناصر در طی فصل رشد باشد. با توجه به اینکه رشد و نمو اندام‌های ظاهر شده از بانه‌های زعفران در مراحل اولیه اساساً وابسته به میزان اندوخته موجود در بانه‌های مادری است، بنابراین بانه‌های درشت‌تر زعفران به دلیل داشتن اندوخته غذایی و تولید انرژی بیشتر، ضمن تولید ماده خشک بیشتر، مقدار ریشه بیشتری را در مقایسه با بانه‌های کوچک تولید می‌کنند (Renau-Morata *et al.*, 2012). به طوری که در پژوهش حاضر نیز افزایش معنی دار اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد

است. چرا که ورمی کمپوست علاوه بر تأمین عناصر غذایی، با فعالیت و عملکرد بیولوژیک (دفع کننده‌های قارچی) خود، روند رشد گیاه را کنترل می‌کند که این موضوع در افزایش وزن تر و خشک بانه بسیار مهم است. نتایج سایر تحقیقات انجام شده نیز با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. برای مثال، پژوهشگران در تحقیقات خود بر روی زعفران گزارش کردند که مصرف ورمی کمپوست به همراه ۵۰ کیلوگرم کود اوره افزایش قابل ملاحظه در عملکرد کمی و بهبود ویژگی‌های خاک در مقایسه با شاهد داشته است (Feli *et al.*, 2018). پژوهشگران اظهار داشتند کاربرد ورمی کمپوست نسبت به کودهای معدنی، تعداد و وزن بانه‌های دختری را به طور معنی داری افزایش داد

سایر پژوهشگران (Rasouli *et al.*, 2015) نیز نتایج مشابهی از افزایش قطر بانه زعفران با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نسبت به کاربرد ۵۰ درصد آن گزارش کرده‌اند. همچنین نتایج مقایسه کودهای زیستی نشان داد که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی (*P. aeruginosa* + *A. chorococum* + *B. subtilis*)، قطر بانه را ۵۵ درصد نسبت به شاهد (بدون تلفیق) افزایش داد. کاربرد تیمار ازتوباکتر، باسیلوس و سدوموناس نیز در مرتبه‌های بعدی از نظر تولید بانه‌های بزرگ‌تر قرار داشتند (جدول ۳).  
افزایش رشد و تولید بیشتر بانه‌های دختری در نتیجه کشت

عناصر غذایی از منابع کود دامی و شیمیایی در بهبود رشد و عملکرد بنه‌های دختر زعفران بود. از سوی دیگر، کاربرد کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی اثر بیشتری بر ویژگی‌های بنه‌های دختر زعفران داشت (Koocheki et al., 2014).

بنه، همانند افزایش قطر بنه‌های زعفران مشاهده می‌شود. در پژوهشی که به منظور بررسی نقش کودهای دامی، شیمیایی و اندازه بنه مادری بر ویژگی‌های بنه‌های دختر و عملکرد زعفران انجام شد، نتایج آزمایش حاکی از نقش مثبت فراهمی



شکل ۴- تأثیر کود شیمیایی بر تعداد گل زعفران

Figure 4- The effect of chemical fertilizer on number of saffron flowers

باکتری‌های محرک رشد می‌باشد. در تحقیقی، پژوهش‌گران تأثیر مثبت تیمار باکتری *B. subtilis* را بر کلیه صفات رویشی و زایشی زعفران گزارش نمودند، به گونه‌ای که این کود عملکرد کلالة خشک را ۱۲ درصد افزایش داد (-Sharaf Eldin et al., 2008). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کاربرد منفرد *A. chorococum* در زراعت زعفران تأثیری بر رشد این گیاه نداشته، ولی کاربرد تلفیقی آن با ۹۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار عملکرد زعفران گردید (Kirmani et al., 2014).

### وزن تر گل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کود آلی، کودهای زیستی و شیمیایی بر وزن تر گل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. هم‌چنین برهمکنش کودهای شیمیایی × آلی و کودهای زیستی × آلی بر وزن تر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کودهای شیمیایی و آلی

### تعداد گل

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کودهای شیمیایی و زیستی بر روی صفت تعداد گل به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر ساده کود آلی و برهمکنش تیمارهای کودی بر تعداد گل معنی‌دار نبود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین تیمار کود شیمیایی نشان داد که تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نسبت به ۱۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی، بیشترین تعداد گل را با اختلاف معنی‌داری به خود اختصاص داد (شکل ۴). پژوهشگران (Rasouli et al., 2015) نیز نتایج مشابهی از افزایش صفات زایشی گل زعفران با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نسبت به کاربرد ۵۰ درصد آن گزارش کرده‌اند. هم‌چنین نتایج مقایسه سطوح کودهای زیستی نشان داد که کاربرد هم‌زمان *A. chorococum*، *P. aeruginosa* و *B. subtilis* باعث افزایش ۹۲ درصدی تعداد گل نسبت به تیمار شاهد می‌شود (جدول ۳). این امر مبین اثر افزایش ظرفیت جذب عناصر توسط

شیمیایی عملکرد کمی و کیفی زعفران را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار داد، به طوری که کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن همان قدر بر عملکرد کلاله مؤثر بود که کاربرد نصف مقدار کود شیمیایی (۲۵ کیلوگرم) به همراه کود زیستی مؤثر بود. همچنین کاربرد هم‌زمان کود شیمیایی و زیستی عملکرد کلاله را نسبت به کاربرد منفرد کود شیمیایی به طور معنی داری افزایش داد (Heidari *et al.*, 2014).

### نتیجه گیری کلی

از مجموع نتایج به دست آمده در این تحقیق مشخص می‌شود که شاخص‌های بررسی شده بانه زعفران تحت تأثیر نوع و مقدار کودهای به کاررفته و اثرات متقابل آنها قرار گرفت. بطوری که کاربرد تلفیقی کودهای آلی همراه با کودهای شیمیایی ویژگی‌های بانه زعفران را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار داد، همچنین کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی مورد نیاز (۱۰۰ کیلوگرم از کود NP در هکتار) در تلفیق با کودهای آلی تأثیر یکسانی با کاربرد مقدار ۱۰۰ درصد کود توصیه شده (۲۰۰ کیلوگرم از کود NP در هکتار) بر صفات مربوط به وزن گل و بانه زعفران نشان داد. از این رو، برای کاهش اثرات زیان‌بار کاربرد کودهای شیمیایی بر محیط زیست و بوم‌نظام‌های زراعی می‌توان کودهای شیمیایی و آلی را بصورت تلفیقی بکار برد و ضمن کاهش در مصرف کودهای شیمیایی و آلودگی‌های زیست محیطی به تولید محصول سالم کمک شایانی نمود.

نشان داد که تیمار ورمی کمپوست همراه با ۲۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی در هکتار، بیشترین وزن تر گل (۲۷۷/۶۳ کیلوگرم در هکتار) را به همراه داشت. همچنین قابل ذکر است که کاربرد ورمی کمپوست به همراه ۱۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی در هکتار به طور معنی داری نسبت به کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی NP در هکتار (بدون کود آلی) وزن تر گل را افزایش می‌دهد و این یعنی به جای ۱۰۰ درصد کود شیمیایی می‌توان نصف آن را با کاربرد کود آلی جایگزین کرد و ۵۰ درصد از مصرف کود شیمیایی کاسته می‌شود. همچنین تیمار ورمی کمپوست همراه با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی (*P. + A. chorococum*) باعث افزایش ۴۶ درصدی عملکرد تر گل نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) گردید (جدول ۵).

این نتایج بیانگر نقش تغذیه‌ای و ایجاد شرایط مطلوب اکولوژیکی بسترهای کودی مورد استفاده بر شروع گل‌دهی و وزن گل می‌باشد. باکتری‌های تثبیت‌کننده علاوه بر تثبیت با تولید فیتوهورمون‌ها سبب تحریک رشد گیاه و جذب مواد غذایی و فتوسنتز می‌شوند. در پژوهشی که با هدف بررسی تأثیر مصرف برخی کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر خصوصیات کمی و کیفی زعفران انجام شد، نتایج حاکی از آن بود که تلفیق بانه‌های زعفران با باکتری‌های *P. aeruginosa* و *B. subtilis* با اثر بر جذب عناصر غذایی باعث بهبود اکثر صفات کمی و کیفی زعفران شد. کاربرد هم‌زمان کود زیستی و

### References

- Amiri, M.E., 2008. Impact of animal manures and chemical fertilizers on yield components of saffron (*Crocus sativus* L.). *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 4, pp.274-279.
- Dastranj, M. and Sepaskhah, A.R., 2019. Saffron response to irrigation regime, salinity and planting method. *Scientia Horticulture*, 251, pp.215-224. doi: 10.1016/j.scienta.2019.03.027
- Feli, A., Maleki Farahani, S. and Besharati, H., 2018. The impact of chemical urea fertilizer and different organic and biofertilizers on both quantitative and qualitative yield and some soil properties in cultivation of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Crops Improvement*, 20(2), pp.345-356. [In Persian]. doi: 10.22059/jci.2017.60472
- Heidari, Z., Besharati, H. and Maleki Farahani, S., 2014. Effect of some chemical fertilizer and biofertilizer on quantitative and qualitative characteristics of Saffron. *Saffron Agronomy & Technology*, 2(3), pp.177-189. [In Persian]. doi: 10.22048/jsat.2014.7808
- Kirmanian, N.A., Sofi, J.A., Bhat, M.A. and Ansari-Haq, S., 2014. Sustainable saffron production as influenced by

- integrated nitrogen management in typic hapludalfs of NW Himalayas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45, pp.653-668. doi: **10.1080/00103624.2013.874021**
- Koocheki, A., Jamshid Eyni, M. and Seyyedi, S.M., 2014. The effects of mother corm size, manure and chemical fertilizers on replacement corm criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 2(1), pp.34-46. [In Persian]. doi: **10.22077/jsr.2015.328**
- Koocheki, A., Khorramdel, S. and Moallem Banhangi, F., 2022. Effect of corm harvesting year on agronomic criteria, daughter corm, and flower yield of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 10(2), pp.101-116. [In Persian]. doi: **10.22048/jsat.2022.296998.1431**
- Mollafilabi, A. and Khorramdel, S., 2016. Effects of cow manure and foliar spraying on agronomic criteria and yield of Saffron (*Crocus Sativus* L.) in a six-year-old farm. *Saffron Agronomy & Technology*, 3(4), pp.237-249. [In Persian]. doi: **10.22048/jsat.2016.11897**
- Rasouli, Z., Maleki Farahani, S. and Besharati, H., 2015. Saffron (*Crocus sativus* L.) yield as affected by different fertilizing systems. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(2), pp.204-219. [In Persian]. doi: **10.22092/ijmapr.2015.101461**
- Rasoulzadeh, A. and Yaghoubi, A., 2010. Effect of cattle manure on soil physical properties on a sandy clay loam soil in North-West Iran. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2), pp.976-979.
- Renau-Morata, B., Nebauer, S.G., Sánchez, M. and Molina, R.V., 2012. Effect of corm size, water stress and cultivation conditions on photosynthesis and biomass partitioning during the vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Industrial Crops and Products*, 39, pp.40-46. doi: **10.1016/j.indcrop.2012.02.009**
- Saeidi Aboueshaghi, R., Omid, H. and Bostani, A., 2022. Effect of chicken manure and chemical fertilizers on some morphological characteristics and flowers production and replacement corm of Saffron (*Crocus sativus* L.) under irrigation regimes. *Saffron Agronomy & Technology*, 10(1), pp.19-39. [In Persian]. doi: **10.22048/jsat.2022.300362.1436**
- Seyyedi, S.M., Ebrahimian, E. and Rezaei Chiyaneh, E., 2018. Saffron daughter corms formation, nitrogen and phosphorus uptake in response to low planting density, sampling rounds, vermicompost and mineral fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(5), pp.585-603. doi: **10.1080/00103624.2018.1432634**
- Sharaf-Eldin, M.A., Elkholy, S., Fernández, J.A., Junge, H., Cheetham, R.D., Guardiola, J.L. and Weathers, P.J., 2008. The effect of *Bacillus subtilis* FZB24 on flowers quantity and quality of saffron (*Crocus sativus* L.). *Planta Medica*, 74, pp.1316-1320.
- Shariatmadari, Z., Shoor, M., Rezvani Moghaddam, P., Tehranifar, A. and Ahmadian, A., 2018. Study the effects of organic and chemical fertilizers on replacement corms and flower characteristics of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 6(3), pp.291-308. [In Persian]. doi: **10.22048/jsat.2017.89478.1239**
- Zhang, N., Wang, D., Liu, Y., Li, S., Shen, Q. and Zhang, R., 2013. Effects of different plant root exudates and their organic acid components on chemotaxis, biofilm formation and colonization by beneficial rhizosphere-associated bacterial strains. *Plant and Soil*, 374, pp.689-700. doi: **10.1007/s11104-013-1915-6**

## Evaluation of the effect of different fertilizer sources on some characteristics of the corm and flower yield of saffron

Mohammad Bagher Alizadeh<sup>1</sup>, Hassan Makarian<sup>2\*</sup>, Ali Ebadi<sup>3</sup>, Ebrahim Eizadi Darbandi<sup>4</sup>, Ahmad Gholami<sup>2</sup>, Abbas Nasiri Dehsorkhi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> PhD Graduate of Agroecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>2</sup> Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>3</sup> Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>4</sup> Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>5</sup> PhD Graduate of Agroecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

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

Received: 22 March 2023

Accepted: 29 April 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.390675.1331

### Abstract

**Introduction:** In recent years, in order to produce healthy products and reduce environmental problems, organic and biological fertilizers are used to increase soil fertility, meet nutritional needs and increase plant growth. Proper management of fertilizer consumption is one of the necessary tools to have a stable and profitable agro-ecological system in saffron. Due to the fact that few studies have been done on the combined use of biologic, organic and chemical fertilizers in saffron cultivation, therefore the present study was conducted to investigate the effect of biological fertilizers containing *Azotobacter*, *Pseudomonas* and *Bacillus subtilis* and different amounts of chemical and organic fertilizers on some characteristics of the corm and yield of saffron flower.

**Materials and Methods:** Experiment was carried out as split-split plots based on a randomized complete block design with three replications at the Research Farm of Ardebil Agricultural Research Center during growing seasons of 2015-2016. Experimental treatments include: organic fertilizer at three levels, control, manure (25 t.ha<sup>-1</sup>) and vermicompost (10 t.ha<sup>-1</sup>) placed in the main plots. The second factor was chemical fertilizers in two levels including 100 and 200 kg.ha<sup>-1</sup> nitrogen and phosphorus (NP) and the third factor is five levels of biological fertilizer including: no inoculation (control) and inoculation with *Azotobacter*, inoculation with *Pseudomonas*, inoculation with *Bacillus subtilis* and integrated inoculation (*Azetobacter* + *Pseudomonas* + *Bacillus subtilis*). The investigated traits were: leaf fresh weight, leaf dry weight, total corm, corm fresh weight, corm dry weight, corm diameter, number of flower and flower fresh weight. MSTATC software was used to conduct an analysis of variance (ANOVA) on all collected data. Significant differences between means correspond to a probability level of 0.05 according to the LSD test. Graphs were drawn using Excel software.

**Results and Discussion:** The results showed that the application of chemical, organic and biological fertilizers caused a significant increase in the characteristics of dry weight of leaves, number and diameter of corms, fresh and dry weight of corms compared to the control. The integrated application of biological fertilizers increased the dry weight of saffron leaves by 76%, respectively, and also the dry weight of the corm by 81%, respectively, compared to the control. The results of analysis of variance showed that the simple effects of chemical and biological fertilizers were significant at the probability level of 1% on corm diameter. The results of mean comparison of chemical fertilizers showed that the 100% recommended chemical fertilizer treatment had the maximum stem diameter (21.78 mm), which had a significant difference with the 50% recommended fertilizer requirement treatment. Also, the results of the mean comparison of biological fertilizers showed that the combined application of biological fertilizers (*Azotobacter*, *Pseudomonas* and *Bacillus subtilis*) increased the

corm diameter by 55% compared to the control (without inoculation). The yield of saffron flower also showed a significant increase under the influence of the applied treatments. The results of mean comparison of the chemical fertilizer treatment showed that the recommended chemical fertilizer treatment ( $200 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) compared to 50% of the fertilizer requirement ( $100 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) had the highest number of flowers with a significant difference.

**Conclusion:** The results obtained in this research showed that the investigated traits of saffron corm were affected by the type and amount of fertilizers used. So that the simultaneous application of bio-fertilizers combined with organic and chemical fertilizers significantly affected the characteristics of saffron corms. The use of  $200 \text{ kg.ha}^{-1}$  chemical fertilizer along with bio-fertilizers was as effective on the measured traits as the use of  $100 \text{ kg.ha}^{-1}$  chemical fertilizer along with bio-fertilizers. Therefore, it can be said that the use of chemical fertilizers alone is not suitable and the combined use of chemical fertilizers with organic and biological fertilizers will increase the efficiency of chemical fertilizers and reduce the amount of chemical fertilizers used, which leads to a decrease environmental pollution.

**Keywords:** Biofertilizer, Organic fertilizer, Sustainable management, Vermicompost

## تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر ژنوتیپ‌های زودرس خلر زراعی (*Lathyrus sativus* L.) در زمان‌های متفاوت برداشت

سمیه صوفی نیا<sup>۱</sup>، علیرضا پورمحمد<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

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

\* مسئول مکاتبه: [pourmohammad@gmail.com](mailto:pourmohammad@gmail.com)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.444548.1403

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

### چکیده

به منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های زودرس خلر به تنش شوری، ۲۶ ژنوتیپ زودرس خلر در آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند. تیمارهای شوری در چهار سطح صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl اعمال شدند. تعداد بوته‌ها در هر گلدان پس از تنک کردن، پنج بوته بود که در آخر فصل رویشی، هر هفته یک بوته برداشت شد. در برداشت اول، بین ژنوتیپ‌ها از نظر وزن خشک غلاف و طول برگ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد و اثر شوری روی وزن خشک شاخساره و تعداد برگ و طول ریشه معنی‌دار بود. در برداشت دوم، ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری روی صفات تعداد نیام، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد دانه در نیام، زاویه برگ، طول برگ، تعداد شاخه و طول ریشه داشت. در برداشت سوم، ژنوتیپ روی وزن تر غلاف، طول برگ، وزن خشک غلاف و تعداد شاخه تأثیر معنی‌داری داشت و اثر شوری روی وزن خشک غلاف دارای اثر معنی‌دار بود. در برداشت چهارم، صفات وزن خشک شاخساره، وزن تر غلاف، وزن خشک غلاف، تعداد نیام، تعداد دانه در نیام، ارتفاع گیاه و تعداد برگ که همگی از اجزای تشکیل دهنده‌ی عملکرد هستند تحت تأثیر شوری بودند. وزن خشک شاخساره در برداشت‌های اول، چهارم و پنجم از تنش شوری متاثر گردید و در دیگر برداشت‌ها، شوری تأثیری نداشت. در مجموع، ژنوتیپ‌ها در هفته‌های مختلف برداشت، واکنش‌های متفاوتی از خود نشان دادند شاید به این دلیل که هر چه ژنوتیپ‌ها مدت زمان بیشتری در معرض شوری قرار بگیرند عکس‌العمل‌های متفاوت‌تری بروز خواهند داد.

واژه‌های کلیدی: تحمل، عملکرد علوفه، عملکرد دانه، لگوم

### مقدمه

یونجه، اسپرس و سایر گیاهان علوفه‌ای ارزش غذایی یکسانی داشته و پروتئین آن، با توجه به مرحله‌ای از رشد که برداشت می‌شود بین ۱۲ تا ۲۰ درصد متغیر است. این گیاه با حداقل مراقبت‌های لازم، رشد کرده و در مقایسه با سایر بقولات می‌تواند در اقلیم‌های متنوعی، رشد و نمو موفق داشته باشد (Karadag and Buyukburc, 2003) و به دلیل تحمل بالا، امروزه به عنوان یک گیاه مدل در کشاورزی شناخته شده است (VazPatto et al., 2006).

شوری خاک و آب، رشد و عملکرد محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد و با توجه به روند افزایشی اراضی شور و کاهش اراضی زراعی مطلوب به دلیل بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آبی و همچنین ناکارآمدی سیستم زهکشی (Mir Mohammadi Meibodi and Garayazi, 2002)، استفاده از گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری اهمیت زیادی دارد. در ایران

لگوم‌ها گروه مهمی از گیاهان هستند که در سرتاسر جهان به عنوان محصولات غذایی و علوفه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گیاهان می‌توانند نیاز نیتروژنی خود را از طریق ایجاد همزیستی با گروهی از باکتری‌ها که به باکتری‌های ریزوبیومی معروف هستند تامین نمایند. لگوم‌ها تغییرپذیری ژنتیکی زیادی دارند که به همین دلیل، اهمیت بررسی و مقایسه ارقام این گیاهان تأیید می‌گردد (Jafari et al., 2003). این واکنش‌ها به شرایط محیطی بر کلیه مراحل نمو و درنهایت عملکرد کمی و کیفی تأثیر می‌گذارند (Davodi et al., 2011). خلر (*Lathyrus sativus* L.)، گیاهی یک‌ساله از خانواده بقولات (Fraser et al., 2004)، به عنوان یک منبع پروتئین بسیار با ارزش برای دام و طیور بوده (Smulikowska et al., 2008) و همچنین در تغذیه‌ی انسان مصرف می‌شود (Hanbury and Hughes, 2003). این گیاه در مقایسه با شیدر،

تعداد زیادی گیاه است ( Mir Mohammadi Meibodi and Garayazi, 2002).

انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش به دو روش مستقیم (اندازه‌گیری عملکرد) و غیر مستقیم (اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با تحمل تنش) انجام می‌شود (Dadashi et al., 2007).

در مراحل اولیه رشد، تنش شوری سبب ایجاد تنش اسمزی از طریق بر هم زدن تعادل اسمزی به علت دفع آب توسط گیاهان می‌شود (Munns, 2002). هر گیاهی که بتواند در مرحله جوانه‌زنی مقاومت بیشتری نشان دهد خواهد توانست دوره رویشی را موفق‌تر طی کند. از این رو محققان به دنبال افزایش استقرار گیاهچه‌ها در شرایط تنش هستند. یکی از روش‌های موثر در کاهش اثرات تنش شوری و افزایش عملکرد در زمین‌های شور و کم شور نواحی خشک و نیمه خشک، استفاده از ارقام و گیاهان مقاوم به شوری است. از این رو دانش تحمل به شوری می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای جهت تعیین نمودن محصول نهایی در مقیاس وسیع برخوردار باشد. با توجه به اهمیت گیاهان علوفه‌ای و ضرورت استفاده از ذخایر ژنتیکی موجود جهت غلبه بر تنش‌های محیطی از جمله شوری، هدف از این پژوهش، بررسی واکنش ژنوتیپ‌های زودرس خلر نسبت به سطوح مختلف شوری در زمان‌های متفاوت برداشت و ارزیابی ویژگی‌های گیاهچه‌ای و زراعی این گیاه تحت تنش شوری بود.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۲۶ ژنوتیپ (لاین) خلر زودرس زراعی (جدول ۱) که از موسسه تحقیقات بین‌المللی کشاورزی مناطق خشک (ICARDA) تهیه شده بود در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در گلدان، در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه مورد بررسی قرار گرفت. منشاء این ژنوتیپ‌ها از کشورهای مختلف بود ولی در صفت زودرسی، مشترک بودند. تیمارهای شوری در این آزمایش در چهار سطح ۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار نمک طعام (کلرید سدیم) اعمال گردید.

گستره وسیعی از زمین‌های کشاورزی تحت تأثیر شوری هستند که روش‌های اصلاح این خاک‌ها بسیار مشکل و وقت‌گیر و هزینه‌بر می‌باشد شوری عبارت است از حضور بیش از اندازه نمک‌های قابل حل و عناصر معدنی در محلول آب و خاک که منجر به تجمع نمک در ناحیه ریشه شده و گیاه در جذب آب کافی از محلول خاک با اشکال روبرو می‌شود ( Mansoori Shavazi et al., 2012). اگرچه تنش شوری در تمام مراحل رشدی گیاه می‌تواند رخ دهد اما با توجه به اینکه استقرار اولیه گیاه در عملکرد نهایی تأثیر زیادی دارد تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای می‌تواند برای گیاه یکی از مراحل بسیار مضر باشد (Rauf et al., 2007). حساسیت گیاه به تنش شوری، در مرحله جوانه‌زنی است. سرعت زیاد تجمع نمک در سلول‌های درحال نمو، از دلایل حساسیت گیاه به شوری در این مرحله است (Kader and Jutzi, 2004).

تحمل به شوری در مراحل ابتدایی رشد برای استقرار گیاهان مهم می‌باشد، زیرا که جوانه‌زنی ضعیف و کاهش رشد گیاهچه منجر به استقرار ضعیف و گاهی نابودی محصول می‌شود (El-Keblawy and Al-Rawai, 2005). تنش شوری تنها بر یک مرحله رشدی گیاه، تأثیر سوء نمی‌گذارد بلکه با توجه به شدت تنش، نوع تنش، میزان مقاومت گیاه، مراحل مختلف رشدی و نوع بافت و اندام گیاهی، سیر تکاملی متفاوت می‌باشد (Endris and Mohammad, 2007). برای دستیابی به عملکرد مناسب در خاک‌های شور، شناسایی و تولید گیاهان زراعی متحمل به شوری امری اجتناب‌ناپذیر است. معرفی گونه‌ها و ارقام متحمل به شوری می‌تواند یک الگوی اقتصادی و مفید در جهت غلبه بر مشکل شوری باشد (Grozeva et al., 2023).

برای بهبود صفت تحمل شوری در گیاهان زراعی می‌توان از تنوع ژنتیکی بین و درون گونه‌ای از طریق گزینش و اصلاح استفاده کرد ( Ashraf and McNeilly, 2004; Khosravi et al., 2022).

اساسی‌ترین اقدام در اصلاح گیاهان برای مقاومت به شوری، ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف در معرض تنش و انتخاب ژنوتیپ‌هایی با تحمل بیشتر است. این روش مستلزم وجود تنوع درون گونه‌ای کافی و وجود روش‌های مناسب برای غربال کردن

جدول ۱- ژنوتیپ‌های خلر مورد مطالعه در آزمایش

Table 1- The early maturing genotypes used in experiment

شماره ژنوتیپ	منشاء	شماره ژنوتیپ	منشاء	شماره ژنوتیپ	منشاء
Genotype number	Origin	Genotype number	Origin	Genotype number	Origin
1	بنگلادش BANGLADESH	10	بنگلادش BANGLADESH	19	کانادا CANADA
2	کانادا CANADA	11	یونان GREECE	20	یونان GREECE
3	مراکش MOROCCO	12	بنگلادش BANGLADESH	21	یونان GREECE
4	اتیوپی ETHIOPIA	13	افغانستان AFGHANISTAN	22	یونان GREECE
5	بنگلادش BANGLADESH	14	آلمان GERMANY	23	یونان GREECE
6	پاکستان PAKISTAN	15	یونان GREECE	24	یونان GREECE
7	مجارستان HUNGARY	16	یونان GREECE	25	افغانستان AFGHANISTAN
8	بنگلادش BANGLADESH	17	یونان GREECE	26	مراغه (شاهد) MARAGHEH (Control)
9	بنگلادش BANGLADESH	18	یونان GREECE		

(عملکرد علوفه تر)، وزن خشک شاخساره (عملکرد علوفه خشک)، وزن تر غلاف، وزن خشک غلاف، تعداد نیام، تعداد دانه در نیام، ارتفاع گیاه، زاویه برگ نسبت به ساقه، طول برگ، عرض برگ، تعداد برگ، تعداد شاخه، محل شاخه اولی از سطح خاک، طول ریشه اندازه‌گیری شد. همچنین در طول آزمایش تاریخ گلدهی، تاریخ غلاف‌دهی، تاریخ پر شدن غلاف، تاریخ رسیدن دانه و تاریخ دوام گیاه برای هر گلدان نیز یادداشت شد. وزن تر شاخساره (وزن تر کل شاخساره کانوپی گیاه منتهی به نیام‌ها بلافاصله پس از برداشت با ترازوی حساس)، وزن خشک شاخساره (توزین نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد)، وزن تر غلاف (وزن تر تمامی نیام‌های یک بوته بلافاصله پس از برداشت)، وزن خشک غلاف (نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند)، تعداد نیام (شمارش تعداد نیام‌ها در هر بوته)، تعداد دانه در نیام (میانگین تعداد دانه در هر نیام در بوته)، ارتفاع گیاه (در هر بوته بلندترین ساقه انتخاب شده و ارتفاع آن بر حسب سانتی‌متر از زمین با خط کش اندازه‌گیری شد)، زاویه‌ی برگ (میانگین زاویه‌ی ده برگ نسبت به ساقه در هر بوته با نقاله)، طول برگ (میانگین طول ده برگ در هر بوته با خط کش بر حسب

آزمایش درون گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد قطر دهانه بالا ۲۶ سانتی‌متر، قطر کف ۱۲ سانتی‌متر، ارتفاع ۲۴ سانتی‌متری در اول اردیبهشت ۹۶ اجرا گردید. اعمال تنش شوری در تاریخ هفت خرداد شروع شد. بدین صورت که این کار بعد از سبز شدن شروع شد و هر روز به صورت آب شور با تنش مربوطه تا پایان برداشت محصول، ادامه داشت. تغذیه گیاه بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۲) و توصیه کارشناسی از منابع کودی اوره و سوپرفسفات تریپل انجام شد. تعداد بوته‌ها در هر گلدان به دلیل تنک کردن بوته‌ها از ده بوته به پنج بوته در هر گلدان رسید و هر هفته یک بوته از هر گلدان برداشت شد. در مجموع، برداشت محصول در پنج هفته پایانی (اولین برداشت اول تیر یعنی دو ماه بعد از کاشت و دقیقاً قبل از مرحله گلدهی) صورت گرفت به طوری که هر هفته یک بوته برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده به صورت کامل با ریشه برداشت شدند. نحوه برداشت ریشه به این صورت بود که در مرحله تنک کردن، بوته‌ها با حداکثر فاصله ممکن به صورتی تنک شدند که با جدا کردن تک‌تک آنها، امکان برداشت ریشه به طور کامل وجود داشته باشد در حالی که بقیه بوته‌ها هنوز در گلدان بودند. تمامی صفات در هر بوته در هر برداشت نظیر وزن تر شاخساره

غلاف‌دهی، تعداد روز تا پر شدن غلاف، تعداد روز تا رسیدن دانه، دوام (براساس تعداد روز تا ظهور سوختن بوته در هر گلدان) اندازه‌گیری گردید. هدف از برداشت در پنج مرحله این بود که مشخص شود شوری در کدام مرحله برداشت، موجب کاهش بیشتر عملکرد در خلر می‌شود.

سانتی‌متر)، عرض برگ (میانگین عرض ده برگ در هر بوته)، تعداد برگ (شمارش تعداد برگ‌ها در یک بوته)، تعداد شاخه، محل شاخه‌ی اولی (ارتفاع اولین شاخه از سطح خاک با خط‌کش بر حسب سانتی‌متر)، طول ریشه، تعداد ریزوم (تعداد ریزوم‌های ریشه هر بوته)، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of the studied soil before the experiment

هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS/m)	pH	درصد اشباع Saturation percentage	کربن آلی Organic carbon (%)	مواد خنثی شونده Neutralizing substances (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0.56	7.8	60	0.04	3.3	36	37	27
مس قابل جذب Absorbable copper (mg/kg)	روی قابل جذب Absorbable zinc (mg/kg)	منگنز قابل جذب Absorbable manganese (mg/kg)	آهن قابل جذب Absorbable iron (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (mg/kg)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (mg/kg)	آمونیم Ammonium (mg/kg)	نیترات Nitrate (mg/kg)
2.2	1.6	21.8	8.5	518	6.3	5.6	5.6

در ارزیابی عکس‌العمل گیاهچه‌های آفتابگردان در شرایط شور، به این نتیجه رسیدند که شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک و ارتفاع اندام هوایی می‌شود. نتایج مقایسه میانگین برای صفات مورد بررسی در برداشت اول (جدول درج نشده است) نشان داد که برای صفت وزن خشک غلاف بیشترین میانگین ژنوتیپ برای ژنوتیپ ۲۳ (۰/۲۰۷) و کمترین تأثیر میانگین در ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۲۴، ۲۵ و ۲۶ (۰) دیده شد. برای صفت طول برگ بیشترین میانگین برای ژنوتیپ ۷ (۶/۲۵) و کمترین آن برای ژنوتیپ ۱۹ (۱/۶) بود. در وزن خشک شاخساره بیشترین تأثیر شوری مربوط به سطح چهارم (۰/۸۰) و کمترین تأثیر برای سطح دوم (۰/۴۶) بود، می‌توان گفت که تغییرات در وزن خشک شاخساره با افزایش میزان شوری همخوانی ندارد. صفت تعداد برگ با افزایش میزان شوری کاهش یافته است به طوری که سطح اول بیشترین تأثیر شوری (۲۷/۴۳) و کمترین مقدار برای سطح دوم و سوم (۲۱)، ۱۸/۸۲) بود. برای صفت طول ریشه کمترین مقدار میانگین در سطح اول شوری (۸/۷۰) و سه سطح دیگر در یک گروه قرار گرفتند؛ می‌توان گفت که در شرایط تنش شوری ریشه رشد بیشتری نسبت به شاهد دارد. شاید بتوان گفت که ریشه برای

قبل از تجزیه داده‌ها مفروضات تجزیه واریانس داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و مقایسات میانگین به روش دانکن انجام گردید. برای انجام تجزیه‌ی آماری از نرم افزارهای MSTATC و GenStat استفاده شد.

## نتایج و بحث

### تجزیه واریانس و مقایسه میانگین برداشت‌ها

#### برداشت اول

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مورد بررسی در شرایط مزرعه‌ای در برداشت اول در جدول ۳ آمده است. نتایج نشان دادند که برای اثر ژنوتیپ، وزن خشک غلاف و طول برگ معنی‌دار بود. اثر شوری در مورد صفات وزن خشک شاخساره، تعداد برگ و طول ریشه، معنی‌دار بود ولی بقیه صفات برای هیچ‌کدام از اثرات، اختلاف معنی‌داری نداشتند. در بررسی تأثیر زمان برداشت و شوری خاک بر عملکرد کمی و کیفی علوفه پنج رقم یونجه، محققان (Nekoyanfar et al., 2017) نشان دادند که ارقام مورد آزمایش از نظر بیشتر صفات به غیر از نسبت برگ به ساقه، غلظت کلسیم و نسبت سدیم به کلسیم تفاوت معنی‌دار با یکدیگر نداشتند. پژوهشگران دیگر (Abedini et al., 2020)

ژنوتیپ ۴ (۳/۸) و کمترین آن برای ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹ و ۲۵ (۰) بود. در تعداد برگ بیشترین میانگین برای ژنوتیپ ۲۶ (۵۱/۲۶) و کمترین آن در ژنوتیپ ۱ (۲۱/۵) و در صفت زاویه برگ‌گی ژنوتیپ ۲۰ (۶۲/۱۶) بیشترین میانگین را به خود اختصاص داد و کمترین نیز برای ژنوتیپ ۱۴ (۳۳/۷) بود. بیشترین میانگین ژنوتیپ در صفت ارتفاع گیاه مربوط به ژنوتیپ ۲۰ (۲۱/۵۶) و کمترین آن به ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۶ و ۱۸ (به ترتیب ۲۰/۵، ۲۱، ۱۹/۵) مربوط بود. در صفت طول ریشه بیشترین میانگین برای ژنوتیپ ۴ (۱۷/۲۸) و کمترین میانگین برای ژنوتیپ ۲۶ (۹/۳۲) بود. همچنین در صفت طول ریشه، کمترین تأثیر شوری مربوط به سطح اول (۱۰/۸۴) بود و سطح‌های دوم و سوم شوری در یک گروه قرار گرفتند، که با افزایش میزان شوری، طول ریشه افزایش یافت. شاید بتوان گفت که ریشه برای جذب آب و املاح بیشتر، رشد بیشتری می‌یابد (Ahmadi et al., 2023).

تنش شوری باعث از بین رفتن تعادل اسمزی و در نتیجه خروج آب از برگ‌ها و در نهایت از بین رفتن آماس سلولی می‌شود. گسترش طولی و عرضی برگ پس از این که گیاه در معرض شوری قرار گرفت کاهش می‌یابد و تا مدتی این کاهش ادامه می‌یابد (Dadras et al., 2012).

ریشه اولین اندامی است که با تنش شوری مواجه شده و از آن آسیب می‌بیند. اثرات اسمزی ناشی از حضور یون‌های سمی در ناحیه ریشه، افزایش یون‌های سدیم و کلر در ناحیه ریشه، به هم خوردن تعادل عناصر غذایی از مهم‌ترین عوامل تنش شوری هستند.

حال ریشه باید با صرف انرژی زیاد از ورود یون‌های سمی و خطرناک به درون گیاه خودداری کرده و با تنش شوری مقابله کند. این کار باعث می‌شود که ریشه انرژی لازم جهت انتقال آب و عناصر غذایی را به سایر قسمت‌ها از دست داده و در نتیجه کاهش وزن ریشه و طول ریشه را منجر شود (Kafi and ostvar, 1997). ولی در پژوهش ما عکس این نتیجه اتفاق افتاد یعنی طول ریشه در شرایط بدون تنش شوری (شاهد) کمتر از سطوح شوری بود، شاید بتوان دلیل این اتفاق را روش دفاعی گیاه برای مبارزه با شوری دانست، که با نتیجه‌ی برداشت اول همخوانی دارد.

جذب آب و املاح بیشتر، رشد بیشتری می‌یابد. در شرایط شور گیاه از طریق افزایش تعداد ریشه و همچنین طول ریشه تلاش می‌کند که پتانسیل جذبی عناصر کلیدی به ویژه پتاسیم را افزایش دهد (Ahmadi et al., 2023). نتایج پژوهش دیگر (Grozeva et al., 2023) در خلر نشان داد که تیمارهای شوری تأثیر منفی بر رشد گیاه داشتند و توده‌های مورد مطالعه به تنش شوری حساس بودند. با این وجود، برخی از نمونه‌های متحمل شناسایی شدند.

پاسخ گیاهان به تنش شوری بسیار پیچیده است. این پاسخ از غلظت نمک، نوع یون‌ها، عوامل مختلف محیطی و مرحله رشد و نمو گیاه تأثیر می‌پذیرد. از یک سو، تنش اسمزی تحت شرایط شوری باعث خروج آب از بافت‌های گیاهی می‌شود و بدین دلیل آن را خشکی فیزیولوژیک هم می‌نامند. از سوی دیگر، مسمومیت یونی در اثر تجمع یون‌های خاص به ویژه سدیم و کلر ایجاد می‌گردد که موجب اختلال در واکنش‌های متابولیک گیاه می‌شوند (Ghavami et al., 2004). کاهش تعداد برگ در گیاه را می‌توان به علت کاهش تعداد آغازه‌های برگ دانست.

## برداشت دوم

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مورد بررسی در شرایط مزرعه‌ای در برداشت دوم در جدول ۴ آمده است. نتایج نشان دادند که برای اثر ژنوتیپ صفات تعداد نیام، ارتفاع گیاه و تعداد برگ، تعداد دانه در نیام، زاویه برگ‌گی، طول برگ، تعداد شاخه و طول ریشه معنی‌دار بود.

اثر شوری برای صفت طول ریشه دارای تأثیر معنی‌داری بود. صفات طول برگ و تعداد شاخه دارای اثر متقابل ژنوتیپ در شوری معنی‌دار بودند. در این برداشت به دلیل از بین رفتن ژنوتیپ‌ها در سطح چهارم شوری به دلیل سطح بالای تنش شوری، ارزیابی در سه سطح باقی مانده انجام شده است. نتایج مقایسه میانگین برای صفات مورد بررسی در برداشت دوم (جدول ۵) نشان داد که برای صفت تعداد نیام بیشترین میانگین برای ژنوتیپ ۴ (۲/۴) و کمترین میانگین در ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹ و ۲۵ (۰) دیده شد.

برای صفت تعداد دانه در نیام بیشترین میانگین برای

جدول ۳- تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های خلر در برداشت اول

Table 3- Analysis of variance of grass pea genotypes in the first harvest

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		طول ریشه Root length	محل اولین شاخه Location of first shoot	تعداد شاخه Number of shoots	تعداد برگ Number of leaves	عرض برگ Leaf width	طول برگ Leaf length	زاویه برگ Leaf angle
تکرار Replication	1	30	1.089*	5.97	48.59	0.060	1.60	73.95
ژنوتیپ Genotype	25	14.26	0.344	2.9	97.54	0.016	6.33**	39.43
شوری Salinity	3	127.64**	0.288	4.04	521.41**	0.052	2.34	60.07
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	55	12.99	0.268	1.18	109.27	0.021	2.14	36.31
خطا Error	60	11.11	0.340	1.89	119.61	0.024	2.23	31.77

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

\* and \*\* significant in 5 and 1 percent respectively

ادامه جدول ۳

Table 3 (continued)

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در غلاف Number of grains per pod	تعداد غلاف Number of pods	وزن خشک غلاف Dry weight of pod	وزن تر غلاف Fresh weight of pod	وزن خشک شاخساره Dry weight of shoot	وزن تر شاخساره Fresh weight of shoot
تکرار Replication	1	510.2	2.95	0.664	0.008	0.015	0.058	0.002
ژنوتیپ Genotype	25	141.1	10.66	1.69	0.026*	0.130	0.084	0.092
شوری Salinity	3	79.6	2.08	0.213	0.031	0.028	0.53*	0.239
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	55	117.6	6.7	1.05	0.018	0.071	0.115	0.110
خطا Error	60	142.1	9.37	1.13	0.013	0.078	0.104	0.137

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

\* and \*\* significant in 5 and 1 percent respectively

بدین دلیل آن را خشکی فیزیولوژیک هم می‌نامند. از سوی دیگر، مسمومیت یونی در اثر تجمع یون‌های خاص به ویژه سدیم و کلر ایجاد می‌گردد که موجب اختلال در واکنش‌های متابولیک گیاه می‌شوند (Ghavami et al., 2004). کاهش

پاسخ گیاهان به تنش شوری بسیار پیچیده است. این پاسخ از غلظت نمک، نوع یون‌ها، عوامل مختلف محیطی و مرحله رشد و نمودی گیاه تأثیر می‌پذیرد. از یک سو، تنش اسمزی تحت شرایط شوری باعث خروج آب از بافت‌های گیاهی می‌شود و

جدول ۴- تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های خلر در برداشت دوم

Table 4- Analysis of Variance grass pea genotypes in the second harvest

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		طول ریشه Root length	محل اولین شاخه Location of first shoot	تعداد شاخه Number of shoots	تعداد برگ Number of leaves	عرض برگ Leaf width	طول برگ Leaf length	زاویه برگ Leaf angle
تکرار Replication	1	71.40**	0.270	0.167	453.6	0.044	0.013	24
ژنوتیپ Genotype	25	14.53**	0.193	0.300**	243.7*	0.017	2.21**	279**
شوری Salinity	2	127.9*	0.112	0.007	140.4	0.003	1.05	60.2
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	29	9.89	0.144	0.198*	91.4	0.024	1.38*	58.5
خطا Error	49	6.51	0.187	0.112	128.2	0.020	0.765	92.4

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

\* and \*\* significant in 5 and 1 percent respectively

ادامه جدول ۴

Table 4 (continued)

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در غلاف Number of grains per pod	تعداد غلاف Number of pods	وزن خشک غلاف Dry weight of pod	وزن تر غلاف Fresh weight of pod	وزن خشک شاخساره Dry weight of shoot	وزن تر شاخساره Fresh weight of shoot
تکرار Replication	1	85.5	5.87	3.61	0.001	0.017	0.441	7.39
ژنوتیپ Genotype	25	248.1*	7.62**	2.740*	0.150	0.378	0.333	2.68
شوری Salinity	2	100.5	6.43	1.28	0.153	0.625	0.057	2.48
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	29	178.7	3.43	1.29	0.090	0.334	0.240	2.25
خطا Error	49	131.4	3.48	1.38	0.109	0.355	0.245	2.08

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

\* and \*\* significant in 5 and 1 percent respectively

مزرعه‌ای در برداشت سوم در جدول ۶ آمده است. نتایج نشان داد که برای اثر ژنوتیپ، وزن تر غلاف، طول برگ، وزن خشک غلاف و تعداد شاخه معنی‌دار بود. اثر شوری برای وزن خشک غلاف معنی‌دار بود و بقیه صفات برای هیچکدام از اثرات دارای اختلاف معنی‌داری نبودند. در این برداشت نیز سطح چهارم

تعداد برگ در گیاه را می‌توان به علت کاهش تعداد آغازهای برگ دانست.

### برداشت سوم

نتایج تجزیه واریانس برای صفات مورد بررسی در شرایط

ترتیب ۲/۵۱، ۲/۹۱) و کمترین آن در ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹ و ۲۶ (همگی صفر به جز ۱۴ (۰/۲۸)) دیده شد.

شوری حذف شده است. نتایج مقایسه میانگین برای صفات مورد بررسی در برداشت سوم (جدول ۷) نشان دادند که برای وزن تر غلاف بیشترین میانگین برای ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱۱ (به

جدول ۵- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های خلر برای صفات مورد مطالعه در برداشت دوم

Table 5- Mean Comparison of the grass pea genotypes for the studied traits in the second harvest

ژنوتیپ Genotype	طول ریشه Root (cm)length	تعداد شاخه Number of shoots	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	زاویه برگ Leaf angle (°)	تعداد برگ Leaf number	طول برگ Leaf length (cm)	تعداد دانه در نیام Number of grain in pod	تعداد نیام Number of pod
1	12.15de	4.41df	23.25c	47.50ah	21.50e	4.25ae	0.25bc	0.25bc
2	14.11ad	1.54be	26.08bc	55.16ae	37.00ae	4.25ae	1.83ac	1.50ac
3	13.5ae	0.96f	35.40ac	60.80ab	30.40ce	4.60ac	1.80ac	1.40ac
4	17.28a	1.42ef	33.80ac	57.80ac	32.40ce	4.40ac	3.80a	2.40a
5	13.41ae	1.26bf	66.50bc	48.50ah	23.10de	3.93bf	0.66ac	0.50ac
6	11.68be	1.47df	33.80ac	53.40af	36.80ae	4.26ae	3.00ac	2.20ab
7	10.76ce	1.39bf	33ac	56.00ad	39.40ae	4.36ae	3.00ac	2.00ac
8	11.68be	1.46bf	28.66bc	48.33ah	37.60ce	4.21ae	3.20ac	1.66ac
9	14.28ac	1.50bf	32.50bc	53.50af	31.10be	4.33ae	0.66ac	0.66ac
10	11.18be	1.66ae	37ac	61.40ab	46.60ac	4.56cf	1.40ac	1.20ac
11	10.63ce	1.60ae	27.16bc	50.50ag	34.00ae	4.70ac	1.33ac	1.16ac
12	12.47be	1.91ad	28.50bc	41.25dh	33.50ae	3.35cf	0.00c	0.00c
13	15.33ab	1.71ae	27bc	45.00bh	40.30ae	3.00ef	0.00c	0.00c
14	13.45ae	2.15a	20.50c	33.70h	41.70ad	3.25ef	0.00c	0.00c
15	12.23be	1.91ad	26.66bc	35.00gh	45.30ac	3.40cf	0.00c	0.00c
16	19.76ae	1.95ad	21c	39.00eh	38.00ae	3.00ef	0.00c	0.00c
17	9.75de	2.03ab	28.50bc	35.00gh	42.00ad	3.10df	1.50ac	0.50ac
18	14.20ac	2.02ab	19.50c	38.00fh	35.20ae	2.62f	0.00c	0.00c
19	10ce	1.99ae	23.75c	38.00fh	39.20ae	2.95ef	0.00c	0.00c
20	13.13ae	1.47df	21.56a	62.16a	44.50ac	5.06ab	3.33ab	1.83ac
21	13.86ad	1.43ef	38.50ac	44.16ch	40.30ae	3.75bf	1.50ac	1.16ac
22	13.08ae	1.66ae	32bc	46.00ah	31.80ae	3.70bf	0.80ac	0.80ac
23	12.34be	1.39df	37.40ac	59.20ac	30.20ae	5.10ab	3.40bc	2.00ac
24	10.93ce	1.66be	21.33c	45.00bh	23.30ce	3.83bf	1.33ac	1.00ac
25	13.75ad	1.61ae	43.50ab	47.50ah	50.00ab	4.75ae	0.00c	0.00c
26	9.32e	1.41df	44.75ab	52.50af	51.00a	5.62a	0.50bc	0.20bc

رشد رویشی و زایشی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بنابراین موجب کاهش وزن خشک و عملکرد گیاه می‌شود (Tuna et al., 2008). تأثیر شوری روی وزن خشک غلاف در شرایط تنش شوری را می‌توان با توجه به دلایل ذکر شده توجیه کرد.

#### برداشت چهارم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برای اثر ژنوتیپ، صفات وزن خشک غلاف، تعداد نیام، تعداد دانه در نیام و ارتفاع گیاه، وزن تر غلاف، تعداد شاخه و محل شاخه اولی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. وزن خشک شاخساره، وزن تر غلاف، وزن خشک غلاف، تعداد نیام، تعداد دانه در نیام، ارتفاع گیاه و

برای وزن خشک غلاف، بیشترین میانگین برای ژنوتیپ ۱۰ (۱/۰۴) و کمترین آن برای ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹ و ۲۶ (همگی صفر به جز ۱۴ (۰/۲۸)) دیده شد. بیشترین میانگین ژنوتیپ در صفت طول برگ مربوط به ژنوتیپ ۱۰ (۶) و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ ۱۸ (۱/۷۵) بود. در صفت تعداد شاخه، بیشترین اثر میانگین ژنوتیپ برای ژنوتیپ ۱۸ (۸/۵) و کمترین تأثیر میانگین برای ژنوتیپ ۲۶ (۱/۳۳) بود. در وزن خشک غلاف بیشترین تأثیر شوری مربوط به سطح دوم (۰/۳۶۰) و کمترین تأثیر برای سطح سوم (۰/۱۸۵) بود، که تغییرات در مقدار میانگین مطابق با روند افزایش میزان شوری نیست. شوری،

۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۵ (۰) دیده شد. برای صفت وزن خشک غلاف بیشترین میانگین ژنوتیپ برای ژنوتیپ ۱۰ (۰/۸۶) و کمترین برای ژنوتیپ‌های ۲ (۰/۱۰)، ۵ (۰/۱۲)، ۱۴ (۰/۰۷)، ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۵ (۰) و ۲۰ (۰/۴) دیده شد.

تعداد برگ، برای اثر شوری معنی‌دار بود (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین برای صفات مورد بررسی در برداشت چهارم (جدول درج نشده است) نشان داد که برای صفت وزن تر غلاف، بیشترین میانگین برای ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۲۲ (به ترتیب ۱/۶۹، ۱/۹۱) و کمترین میانگین در ژنوتیپ‌های ۱۴ (۰/۰۸)، ۱۳، ۱۶،

جدول ۶- تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های خلر در برداشت سوم

Table 6- Analysis of variance grass pea genotypes in the third harvest

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		طول ریشه Root length	محل اولین شاخه Location of first shoot	تعداد شاخه Number of shoots	تعداد برگ Number of leaves	عرض برگ Leaf width	طول برگ Leaf length	زاویه برگ Leaf angle
تکرار Replication	1	0.112	0.086	11.16*	12.73	0.182	5.46	151.1
ژنوتیپ Genotype	25	18.51	0.234	4.57**	192	0.106	2.72*	93.4
شوری Salinity	2	1.11	0.151	1.62	175.8	0.034	4.03	67.2
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	27	9.79	0.249	1.23	204.3	0.128	1.82	68.4
خطا Error	29	28.01	11.73	0.215	1.86	314.5	0.283	1.41

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

\* and \*\* significant in 5 and 1 percent respectively

ادامه جدول ۶

Table 6 (continued)

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در غلاف Number of grains per pod	تعداد غلاف Number of pods	وزن خشک غلاف Dry weight of pod	وزن تر غلاف Fresh weight of pod	وزن خشک شاخساره Dry weight of shoot	وزن تر شاخساره Fresh weight of shoot
تکرار Replication	1	0.076	28.57	3.01	0.422**	1.54	1.01	7.36
ژنوتیپ Genotype	25	2.30	29.90	5.18	0.198**	1.62*	0.441	3.37
شوری Salinity	2	2.55	17.59	3.17	0.186*	0.614	0.095	1.25
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	27	1.82	29.53	4.61	0.091	1.3	0.408	3.60
خطا Error	29	79.84	1.41	29.42	3.72	0.056	0.813	0.817

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

\* and \*\* significant in 5 and 1 percent respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های خلر برای صفات مورد مطالعه در برداشت سوم

Table 7- Mean Comparison of the grass pea genotypes for the studied traits in the third harvest

ژنوتیپ	تعداد شاخه	طول برگ	وزن خشک غلاف	وزن تر غلاف
Genotype	Number of shoots	Leaf length (cm)	Dry weight of pod (g)	Fresh weight of pod (g)
1	2.0cd	2.75ch	0.11cd	0.46b
2	2.3cd	4.33ah	0.42bd	1.72ab
3	1.8cd	4.2ah	0.13bd	0.28b
4	1.7cd	4.62af	0.19bd	0.41b
5	3.0bd	4.70ae	0.40bd	1.62ab
6	3.0bd	3.12bf	0.21bd	0.73b
7	2.5cd	4.00ah	0.39bd	0.42b
8	2.0cd	4.16ag	0.31bd	0.57b
9	2.0cd	4.50af	0.23bd	0.48b
10	2.6cd	6.00a	1.04a	2.51a
11	2.0cd	5.00ac	0.58b	2.91a
12	4.5be	2.50dh	0.00c	0.00b
13	3.5bd	2.75ch	0.00c	0.00b
14	2.5cd	3.75ah	0.02c	0.28b
15	5.5b	2.25fh	0.00c	0.00b
16	3.5bd	2.00gh	0.00c	0.00b
17	2.0cd	4.00ah	0.41bd	1.23ab
18	8.5a	1.75h	0.00c	0.00b
19	4.0bd	3.00bh	0.00c	0.00b
20	2.6cd	4.83ad	0.14bd	0.22b
21	2.5cd	4.87ad	0.51bc	1.20ab
22	2.5cd	4.66ae	0.19bd	0.50b
23	3.0bd	4.62af	0.46bd	1.59ab
24	3.0bd	2.37eh	0.12bd	0.51b
25	2.0cd	4.00ah	0.05cd	0.37b
26	1.3d	5.33ab	0.00c	0.00b

گرفتند. در وزن تر غلاف، کمترین مقدار مربوط به سطح سوم (۰/۱۴) بود و سطوح دیگر، در یک گروه قرار گرفتند. وزن خشک غلاف کمترین میانگین اثر شوری برای سطح اول شوری (۰/۱۷) بود، و دو سطح در یک گروه قرار گرفتند می‌توان گفت با افزایش میزان شوری وزن خشک غلاف افزایش یافت. در صفت تعداد دانه در نیام کمترین تأثیر میانگین برای سطح سوم (۱/۸) و سطوح دیگر در یک گروه قرار گرفتند که نشان می‌دهد با افزایش میزان شوری تعداد دانه در نیام کاهش یافت. در صفت تعداد نیام بیشترین تأثیر میانگین شوری در سطح دوم (۲) و کمترین تأثیر شوری در سطح سوم (۰/۸۸) بود که تغییرات در مقدار میانگین مطابق با روند افزایش میزان شوری نبود. در صفت ارتفاع گیاه بیشترین میانگین شوری در سطح دوم (۵۰/۴) و کمترین آن در سطح سوم (۳۷/۴) بود. بیشترین میزان میانگین در صفت تعداد برگ مربوط به سطح اول (۳۸/۵) و کمترین مربوط به سطح سوم (۲۷/۴) شوری بود یعنی با

بیشترین میزان تأثیر میانگین ژنوتیپ در صفت تعداد نیام مربوط به ژنوتیپ ۹ (۳/۵) و کمترین مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۵ (۰) بود. صفت تعداد دانه در نیام بیشترین میانگین ژنوتیپ برای ژنوتیپ‌های ۹، ۱۰ (۷)، ۱۱ (۶/۳۳) و ۲۲ (۶/۸) و کمترین میانگین برای ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۵ (۰) بود. برای ارتفاع گیاه بیشترین میانگین ژنوتیپ متعلق به ژنوتیپ ۲۶ (۶۶/۸) و کمترین تأثیر متعلق به ژنوتیپ‌های ۲۸ و ۲۵ (به ترتیب ۲۰ و ۱۹) بود. بیشترین میانگین ژنوتیپ در صفت تعداد شاخه مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۸ و ۲۵ (۹) و کمترین مربوط به ژنوتیپ ۱۷ (۱) بود. صفت محل شاخه اولی بیشترین میانگین برای ژنوتیپ ۱۸ (۱/۲۵) و کمترین میانگین برای ژنوتیپ‌های ۳، ۹، ۱۴، ۱۷ و ۲۵ (۰) بود. در وزن خشک شاخساره، کمترین تأثیر شوری مربوط به سطح سوم (۰/۶۸) بود و سطوح اول و دوم در یک گروه قرار

افزایش میزان شوری تعداد برگ کاهش یافت. در این برداشت صفات وزن خشک شاخساره، وزن تر غلاف، وزن خشک غلاف، تعداد نیام، تعداد دانه در نیام، ارتفاع گیاه و تعداد برگ که همگی از اجزای تشکیل دهنده‌ی عملکرد (علوفه و دانه) هستند تحت تاثیر شوری بودند که این امر نشان دهنده آن است در شرایط شوری عملکرد با کاهش مواجه می‌شود.

جدول ۸- تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های خلر در برداشت چهارم

Table 8- Analysis of variance grass pea genotypes in the fourth harvest

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		طول ریشه Root length	محل اولین شاخه Location of first shoot	تعداد شاخه Number of shoots	تعداد برگ Number of leaves	عرض برگ Leaf width	طول برگ Leaf length	زاویه برگ Leaf angle
تکرار Replication	1	2.97	0.280	11.87	1680**	0.001	2.97	37.87
ژنوتیپ Genotype	25	4.29	0.455**	7.76**	246.9	0.237	4.29	90.56
شوری Salinity	2	3.74	0.105	1.13	729*	0.025	3.74	22.72
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	21	1.73	0.288	1.95	279.3	0.098	1.73	52.61
خطا Error	32	2.47	0.227	3.50	194.4	0.213	2.47	83.19

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

\* and \*\* significant in 5 and 1 percent respectively

ادامه جدول ۸

Table 8 (continued)

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در غلاف Number of grains per pod	تعداد غلاف Number of pods	وزن خشک غلاف Dry weight of pod	وزن تر غلاف Fresh weight of pod	وزن خشک شاخساره Dry weight of shoot	وزن تر شاخساره Fresh weight of shoot
تکرار Replication	1	649.2	14.18	1.51	0.013	1.33	0.675	12.75
ژنوتیپ Genotype	25	569*	20.57*	4.37*	0.231*	1.21**	0.391	4.79
شوری Salinity	2	1184*	43.84*	8.63*	0.477*	4.20**	1.87**	12.65
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	21	250	8.77	1.43	0.120	0.370	0.261	5.4
خطا Error	32	232.2	9.73	1.95	0.119	0.454	0.282	4.31

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

\* and \*\* significant in 5 and 1 percent respectively

می‌باشد که در کل موجب کاهش تولید گیاه می‌گردند (Munns and Tester, 2008). تأثیر مضر شوری بر رشد گیاهان ممکن است نتیجه اختلال در فراهمی آسیملات‌های

ارتفاع بوته از جمله صفاتی است که در گیاهان علوفه‌ای همواره مورد توجه بوده است. عمده مشکل شوری برای گیاهان در اثرات سمیت مستقیم روی غشاها و سیستم‌های آنزیمی

تجمع Na و Cl در اندام‌ها و یا تخریب ساختمان کلروپلاست  
گزارش شده است ( Mir Mohammadi Meibodi and  
(Garayazi, 2002).

فتوسنتزی و یا ممانعت از گسترش سلولی در برگ‌ها ( Ashraf,  
2004) باشد که هر کدام از این عوامل منجر به کاهش ماده  
خشک در گیاه می‌شود. دلیل کاهش وزن تر اندام هوایی، کاهش  
فتوسنتز در اثر کاهش سطح برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای،

جدول ۹- تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های خلر در برداشت پنجم

Table 9- Analysis of variance grass pea genotypes in the fifth harvest

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		طول ریشه Root length	محل اولین شاخه Location of first shoot	تعداد شاخه Number of shoots	تعداد برگ Number of leaves	عرض برگ Leaf width	طول برگ Leaf length	زاویه برگ Leaf angle
تکرار Replication	1	0.75	0.083	0.083	1017	0.083	1.02	33.33
ژنوتیپ Genotype	25	7.65	0.199	5.92*	624.7	0.015	2.04	37.31
شوری Salinity	1	2.06	0.001	0.018	2109	0.008	6.86*	21.76
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	7	4.85	0.121	0.614	633.3	0.016	0.876	19.83
خطا Error	32	4.4	0.123	2.95	719	0.024	1.07	32.24

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

\* and \*\* significant in 5 and 1 percent respectively

ادامه جدول ۹

Table 9 (continued)

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در گل‌اف Number of grains per pod	تعداد گل‌اف Number of pods	وزن خشک گل‌اف Dry weight of pod	وزن تر گل‌اف Fresh weight of pod	وزن خشک شاخساره Dry weight of shoot	وزن تر شاخساره Fresh weight of shoot
تکرار Replication	1	108	352**	42.1**	2.36*	11.92	0.809	20.61
ژنوتیپ Genotype	25	595.7	38.04	5.87	0.708	3.35	0.908	11.94
شوری Salinity	1	1523*	310**	42.2**	4.48**	28.9**	8.36**	127**
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	7	218.8	39.56	6.88	0.383	2.90	0.937	8.45
خطا Error	32	349.1	31.34	4.05	0.499	2.91	0.658	13.4

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

\* and \*\* significant in 5 and 1 percent respectively

پنجم (جدول درج نشده است) نشان داد که در صفت تعداد شاخه بیشترین میانگین ژنوتیپ برای ژنوتیپ ۲۵ (۹) و کمترین تأثیر میانگین در ژنوتیپ ۱۷ (۱) دیده شد. مقایسه میانگین‌های اثر شوری برای صفات وزن تر شاخساره، وزن خشک شاخساره، وزن تر غلاف، وزن خشک غلاف، تعداد نیام، تعداد دانه در نیام، ارتفاع گیاه و طول برگ که معنی‌دار شدند؛ بدین صورت است که در همه صفات، سطح اول بیشترین مقدار و کمترین تأثیر برای سطح دوم بود.

### نتیجه‌گیری کلی

از عوامل کاهش محصول در تنش شوری، کاهش جوانه‌زنی و صدمه به گیاه در مرحله ظهور گیاهچه می‌باشد که باعث کاهش تعداد بوته در واحد سطح و در نهایت کاهش محصول نهایی می‌شود. از این رو شناسایی گیاهانی با خصوصیت تحمل شوری در این مرحله از رشد حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش، ژنوتیپ‌های خلر در هفته‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی از خود نشان دادند، شاید به این دلیل که هر چه ژنوتیپ‌ها مدت زمان بیشتری در معرض شوری باشند عکس‌العمل‌های متفاوت‌تری بروز می‌دهند. همچنین در برداشت‌های اول و دوم، شوری روی طول ریشه تأثیر معنی‌داری داشت و با افزایش میزان شوری، طول ریشه بیشتر گردید. وزن خشک شاخساره در برداشت‌های اول، چهارم و پنجم از تنش شوری متاثر گردید و در برداشت‌های دوم و سوم، شوری تأثیر معنی‌داری روی آن نداشت.

بالا بودن میزان ماده خشک تولیدی از جمله صفات مناسبی برای تولید علوفه جهت سیلو کردن و همچنین نگهداری آن به صورت ماده خشک برای فصولی از سال که علوفه تازه برای تغذیه دام در دسترس نباشد، است. برای کاهش ارتفاع تحت تنش شوری دو دلیل می‌توان ذکر کرد. شوری فتوسنتز گیاه را کاهش می‌دهد که درحقیقت کربوهیدرات مورد نیاز برای رشد را محدود می‌کند. همچنین شوری رشد ریشه و ساقه را به علت کاهش فشار تورمی در بافت‌های در حال توسعه در نتیجه پتانسیل پایین آب در محیط رشد ریشه کاهش می‌دهد (Mir (Mohammadi Meibodi and Garayazi, 2002).

### برداشت پنجم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۹) که برای اثر ژنوتیپ، تعداد شاخه معنی‌دار بود. اثر شوری برای صفت وزن خشک شاخساره، وزن تر شاخساره، وزن تر غلاف، وزن خشک غلاف، تعداد نیام و تعداد دانه در نیام، طول برگ و ارتفاع گیاه دارای تأثیر معنی‌داری بود. وزن تر شاخساره، وزن خشک شاخساره، وزن تر غلاف، وزن خشک غلاف، تعداد نیام، تعداد دانه در نیام، ارتفاع گیاه و طول برگ صفاتی بودند که معنی‌دار و متأثر از شوری بودند؛ که نشان دهنده تأثیر شوری بر عملکرد است. که با نتایج هفته‌ی چهارم همخوانی دارد. ژنوتیپ‌ها در هفته‌های مختلف واکنش‌های متفاوت از خود نشان دادند، که شاید به این دلیل باشد که هر چه ژنوتیپ‌ها مدت زمان بیشتری در معرض شوری باشند واکنش‌های متفاوت‌تری نشان می‌دهند. نتایج مقایسه میانگین برای صفات مورد بررسی در برداشت

### References

- Abedini M., Habibi G. and Arezoomand, S., 2020. Evaluation of the biochemical reaction of sunflower seedlings to selenium levels in saline conditions. *Plant Productions*, 43(3), pp.443-454. [In Persian]. doi: 10.22055/ppd.2019.28539.1722
- Ahmadi, M., Ghasemnezhad, A. and Ghorbanpour, M., 2023. Evaluation of the effect of endophyte and melatonin on the improvement of stevia root growth as affected by salinity under hydroponic conditions. *Journal of Plant Production Research*, 30(2), pp.21-38. [In Persian]. doi: 10.22069/jopp.2021.19343.2855
- Ashraf, M. and McNeilly, T., 2004. Salinity tolerance in *Brassica* oilseeds. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(2), pp.157-174. doi: 10.1080/07352680490433286
- Dadashi, M.R., Majidi Heravan, I., Soltani A. and Noorinia, A.A., 2007. Evaluation of different genotypes of

- barley to salinity salt stress. *Journal of Agricultural Science Islamic Azad University*, 13(1), pp.181-190. [In Persian].
- Dadras, N., Besharati, H. and Ketabchi, S., 2012. Impact of salinity stress on growth and biological nitrogen fixation of soybean genotypes. *Iranian Journal of Soil Research*, 26(2), pp.165-174. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijsr.2012.126372**
- Davodi, M., Jafari, A.A., Assadian, G. and Ariapour, A., 2011. Assessment of relationships among yield and quality traits in alfalfa (*Medicago sativa*) under dryland farming system, Hamadan, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 1(3), pp.247-254.
- El-Keblawy, A. and AL-Rawai, A., 2005. Effect of salinity, temperature and light on germination of invasive *Prosopis juliflora*. *Arid Environments*, 61(4), pp.555-565. **doi: 10.1016/j.jaridenv.2004.10.007**
- Endris, S. and Mohammad, M.J., 2007. Nutrient acquisition and yield response of barley exposed to salt stress under different levels of potassium nutrition. *International Journal of Environment and Science Technology*, 4(3), pp.323-330. **doi: 10.1007/bf03326289**
- Fraser, J., McCartney, D., Najda H. and Mir, Z., 2004. Yield potential and forage quality of annual forage legumes in southern Alberta and northeast Saskatchewan. *Canadian Plant Science*, 48(1), pp.143-155. **doi: 10.4141/p02-100**
- Ghavami, F., Malboobi, M.A., Ghannadha, M.R., Yazdi Samadi, B., Mozaffari J. and Jafar Aghaei, M., 2004. An evaluation of salt tolerance in Iranian wheat cultivars at germination and seedling stages. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35(2), pp.453-464. [In Persian].
- Grozeva, S., Kalapchieva, S. and Tringovska, I., 2023. In vitro screening for salinity tolerance in garden pea (*Pisum sativum* L.). *Horticulturae*, 9, pp.338-348. **doi: 10.3390/horticulturae9030338**
- Hanbury, C.D. and Hughes, R.J., 2003. New Grain legume for layers: Evaluation of *Lathyrus cicera* as a feed ingredient for layers: a report for the Australian egg corporation limited. *Australian Egg Corporation Limited. AECL publication* NO 03/013.
- Jafari, A., Nosrati Nigeh, M. and Heidari Sharifabad, H., 2003. Comparison of yield, morphological and quality traits in 18 ecotypes and varieties of alfalfa (*Medicago sativa*) grown under irrigated and non-irrigated conditions. *Proceeding of the VIIth International Rangelands Congress, Durban, South Africa*, pp.1403-1405.
- Kader, M.A. and Jutzi, S.C., 2004. Effect of thermal and salt treatments during imbibition on germination and seedling growth of sorghum at 42/19 C. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190(1), pp.35-38. **doi: 10.1046/j.0931-2250.2003.00071.x**
- Kafi, M. and Mahdavi Damghani, A., 2002. Mechanisms of environmental stress resistance in plants. Ferdowsi University of Mashhad Press. [In Persian].
- Karadag, Y. and Buyukburc, U., 2003. Determination of yield and quality properties of some grass pea (*Lathyrus sativus* L.) lines under Tokat-Kazova ecological conditions. *Journal of Agriculture College Tokat*, 20(1), pp.135-141.
- Khosravi Z., Pourmohammad A., Aliloo A.A., Shahabivand S., Hassanpouraghdam M.B. and Topcu H., 2022. In

- in vitro salinity stress mediates grass pea genotypes (*Lathyrus sativus* L.) responses. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46, pp.340-351. doi: **10.55730/1300-011x.3007**
- Lim, C., Jackson M. and Page, A., 1986. "Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties". Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties.
- Mansoori Shavazi, M., Hakim Zade, M.A., Zare Ernani, M., Zare Chahouki, M.A. and Mosleh Arany, A., 2012. Study of effect of drought and salt stress on seed germination of *Anabasis calcarean*. *Journal of Arid Biome*, 1(4), pp.75-82. doi: **20.1001.1.2008790.1390.1.4.7.1**
- Mir Mohammadi Meibodi, S.A.M. and Garayazi, B., 2002. Physiological aspects of salinity and crop breeding. Publication of Jahad Daneshgahi, Isfahan University of Technology, Iran. pp.127-129. [In Persian].
- Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*, 25(2), pp.239-250. doi: **10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x**
- Nekoyanfar Z., Lack Sh. and Abadouz, Gh.R., 2017. Assessment effect of cutting time and soil salinity on quality and quantity forage yield of five alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties under Ahvaz condition. *Plant Productions*, 40(3), pp.113-127. [In Persian]. doi: **10.22055/ppd.2017.15260.1239**
- Rauf, M., Munir, M., UI-Hassan, M., Ahmed, M. and Afzal, M. 2007. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *African Journal of Biotechnology*, 6(8), pp.971-975.
- Smulikowska, S., Rybinski, W., Czerwinski, J., Taciak M. and Mieczkowska, A. 2008. Evaluation of selected mutants of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) var. Krab as an ingredient in broiler chicken diet. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 17(1), pp.75-87. doi: **10.22358/jafs/66472/2008**
- Tuna, A.L., Kaya C., Higgs D., Murillo-Amador, B., Aydemir S. and Girgin, A.R., 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany*, 62(1), pp.10-16. doi: **10.1016/j.envexpbot.2007.06.006**
- Vaz Patto, M.C., Fernández-Aparicio, M., Moral, A. and Rubiales, D., 2006, Characterization of resistance to powdery mildew (*Erysiphe pisi*) in a germplasm collection of *Lathyrus sativus*. *Plant Breeding*, 125, pp.308-310. doi: **10.1111/j.1439-0523.2006.01220.x**

## The effect of different levels of salinity stress on early-maturing genotypes grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes at various harvest times

Somayeh Soofinia<sup>1</sup>, Alireza Pourmohammad<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> MSc. Student of Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

<sup>2</sup> Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

\*Corresponding Author: [pourmohammad@ymail.com](mailto:pourmohammad@ymail.com)

Received: 19 February 2024 Accepted: 13 June 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.444548.1403

### Abstract

**Introduction:** Grass pea is one of the most important crops and forage plants in the world, which is known for its high protein and lysine content. Due to the importance of this plant among forage plants in terms of livestock nutrition, planting in low-yielding lands, resistance to stresses, and also their role in soil fertility, they are extensively used.

**Materials and Methods:** To investigate the response of early-maturing grass pea genotypes to salinity stress, 26 genotypes were studied in a factorial experiment based on RCBD with two replications. Salinity treatments were applied at four levels NaCl and various traits were evaluated. The number of plants in each pot after thinning was five plants, and at the end of the growing season, one plant was harvested from each pot every week.

**Results and Discussion:** In the first harvest, genotype had a significant effect on pod dry weight and leaf length, and salinity had a significant effect on shoot dry weight, leaf number and root length. In this harvest, for the root length, the lowest average was in the first level of salinity and the other three levels were in the same group, that is, in the conditions of salinity stress, the root grew more than the control. In the second harvest, the genotype had a significant effect on the traits of number of pods, plant height, number of leaves, number of grains per pods, leaf angle, leaf length, number of branches and root length. The effect of salinity was significant for root length. In the root length, the least effect of salinity was related to the first level and the second and third levels were placed in the same group, which increased the root length with the increase of salinity. In the third harvest, the genotype had a significant effect on pod fresh weight, leaf length, pod dry weight and number of branches. The effect of salinity on the dry weight of the pod was significant, and other traits had not a significant difference for any of the effects. Also, in this harvest, the fourth level of salinity was removed. The results of the fourth harvest showed that the genotype had a significant effect on the traits of pod dry weight, number of grains, number of grains per pods, plant height, pod fresh weight, number of branches and location of the first branch. Dry weight of shoot, fresh weight of pod, dry weight of pod, number of grains, number of grains per pod, plant height and number of leaves were significant for the effect of salinity. With the increase in salinity, the dry weight of the pod increased and the number of grains and the number of leaves decreased. In this harvest, the traits dry weight of shoot, fresh weight of pod, dry weight of pod, number of grains, number of grains in pod, plant height and number of leaves, which are components of yield, were affected by salinity. The results of the fifth harvest showed that the genotype had a significant effect on the number of branches. The effect of salinity was significant for dry weight of shoot, fresh weight of shoot, fresh weight of pod, dry weight of pod, number of grains and number of grains in pod, leaf length and plant height. The effect of salinity on yield was consistent with the results of the fourth week.

**Conclusion:** The genotypes showed different reactions in different weeks, which may be because genotypes are exposed more time to salinity, they show the more different reactions. Also, in the first and second harvests, salinity had a significant effect on root length, and with increasing salinity, root length increased. The dry weight of shoots was affected by salinity stress in the first and fourth

harvests, and salinity had no significant effect on it in the second and third harvests. In general, it can be said that in the first and second harvests, salinity had a significant effect on root length, and with increasing salinity, root length increased. The dry weight of shoots was affected by salinity stress in the first, fourth and fifth harvests, and salinity had no significant effect on it in the second and third harvests.

**Keywords:** Forage yield, Grain yield, Legume, Tolerance





# Crop Science Research in Arid Regions

Vol. 6, No. 3, Autumn 2024

**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

<b>Evaluation of the effect of different fertilizer sources on some characteristics of the corm and flower yield of saffron</b>	<b>171</b>
Mohammad Bagher Alizadeh; Hassan Makarian; Ali Ebadi; Ebrahim Eizadi Darbandi; Ahmad Gholami; Abbas Nasiri Dehsorkhi	
<b>The effect of different levels of salinity stress on early-maturing genotypes grass pea (<i>Lathyrus sativus</i> L.) genotypes at various harvest times</b>	<b>185</b>
Somayeh Soofinia; Alireza Pourmohammad	



<b>Assessment of soil chemical properties and the carbon sequestration in wheat-based production systems</b>	<b>1</b>
Javad Etezadi Jame; Seyed Vahid Eslami; Majid Jami Al-Ahmadi; Mohamad Hassan Sayyari	
<b>Investigating the agronomic and functional traits of some ecotypes of the Dragon's head medicinal plant (<i>Lallemantia iberica</i> Fisch. et Mey) in East Azarbaijan province</b>	<b>19</b>
Jalil Shafagh-Kolvanagh; Mina Amani; Payvand Samimifar; Adel Dabbagh-Mohammadi-Nasab; Yaegoob Raei	
<b>Effect of late season application of different nitrogen sources and foliar application of potassium on the grain yield and quality in barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.)</b>	<b>35</b>
Noor Ahmad Arab; Matin Jami Moeini; Hamid Marvi	
<b>Impact of some organic fertilizers on quantitative and qualitative yields of Isabgol (<i>Plantago ovata</i> Forsk) medicinal plant, under different levels of water availability</b>	<b>53</b>
Mohammad Hossein Aminifard; Ali Nooki; Hamid-Reza Fallahi; Ali Azarinasrabad	
<b>Morphophysiological responses of barley genotypes to concentration of Zinc sulphate under drought and salinity conditions</b>	<b>71</b>
Amir Kazemi ArPanahi; Mehrdad Mahlooji; Seyed Keyvan Marashi; Mani Mojaddam; Tayeb Sakinezhad	
<b>Agrophysiological reaction of <i>Chenopodium quinoa</i> to foliar application of iron and proline nanoparticles at different culture dates</b>	<b>91</b>
Rahmat Salehi; Abbas Maleki; Mohammad Mirzaei Heidari; Alireza Rangin; Amir Mirzaei	
<b>The use of morphological and physiological characteristics and regression step by step to the evaluation of the different ecotypes of Iranian Malva (<i>Malva sylvestris</i> L.)</b>	<b>105</b>
Anahita Pahlavan; Mahmoud Solouki; Baratali Fakheri; Bahman Fazeli-Nasab	
<b>Effect of gibberellin and cytokinin growth regulators on some biochemical characteristics and dry weight of stevia plant (<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni)</b>	<b>121</b>
Mahtaa Rahimzadeh; Vahid Poozesh; Seyyed Fazel Fazeli Kakhki	
<b>The effect of foliar application of glycine betaine on biochemical, physiological, and agronomic traits of quinoa plant (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild.) under different irrigation regimes</b>	<b>139</b>
Seyyed Fatemeh Mousavi Sardou	
<b>Evaluation of economic and ecological characteristics of wheat production system in Sistan region using emergy analysis technique</b>	<b>157</b>
Fatemeh Enayat; Ahmad Ghanbari; Mohammad Reza Asgharipour; Esmaeel Seyedabadi	

The list is continued on the back cover.....