



نشریه علمی پژوهشهای زراعی ایران

جلد ۲۳ شماره ۳

سال ۱۴۰۴

(شماره پیاپی: ۷۹)

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

- اثر مصرف نانوسیلیکون و ورمی کمپوست بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، اسمولیت‌های سازگار و سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه چاودار (*Secale cereal L.*) در شرایط محدودیت آبی ۲۴۳
زهره محمدزاده، رئوف سیدشریفی
- شبیه‌سازی عملکرد گندم (*Triticum aestivum L.*) آبی رقم پیش‌تاز با استفاده از داده‌های AgMERRA و مدل DSSAT در استان خراسان رضوی ۲۵۹
سعیده کمالی، نوذر قهرمان، محمد بنیان اول
- اثر مصرف تلفیقی کود نیتروژن و جلبک دریایی بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa L.*) ۲۷۳
رقم هاشمی
سیده لادن طاهائی رودسری، مجید عاشوری، ناصر محمدیان روشن، سید مصطفی صادقی
- ارزیابی کارایی استفاده از آب و نیتروژن در ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare*) دیم ۲۸۷
ولی فیضی اصل
- اثر کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و کیفیت دانه نخود (*Cicer arietinum L.*) ۳۰۵
فرشید مظفری، غلامرضا حیدری، شیوا خالص‌رو
- برآورد خلاء عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum L.*) در استان خراسان رضوی و تعیین سهم آب و نیتروژن در آن با استفاده از رهیافت مدل‌سازی ۳۲۳
محسن جهان، محسن نوری، حمیدرضا خزاعی، مهدی نصیری محلاتی، کوروش شجاعی نوفرست، محمد حسن فلاح
- ارزیابی شاخص‌های رقابت و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays L.*) - لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) تحت تأثیر سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کاشت ۳۴۳
فریده اکبری، مهدی دهمرده، علی مرشدی، احمد قنبری، سرور خرم دل
- بررسی عملکرد، اجزای عملکرد، خصوصیات مورفولوژیک و پرولین هیبریدهای مختلف ذرت شیرین (*Zea mays var. saccharata*) در رژیم‌های متفاوت آبیاری ۳۶۱
عاطفه استخر، سید علی محمد مدرس ثانوی، مجید آقاعلیخانی، علی حیدرزاده، امیر محمد عابدی

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

با شماره ثبت ۱۲۴/۷۸۵۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و

۸۲/۵/۲۷

درجه علمی- پژوهشی شماره ۳/۱۱/۷۴۵۰۹ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

۸۹/۱۰/۲۱

"بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند."

سال ۱۴۰۴

شماره ۳

جلد ۲۳

دانشگاه فردوسی مشهد

صاحب امتیاز:

پرویز رضوانی مقدم

مدیر مسئول:

حمیدرضا خزاعی

سر دبیر:

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

اعضای هیئت تحریریه:

مجید آقاعلیخانی

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پرویز احسان زاده

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

یحیی امام

گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

عبدالرضا باقری

گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

محمدعلی بهدانی

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

محمد بنایان اول

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

مجید جامی الاحمدی

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

یعقوب راعی

گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

حمیدرضا خزاعی

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

حمید رحیمیان مشهدی

دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران

غلامرضا زمانی

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

احمد زارع فیض آبادی

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، ایران

فرح اله شهریاری احمدی

گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

محمد کافی

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

احمد نظامی

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

احسان عیشی رضایی

مرکز مطالعات کشاورزی بنیاد لابنتز (زالف)، آلمان

اعظم لشکری

مرکز جان اینس، نورویج، انگلیس

امیربهادر بذرگر

دانشکده علوم محیطی، دانشگاه گوتلف، کانادا

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، نشریه پژوهشهای زراعی ایران صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://jcesc.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

(ISC)، (SID)، (MAGIRAN)، (DOAJ)، (CABI)، (AGRI)، (EBSCO)، (CIVILICA)، (GoogleScholar)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

مقالات پژوهشی

- ۲۴۳ اثر مصرف نانوسیلیکون و ورمی کمپوست بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، اسمولیت‌های سازگار و سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه چاودار (*Secale cereal L.*) در شرایط محدودیت آبی
زهره محمدزاده، رئوف سیدشریفی
- ۲۵۹ شبیه‌سازی عملکرد گندم (*Triticum aestivum L.*) آبی رقم پیش‌تاز با استفاده از داده‌های AgMERRA و مدل DSSAT در استان خراسان رضوی
سعیده کمالی، نوذر قهرمان، محمد بنایان اول
- ۲۷۳ اثر مصرف تلفیقی کود نیتروژن و جلبک دریایی بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa L.*) رقم هاشمی
سیده لادن طاهائی رودسری، مجید عاشوری، ناصر محمدیان روشن، سید مصطفی صادقی
- ۲۸۷ ارزیابی کارآیی استفاده از آب و نیتروژن در ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare*) دیم
ولی فیضی اصل
- ۳۰۵ اثر کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و کیفیت دانه نخود (*Cicer arietinum L.*)
فرشید مظفری، غلامرضا حیدری، شیوا خالص‌رو
- ۳۲۳ برآورد خلاء عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum L.*) در استان خراسان رضوی و تعیین سهم آب و نیتروژن در آن با استفاده از رهیافت مدل‌سازی
محسن جهان، محسن نوری، حمیدرضا خزاعی، مهدی نصیری محلاتی، کوروش شجاعی نوفرست، محمد حسن فلاح
- ۳۴۳ ارزیابی شاخص‌های رقابت و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays L.*) - لویا (*Phaseolus vulgaris L.*) تحت تأثیر سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کاشت
فریده اکبری، مهدی دهمرده، علی مرشدی، احمد قنبری، سرور خرم دل
- ۳۶۱ بررسی عملکرد، اجزای عملکرد، خصوصیات مورفولوژیک و پرولین هیبریدهای مختلف ذرت شیرین (*Zea mays var. saccharata*) در رژیم‌های متفاوت آبیاری
عاطفه استخر، سید علی محمد مدرس ثانوی، مجید آقاعلیخانی، علی حیدرزاده، امیر محمد عابدی



The Effects of Nan Silicon and Vermicompost on Contents of Photosynthetic Pigments, Compatible Osmolytes and the Contribution of Dry Matter Remobilization in Grain Yield of Rye (*Secale cereal* L.) under Water Limitation Conditions

Z. Mohammadzadeh¹, R. Seyed Sharifi^{1*}

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(* - Corresponding author's Email: raouf_ssharifi@uma.ac.ir)

Received: 22-July-2024
Revised: 16-December -2024
Accepted: 22-December-2024
Available Online: 12-April-2025

How to cite this article:

Mohammadzadeh, Z., & Seyed Sharifi, R. (2025). The effects of nanosilicon and vermicompost on contents of photosynthetic pigments, compatible osmolytes and the contribution of dry matter remobilization in grain yield of rye (*Secale cereal* L.) under water limitation conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 241-256. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.89032.1340>

Introduction

Water deficit is one of the most common limiting factors of the yield of crop plants in arid and semi arid regions. Water limitation causes significant changes in some physiological traits of crop plants. It decreases chlorophyll content, current photosynthesis and contribution of current photosynthesis in grain yield, but at the majority of cases, water deficit increases compatible osmolytes and the contribution of dry matter remobilization in grain yield. Several strategies have been proposed to increase the resistance of crops against water limitation and among them, application of vermicompost and silicon improve the performance of crop plants under water deficit conditions. Therefore, the aim of this research was to study the influence of silicon and vermicompost on contents of photosynthetic pigments, compatible osmolytes and dry matter remobilization in grain yield of rye (*Secale cereal* L.) under water deficit conditions.

Materials and Methods

A factorial experiment was conducted in 2023 based on RCBD with three replications under the greenhouse conditions. The treatments were irrigation levels (full irrigation during growth period as control, irrigation withholding at 50% of booting stage (BBCH 43) until the end of growing season as severe water deficit and irrigation withholding at 50% of heading stage (BBCH 55) until the end of growing season as moderate water deficit) and application of nano silicon and vermicompost at four levels (no application as control, application of nano silicon, vermicompost, vermicompost with nanosilicon). The rye cultivar 'Ardabil local' was used in pots with 13 kg of soil and a diameter of 40 cm. Application of Si was done in growth stages of BBCH 21 and 30. In all treatments, two weeks after irrigation withholding at heading stage or 135 days after planting, physiological and biochemical traits such as content of chlorophyll a, b, total chlorophyll, content of soluble sugars and proline, dry matter remobilization from shoots, contribution of remobilization in grain yield, contribution of stem reserves in grain yield, current photosynthesis, contribution of current photosynthesis to grain yield, soluble sugar, anthocyanin and proline content were determined. Dry matter remobilization from shoots and stem and



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.89032.1340>

contribution of current photosynthesis to grain yield were measured by method of Inoue *et al* (2004).

Results and Discussion

The results showed that under severe water deficit, there were an increase about 23 and 20.5% in content of proline and anthocyanin respectively in comparison to no application of nano silicon and vermicompost under the same level of irrigation levels. Also, there was an increase of 109.9% in current photosynthesis under full irrigation and both application of vermicompost and nanosilicon in compared to no application of vermicompost and nanosilicon under severe water limitation. There was an increase of 63.7, 56.9 and 61.8% in chlorophyll a, b content, total chlorophyll, under full irrigation and both application of vermicompost and nanosilicon in compared to no application of vermicompost and nanosilicon under severe water limitation. Content of soluble sugars increased about 21.3% under irrigation withholding at booting stage in compared to full irrigation. Similar results were obtained in this trait in application of nanosilicon and vermicompost in comparison to no application of them. Maximum dry matter remobilization from shoots (0.935 g per plant), contribution of remobilization in grain yield (45.6%) and contribution of stem reserves in grain yield (37.43%) were obtained in no application of vermicompost and nanosilicon under irrigation withholding at booting stage, which there was an increase 7.5, 15.4 and 19.8% respectively in comparison with both applications of vermicompost and nanosilicon under the same level of irrigation.

Conclusion

Generally, it can be suggested that irrigation withholding at booting decreased about 29.9% from grain yield in comparison with full irrigation but both application of vermicompost and nanosilicon compensated about 6.6% of yield reduction under irrigation withholding at booting stage. Therefore, with considering of the results of this study, it can be stated that both application of vermicompost and nanosilicon due to the improvement of current photosynthesis and the enhancement in compatible osmolytes, prevents from the reduction of grain yield of rye under water limitation conditions.

Keywords: Anthocyanine, Drought stress, Proline, Silicon Nanoparticles, Soluble sugars

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، ص ۲۵۶-۲۴۱

اثر مصرف نانوسیلیکون و ورمی کمپوست بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، اسمولیت‌های سازگار و سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه چاودار (*Secale cereal L.*) در شرایط محدودیت آبی

زهره محمدزاده^{۱۵}، رئوف سیدشریفی^{۱۵*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱

چکیده

تنش خشکی یکی از متداول‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است، ولی مصرف تعدیل‌کننده‌های تنش همانند سیلیکون و ورمی کمپوست می‌تواند بخشی از اثرات تنش خشکی را کاهش دهد. در این رابطه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل در طول دوره رشدی به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری پس از رسیدن ۵۰ درصد گیاهان به مرحله آبستنی (BBCH ۴۳) تا پایان فصل رشد به‌عنوان تنش شدید آبی و قطع آبیاری پس از رسیدن ۵۰ درصد گیاهان به مرحله سنبله‌دهی (BBCH ۵۵) تا پایان فصل رشد به‌عنوان تنش ملایم آبی) و مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در چهار سطح (عدم مصرف به‌عنوان شاهد، مصرف نانوسیلیکون به‌مقدار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، مصرف ورمی کمپوست به‌مقدار هفت تن در هکتار، مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون به‌مقدار نصف مقادیر ذکر شده) بودند. نتایج نشان داد که در شرایط محدودیت شدید آبی و کاربرد ورمی کمپوست و نانوسیلیکون، محتوای پروتئین و آنتوسیانین در مقایسه با عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در همین سطح از سطوح آبیاری، به‌ترتیب ۲۳ و ۲۰/۵ درصد افزایش یافتند. همچنین حداکثر فتوسنتز جاری در آبیاری کامل و مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون و کمترین آن در عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به‌دست آمد. محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل به‌ترتیب از افزایش ۶۳/۷، ۵۶/۹ و ۶۱/۸ درصدی در آبیاری کامل و مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در مقایسه با عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون تحت قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود. محتوای قندهای محلول ۲۱/۳ درصد در قطع آبیاری در مرحله آبستنی نسبت به آبیاری کامل افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز در این صفت در مصرف نانوسیلیکون و ورمی کمپوست در مقایسه با عدم مصرف آن‌ها به‌دست آمد. بیش‌ترین انتقال ماده خشک از اندام هوایی (۰/۹۳۵ گرم در بوته)، سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه (۴۵/۶ درصد) و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه (۳۷/۴۳ درصد) در عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به‌دست آمد که از افزایش به‌ترتیب ۷/۵، ۱۵/۴ و ۱۹/۸ درصدی در مقایسه با مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در همین سطح از آبیاری برخوردار بود. کمترین عملکرد دانه (۲/۰۴ گرم در بوته) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون و بیشترین مقدار آن (۳/۰۴ گرم در بوته) در شرایط آبیاری کامل و کاربرد توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون به‌دست آمد. قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عملکرد دانه را ۲۰/۹ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش داد، ولی مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون حدود ۶/۶ درصد از کاهش عملکرد تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی را جبران کردند. با در نظر گرفتن نتایج این آزمایش، می‌توان اظهار داشت که مصرف توأم نانوسیلیکون و ورمی کمپوست به‌دلیل بهبود فتوسنتز جاری و افزایش محتوای اسمولیت‌های سازگار باعث جلوگیری از کاهش عملکرد دانه چاودار (*Secale cereal L.*) در شرایط محدودیت آبی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، پروتئین، تنش خشکی، قندهای محلول، نانوذرات سیلیکون

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: raouf_ssharifi@uma.ac.ir)

مقدمه

چاودار (*Secale cereal L.*) به دلیل امکان استفاده دومنظوره (علوفه‌ای و دانه‌ای) از اهمیت زیادی در بین غلات برخوردار است. این گیاه از مقاومت به سرمای بالاتری نسبت به گندم و جو برخوردار است، ولی مقاومت به شوری و خشکی کمتری نسبت به جو دارد (Khodabandeh, 2012). سطح زیرکشت چاودار در جهان چهار میلیون هکتار است و سه کشور روسیه، لهستان و آلمان بیشترین سطح زیرکشت و بالاترین میزان تولید این گیاه را به خود اختصاص داده‌اند (FAO, 2021). چاودار در خاک‌های ماسه‌ای غیر حاصلخیز با زهکشی پایین، پتانسیل عملکرد بالاتری نسبت به گندم دارد. این در حالی است که در خاک‌هایی با حاصلخیزی متوسط و بالا، عملکرد گندم بالاتر است (Schlegel, 2014).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی مؤثر در کاهش عملکرد است، ولی گیاهان قادر هستند که با تغییر در برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (Ghanbari, Mokhtassi-Bidgoli, Mansour, 2021)، مقاومت به تنش خشکی را افزایش داده (Sattar et al., 2020) و تاحدودی از کاهش بیش‌تر عملکرد جلوگیری کنند (Batool et al., 2019).

مصرف برخی تعدیل‌کننده‌های تنش مانند ورمی کمپوست و سیلیکون نیز در افزایش مقاومت به تنش خشکی مؤثر است. به عنوان نمونه گزارش شده است که مصرف ورمی کمپوست در شرایط تنش خشکی، از طریق بهبود محتوای فسفر و نیتروژن برگ و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای اسمولیت‌های سازگار منجر به افزایش عملکرد دانه کلزا (*Brassica napus L.*) شد (Mamnabi, Nasrollahzadeh, Golezani, & Raei, 2020). وانگ و همکاران (Wang, Ma, Li, Liang, & Zou, 2011) اظهار داشتند که مصرف ورمی کمپوست در شرایط تنش خشکی، با افزایش اسید آمینه‌های ضروری (به‌ویژه گلوتامات و آرژنین که از پیش‌سازهای تولید پرولین می‌باشد) موجب افزایش تجمع پرولین و مقاومت در برابر تنش خشکی گیاه کیوی (*Actinidia deliciosa*) می‌شود. شهبازی و همکاران (Shahbazi, Fateh, & Ayeneband, 2015) اظهار داشتند که مصرف ورمی کمپوست، با بهبود دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی موجب افزایش فتوسنتز و عملکرد گندم (*Triticum aestivum L.*) شد.

سیلیکون (Silicon) یکی از عناصر مهم در تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی است و به بهبود جذب عناصری مانند پتاسیم، فسفر و کلسیم در گیاهان کمک می‌کند (Eneji et al., 2008). این عنصر با تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی (Ahire, 2016)،

ضمن بهبود استحکام مکانیکی گیاه، در افزایش کلروفیل در واحد سطح برگ و توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور (Roychoudhury, 2020) و همچنین افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان تحت شرایط تنش خشکی و شوری (Yan et al., 2018) مؤثر است. خواجه و همکاران (Khajeh, Mousavi Nik, Siros Mehr, Yadalhi De, 2014) بیان داشتند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش خشکی موجب افزایش محتوای پرولین برگ و عملکرد گندم شد. رضاییگی و همکاران (Rezabeighi, Bijanzadeh, & Behpouri, 2020) اظهار داشتند که مصرف نانوسیلیکون به دلیل بهبود سازوکار جذب، تجمع و انتقال بهتر هیدرات کربن به دانه، موجب افزایش میزان انتقال ماده خشک در گندم شد. برخی محققان اظهار داشتند که به هنگام وقوع تنش خشکی، عدم توانایی منابع در برآورد نیاز مخازن (دانه‌ها) و کاهش سهم فتوسنتز جاری موجب می‌شود که مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه‌ها انتقال یافته و همین امر منجر به افزایش سهم انتقال ماده خشک می‌شود (Liu et al., 2020). سیلیکون گیاهان را از اثر مخرب کم‌آبی محافظت کرده و بهره‌وری گیاه تحت شرایط تنش را بهبود می‌بخشد (Tripathi et al., 2016). از آنجایی که افزایش قندهای محلول در شرایط تنش خشکی می‌تواند به عنوان یک محافظ معمولی عمل کرده و فشار آماس را تحت شرایط تنش خشکی حفظ کنند، از این رو با افزایش محدودیت آبی، میزان نشاسته کاهش و در مقابل، محتوای کربوهیدرات‌های محلول افزایش می‌یابد (Selim, Nassar, Boghdady, & Bonfill, 2019). موسی‌پور یحیی آبادی و اصغری‌پور (Mosapour Yahyaabadi & Asgharipour, 2016) نیز افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف سیلیکون تحت شرایط تنش خشکی را به بهبود محتوای آنتوسیانین، پرولین و قندهای محلول نسبت دادند. سیلیکون از طریق کاهش تخریب رنگدانه‌ها (Bybordi, 2016) و بهبود محتوای کلروفیل، به بهبود عملکرد دانه کمک می‌کند.

احمدی نورالدین‌وند و همکاران (Ahmadi Nouraldin, Seyed Sharifi, Siadat, & Khalilzadeh, 2021) اظهار داشتند که عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط محدودیت شدید آبی، کمترین سهم فتوسنتز جاری و بیشترین سهم انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته گندم را به خود اختصاص داد، ولی با کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل، سهم فتوسنتز جاری افزایش، ولی میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه کاهش یافت. برخی محققان در بررسی اثر محدودیت آبیاری و کاربرد کودهای زیستی و نانوسیلیکون بر عملکرد و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گندم، بیشترین فعالیت آنزیم‌های

اعمال چنین شرایطی در محدودیت آبیاری در بسیاری از آزمایش‌ها متداول است (Khalilzadeh, Seyed Sharifi, & Jalilian, 2016; Kheirizadeh Arough & Seyed Sharifi, 2017). محلول پاشی نانوسیلیکون به میزان ۴۰ میلی گرم در لیتر و در دو مرتبه در مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی (به ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. نانوسیلیکون مورد استفاده در این پژوهش با اندازه ذرات ۲۰ تا ۳۰ نانومتر محصول شرکت Resarch بود که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان در مشهد تهیه شد و مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است. میزان ورمی کمپوست هفت تن در هکتار بود که با کل خاک در هر گلدان مخلوط شد.

برای کاشت از گلدان‌هایی با قطر ۴۲ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری استفاده شد. هر گلدان به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. در هر گلدان ۱۳ کیلوگرم خاک ریخته شد. از چاودار (پاییزه) رقم محلی اردبیل با در نظر گرفتن وزن هزار دانه حدود ۳۰ گرم، ۵۵ بذر در هر گلدان معادل ۱/۶ گرم، استفاده شد. قبل از کاشت، بذور برای ورنالیزاسیون به مدت ۱۲ روز در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد در دستگاه کُلد انکوباتور (مدل IKH.RI90، شرکت ایران خودساز) قرار داده شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۴ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز رطوبتی گیاه زراعی و سطوح تیمار کم آبیاری، انجام شد. نتایج ویژگی‌های فیزیولوژیکی خاک مورد استفاده در جدول ۲ و مشخصات ورمی کمپوست مصرفی در جدول ۳ ارائه شده است.

در تمامی تیمارها دو هفته بعد از آخرین قطع آبیاری یا ۱۳۵ روز بعد از زمان کاشت، نسبت به ارزیابی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بر روی برگ پرچم اقدام شد. در این راستا برای سنجش میزان قندهای محلول به روش دابویس و همکاران (Dubios, Gilles, 1956; Hamilton, Roberts, & Smith, 1956) محتوای پرولین برگ پرچم با استفاده از روش بیتز و همکاران (Bates, Walderen, & Taere, 1973) و مقدار آنتوسیانین به روش واگنر (Wagner, 1979) تعیین شد. پروتئین کل از برگ به روش برادفورد (Bradford, 1976) استخراج شد. محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ پرچم با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری و از طریق قرائت جذب نوری محلول‌رویی در طول موج‌های ۴۷۰، ۴۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (SP-UV 200, APerkinElmer Company) اندازه‌گیری و براساس رابطه‌های (۱) تا (۳) محاسبه شدند.

$$V/100W = (19/3 \times A_{663} - 10/16 \times A_{645}) \quad (1)$$

آنتی‌اکسیدانی و قندهای محلول در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی را، با کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی ۳۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون گزارش کردند. نظری و همکاران (Nazari, Seyed Sharifi, & Narimani, 2021) اظهار داشتند که کاربرد ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل، عملکرد دانه تریتیکاله (*Triticosecale x*) را ۵۹/۵ درصد نسبت به قطع آبیاری در مرحله آبستنی و عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی و نانوسیلیکون افزایش داد. نظری و همکاران (Nazari, Seyed Sharifi, Sedghei, & Narimani, 2023) افزایش محتوای کلروفیل برگ به واسطه کاربرد ورمی کمپوست را به افزایش فراهمی عناصر غذایی از جمله آهن، روی و نیتروژن در تعدیل اثرات منفی ناشی از محدودیت آبی، نسبت دادند.

مواجه شدن دوره رشد زایشی چاودار در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک کشور با محدودیت آبی و اهمیت ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در تعدیل بخشی از آثار ناشی از تنش خشکی و بررسی‌های محدود انجام شده در مورد برهم کنش این عوامل، موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی چاودار در شرایط محدودیت آبی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. عامل‌های مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل در طول دوره رشدی به عنوان شاهد، قطع آبیاری پس از رسیدن ۵۰ درصد گیاهان به مرحله آبستنی (کد ۴۳ مقیاس BBCH¹) تا پایان فصل رشد به عنوان تنش شدید آبی و قطع آبیاری پس از رسیدن ۵۰ درصد گیاهان به مرحله سنبله‌دهی (کد ۵۵ مقیاس BBCH) تا پایان فصل رشد به عنوان تنش ملایم آبی)، مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در چهار سطح (عدم مصرف به عنوان شاهد، مصرف نانوسیلیکون، مصرف ورمی کمپوست، مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون) بودند. از آنجایی که یکی از شیوه‌های مرسوم در اعمال محدودیت آبی، قطع آبیاری براساس مراحل فنولوژی گیاه است، از این رو در این تحقیق آبیاری کامل در طول دوره رشدی به استناد نیاز گیاه زراعی و شرایط محیطی به عنوان شاهد و قطع آبیاری در اواسط مرحله آبستنی (۵۰ درصد آبستنی) به دلیل حساسیت بالای این مرحله به کمبود آب به عنوان تنش شدید، و قطع آبیاری در اواسط مرحله سنبله‌دهی (۵۰ درصد سنبله‌دهی) به عنوان تنش ملایم آبی در نظر گرفته شدند.

1 - Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry; BBCH

پرشدن دلنه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، هر چهار روز یک بار نمونه برداری انجام شد. بوته‌های برداشتی (دو بوته) در هر مرحله به ساقه، برگ و دانه تفکیک و پس از خشک کردن (قرار دادن در آونی با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت) توزین شدند.

(۲) $V/100W = (19/3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663})$ = کلروفیل b
(۳) کلروفیل a + کلروفیل b = کلروفیل کل
که در آن‌ها، V: حجم استون استفاده شده و W: وزن نمونه گیاهی استفاده شده است.
به منظور اندازه گیری میزان انتقال ماده خشک، یک هفته قبل از

جدول ۱- مشخصات نانوسیلیکون

Table 1- Nano silicon properties

رنگ	خلوص	میانگین اندازه ذرات	سطح ویژه ذرات	نوع نانوذرات
Color	Purity (%)	Average particle size (nm)	Surface of particles specific	Nanoparticles
پودری سفید White powder	99	20-30	$>30 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$	نانوسیلیکون Nano silicon

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

Table 2- Soil physico- chemical characteristics

ویژگی	پتاسیم K	فسفر P	روی Zn	نیتروژن N	کربن آلی Organic C	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	اکسید سیلیکون SiO ₂	عصاره اشباع Saturated extract	بافت Texture	pH
Characteristic	(mg kg ⁻¹)				Organic C (%)				SiO ₂ (%)			
مقادیر Amounts	255	17.3	1.02	0.04	0.72	38.5	42	19.5	64.8	47	لومی سیلتی Loamy silty	7.8

جدول ۳- نتایج تجزیه ورمی کمپوست

Table 3- Result of vermicompost analysis

مشخصه	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	آهن Fe	منگنز Mn	مس Cu	روی Zn	سرب Pb	کادمیوم Cd	سیلیکون Si
Characteristic	(mg kg ⁻¹)							43.8
مقادیر Amount	1.12	5000	275	20	110	19	1	
مشخصه	مواد آلی Organic materials	کربن آلی Organic C	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	pH
Characteristic	Organic C (%)							7.64
مقادیر Amount	56.8	32.9	1.55	0.4	0.4	2.73	0.95	

که در آن، DMT^۱: میزان انتقال ماده خشک کل برحسب گرم در بوته، DMA^۲: حداکثر وزن خشک لندام هوایی در برداشت اول و DMM^۳: وزن خشک اندام هوایی (به جز دانه) در مرحله رسیدگی است.

سپس میزان انتقال ماده خشک، سهم فرآیند انتقال مجدد از بخش رویشی به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه از طریق روابط (۴) تا (۸) زیر محاسبه شدند (Barnett & Pearce, 1983).

$$DMT = DMA - DMM$$

(۴)

3- Dry matter at maturity

1- Dry matter translocation

2- Dry matter at anthesis

چنین شرایطی باشد. به نظر می‌رسد که در شرایط محدودیت آبی، گیاه با بسته نگه داشتن روزنه‌ها، سعی در حفظ محتوای نسبی آب دارد، ولی در چنین وضعیتی انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب موجب تولید گونه‌های فعال اکسیژن شده (Ghosh et al., 2004)، که با تخریب کلروپلاست طی بروز تنش اکسیداتیو (Miller, Suzuki, Ciftci-Yilmaz, & Mittler, 2010) و یا با سنتز آهسته کلروفیل منجر به کاهش کلروفیل می‌شود. در چنین شرایطی، به نظر می‌رسد که کاربرد ورمی کمپوست به دلیل وجود عناصر ریزمغذی موجود در آن به خصوص از نظر فسفر، آهن، منگنز و روی (جدول ۳) که در سنتز کلروفیل نقش اساسی دارند (Theunissen, Ndakidemi, & Laubscher, 2010) و همچنین با کاهش گونه‌های فعال اکسیژن، و همچنین سهولت دسترسی به عناصری مانند نیتروژن، موجب افزایش سنتز کلروفیل می‌شود (Hosseinzadeh, Amiri, & Ismaili, 2016). نظری و همکاران (Nazari et al., 2023) نیز افزایش محتوای کلروفیل برگ به واسطه کاربرد ورمی کمپوست در شرایط محدودیت آبی را به افزایش فراهمی عناصر غذایی از جمله آهن، روی و نیتروژن نسبت دادند. در این زمینه، نوربخش و همکاران (Nourbakhsh, Chalavi, & Akbarpour, 2016) اظهار داشتند که کاربرد ورمی کمپوست به دلیل فراهمی مقادیر زیادی عناصر غذایی به خصوص نیتروژن و امکان جذب بسیاری از ریزمغذی‌ها مانند روی و آهن که از عناصر ضروری در سنتز کلروفیل بوده و در ساختار آن نقش اساسی دارند، منجر به افزایش محتوای کلروفیل می‌شود. سایر محققان نیز بیان کردند که کاربرد ورمی کمپوست در شرایط محدودیت آبی با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن موجب افزایش محتوای کلروفیل شد (Benaffari et al., 2022). سیلیکون نیز با قرار گرفتن در آپوپلاست دیواره‌های خارجی سلول‌های اپیدرمی، علاوه بر تولید بافت ناهمواری در دو سطح برگ، ضمن کمک به استحکام برگ و تأخیر در پیری آن، موجب افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (Gong, Chen, Wang, & Zang, 2005). جیاو و همکاران (Jiao, Chen, & Yi, 2010) اظهار داشتند که خشکی می‌تواند با افزایش آنزیم کلروفیل‌لاز و تشدید سرعت تجزیه آن، مانع از بیوسنتز کلروفیل شده و محتوای کلروفیل را به میزان چشمگیری کاهش دهد.

محتوای پرولین و قندهای محلول برگ پرچم: نتایج نشان داد که اثرات اصلی هر یک از عامل‌های آزمایش بر محتوای قندهای محلول، و برهم کنش آن‌ها بر محتوای پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در بین سطوح آبیاری، بیش‌ترین

$$CDMAG = \left(\frac{DMT}{GY} \right) \times 100 \quad (5)$$

که در آن، $CDMAG^1$: سهم فرآیند انتقال مجدد از بخش‌های هوایی در دانه برحسب درصد، DMT: میزان انتقال ماده خشک برحسب گرم در بوته و GY^2 : عملکرد دانه برحسب گرم در بوته می‌باشد.

$$SDMT = SDMM - SDMA \quad (6)$$

که در آن، $SDMT^3$: میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در بوته، $SDMA^4$: حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول و $SDMM^5$: وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد.

$$CSAG = \left(\frac{SDMT}{GY} \right) \times 100 \quad (7)$$

که در آن، $CSAG^6$: سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه برحسب درصد، $SDMT$: میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در بوته و GY : عملکرد دانه برحسب گرم در بوته می‌باشد.

$$CP = GY - DMT \quad (8)$$

که در آن، CP^7 : میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در بوته، GY : عملکرد دانه برحسب گرم در بوته و DMT : میزان انتقال ماده خشک برحسب گرم در بوته می‌باشد. در زمان رسیدگی، پنج بوته به ظاهر یکنواخت و مشابه در هر گلدان برداشت و میانگین داده‌های حاصل از آن‌ها به عنوان عملکرد تک بوته در تجزیه داده‌ها استفاده شد. تجزیه داده‌ها به وسیله نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ پرچم: نتایج تجزیه

واریانس نشان داد که برهم کنش هر یک از عامل‌های آزمایشی بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل (به ترتیب ۲/۴۲، ۰/۸۱۳ و ۳/۲۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل به دست آمد که از افزایش به ترتیب ۶۳/۷، ۵۶/۹ و ۶۱/۸ درصدی نسبت به قطع آبیاری در مرحله آبستنی و عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول ۵). بالا بودن غلظت آهن، روی و نیتروژن موجود در ورمی کمپوست مورد استفاده (جدول ۳) که از عناصر اساسی در سنتز کلروفیل محسوب می‌شوند، می‌تواند از دلایل افزایش کلروفیل تحت

5- Stem dry matter at maturity

6- Contribution of stem assimilates to grain

7- Current photosynthesis

1- Contribution of dry matter assimilates to grain

2- Grain yield

3- Stem dry matter translocation

4- Stem dry matter at anthesis

محتوای قندهای محلول در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی ۲۱/۳ درصدی نسبت به آبیاری کامل برخوردار بود (جدول ۴).
 (۹۷/۵۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) به دست آمد که از افزایش

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر ورمی کمپوست و نانوسیلیکون بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و برخی صفات بیوشیمیایی چاودار تحت تنش خشکی

Table 4- Analysis of variance the effects of nano silicon and vermicompost on the content of photosynthetic pigments and on some biochemical traits of rye under drought stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugars	آنتوسیانین Anthocyanine	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
تکرار Replication	2	5.77**	351.9**	0.007**	0.99**	0.069**	0.57**
سطوح آبیاری (A) Irrigation levels	2	7.63**	876.7**	0.026**	0.80**	0.098**	1.44**
تعدیل کننده‌های تنش (N) Stress modulator	3	4.89**	184.9**	0.007**	0.08 ^{ns}	0.028**	0.15**
A×N	6	1.01**	38.87 ^{ns}	0.0029**	0.88*	0.007**	0.10**
خطا Error	22	0.282	30.7	0.00058	0.03	0.0014	0.03
ضریب تغییرات CV (%)		7.2	6.2	5.9	8	5.5	6.1

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر نانوسیلیکون و ورمی کمپوست بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و برخی صفات بیوشیمیایی چاودار تحت تنش خشکی

Table 5- Means comparison of the effects of nano silicon and vermicompost on the content of photosynthetic pigments and some biochemical traits of rye under drought stress

ترکیب تیماری Treatments	محتوای پرولین	محتوای آنتوسیانین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
	Proline	Anthocyanin ($\mu\text{mol g FW}^{-1}$)	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll total
	($\mu\text{g g}^{-1}\text{ FW}$)		(mg g ⁻¹ FW)		
A ₁ ×N ₁	5.34 ^{f*}	0.317 ^f	2.25 ^{a-c}	0.707 ^{c-e}	2.96 ^{a-c}
A ₁ ×N ₂	5.64 ^f	0.322 ^f	2.29 ^{a-c}	0.762 ^{a-c}	3.06 ^{ab}
A ₁ ×N ₃	7.4 ^{c-e}	0.403 ^{c-e}	2.36 ^{ab}	0.794 ^{ab}	3.15 ^a
A ₁ ×N ₄	7.12 ^{de}	0.4 ^{c-e}	2.42 ^a	0.813 ^a	3.23 ^a
A ₂ ×N ₁	7.23 ^{c-e}	0.39 ^{de}	1.47 ^e	0.518 ^g	1.99 ^f
A ₂ ×N ₂	7.51 ^{c-e}	0.375 ^e	2.11 ^{bc}	0.601 ^f	2.71 ^{c-e}
A ₂ ×N ₃	7.26 ^{c-e}	0.408 ^{c-e}	2.03 ^d	0.553 ^{fg}	2.58 ^{de}
A ₂ ×N ₄	8.9 ^a	0.47 ^a	1.77 ^d	0.683 ^{de}	2.46 ^e
A ₃ ×N ₁	6.72 ^e	0.464 ^{ab}	2.27 ^{a-c}	0.671 ^e	2.94 ^{a-c}
A ₃ ×N ₂	8.08 ^{a-c}	0.425 ^{b-d}	2.20 ^{a-c}	0.583 ^f	2.79 ^{b-d}
A ₃ ×N ₃	7.78 ^{b-d}	0.454 ^{ab}	2.25 ^{a-c}	0.741 ^{b-d}	2.99 ^{a-c}
A ₃ ×N ₄	8.55 ^{ab}	0.436 ^{a-c}	2.27 ^{a-c}	0.777 ^{ab}	3.04 ^{ab}
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD 0.05	0.89	0.04	0.29	0.064	0.29

A₁, A₂ و A₃: به ترتیب نشان دهنده آبیاری کامل و قطع آبیاری در مراحل آبستنی و سنبله دهی و N₁, N₂, N₃ و N₄: به ترتیب نشان دهنده عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون (شاهد)، مصرف نانوسیلیکون، مصرف ورمی کمپوست، مصرف توأم نانوسیلیکون و ورمی کمپوست می باشند.

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، اختلاف آماری معنی داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با هم ندارند.

A₁, A₂ and A₃: are full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stages, respectively.

N₁, N₂, N₃ and N₄: are control, application of nano-silicon, vermicompost, both application vermicompost and nano-silicon, respectively.

* Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test at the 5% probability level

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد نانوسیلیکون و ورمی کمپوست بر محتوای قندهای محلول و انتقال ماده خشک از ساقه چاودار در شرایط محدودیت آبی

Table 6- Means comparison of the main effects of nanosilicon and vermicompost application on soluble sugars content and dry matter remobilization from stem of rye under water limitation conditions

تیمارهای آزمایشی Treatments	انتقال ماده خشک از ساقه SDMT (g per plant)	محتوای قندهای محلول Soluble sugars (mg g ⁻¹ FW)
سطوح آبیاری Irrigation levels		
A ₁	0.612b*	80.58c
A ₂	0.724a	97.53a
A ₃	0.692a	87.12b
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD	0.038	5.72
تعدیل کننده‌های تنش Stress modulator	انتقال ماده خشک از ساقه SDMT (g per plant)	محتوای قندهای محلول Soluble sugars (mg g ⁻¹ FW)
N ₁	-	84.51b
N ₂	-	87.36ab
N ₃	-	86.81ab
N ₄	-	94.95a
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD	-	9.07

A₁, A₂ و A₃: به ترتیب نشان دهنده آبیاری کامل و قطع آبیاری در مراحل آبستنی و سنبله‌دهی و N₁, N₂, N₃ و N₄: به ترتیب نشان دهنده عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون (شاهد)، مصرف نانوسیلیکون، مصرف ورمی کمپوست، مصرف توأم نانوسیلیکون و ورمی کمپوست می‌باشند.

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با هم ندارند.

A₁, A₂ and A₃ are full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stages, respectively.

N₁, N₂, N₃ and N₄ are control, application of nano-silicon, vermicompost, both application vermicompost and nano-silicon, respectively.

SDMT= stem dry matter translocation

* Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test at the 5% probability level

پیش‌سازهای تولید پرولین می‌باشد، موجب افزایش تجمع پرولین و در نهایت افزایش مقاومت گیاه در مواجهه با تنش‌هایی مثل شوری و خشکی می‌شود. به بیانی دیگر، افزایش تجمع پرولین در شرایط محدودیت آبی، علاوه بر نقش فیزیولوژیک مهمی که از نظر تأمین انرژی ایفا می‌کند، می‌تواند موجب کاهش پتانسیل اسمزی سلول شده و از طریق تنظیم اسمزی، ضمن بالاتر نگه داشتن میزان آب نسبی در گیاهان، منجر به افزایش مقاومت به محدودیت آبی شود. همچنین، ورمی کمپوست از طریق بهبود حاصلخیزی خاک و فراهمی بهتر عناصر ضروری گیاه، ضمن کمک به بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۸) موجب افزایش سنتز و تجمع متابولیت‌ها از جمله کربوهیدرات‌ها می‌شود (Salehi, Ghalavand, Sefidkon, & Asgharzade, 2011). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول در شرایط محدودیت آبی با کاربرد نانوسیلیکون توسط دیگر محققان گزارش شده است (Sonobe et al., 2011). از آنجایی که افزایش قندهای محلول در شرایط تنش خشکی می‌تواند به عنوان یک محافظ معمولی عمل کرده و فشار تورگر را تحت شرایط تنش خشکی

در بین تعدیل کننده‌های تنش نیز مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون از بیشترین محتوای قندهای محلول (۹۴/۹۵ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) برخوردار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین محتوای پرولین (۸/۹ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) در مصرف توأم ورمی کمپوست با نانوسیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به دست آمد که در مقایسه با عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در همین سطح از سطوح آبیاری، از افزایش ۲۳ درصدی و در مقایسه با آبیاری کامل از افزایش ۶۶/۶ درصدی برخوردار بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که سیلیکون از طریق کمک به جذب بیش تر نیترات و بهبود آمینواسیدهای آزاد منجر به افزایش محتوای پرولین شده (Hajiboland, Cherghvareh, & Dashtebani, 2017) و با افزایش میزان فتوسنتز جاری (جدول ۸) منجر به افزایش تولید قندهای محلول و تجمع بیشتر آن در گیاه می‌شود (Silva et al., 2012). وانگ و همکاران (Wang et al., 2011) اظهار داشتند که کاربرد ورمی کمپوست در شرایط خشکی، با افزایش اسید آمینه‌های ضروری به ویژه گلوتامات و آرژنین که از

حفظ کنند، از این رو با افزایش محدودیت آبی، میزان نشاسته کاهش و در مقلیل، محتوای کربوهیدرات‌های محلول افزایش می‌یابد (Selim *et al.*, 2019). کاربرد ورمی کمپوست نیز به دلیل برخورداری از عناصر ریزمغذی نظیر آهن، روی و نیتروژن می‌تواند ضمن افزایش فتوسنتز جاری (جدول ۸) و محتوای قندهای محلول و پرولین (جدول ۵ و ۶)، منجر به افزایش شیب پتانسیل آب و بهبود جذب آب توسط گیاه در شرایط تنش شود (Asghari, Khademian, & Sedaghati, 2020). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش فتوسنتز جاری با کاربرد نانوسیلیکون توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Ahmadi, Nouraldinvand, Nouraldinvand, Seyed Sharifi, Siadat, & Khalilzadeh, 2024).

وزن ۱۰۰ دانه: نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی‌داری اثر عامل‌های آزمایش بر وزن ۱۰۰ دانه در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۷). در شرایط آبیاری کامل، بیش‌ترین وزن ۱۰۰ دانه در مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون (۳/۶ گرم) به دست آمد که در مقایسه با عدم مصرف آن‌ها از افزایش ۳۲ درصدی برخوردار بود. همچنین قطع آبیاری در مرحله آبستنی در شرایط مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون، وزن ۱۰۰ دانه را ۲۸/۱ درصد نسبت به عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در همین سطح از سطوح آبیاری افزایش داد (جدول ۸). بخشی از افزایش وزن ۱۰۰ دانه در کاربرد ورمی کمپوست می‌تواند ناشی از وجود مقادیر بالایی از عناصر موجود در این کود باشد (جدول ۳) که ضمن افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی (جدول ۵) و افزایش فتوسنتز جاری (جدول ۸) منجر به افزایش وزن دانه و به تبع آن افزایش وزن ۱۰۰ دانه شده است (جدول ۸). دیگر محققان نیز دلیل افزایش وزن هزار دانه با کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش خشکی را به نقش سیلیکون در بهبود سیستم فتوسنتزی و انتقال مواد فتوسنتزی به اندام زایشی نسبت دادند (Gong *et al.*, 2003).

محتوای آنتوسیانین برگ پرچم: کاربرد ورمی کمپوست، نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر محتوای آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین در مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی (۰/۴۷ میکرومول برگرم وزن تر برگ) به دست آمد که در مقایسه با عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در همین سطح از آبیاری، از افزایش ۲۰/۵ درصدی و در مقایسه با آبیاری کامل از افزایش ۴۸/۲ درصدی برخوردار بود (جدول ۵). آنتوسیانین از مهم‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که نه تنها رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند، بلکه از تولید بیشتر آن‌ها در گیاه جلوگیری کرده (Saadatmand & Enteshari, 2013) و با محافظت سیستم فتوسنتزی در برابر اکسیداسیون نوری، از گیاهان در معرض تنش محافظت می‌کند (He *et al.*, 2010). احمد و همکاران (Ahmad, 2011) نیز

(Shahlaby, & Shnan, 2011) علت افزایش محتوای آنتوسیانین در کاربرد ورمی کمپوست را، به مواد هیومیکی (مشتقات ترکیبات فنلی) موجود در این کود به‌عنوان پیش‌ماده سنتز آنتوسیانین نسبت دادند. سیلیکون نیز با جلوگیری از کاهش معنی‌دار آنتوسیانین در گیاهان در معرض تنش خشکی، اثرات ناشی از محدودیت آبی بر سیستم فتوسنتزی را کاهش و مقاومت به تنش خشکی را افزایش می‌دهد (Shen, Zhou, Duan, Li, Eneji, & Li, 2010). حاجی بلند و همکاران (Hajiboland *et al.*, 2017) اظهار داشتند که کاربرد نانوسیلیکون از طریق جذب نیترات بیشتر و بهبود آمینواسیدهای آزاد موجب افزایش محتوای پرولین، قندهای محلول و آنتوسیانین برگ گندم شد. از این رو به نظر می‌رسد که بخشی از افزایش محتوای آنتوسیانین در شرایط کاربرد ورمی کمپوست و نانوسیلیکون می‌تواند ناشی از اثر این ماده در افزایش اسمولیت‌های سازگار باشد (جدول ۵). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش محتوای آنتوسیانین با کاربرد سیلیکون، توسط دیگر محققان گزارش شده است (Mosapour, Yahyaabadi & Asgharipour, 2016).

انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرایندها در عملکرد دانه: اثرات اصلی سطوح آبیاری بر میزان انتقال ماده خشک از ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، ولی اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر میزان انتقال ماده خشک از اندام هوایی، سهم فرایند انتقال ماده خشک از بخش‌های هوایی و ساقه در عملکرد دانه در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). بیش‌ترین انتقال ماده خشک از اندام هوایی (۰/۹۳۵ گرم در بوته)، سهم این فرایند در عملکرد دانه (۴۵/۶ درصد) و همچنین میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه (۳۷/۴ درصد) در عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به دست آمد که در مقایسه با مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در همین سطح از آبیاری، از افزایش به ترتیب ۷/۵، ۱۵/۴ و ۱۹/۸ درصدی و در مقایسه با آبیاری کامل از افزایش ۳۲/۶، ۹۷/۱ و ۹۳/۸ درصدی برخوردار بود (جدول ۸). به بیانی دیگر در سطح ثابت از شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، گرچه بیش‌ترین انتقال ماده خشک از اندام هوایی و سهم این فرایند در عملکرد دانه در عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون به دست آمد، ولی با مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون به تنهایی در این سطح از سطوح آبیاری، از نظر آماری معنی‌داری نبود (جدول ۸). همچنین سهم انتقال ماده خشک از ساقه در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی از افزایش ۱۸/۳ درصدی نسبت به آبیاری کامل برخوردار بود (جدول ۶)، ولی در سطح ثابت از شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، سهم انتقال ماده خشک از ساقه بین عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون با مصرف نانوسیلیکون معنی‌دار نبود (جدول ۸). به نظر می‌رسد که بخشی از افزایش انتقال ماده خشک در شرایط محدودیت آبی، به دلیل

تا اثر تنش تا حدودی تعدیل شده و گیاه بتواند با افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک بیشتر، عملکرد را افزایش دهد. محققان اظهار داشتند که سیلیکون با افزایش عمودی شدن برگ‌ها و نفوذ بیشتر نور به جامعه گیاهی و افزایش سهم فتوسنتز جاری، منجر به کاهش انتقال مجدد ماده خشک می‌شود (Parsapour, Bakhshandeh, 2019; Gharineh, Feisi, & Moradi Telavat, 2019). از آنجایی که در شرایط کاربرد ورمی کمپوست و نانوسیلیکون، سهم فتوسنتز جاری افزایش می‌یابد (جدول ۸)، از این رو طبیعی است که در چنین شرایطی، سهم انتقال مجدد از ساقه و لندام‌های هوایی در دانه کاهش یابد (Yaghoubi Khanghahi, Pirdashti, Rahimian, 2019; Nematzadeh, & Ghajar Sepanlou, 2019). در واقع، کاربرد کودهای زیستی با تعدیل اثر ناشی از تنش خشکی و بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۸) موجب می‌شود که بخش عمده‌ای از عملکرد دانه توسط فتوسنتز جاری تأمین شده و بخش کمتری به انتقال ماده خشک تخصیص یابد.

افزایش تقاضای دانه‌های تشکیل شده به مواد فتوسنتزی و کاهش سهم فتوسنتز جاری (جدول ۸) در برآورد نیاز مخازن (دانه‌ها) باشد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر اینکه در شرایط تنش رطوبتی به دلیل محدودیت در فتوسنتز، میزان انتقال ماده خشک نسبت به آبیاری کامل افزایش می‌یابد توسط دیگر محققان گزارش شده است (Liu et al., 2020; Rezabeighi et al., 2020). ولی کاربرد نانوسیلیکون و ورمی کمپوست با افزایش سهم فتوسنتز جاری (جدول ۸) موجب می‌شود که تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع بتواند در مخزن مورد استفاده قرار گرفته و سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه کاهش یابد (Seyed Sharifi, 2018). نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش انتقال ماده خشک و افزایش سهم فتوسنتز جاری با کاربرد نانوسیلیکون توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Nazari et al., 2021). در این راستا، حبیبی و مجیدیان (Habibi & Majidian, 2014) اظهار داشتند که استفاده از ورمی کمپوست در ذرت (*Zea mays* L.) به دلیل فراهم نمودن عناصر غذایی و بهبود خواص بیولوژیکی و فیزیکی شیمیایی خاک، موجب شد

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر نانو سیلیکون و ورمی کمپوست بر انتقال ماده خشک و فتوسنتز جاری چاودار تحت تنش خشکی
Table 7- Analysis of variance the effects of nano silicon and vermicompost on current photosynthesis and dry matter remobilization of rye under drought stress

منابع تغییر S.O.V	df	میانگین مربعات Mean of squares						
		انتقال ماده خشک از اندام هوایی	سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه	انتقال ماده خشک از ساقه	سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه	عملکرد دانه	فتوسنتز جاری	وزن ۱۰۰ دانه
		DMT	CDMAG	SDMT	CSAG	GY	CP	100 GW
تکرار Replication	2	0.1413**	84.67**	0.1366**	112.7**	0.675**	0.395**	0.425**
سطوح آبیاری (A) Irrigation levels	2	0.0261**	444.92**	0.040**	380.62**	1.321**	1.646**	1.21**
تعدیل کننده‌های تنش (N)	3	0.0085*	135.44**	0.0037 ^{ns}	92.49**	0.566**	0.605**	0.767**
Stress modulators A×N	6	0.0077**	32.09**	0.0018 ^{ns}	20.24*	0.116**	0.121**	0.043*
خطا Error	22	0.0022	7.024	0.0019	7.23	0.020	0.026	0.015
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.4	7.8	6.5	10.3	5.3	9	4.26

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

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

DMT= dry matter translocation, SDMT= stem dry matter translocation, CSAG= contribution of stem assimilates to grain, GY= grain yield, CP= current photosynthesis, 100 GW= 100 grain weight

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر نانوسیلیکون و ورمی کمپوست بر انتقال ماده خشک و فتوسنتز جاری چاودار تحت تنش خشکی
Table 8- Means comparison of effects of nanosilicon and vermicompost on current photosynthesis and dry mater remobilization of rye under drought stress

تیمارها Treatments	انتقال ماده خشک از اندام هوایی DMT (g per plant)	سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه SDMT (%)	سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه CSAG (%)	عملکرد دانه GY (g per plant)	فتوسنتز جاری CP (g per plant)	وزن ۱۰۰ دانه 100 GW (g)
A ₁ ×N ₁	0.858 ^{a*}	32.68 ^c	22.29 ^{c-e}	2.65 ^b	1.79 ^c	2.75 ^e
A ₁ ×N ₂	0.864 ^a	28.84 ^c	21.33 ^{c-e}	3 ^a	2.14 ^{ab}	3.19 ^{bc}
A ₁ ×N ₃	0.873 ^a	28.81 ^c	20.76 ^{de}	3.03 ^a	2.16 ^{ab}	3.35 ^b
A ₁ ×N ₄	0.705 ^b	23.13 ^d	19.31 ^e	3.04 ^a	2.33 ^a	3.63 ^a
A ₂ ×N ₁	0.935 ^a	45.6 ^a	37.43 ^a	2.04 ^d	1.11 ^e	2.38 ^g
A ₂ ×N ₂	0.929 ^a	44.11 ^a	34.21 ^{ab}	2.1 ^d	1.17 ^{de}	2.47 ^g
A ₂ ×N ₃	0.918 ^a	32.29 ^c	25.51 ^c	2.19 ^{cd}	1.93 ^{bc}	2.49 ^{fg}
A ₂ ×N ₄	0.869 ^a	39.51 ^b	31.23 ^b	2.85 ^{ab}	1.32 ^{de}	3.05 ^{cd}
A ₃ ×N ₁	0.903 ^a	38.47 ^b	31.31 ^b	2.35 ^c	1.44 ^d	2.7 ^{ef}
A ₃ ×N ₂	0.86 ^a	31.01 ^c	24.47 ^{cd}	2.8 ^{ab}	1.94 ^{bc}	2.84 ^{de}
A ₃ ×N ₃	0.899 ^a	30.37 ^c	22.92 ^{c-e}	2.96 ^a	2.06 ^{ab}	3.06 ^c
A ₃ ×N ₄	0.925 ^a	30.68 ^c	22.33 ^{c-e}	3.01 ^a	2.08 ^{ab}	3.25 ^{bc}
حداقل اختلاف معنی دار LSD (0.05)	0.0811	4.488	4.55	0.244	0.274	0.212

A₁, A₂ و A₃: به ترتیب نشان دهنده آبیاری کامل و قطع آبیاری در مراحل آبستنی و سنبله دهی و N₁, N₂, N₃ و N₄: به ترتیب نشان دهنده عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون (شاهد)، مصرف نانوسیلیکون، مصرف ورمی کمپوست، مصرف توأم نانوسیلیکون و ورمی کمپوست می باشند.

* میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با هم ندارند.

A₁, A₂ and A₃ are full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stages, respectively.

N₁, N₂, N₃ and N₄ are control, application of nano-silicon, vermicompost, both application vermicompost and nano-silicon, respectively.

DMT= dry matter translocation; SDMT= stem dry matter translocation; CSAG= contribution of stem assimilates to grain;

GY= grain yield; CP= current photosynthesis; 100 GW= 100 grain weight.

* Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test at the 5% probability level

افزایش سهم فتوسنتز جاری شده است (Parsapour et al., 2019).
عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس بیانگر معنی داری اثر عامل های آزمایش بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۷). تحت شرایط آبیاری کامل، بیش ترین عملکرد دانه در مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون (۳/۰۴ گرم در بوته) به دست آمد که در مقایسه با عدم مصرف آن ها از افزایش ۱۴/۷ درصدی برخوردار بود. همچنین قطع آبیاری در مرحله آبستنی در شرایط مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون، عملکرد دانه را ۳۹ درصد نسبت به عدم مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در همین سطح از سطوح آبیاری افزایش داد (جدول ۸). البته در سطح ثابت از شرایط آبیاری کامل، بین مصرف ورمی کمپوست، نانوسیلیکون به تنهایی و کاربرد توأم آن ها تفاوت آماری معنی داری در عملکرد دانه نبود (جدول ۸). بخشی از بهبود عملکرد دانه می تواند ناشی از مصرف ورمی کمپوست به دلیل برخورداری از مقادیر بالای نیتروژن و فسفر موجود در آن (جدول ۳) باشد که ضمن بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۸)، موجب افزایش عملکرد دانه شد. از طرفی، مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون با بهبود محتوای رنگیزه های فتوسنتزی (جدول ۵) توانست بخشی از اثرات مخرب ناشی از گونه های فعال اکسیژن را

فتوسنتز جاری برگ پرچم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مصرف ورمی کمپوست، نانوسیلیکون و سطوح آبیاری بر فتوسنتز جاری برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۷). مقایسه میانگین ها نشان داد که تحت شرایط آبیاری کامل، بیش ترین میزان فتوسنتز جاری در مصرف توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون به دست آمد که در مقایسه با عدم مصرف توأم آن ها، از افزایش ۳۰ درصدی برخوردار بود. هر چند در سطح ثابت از شرایط آبیاری کامل، در سهم فتوسنتز جاری بین مصرف ورمی کمپوست، نانوسیلیکون به تنهایی و در مصرف توأم آن ها تفاوت آماری، معنی دار نبود (جدول ۸). همچنین تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، مصرف ورمی کمپوست و نانوسیلیکون منجر به افزایش ۱۸/۹ درصدی فتوسنتز جاری نسبت به عدم مصرف آن ها در همین سطح از سطوح آبیاری شد (جدول ۸). این نتایج با یافته های دیگر پژوهشگران مبنی بر اینکه مصرف ورمی کمپوست با افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی موجب بهبود فتوسنتز و افزایش سهم فتوسنتز در عملکرد دانه گندم شد مطابقت دارد. به نظر می رسد که شرایط مطلوب آبیاری به دلیل تأخیر در پیری برگ ها (Tatar, Brück, & Asch, 2016) و سیلیکون با عمودی شدن برگ ها و نفوذ بیشتر نور به جامعه گیاهی منجر به

واکنش‌های مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه و به تبع آن بر کاهش عملکرد داشته باشد. در چنین شرایطی، کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش نظیر ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در گیاهان از جمله راهکارهایی است که می‌تواند به دلیل افزایش محتوای اسمولیت‌های سازگاری همچون پرولین و قندهای محلول، تا حد زیادی با کاهش اثرات مخرب ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش مقاومت گیاه در برابر محدودیت آبی، از کاهش بیشتر عملکرد در شرایط تنش جلوگیری نماید. در این راستا، ارزیابی نتایج کاربرد ورمی کمپوست، نانوسیلیکون به تنهایی و به خصوص در کاربرد توأم در بیشتر صفات مورد بررسی، نشان داد که کاربرد توأم به دلیل افزایش محتوای اسمولیت‌های قادر بودند که بخشی از اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش و با بهبود فتوسنتزی جاری و افزایش سهم مشارکت این فرآیند در عملکرد دانه، به بهبود عملکرد دانه چاودار کمک نمایند. در این رابطه، کاربرد ورمی کمپوست و نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت شدید آبی، به دلیل بهبود برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی توانست عملکرد دانه را ۸/۳ درصد در مقایسه با عدم کاربرد ورمی کمپوست و نانوسیلیکون در همین سطح از سطوح آبیاری افزایش دهد. از این رو براساس نتایج این بررسی می‌توان به منظور بهبود عملکرد دانه چاودار تحت شرایط محدودیت آبی، کاربرد توأم ورمی کمپوست و نانوسیلیکون را توصیه نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از اساتید محترم و کارکنان گلخانه و آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تشکر و قدردانی می‌گردد.

کاهش داده و در کاهش اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو به نحو مؤثری عمل نماید. همچنین کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش با افزایش اسمولیت‌های سازگاری همانند پرولین و قندهای محلول (جدول ۵)، در افزایش فتوسنتز جاری (جدول ۸) مؤثر بوده و همه این عوامل می‌تواند توجیه‌کننده بخشی از افزایش عملکرد دانه باشد (جدول ۸). مام نبی و همکاران (Mamnabi et al., 2020) اظهار داشتند که کاربرد ورمی کمپوست در شرایط تنش خشکی از طریق بهبود محتوای فسفر و نیتروژن برگ و همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین و قندهای محلول منجر به افزایش عملکرد دانه کلزا شد. شهبازی و همکاران (Shahbazi et al., 2015) اظهار داشتند که کاربرد ورمی کمپوست با افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی و افزایش فتوسنتز موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد. عباسی و همکاران (Abbasi, Lotfi, & Mohammadi, 2018) افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی با کاربرد نانوسیلیکون را به بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین نسبت دادند. موسی‌پور یحیی آبادی و اصغری‌پور (Mosapour Yahyaabadi & Asgharipour, 2016) نیز افزایش عملکرد دانه به واسطه کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش خشکی را به بهبود محتوای آنتوسیانین، پرولین و قندهای محلول نسبت دادند. به نظر می‌رسد که سیلیکون از طریق کاهش تخریب رنگدانه‌ها (Bybordi, 2016) و بهبود محتوای کلروفیل به بهبود عملکرد دانه کمک می‌کند.

نتیجه‌گیری

محدودیت آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌هایی است که می‌تولند با ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های فعال اکسیژن، آثار مخربی بر

References

- Abbasi, A. R., Lotfi, M., & Mohammadi, J. (2018). Response of antioxidant defense mechanism and wheat yield changes to drought stress with application of different concentrations of nano-silicone and nano-titanium. *Rainfed Agriculture of Iran*, 7(1), 79-101. (In Persian). <http://doi.org/10.22092/IDAJ.2018.120366.196>
- Ahire, M. L., Mundada, P. S., Nikam, T. D., Bapat, V. A., & Penna, S. (2021). Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 169, 291-310. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.010>
- Ahmad, Y. M., Shahlaby, E. A., & Shnan, N. T. (2011). The use of organic and inorganic cultures in improving vegetative growth, yield characters and antioxidant activity of roselle plants (*Hibiscus sabdariffa* L.). *African Journal of Biotechnology*, 10(11), 1988-1996.
- Ahmadi Nouraldin, F., Seyed Sharifi, R., Siadat, S. A., & Khalilzadeh, R., (2024). Effects of bio-fertilizers and foliar application of nano-silicon on the contribution of dry matter remobilization and current photosynthesis in grain yield of wheat under irrigation withholding conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(4), 1005-1028. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2023.5254.2128>
- Ahmadi Nouraldin, F., Seyed Sharifi, R., Siadat, S. A., & Khalilzadeh, R. (2021). Effect of water limitation and application of bio-fertilizer and nano-silicon on yield and some biochemical traits of wheat. *Cereal Research*, 10(4), 285-298. (in Persian). <https://doi.org/10.22124/CR.2021.18682.1645>
- Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
- Asghari, B., Khademian, R., & Sedaghati, B. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) confer drought resistance and stimulate biosynthesis of secondary metabolites in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) under water

- shortage condition. *Scientia Horticulturae*, 263, 109132.
8. Barnett, K. H., & Pearce, P. B., (1983). Source-Sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. *Crop Science*, 23, 101-109. <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183X002300020028x>
 9. Bates, L. S., Walderen R. D., & Taere, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
 10. Batool, A., Akram, N. A., Cheng, Z. G., Lv, G. C., Ashraf, M., Afzal, M., Xiong, J. L., Wang, J. Y., & Xiong, Y. C. (2019). Physiological and biochemical responses of two spring wheat genotypes to nonhydraulic root-to-shoot signalling of partial and full root-zone drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.001>
 11. Benaffari, W., Boutasknit, M., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, Y., Ait-Rahou, R., Ben-Laouane, H., Ben Ahmed, T., Mitsui, M., & Baslam, M. (2022). The native Arbuscular Mycorrhizal fungi and vermicompost-based organic amendments enhance soil fertility, growth performance, and the drought stress tolerance of quinoa. *Journal Plants*, 11(3), 393-396. <https://doi.org/10.3390/plants11030393>
 12. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
 13. Bybordi, A. (2016). Influence of zeolite, selenium and silicon upon some agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47, 832-850. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1146898>
 14. Dubios, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Roberts, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Annals of Chemistry*, 28, 350-356. <https://doi.org/10.1038/168167a0>
 15. Enej, A. E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., Hattori, T., An, P., & Tsuji, W. (2008). Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 31(2), 355-365. <https://doi.org/10.1080/01904160801894913>
 16. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). FAOSTAT Statistical Database. [Rome].
 17. Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Mansour Ghanaei-Pashaki, K., & Talebi-Siah Saran, P. (2021). The study of yield and physiological characteristics of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in response to bio-fertilizers and different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 23-37. (in Persian with English Abstract). <https://sid.ir/paper/398795/fa>
 18. Ghosh, P. K., Ajay, K. K., Bandyopadhyay, M. C., Manna, K. G., Mandal, A. K., & Hati, K. M. (2004). Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource Technology*, 95, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.012>
 19. Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., & Zhang, C. H. (2003). Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal Plant Nutrition*, 26, 1055-1063.
 20. Gong, H. Z., Chen, K., Wang, S., & Zang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in post under drought. *Plant Science*, 169, 313-321. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.02.023>
 21. Habibi, S., & Majidian, M. (2014). Effect of different levels of nitrogen fertilizer and vermi-compost on yield and quality of sweet corn (*Zea mays* Hybrid Chase). *Journal of Crop Production and Processing*, 4, 15-26. (in Persian). <http://jcnp.iut.ac.ir/article-1-2043-en.html>
 22. Hajiboland, R., Cherghvareh, L., & Dashtebani, F. (2017). Effects of silicon supplementation on wheat plants under salt stress. *Journal of Plant Process and Function*, 5(18), 1-11. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-484-fa.html>
 23. He, F., Mu, L., Yan., G.L., Liang, N., Pan, Q., Wang, J., Reeves, M., & Duan, C. (2010). Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules*, 15, 9057-9091. <https://doi.org/10.3390/molecules15129057>
 24. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54(1), 87-92. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0162-x>
 25. Jiao, J., Chen, K., & Yi, C. (2010). Effects of soil moisture content on growth, physiological and biochemical characteristics of *Jatropha curcas* L. *Acta Ecologica Sinica*, 30, 4460-4466.
 26. Khajeh, M., Mousavi Nik, S. M., Siros Mehr, A., Yadalhi De Cheshme, P., & Amiri, A. (2014). The effect of drought stress and silicon foliar application on yield and photosynthetic pigments of wheat in Sistan region. *Crop Physiology*, 7(26), 5-19. (in Persian). <https://sid.ir/paper/482740/fa>
 27. Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., & Jalilian, J. (2016). Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. *Journal of Plant Interactions*, 11(1), 130-137. <https://doi.org/10.1080/17429145.2016.1221150>
 28. Kheirizadeh Arough, Y., & Seyed Sharifi, R. (2017). Physiological responses of Triticale to zinc application and bio fertilizers under water limitation condition. *The Philippine Agricultural Scientist*, 100(2), 1211-1217.

29. Khodabandeh, N. (2012). Cereal. University of Tehran Press, Tehran, Iran. p. 538. (In Persian). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-763-fa.html>
30. Liu, Y., Zhang, P., Li, M., Chang, L., Cheng, H., Chai, S., & Yang, D. (2020). Dynamic responses of accumulation and remobilization of water soluble carbohydrates in wheat stem to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 155, 262-270. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.024>
31. Mamnabi, S., Nasrollahzadeh, K., Golezani, G., & Raei, Y. (2020). Improving yield-related physiological characteristics of spring rapeseed by integrated fertilizer management under water deficit conditions. *Saudi Journal of Biology Science*, 27(3), 797-804. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.01.008>
32. Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., & Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant Cell and Environment*, 33, 453-467. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>
33. Mosapour Yahyaabadi, H., & Asgharipour, M. R. (2016). Effects of drought stress and its interaction with silicon on stimulates the antioxidant system and lipid peroxidation in Fennel (*Foeniculum vulgare*). *Plant Process and Function*, 5(16), 71-84. (in Persian). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-349-en.html>
34. Nazari, Zh., Seyed Sharifi, R., Sedghei, M., & Narimani, H. (2023). Evaluation of yield and grain filling components of triticale (X Triticosecale Witt.) affected by application of mycorrhizal fungi, vermicompost and nano-silicon under water deficit conditions. *Environmental Stresses Sciences*, 16(1), 53-69. (in Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2021.4322.2009>
35. Nazari, Zh., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2021). Effect of bio fertilizers, nano silicon and water limitation on current photosynthesis and dry matter transfer of triticale. *Journal of Crop Physiology*, 13(51), 5-24. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2022.333768.2639>
36. Nourbakhsh, F., Chalavi, V., & Akbarpour, V. (2016). Effect of vermicompost and nitroxin on vegetative growth and some biochemical properties of rosemary herb (*Rosmarinus officinalis* L.). *Journal of Horticultural Science*, 30, 178-184. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V30I2.34190>
37. Parsapour, O., Bakhshandeh, A., Gharineh, M. H., Feisi, H., & Moradi Telavat, M. R. (2019). The effect of foliar application of nano and bulk silicon dioxide particles on grain yield and redistribution of dry matter in wheat under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12, 377-388. (in Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1191.1244>
38. Rezabeighi, S., Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2020). Effect of silicone spraying on assimilate remobilization and yield of two bread and durum wheat under late season water stress. *Journal of Plant Production (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 27(3), 55-71. (in Persian). <https://sid.ir/paper/959406/en>
39. Roychoudhury, A. (2020). Silicon-nanoparticles in crop improvement and agriculture. *International Journal on Recent Advancement in Biotechnology & Nanotechnology*, 3, 54-65.
40. Saadatmand, M., & Enteshari, S. (2013). The effects of pretreatment duration with silicon on salt stress in Iranian borage (*Echium amoenum* Fisch & C.A. Mey). *Journal of Soil and Plant Interactions Isfahan University of Technology*, 3(4), 45-57. (in Persian). <http://dori.net/dor/20.1001.1.20089082.1391.3.4.4.8>
41. Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F., & Asgharzade, A. (2011). The effect of zeolite, PGPR and vermicompost application on N, P, K concentration, essential oil content and yield in organic cultivation of German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27, 188-201. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6394>
42. Sattar, A., Sher, A., Ijaz, M., Ul-Allah, S., Rizwan, M. S., & Hussain M. (2020). Terminal drought and heat stress alter physiological and biochemical attributes in flag leaf of bread wheat. *Plos One*, 15(5), 1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232974>
43. Schlegel, R. H. J. (2014). *Rye: Genetics, Breeding, and Cultivation*. CRC Press, Boca Raton. 359 pp.
44. Selim, D. H., Nassar, R. A., Boghdady, M. S., & Bonfill, M. (2019). Physiological and anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 480-488. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.012>
45. Seyed Sharifi, R. (2018). Effects of uniconazole and bio fertilizers on grain filling period and contribution of remobilization in grain yield of wheat under different moisture regimes in greenhouse condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11, 515-531. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2018.764.1148>
46. Shahbazi, Sh., Fateh, E., & Ayenehband, A. (2015). Evaluation of the effect of humic acid and vermicompost on yield and yield components of three wheat cultivars in tropical regions. *The Plant Production*, 38(2), 99-110. (In Persian). <https://sid.ir/paper/165202/en>
47. Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E., & Li, J. (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean antioxidative systems in two cottons. *General and Applied Plant Physiology*, 33, 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.04.011>
48. Silva, O. N., Lobato, A. K., Avila, F. W., Costa, L., Oliveira, F., Santos, B. G., Martins, A. P., Lemos, R., Pinho, J., Medeiros, M. B., Cardoso, M., & Andrade, I. P. (2012). Silicon induced increase in chlorophyll is modulated by the

- leaf water potential in two water deficient tomato cultivars. *Plant Soil and Environment*, 58, 481-486. <https://doi.org/10.17221/213/2012-PSE>
49. Sonobe, K., Hattori, T., Tsuji, W., Eneji, A. E., Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K., & Inanaga, S. (2011). Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *Journal of Plant Nutrition*, 34(1), 71-82. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.531360>
50. Tatar, Ö. Brück, H., & Asch, F. O. (2016). Photosynthesis and remobilization of dry matter in wheat as affected by progressive drought stress at stem elongation stage. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202, 292-299. <https://doi.org/10.1111/jac.12160>
51. Theunissen, J., Ndakidemi, P., & Laubscher, C. (2010). Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the Physical Sciences*, 5, 1964-1973.
52. Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, V. P., Prasad, S. M., Chauhan, D. K., & Dubey, N. K. (2016). Silicon nanoparticles more efficiently alleviate arsenate toxicity than silicon in maize cultivar and hybrid differing in Arsenate tolerance. *Frontiers in Environmental Science*, 46(4), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00046>
53. Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars free amino acids, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*, 64, 88-93. <https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88>
54. Wang, Y., Ma, F., Li, M., Liang, D., & Zou, J. (2011). Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. *Plant Growth Regulation*, 64, 63-74. <https://doi.org/10.1007/s10725-010-9537-y>
55. Yaghoubi Khanghahi, M., Pirdashti, H., Rahimian, H., Nematzadeh, G., & Ghajar Sepanlou, M. (2019). The role of potassium solubilizing bacteria (KSB) inoculations on grain yield, dry matter remobilization and translocation in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 42, 1165-1179. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1609511>
56. Yan, G., Nikolic, M., Ye, M., Xiao, Z., & Liang, Y. (2018). Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(10), 2138-2150. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62037-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62037-4)



Simulation of Irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L. Pishtaz cultivar) Yield using DSSAT Model and AgMERRA Data in Khorasan Razavi Province

S. Kamali¹, N. Ghahreman^{1*}, M. Bannayan Aval²

1- Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: ngahreman@ut.ac.ir)

Received: 06 August 2024
Revised: 20 October 2024
Accepted: 23 October 2024
Available Online: 12 April 2025

How to cite this article:

Kamali, S., Ghahreman, N., & Bannayan Aval, M. (2025). Simulation of irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L. Pishtaz cultivar) yield using DSSAT model and AgMERRA data in Khorasan Razavi province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 257-270. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.89213.1344>

Introduction

Ensuring food security has significant importance to countries with arid and semiarid climates and inadequate water for irrigation, like Iran which is quite vulnerable to climate change consequences. Strategic decision-making is crucial for effective production of agricultural crops especially cereals. Wheat is a strategic crop for achieving food security in Iran which is cultivated both rain-fed and irrigated. Crop models are mathematical expressions of the plant growth and development under different environmental and management conditions. These models' performance and accuracy rely on high-quality and long-term input data especially observed or generated climatic databases. The aim of this study is to simulate the yield of irrigated Pishtaz cultivar wheat in seven cities of Razavi Khorasan province using DSSAT crop model and AgMERRA reanalysis data.

Materials and Methods

In this study, required daily weather data of seven stations located across Khrosan Razavi province namely Mashhad, Neishabour, Gonabad, Torbet-Haidaryeh, Torbet-Jam, Sabzevar, and Kashmer for the period of 1980-2010 were collected and used. The observed daily data included rainfall, maximum and minimum temperatures, wind speed, and sunshine hours. Corresponding period AgMERRA reanalysis data were also retrieved from the database to be used as an alternative input. AgMERRA is a global gridded daily weather dataset that was originally generated using NASA's MERRA model (the National Aeronautics and Space Administration, Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications). The AgMERRA global gridded climate dataset (0.25×0.25) has a horizontal resolution of approximately 25 km. It provides daily, high-resolution, and continuous meteorological datasets for the period 1980-2010. It is proven to be useful for agricultural and meteorological studies. Annual irrigated wheat yield data, soil information (including texture, depth, nitrogen content, and moisture), and management data i.e. variety, planting date, planting depth, and row spacing were obtained from agricultural stations across the province. The Crop Simulation Model (CERES-wheat module) of the DSSAT version 4.6 was used to simulate irrigated wheat yield. DSSAT (Decision Support System for



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.89213.1344>

Agrotechnology Transfer) is a package of several dynamic simulation models for over 42 crops that has been tested and applied for more than 30 years in more than 174 countries with acceptable results. The reported genetic coefficients for selected wheat variety from previous studies in the region were used. The statistical indices, including the coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE) and normalized root mean square error (NRMSE) were used for comparisons and evaluation of the model performance for both runs using observed and reanalysis weather data.

Results and Discussion

The comparison between observed and reanalysis AgMERRA climate data in all seven study stations revealed a good agreement with correlation coefficient ranging from 0.67 to 0.92 and highest correlation was observed in air temperature time series. Besides, the error indices range for AgMERRA dataset determined as MAE from 3.87 to 4.11 and RMSE from 4.93 to 7.76. The model was run for simulation of Pishtaz variety yield, which has already been calibrated and evaluated in Khorasan Razavi province, using observed and AgMERRA climatic data. According to NRMSE, RMSE, and R^2 statistical indices application of observed climatic data for simulation of the selected wheat yield is more accurate with R^2 between 0.63-0.72 in study stations compared to AgMERRA data application with R^2 ranging from 0.50 to 0.67.

Conclusion

According to statistical metrics, the use of observed data comparing to AgMERRA reanalysis provided better estimations of irrigated wheat in all study stations. Although the AgMERRA may also be used as a suitable alternate data with acceptable accuracy. Therefore, the climate datasets can be recommended as an input of crop models in regions with limited or non-reliable climate data. Further studies using another climate datasets and other crops is required for more scrutiny.

Acknowledgment

Authors would like to acknowledge the Seed and Plant Improvement Institute, Iran Ministry of Agriculture, and also Iran Meteorological Organization for their assistance and providing required data.

Keywords: Crop models, Error Index, Reanalysis data, Yield estimation

شبیه‌سازی عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی رقم پیش‌تاز با استفاده از داده‌های

AgMERRA و مدل DSSAT در استان خراسان رضوی

سعیده کمالی^۱، نوذر قهرمان^{۲*}، محمد بنیان اول^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲

چکیده

هدف از این مطالعه، شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی (رقم پیش‌تاز) در هفت شهرستان استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های باز تحلیل DSSAT و مدل گیاهی AgMERRA است. بدین منظور از داده‌های آماری هفت ایستگاه هواشناسی شامل مشهد، کاشمر، نیشابور، گناباد، تربت‌جام، تربت‌حیدریه و سبزوار و داده‌های عملکرد واقعی دریافتی از وزارت جهاد کشاورزی برای شهرستان‌های مذکور در طی دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۸۸ استفاده شد. همچنین داده‌های باز تحلیل AgMERRA در همین دوره برای هفت ایستگاه مورد مطالعه دریافت شد و شبیه‌سازی عملکرد گندم رقم پیش‌تاز توسط مدل DSSAT انجام گردید. نتایج بررسی کیفیت داده‌های باز تحلیل AgMERRA نشان داد که همبستگی و توافق خوبی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های AgMERRA در هفت ایستگاه مطالعاتی وجود دارد (ضریب همبستگی از ۰/۶۷ تا ۰/۹۸) به‌طوری‌که بیشترین همبستگی مربوط به داده‌های دما می‌باشد. همچنین در ایستگاه‌های مطالعاتی، شاخص‌های خطای این مجموعه داده دارای مقادیر MAE از ۳/۸۷ تا ۴/۱۱، RMSE از ۴/۹۳ تا ۷/۷۶ هستند. بررسی نتایج شاخص‌های آماری RMSE، NRMSE و R^2 حاصل از مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل DSSAT با استفاده از داده‌های AgMERRA و داده‌های مشاهداتی با عملکرد واقعی نشان داد که عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های AgMERRA روند تغییراتی مشابه داده‌های عملکرد واقعی دارند و به‌خوبی توانستند تخمین مناسبی از عملکرد گندم بزنند. همچنین دو مجموعه داده دارای مقادیر خطای کمی (NRMSE داده‌های AgMERRA از ۹/۲۱ تا ۱۱/۸۹ و NRMSE داده‌های مشاهداتی از ۶/۵۳ تا ۱۰/۱۲) بودند. لذا کاربرد مدل با استفاده از این پایگاه داده‌های اقلیمی در شرایط کمبود داده‌های مشاهداتی معتبر قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: تخمین عملکرد، داده‌های بازتحلیل، شاخص خطا، مدل‌های گیاهی

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین تولیدات زراعی جهان است و در بین غلات از نظر سطح زیر کشت و تولید سالانه، مقام اول را دارد (Aslani, Davari, Mahmoodi, Hosseinpahani & Khaleghpanah, 2021). تغییرات آب‌وهوایی می‌تواند اثرات شدیدی بر منابع غذایی ایجاد کند، بنابراین یکی از چالش‌های اصلی کشاورزی مدرن برای تأمین امنیت آینده، توسعه رهیافت‌هایی برای مقابله با تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی و اقلیمی است (Eyshi Rezaei & Lashkari, 2019; Raymundo et al., 2018). مدل‌سازی روشی است که جهت اتخاذ پیش‌بینی سیستم‌های کشت و تصمیم‌های راه‌گشا در مورد عملکرد زراعی گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اتخاذ تصمیم‌های درست و راهبردی در تولید محصولات کشاورزی و برنامه‌ریزی برای تأمین نیاز غذایی جمعیت روبه‌رشد نیازمند پیش‌بینی و مدل‌سازی عملکرد زراعی گیاهان است. مدل‌های

در شرایط کنونی، تأمین امنیت غذایی و حفظ آن به‌ویژه با توجه به تقاضای روزافزون و رشد چشمگیر جمعیت از یک سو و بهره‌برداری شدید و ناصحیح از منابع و ذخایر محدود و تجدیدنپذیر و نیز بروز چالش‌هایی چون تغییر اقلیم از سوی دیگر، اهمیت بسیار بالایی دارد. پیش‌بینی شده است که در سال ۲۰۵۰، جمعیت جهانی به ۹/۷ میلیارد نفر برسد. در این شرایط، کاهش خسارات وارده و حفظ سطح تولید مواد غذایی، به‌اندازه افزایش تولید و بهره‌وری اهمیت دارد

۱- گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(Email: nghahreman@ut.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول: <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.89213.1344>

زراعی، در واقع بیان ریاضی مراحل و فرآیندهای رشد گیاه هستند که امکان شبیه‌سازی پاسخ رشد، نمو و تولید عملکرد را تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی فراهم می‌آورند، و از این جهت مورد توجه هستند (Dahmardeh, Shahriari, Pahlavan Rad, Shabani & Ghoebani, 2021). در واقع، مدل‌ها با استفاده از داده‌های اقلیمی، خاک، ژنتیکی و مدیریت زراعی، رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی را پیش‌بینی می‌کنند. از سوی دیگر، مدل‌های شبیه‌سازی عملکرد، نیازمند داده‌های باکیفیت روزانه هواشناسی در بازه زمانی مورد مطالعه می‌باشند. به‌طور تقریبی، همه شاخص‌های اقلیمی کشاورزی که براساس دو متغیر دما و بارش محاسبه می‌شوند و متأثر از تغییرات اقلیمی آینده هستند، شرایط رشدونمو گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار خواهند داد (Wart Van et al., 2015). بنابراین در سال‌های اخیر، استفاده از داده‌های آب‌وهوایی باز تحلیل^۱ و شبکه‌بندی شده به‌عنوان داده‌های شبه‌مشاهداتی، به‌ویژه برای مطالعات اقلیمی، پیش‌بینی عددی وضع هوا، و در زمینه کشاورزی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این مجموعه داده نتیجه تحلیل مجدد داده‌های ماهواره‌ها CMORPH، MERRA و PERSIANN و داده‌های دیدبانی ۲۳۲۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق مهم کشاورزی جهان است. قبل از به‌کارگیری محصولات باز تحلیل در مطالعات، ارزیابی عملکرد آن‌ها در هر منطقه ضروری است (Folberth, Gaiser, Abbaspour, Schulin, & Yang, 2012; Folberth, Gaiser, Abbaspour & Schulin, 2013; Javanshiri, Asadi, Oskouei, Flamarzi, & Abasi, 2023). با این حال باید توجه داشت که در تولید داده‌های آب‌وهوایی بلندمدت با پوشش جهانی، منابع خطا می‌تواند باعث برآوردهای کمتر یا بیشتر عملکرد محصول و تغییرات آن در طول زمان شود (Wart Van et al., 2015). لذا با وجود کارایی زیاد مجموعه داده‌های آب‌وهوایی شبکه‌بندی شده، به‌منظور آگاهی از دقت آن‌ها باید قبل از استفاده در مناطق مختلف مورد ارزیابی قرار بگیرند. یکی از این مجموعه داده، داده‌های AgMERRA^۲ می‌باشند.

پژوهشگران مختلفی به بررسی کیفیت داده‌های باز تحلیل پایگاه‌های داده نظیر مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/ مرکز ملی تحقیقات جو (NCAR/NCEP)، CRU، ECMWF در مناطق مختلف و برای متغیرهای مختلف اقلیمی پرداخته‌اند. لشکری و همکاران (Lashkari et al., 2016) به بررسی امکان‌سنجی استفاده از پایگاه داده AgMERRA برای تکمیل داده‌های ناقص و گم‌شده موجود در ایستگاه‌های سینوپتیک گلمکان و مشهد

پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مجموعه داده AgMERRA قدرت خوبی در تخمین داده‌های گم‌شده حداکثر و حداقل دمای روزانه دشت مشهد دارد. همچنین داده‌های آب‌وهوایی، زیربنای طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها و مطالعات کاربردی در علوم کشاورزی است. یعقوبی و همکاران (Yaghoubi, Bannayan Aval & Asadi, 2018) در مطالعه‌ای با هدف ارزیابی داده‌های AgMERRA در شبیه‌سازی نیاز آبی و عملکرد گندم در استان خراسان رضوی از داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک تربت‌جام، تربت‌حیدریه، سبزوار، سرخس، قوچان، کاشمر، گناباد، نیشابور و مشهد استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که می‌توان از داده‌های AgMERRA جهت برآورد میانگین بلندمدت نیاز آبی و عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. با این وجود این مجموعه داده جهت شبیه‌سازی دقیق نیاز آبی و عملکرد در یک سال خاص زیاد قابل اعتماد نیست. جهان و همکاران (Jahan, Farhadi, Bannayan Aval, Fallah & Yaghoubi, 2023) به‌منظور تعیین عوامل محیطی و مدیریتی بر عملکرد گندم آبی در نواحی مختلف استان خراسان شمالی، روند تغییرات عملکرد در بازه زمانی ۱۹۸۰-۲۰۱۷ را با استفاده از مجموعه داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA و مدل DSSAT مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج آن‌ها، ۶۳ درصد از تغییرات عملکرد گندم آبی توسط عوامل محیطی (دما و بارندگی) و ۳۷ درصد آن توسط عوامل مدیریتی توضیح داده می‌شوند. به‌طور کلی، نتایج آن‌ها نشان داد که با به‌کار بستن شیوه‌های مدیریتی مؤثر، به‌ویژه انتخاب تاریخ کاشت مناسب می‌توان در جهت بهبود عملکرد گندم اقدام نمود. لشکری و همکاران (Lashkari et al., 2016) اعتبارسنجی کیفیت مجموعه داده‌های پایگاه AgMERRA را در دو ایستگاه گلمکان انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مورد پارامتر بارش نیاز هست که ایستگاه‌های بیشتری مطالعه شود تا بتوان در مورد اعتبار پایگاه داده AgMERRA به نتیجه قابل اعتمادی دست یافت. در مطالعه دیگری جهت تعیین همبستگی بین داده‌های پایگاه AgMERRA و ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبخیز کشف رود در دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۰، شاخص‌های مختلف خشکسالی با استفاده از این دو مجموعه داده محاسبه شد. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌های خشکسالی به‌دست‌آمده از داده‌های AgMERRA نسبت به ایستگاه‌های زمینی همبستگی بیشتری دارند (Salehnia et al., 2017). امکان استفاده از پایگاه AgMERRA از طریق مقایسه آن‌ها با داده‌های دیده‌بانی با محاسبه شاخص‌های نکویی برآزش در سه ایستگاه قندهار، کابل و هرات در کشور افغانستان طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۰ بررسی و تأیید شد (Razavi, Nassiri Mahallati, Koocheki & Beheshti, 2018). امکان‌سنجی استفاده از داده‌های پایگاه‌های هواشناسی شبکه‌بندی شده CRU، AgMERRA، AgCFSR و CRU-GPCC در برآورد عملکرد و نیاز آبی گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) بررسی و

1- Reanalysis data

2- Agro-Meteorological Earth Observations from Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications

داده‌های اقلیمی غیرمشاهداتی در خراسان رضوی، هدف از این مطالعه، بررسی کیفیت داده‌های باز تحلیل AgMERRA به‌عنوان ورودی مدل DSSAT جهت شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی می‌باشد.

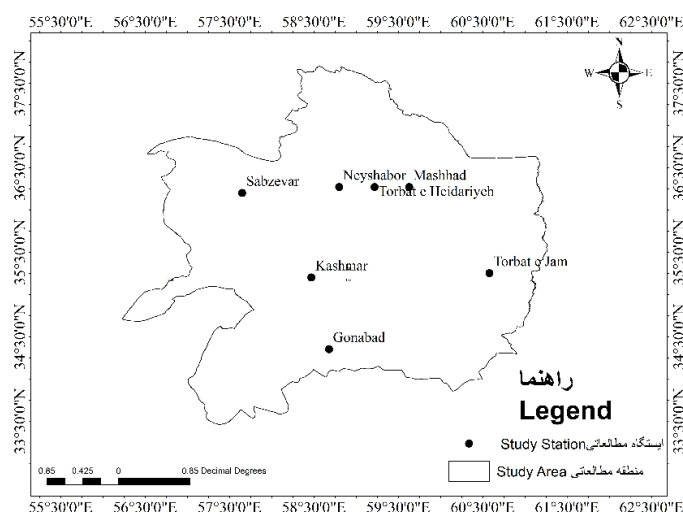
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی با مساحت حدود ۱۱۶۴۸۵ کیلومترمربع بین مدار ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض جغرافیایی در شمال شرق ایران قرار دارد (شکل ۱). کشاورزی در این منطقه گسترده با بیش از شش میلیون جمعیت، نقش مهمی در اقتصاد منطقه دارد. خراسان رضوی دارای تنوع بالای آب‌وهوایی است (Bannayan, Sanjani, Alizadeh, Lotfabadi & Mohammadian, 2010). این استان هفت درصد کل مساحت ایران را در برمی‌گیرد. ۴۹/۲ درصد سطح استان را مناطق کوهستانی و ۵۰/۸ درصد آن را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. این استان دارای ۲۸ شهرستان، ۷۳ شهر و ۷۰ بخش است. پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی براساس شاخص دومازن نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد از مساحت استان در گستره آب‌وهوایی خشک بیابانی سرد و نیمه‌خشک بیابانی قرار گرفته است. حدود ۲۰ درصد از مساحت استان دارای آب‌وهوای خشک بیابانی معتدل می‌باشد. طبقات آب‌وهوایی فراخشک سرد، فراخشک معتدل و نیمه‌خشک معتدل کمتر از ۱۰ درصد از مساحت استان را به خود اختصاص داده‌اند (Zandi, 2016).

نتایج با مقادیر برآوردشده داده‌های ایستگاهی قزوین مقایسه شد و نشان داد که در برآورد نیاز آبی پایگاه GPCC و در عملکرد گندم پایگاه AgMERRA بیشترین همبستگی را با داده‌های ایستگاهی داشتند (Bahroloum, Ramezani Etedali, Azizian & Ababaei, 2020). اعتبار و امکان استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده AgMERRA در مطالعات کشاورزی-اقلیمی در استان خراسان شمالی ارزیابی و تأیید شد (Farhadi, Jahan, & Bannayan Aval, 2021). در تخمین ردپای آب ذرت در دشت قزوین، داده‌های دو پایگاه AgMERRA و GPCC صحت‌سنجی شده و نتایج حاکی از اعتبار هر دو پایگاه هستند (Ramezani Etedali, Gorgin & Kakvand, 2022). روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش در حوضه آبخیز بختگان با استفاده از داده‌های ایستگاهی و AgMERRA بررسی و اعتبار داده‌های این پایگاه در مطالعات حدی بارش در این حوضه تأیید شد (Jowkar, Panahi, Sadatinejad, & Shakiba, 2021).

با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک در امنیت غذایی، پیش‌بینی دقیق عملکرد آن امری مهم جهت برنامه‌ریزی و اتخاذ سیاست‌های مناسب در جهت مدیریت تولید آن محسوب می‌شود. از طرفی دیگر، با توجه به بررسی سابقه تحقیق پیش‌بینی عملکرد محصولات گیاهی با استفاده از مدل‌های گیاهی، نیازمند داده‌های ورودی باکیفیت و طولانی‌مدت است، بنابراین استفاده از پایگاه داده‌های مختلف اقلیمی به‌عنوان داده‌های شبه‌مشاهداتی در مطالعات اقلیمی-زراعی اهمیت دارد. با توجه به محدودیت مطالعات پیشین جهت پیش‌بینی عملکرد گندم آبی با استفاده از مدل DSSAT و امکان‌سنجی کاربست این مدل با



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های مطالعاتی در محدوده استان خراسان رضوی

Figure 1- The distribution of study stations in Khorasan Razavi province

داده‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه

در این مطالعه از آمار روزانه هفت ایستگاه هواشناسی مشهد، نیشابور، گناباد، تربت حیدریه، تربت جام، سبزوار و کاشمر استفاده شد که داده‌های مورد استفاده در این مطالعه در مقیاس روزانه طی دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۸۸ شامل داده‌های باز تحلیل آب‌وهوایی AgMERRA با قدرت تفکیک $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ، داده‌های مشاهداتی شامل داده‌های بارش ۲۴ ساعته، دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه،

سرعت باد، ساعات آفتابی، داده‌های عملکرد سالانه گندم آبی، اطلاعات خاک شامل بافت خاک، ساختمان خاک، عمق نفوذ، میزان نیتروژن خاک، درصد رس، سیلت، شن، رطوبت خاک و اطلاعات مدیریت زراعی شامل رقم، تاریخ کاشت، عمق کاشت و فاصله ردیف‌ها می‌باشند (جدول ۱). لازم به ذکر است که برای تبدیل داده‌های ساعات آفتابی به تابش خورشید از رابطه آنگستروم پرسکات استفاده شد.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به داده‌های مورد استفاده در تحقیق به همراه منبع دریافت آن‌ها

Table 1- Information used in the research along with the source of its receipt

شماره Number	داده مورد استفاده Data used	پارامترهای جمع‌آوری شده Parameters collected	منبع دریافت داده Source of data
1	داده‌های باز تحلیل آب‌وهوایی AgMERRA AgMERRA reanalysis data	داده‌های بارش ۲۴ ساعته، دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه، سرعت باد، تابش خورشید Precipitation data, daily maximum and minimum temperatures, wind speed, solar radiation	http://data.giss.nasa.gov/impacts/agmipcf/AgMERRA
2	داده‌های مشاهداتی Observational data	داده‌های بارش ۲۴ ساعته، دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه، سرعت باد، ساعات آفتابی Precipitation data, daily maximum and minimum temperatures, wind speed, sunshine hours	سازمان هواشناسی کشور (www.irimo.ir) Iranian Meteorological Organization (www.irimo.ir)
3	عملکرد سالانه گندم آبی Annual yield of irrigated wheat		وزارت جهاد کشاورزی (https://maj.ir/) Ministry of Agricultural Jihad (https://maj.ir/)
4	اطلاعات خاک Soil information	بافت خاک، ساختمان خاک، عمق نفوذ، میزان نیتروژن خاک، درصد رس، سیلت، شن، رطوبت خاک Soil texture, soil structure, penetration depth, soil nitrogen content, percentage of clay, silt, sand, soil moisture	نمونه‌های جمع‌آوری شده توسط مراکز تحقیقات جهاد کشاورزی و مطالعات قبلی Samples collected by Jihad Keshavarzi Research Centers and previous studies
5	اطلاعات مدیریت زراعی Crop management information	رقم، تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله ردیف‌ها Cultivar, planting date, planting depth, row spacing	مؤسسه اصلاح و نهال بذر کرج به آدرس (http://spii.ir/) وزارت جهاد کشاورزی کشور به آدرس (https://maj.ir/) Seed and Plant Improvement Institute (http://spii.ir/) Ministry of Agricultural Jihad (https://maj.ir/)

مدل گیاهی مورد مطالعه

مدل DSSAT^۱ (سیستم پشتیبانی تصمیم برای انتقال فناوری کشاورزی)، در سال ۱۹۸۹ توسط یک شبکه بین‌المللی از دانشمندان^۲، به‌منظور تسهیل استفاده از مدل‌های زراعی توسعه یافت و به‌صورت موفقیت‌آمیزی در سراسر جهان و برای شرایط و مکان‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. مدل DSSAT به اطلاعات هواشناسی، خاک، مدیریت زراعی و رقم زراعی به‌عنوان ورودی جهت

شبیه‌سازی نیاز دارد. این مدل با دریافت ورودی‌ها، محاسبات را از زمان کاشت تا رسیدگی انجام داده و مراحل فنولوژی، تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، رشد ریشه، ساقه، برگ و دانه گیاه و همچنین توازن رطوبت و نیتروژن خاک، میزان مصرف آب و نیتروژن گیاه و تأثیر تنش‌های آب و نیتروژن را بر رشدونمو شبیه‌سازی می‌کند. ارقام مختلف گیاهان از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناختی با یکدیگر تفاوت دارند که این اختلاف در رشدونمو گیاهان تأثیر می‌گذارد و باید به‌نوعی در مدل‌های شبیه‌سازی در نظر گرفته شود. این مشخصات توسط هفت پارامتر به‌نام ضرایب ژنتیک شامل تأثیر بهاره‌سازی (P1V) و فتوپریود (P1D) بر نمو، مدت زمان پرشدن دانه (P5)، فیلوکورن (PHINT) و پارامترهای مربوط به رشد

- 1- Decision Support System for Agrotechnology Transfer
- 2- International Benchmark Sites Network for Agro Technology Transfer

شده‌اند استفاده گردید (Fallah, Nezami, Khazaie, & Nassiri, 2020). همچنین در ادامه، اطلاعات کلی مربوط به رقم پیش‌تاز (جدول ۳) و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ایستگاه‌های مطالعاتی (جدول ۴) که برای اجرا و ارزیابی مدل در شهرستان‌های مورد نظر استفاده گردید، ارائه شده است.

دانه که شامل تعداد دانه در هر واحد وزن تاج‌پوشش در گرده‌افشانی برحسب تعداد در گرم در مترمربع (G1)، سرعت بالقوه رشد دانه برحسب میلی گرم در روز (G2) و وزن خشک ساقه در شرایط مطلوب رشد برحسب گرم (G3) است. لازم به ذکر است که در این مطالعه از ضرایب ژنتیکی گندم آبی رقم پیش‌تاز (جدول ۲) که کالیبره و ارزیابی

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی گندم آبی رقم پیش‌تاز در استان خراسان رضوی

Table 2- Genetic coefficients of Pishtaz irrigated wheat in Khorasan Razavi province

مدل	فایل	پارامتر	رقم پیش‌تاز
Model	File	Parameter	Pishtaz variety
CERES-Wheat	رقم Cultivar	PIV	0
		PID	116
		P5	870
		G1	19
		G2	39
		G3	3.8
	اکوتیپ Ecotype	PHINT	83
		P1	280
		P2	200
		P3	135
		P4	240
		LARS ¹	2
		LAFV ²	0.05
		SLAS ³	350
		LSPHS ⁴	5.3
		LSPHE ⁵	6.5
		TIL#S ⁶	5.5
		TIPHE ⁷	2
		TIFAC ⁸	0.5
		TDFAC ⁹	20

جدول ۳- اطلاعات کلی مربوط به رقم پیش‌تاز

Table 3- General information related to Pishtaz Cultivar

رقم Cultivar	تاریخ کاشت Planting date	زمان برداشت Harvest time	طول دوره رشد Length of growing period (day)	مقدار آب مصرفی در هر دور آبیاری Amount of water used per irrigation period (m ³ ha ⁻¹)	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (kg ha ⁻¹)	کود فسفر Phosphorus fertilizer (kg ha ⁻¹)	کود پتاس Potash fertilizer (kg ha ⁻¹)	دور آبیاری Irrigation period (day)
پیش‌تاز Pishtaz	اواسط آبان تا اوایل آذر Leading Mid-November to early December Late June to early July	اواخر خرداد تا اوایل تیر Late June to early July	210-220	512-837	130	90	0-10	8

- 1- Area of standard reproductive phase leaf
- 2- Increase in potential area of leaves, vegetative phase (fr leaf⁻¹)
- 3- Specific leaf area, standard (cm² g⁻¹)
- 4- Final leaf senescence starts (GrowthStage)
- 5- Final leaf senescence ends (GrowthStage)
- 6- Tiller production starts (leaf #)
- 7- Tillering phase end stage (GrowthStage)
- 8- Tiller initiation (rate) factor (fr of phyllochron based)
- 9- Tiller death factor (%/st.day when tiller wt 2xstandard wt)

جدول ۴- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ایستگاه‌های مطالعاتی
Table 4- Physical and chemical characteristics of soil in Study Stations

ایستگاه Station	نیتروژن (%) Nitrogen (%)	فسفر (mm) Phosphorus (mm)	پتاس (ppm) Potassium (ppm)	اسیدیته Acidity	شوری (dS m ⁻¹) Salinity (dS m ⁻¹)	کربن آلی (%) Organic Carbon (%)	نقطه ظرفیت زراعی (%) Field Capacity (%)	نقطه پژمردگی دائم (%) Permanent Wilting Point (%)	بافت خاک Soil Texture	شن Sand	سیلت Silt	ریز Clay
تربت جام Torbat E Jam	0.03	8.80	180.00	7.87	9.80	0.47	31.77	14.01	لومی رسی Clay loam	27.28	38.00	34.72
تربت حیدریه Torbat E Heidariyeh	0.05	9.00	210	7.80	7.80	0.58	20.01	9.34	لومی Loam	44.34	44.34	21.66
کاشمر Kashmar	0.03	7.40	225	7.90	7.60	0.17	18.23	8.28	لومی Loam	47.33	36.50	16.16
مشهد Mashhad	0.04	7.80	205	7.70	9.00	0.16	24.03	10.65	لومی Loam	41.33	33.34	25.33
نیشابور Neyshabor	0.05	7.60	187	7.61	4.50	0.57	22.01	0.12	لومی Loam	43.6	36.00	20.4
گناباد Gonabad	0.07	7.30	200	7.31	7.31	0.63	25.03	9.80	لومی Loam	44.2	37.26	18.42
سبزوار Sabzevar	0.04	7.80	185	7.80	7.80	0.72	19.80	9.10	لومی Loam	43.21	40.22	20.4

سنج‌های ارزیابی داده‌ها

مثبت بی‌نهایت تغییر می‌کند. هرچه میزان خطای مقادیر شبیه‌سازی شده کمتر باشد، مقدار این شاخص به صفر نزدیک‌تر و دقت مدل بیش‌تر است. NRMSE نرمال شده RMSE است (رابطه ۳). اگر درصد این معیار بین صفر تا ۱۰ باشد، شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ متوسط، بین ۲۰ تا ۳۰ قابل قبول و بیشتر از ۳۰ ضعیف خواهد بود (lotfi et al., 2021).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad (2)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}_i} \times 100 \quad (3)$$

که در آن، O_i : مقادیر مشاهده شده و S_i : مقادیر شبیه‌سازی شده و $\bar{O}_i$: مقدار متوسط مقادیر مشاهده شده است. مقدار خطای به‌دست‌آمده از سنج‌های ۲ و ۳ به واحد متغیر مورد اندازه‌گیری بیان می‌شود. سنج RMSE اطلاعاتی را درباره کارایی کوتاه‌مدت مدل از طریق مقایسه جمله به جمله مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی می‌دهد. هرچه مقدار RMSE کمتر باشد، عملکرد مدل بهتر است (Badescu, 2008).

نتایج و بحث

بررسی عملکرد ثبت‌شده گندم آبی در استان خراسان

مهم‌ترین مرحله در سنجش کارایی مدل، اعتبارسنجی نتایج آن مدل نسبت به داده‌های مشاهداتی مستقلی است که در مرحله واسنجی استفاده نشده‌اند (Lotfi, Kamali, Meshkatee & Varshavian, 2021). در این مطالعه، از شاخص‌های آماری ضریب تبیین R^2 ، جذر میانگین مربعات خطا $(RMSE)$ ، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده $(NRMSE)$ ، مورد استفاده قرار گرفتند. ضریب تبیین R^2 قدرت توضیح‌دهندگی مدل را نشان می‌دهد. مقدار R^2 بین صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند. مقدار ۱۰۰، نشان‌دهنده همبستگی کامل بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است. در به‌کارگیری مدل‌ها برای پیش‌بینی عملکرد گفته شده است که مقدار R^2 باید بیش‌تر از ۶۰ درصد باشد (Ozili, 2023; Moriasi et al., 2007).

$$R^2 = \left(\frac{n(\sum O_i S_i) - (\sum O_i)(\sum S_i)}{\sqrt{[n \sum O_i^2 - (\sum O_i)^2][n \sum S_i^2 - (\sum S_i)^2]}} \right)^2 \times 100 \quad (1)$$

که در آن، O_i : مقادیر مشاهده شده و S_i : مقادیر شبیه‌سازی شده است. جذر میانگین مربعات خطا (2) اختلاف نسبی بین مشاهدات و داده‌های شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص از صفر تا

1- Coefficient of determination

2- Root Mean Square Error

3- Normalized Root Mean Square Error

مطالعه از این مجموعه داده به‌عنوان ورودی مدل گیاهی DSSAT جهت شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی رقم پیش‌تاز در هفت شهرستان استان خراسان رضوی استفاده گردید. در ادامه، نتایج ضریب تعیین R^2 و دو سنج RMSE و NRMSE داده‌های مشاهداتی و داده‌های AGMERRA با عملکرد واقعی در جدول ۵ ارائه شده است.

مطابق جدول ۵ همان‌طور که مشاهده می‌شود، سنج NRMSE بین عملکرد محاسباتی با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های واقعی تغییراتی بین ۶/۵۳ تا ۱۰/۱۲ داشت که کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه تربت‌حیدریه و بیشترین مقدار آن مربوط به کاشمر بود. سنج RMSE داده‌های مشاهداتی در مقابل عملکرد واقعی، تغییراتی بین ۳۲۱ تا ۸۰۴ داشتند که بیشترین مقادیر آن مربوط به ایستگاه کاشمر و کمترین مقدار آن مربوط به نیشابور بود. ضریب R^2 تغییراتی بین ۰/۶۳ تا ۰/۷۲ داشت که بیشترین R^2 مربوط به مشهد بود.

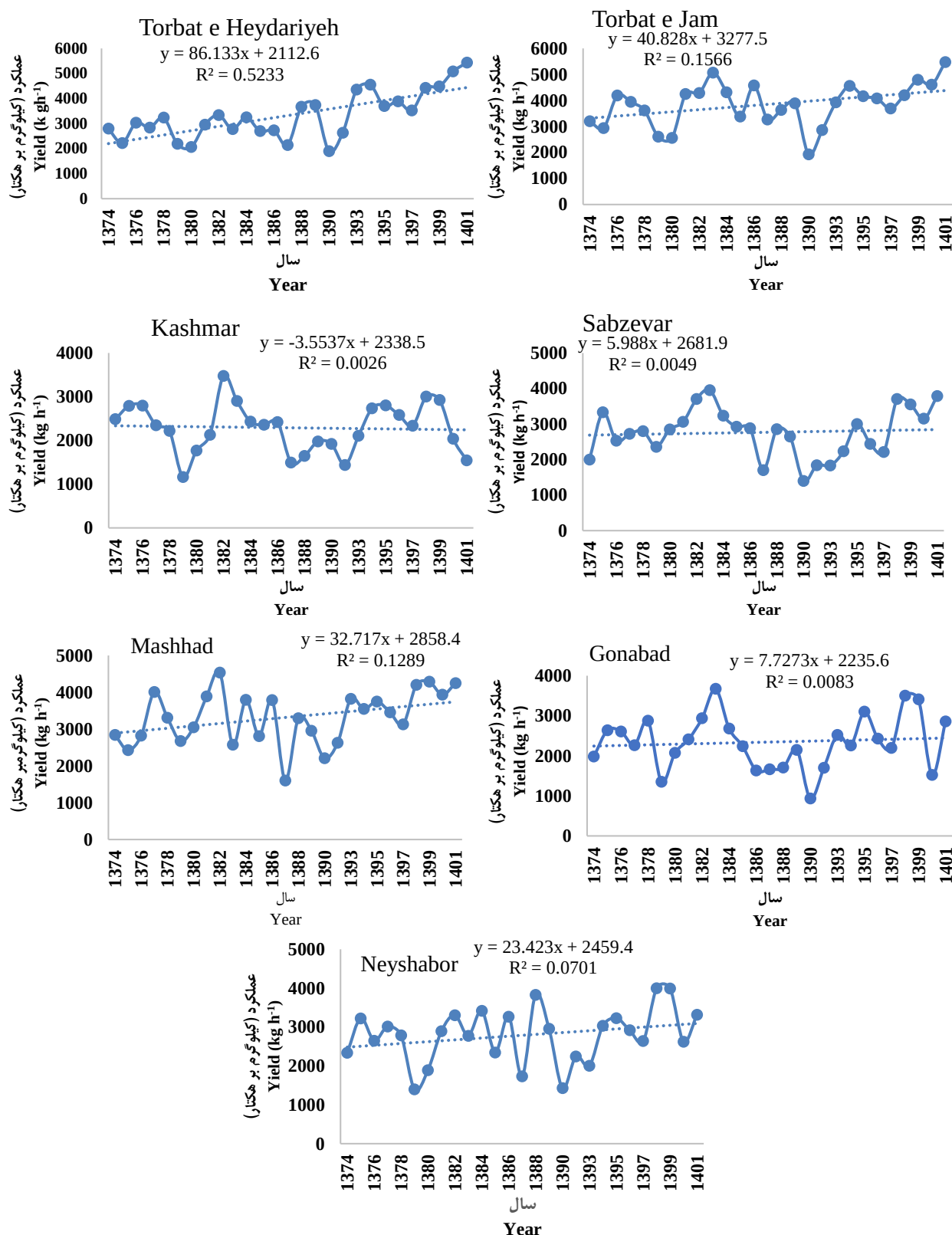
همچنین مقادیر دو سنج RMSE و NRMSE عملکرد محاسباتی با استفاده از داده‌های AGMERRA در مقابل عملکرد واقعی نشان می‌دهد که این دو سنج دارای مقادیر بیشتری نسبت به سنج‌های NRMSE و RMSE داده‌های مشاهداتی دارند و ضریب R^2 داده‌های AGMERRA دارای مقادیر کمتری نسبت به R^2 داده‌های مشاهداتی است، بنابراین مشخص است که داده‌های مشاهداتی با مقادیر خطای کمتر و R^2 بیشتر نسبت به داده‌های AGMERRA، عملکرد گیاهی را در هفت شهرستان مورد مطالعه شبیه‌سازی کردند. از طرفی چون سنج‌های خطا در هر مجموعه داده دارای مقادیر کم هستند، بنابراین هر دو این مجموعه به‌عنوان جایگزینی مناسب برای داده ورودی در مناطقی که داده هواشناسی در دسترس نیست، می‌باشند. این موضوع توسط محققان مختلف از جمله لشکری و همکاران (Lashkari et al., 2016)، یعقوبی و همکاران (Yaghoubi et al., 2018) و جهان و همکاران (Jahan et al., 2023) نیز ثابت شده است.

علاوه بر این نمودار عملکرد محاسباتی با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های AGMERRA در کنار داده‌های واقعی دریافتی از وزارت جهاد کشاورزی ترسیم شد (شکل ۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر هفت ایستگاه مورد بررسی سری زمانی هر سه مجموعه داده دارای روند تغییرات یکسانی بود و هر دو گروه داده مشاهداتی و AGMERRA به‌خوبی توانستند

به‌منظور بررسی اثر عوامل اقلیمی بر عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی، نمودار روند عملکرد واقعی هفت شهرستان مورد مطالعه در دوره آماری در دسترس طبق شکل ۲ ترسیم شد. نتایج نشان داد که شهرستان تربت حیدریه، شیب افزایشی تندتری نسبت به سایر شهرستان‌ها در طول دوره آماری مورد بررسی داشت و پس از آن شهرستان تربت جام و تربت حیدریه بیشترین روند افزایش را داشتند. علاوه بر این معادله رگرسیون و ضریب تعیین (R^2) نشان‌دهنده این است که شهرستان تربت جام با $R^2=0/16$ روند افزایشی در طی دوره مورد بررسی داشت، شهرستان نیشابور با $R^2=0/07$ روندی افزایشی، شهرستان تربت حیدریه با $R^2=0/52$ روندی افزایشی، شهرستان مشهد با $R^2=0/13$ روندی افزایشی، گناباد با $R^2=0/008$ روندی افزایشی، سبزوار با $R^2=0/0049$ روندی افزایشی، کاشمر با $R^2=0/029$ با روندی افزایشی، داشتند که در بین هفت شهرستان مورد بررسی در طی دوره آماری مورد نظر، تربت حیدریه با $R^2=0/52$ و تربت جام با $R^2=0/16$ بیشترین روند افزایشی تولید گندم آبی در استان خراسان رضوی را داشت و در این بین، شهرستان‌های گناباد، سبزوار و کاشمر کمترین تولید را در سطح استان داشتند که شهرستان کاشمر روند کاهشی در طول دوره داشت.

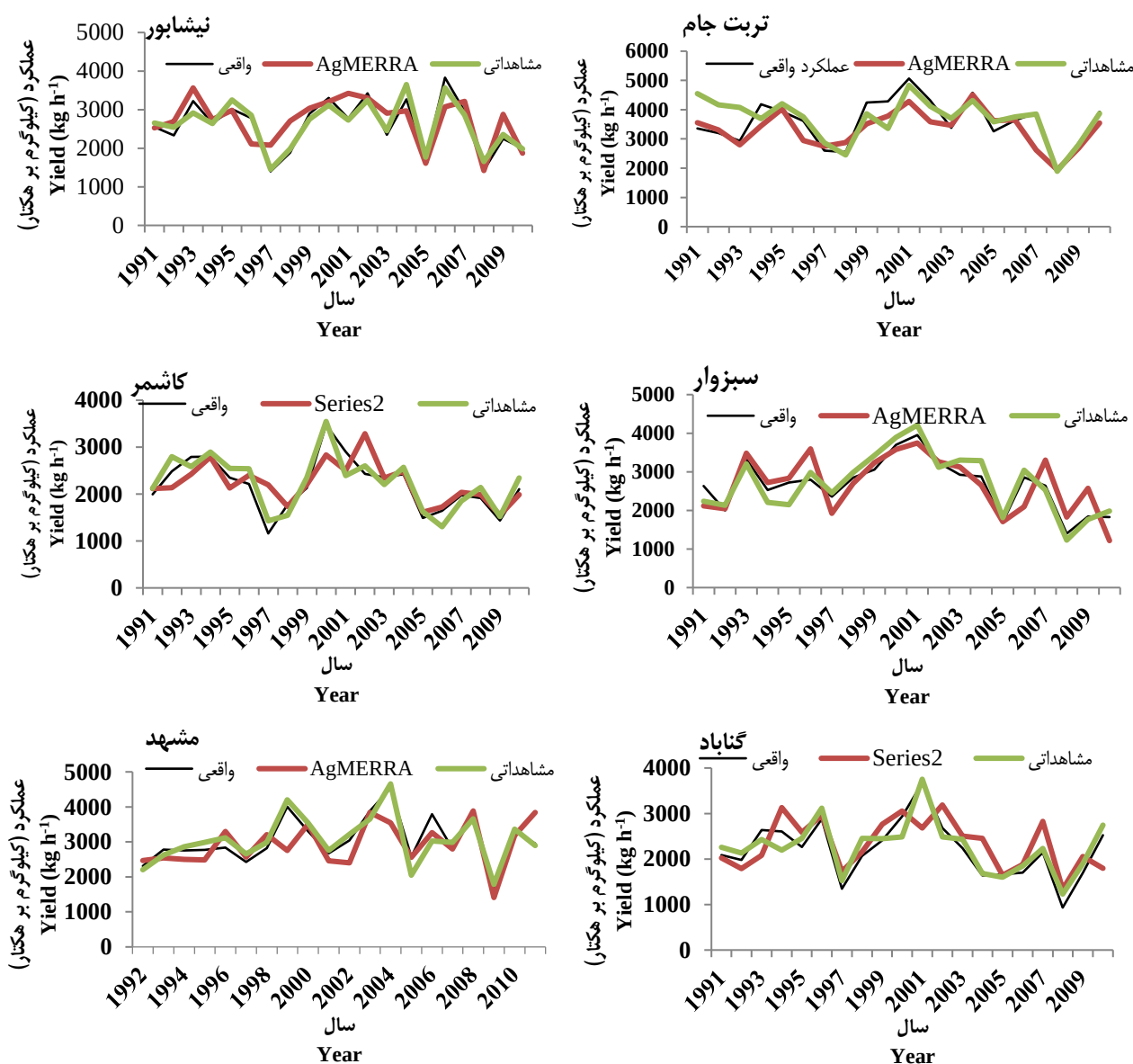
ارزیابی عملکرد داده‌های اقلیمی مشاهداتی و AGMERRA

در شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی پس از دریافت مجموعه داده‌های AGMERRA بررسی کیفیت آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و مشاهده شد که همبستگی و توافق خوبی بین داده‌های مشاهداتی و AGMERRA در داده‌های تابش خورشید، دمای بیشینه، دمای کمینه و سرعت باد در هر هفت ایستگاه مورد مطالعه وجود داشت و اما در مورد بارش همبستگی‌های ضعیفی به دست آمد، به‌طوری‌که در ایستگاه‌های مطالعاتی سنج‌های خطا دارای مقادیر MAE از ۳/۸۷ تا ۴/۱۱، RMSE از ۴/۹۳ تا ۷/۷۶ و r از ۰/۶۷ تا ۰/۹۸ بودند. در این چهار کمیت دمای بیشینه، دمای کمینه، تابش خورشید و بارش، بیشترین همبستگی مربوط به داده‌های دما بود که مقادیر همبستگی دمای بیشینه معمولاً بیشتر از همبستگی داده‌های دمای کمینه بود و کمترین همبستگی‌ها مربوط به داده‌های بارش بود که همبستگی بین ۰/۱۶ تا ۰/۵۷ داشت. این موضوع در پژوهش‌های دیگر توسط محققان نیز گزارش شده است (Lashkari et al., 2016; Yaghoubi et al., 2018). به همین منظور، در این



شکل ۲- روند تغییرات عملکرد واقعی گندم آبی در هفت شهرستان مورد مطالعه در دوره ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۱

Figure 2- The trend of changes in the actual yield of irrigated wheat in the seven studied cities during the period from 1994 to 2022



شکل ۳- نمودار عملکرد محاسباتی با استفاده از داده‌های مشاهداتی و AgMERRA به‌عنوان ورودی مدل DSSAT و عملکرد واقعی در هفت شهرستان مورد بررسی

Figure 3- Chart of computational performance using observation and AgMERRA data as input to the DSSAT model and actual performance in the seven investigated cities

نتیجه‌گیری

اتخاذ تصمیم‌های درست و راهبردی درباره تولید محصولات کشاورزی و برنامه‌ریزی برای تأمین نیاز غذایی جمعیت روبه‌رشد نیازمند پیش‌بینی و تخمین عملکرد گیاهان است. تخمین دقیق رشد و عملکرد گیاه توسط مدل‌های گیاهی بستگی به کیفیت داده‌های ورودی به مدل‌ها از جمله داده‌های اقلیمی، خاک، ژنتیک و مدیریت زراعی دارد. به همین منظور، هدف از این مطالعه بررسی کارایی داده‌های بازتحلیل AgMERRA برای شبیه‌سازی عملکرد گندم

آبی در هفت شهرستان خراسان رضوی است. بنابراین از آمار هواشناسی هفت ایستگاه هواشناسی شامل مشهد، کاشمر، نیشابور، گناباد، تربت‌جام، تربت‌حیدریه و سبزوار در طی دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۶۸ استفاده گردید. همچنین داده‌های باز تحلیل AGMERRA در طی دوره آماری مورد بررسی برای هفت ایستگاه مورد مطالعه دریافت شد. بررسی نمودار تغییرات تاریخی عملکرد واقعی گندم آبی در هفت شهرستان مورد مطالعه نشان‌دهنده این است که از هفت شهرستان مورد بررسی، شهرستان‌های کاشمر، سبزوار و گناباد کمترین تولید گندم آبی در سطح استان را داشتند و شهرستان کاشمر

روند کاهشی در طی دوره ۱۴۰۱-۱۳۷۴ داشت. بیشترین تولید گندم آبی در سطح استان مربوط به شهرستان تربت حیدریه و سپس تربت جام و مشهد می باشد. پس از بررسی کنترل های کیفی لازم بر داده ها، عملکرد گیاهی گندم آبی رقم پیشتاز که این رقم در منطقه خراسان رضوی قبلاً کالیبره و ارزیابی شده است برای هفت شهرستان مورد نظر با استفاده از داده های مشاهداتی و داده های AGMERRA با استفاده از مدل DSSAT محاسبه شد. نتایج شاخص های آماری NRMSE، RMSE و R^2 نشان داد که داده های

مشاهداتی با سنجه های خطای کمتر و R^2 بین ۰/۶۳ - ۰/۷۲ در همه ایستگاه ها نسبت به داده های AGMERRA با R^2 بین ۰/۶۷ - ۰/۵۰ عملکرد بهتری در شبیه سازی عملکرد گندم آبی داشتند. با توجه به اینکه داده های AGMERRA دارای مقادیر خطای کمی (NRMSE بین ۹/۲۱ تا ۱۱/۸۹) هستند، بنابراین این دو مجموعه داده در مناطقی که داده کافی در دسترس نیست، پایگاه داده مناسبی به عنوان ورودی مدل های گیاهی هستند.

جدول ۵- نتایج سنجه های ارزیابی خطا داده های مشاهداتی و AGMERRA در مقابل داده های واقعی در شبیه سازی عملکرد گندم آبی با استفاده از

مدل DSSAT-CSM-CERES-WEATH

Table 5- Results of error evaluation metrics comparing observational data and AGMERRA in simulating irrigated wheat performance using the DSSAT-CSM-CERES-WEATH model

ایستگاه Station	NRMSE داده های مشاهداتی و واقعی NRMSE Observational and actual data	RMSE داده های مشاهداتی و واقعی RMSE Observational and actual data	R^2 داده های مشاهداتی و واقعی R^2 Observational and actual data	NRMSE داده های و واقعی AGMERRA NRMSE AGMERRA and actual data	RMSE داده های و AGMERRA واقعی RMSE AGMERRA and actual data	R^2 داده های و AGMERRA واقعی R^2 AGMERRA and actual data
کناپاد Gonabad	8.27	372	0.68	9.32	561	0.64
سبزواری Sabzevar	8.2	421	0.67	9.21	627	0.54
مشهد Mashhad	9.87	563	0.72	10.12	836	0.51
تربت حیدریه Torbat E Heidariyeh	6.53	351	0.72	10.11	924	0.67
تربت جام Torbat E Jam	7.71	498	0.67	11.12	760	0.59
نیشابور Neyshabor	9.8	321	0.72	10.1	639	0.46
کاشمر Kashmar	10.12	804	0.63	11.89	987	0.56

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری سازمان هواشناسی کشور در تأمین داده های هواشناسی و همچنین وزارت جهاد کشاورزی و مؤسسه اصلاح نهال و بذر کرج به دلیل همکاری در تهیه داده های زراعی و عملکرد، مورد نیاز تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

همچنین نمودارهای عملکرد شبیه سازی شده با استفاده از داده های مشاهداتی و داده های AGMERRA در کنار داده های عملکرد واقعی نشان دهنده این است که هر دو مجموعه داده دارای روندی مشابه داده های واقعی بودند. و هر دو گروه داده مشاهداتی و AGMERRA به خوبی توانستند تخمین مناسبی از عملکرد گیاهی را بزنند که از این دو مجموعه داده، داده های مشاهداتی نسبت به داده های AGMERRA بهتر توانستند عملکرد گندم آبی را شبیه سازی کنند.

References

1. Arun, G., & Ghimire, K. (2019). Estimating post-harvest loss at the farm level to enhance food security: A case of Nepal. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 3(September), 127-136. <https://doi.org/10.31015/iaefs.2019.3.3>
2. Aslani, P., Davari, M., Mahmoodi, M. A., Hosseiniapanahi, F., & Khaleghpanah, N. (2021). Effect of zeolite and nitrogen on some basic soil properties and wheat yield in potato-wheat rotation. *Agricultural Engineering*, 44(1), 97-119. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/agen.2021.37397.1603>

3. Badescu, V. (2008). Modeling solar radiation at the earth's surface. SpringerVerlag, Berlin/Heidelberg.
4. Bahroloum, R., Ramezani Etedali, H., Azizian, A., & Ababaei, B. (2020). Use of gridded weather datasets in simulation of wheat yield and irrigated requirement (Case study: Iran's Qazvin plain). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 7(3), 691-706. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ije.2020.303567.1339>
5. Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S. S., & Mohamadian, A. (2010). Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*, 118(2), 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.04.011>
6. Dahmardeh, A., Shahriari, A., Pahlavan Rad, M. R., Shabani, A., & Ghoebani, M. (2021). Modeling wheat yield using some soil properties at the field scale (Case study: Sistan dam research farm, university of Zabol). *Agricultural Engineering*, 44(1), 81-95. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/agen.2021.35343.1588>
7. Eyshi Rezaei, E., & Lashkari, A. (2019). The consequences of change in management practices on maize yield under climate warming in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 1001-1013. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2637-8>
8. Fallah, M. H., Nezami, A., Khazaie, H. R., & Nassiri Mahallati, M. (2020). Evaluation of DSSAT-Nwheat model across a wide range of climate conditions in Iran. *Journal of Agroecology*, 12(4), 561-580. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v12i4.77250>
9. Farhadi, M., Jahan, M., & Bannayan Aval, M. (2021). Investigation of validity and possibility of using AgMERRA networked dataset in North Khorasan province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(2), 201-217. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.69532.1044>
10. Folberth, C., Gaiser, T., Abbaspour, K. C., Schulin, R., & Yang, H. (2012). Regionalization of a large-scale crop growth model for sub-Saharan Africa: Model setup, evaluation, and estimation of maize yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 151, 21-33. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.026>
11. Folberth, C., Yang, H., Gaiser, T., Abbaspour, K. C., & Schulin, R. (2013). Modeling maize yield responses to improvement in nutrient, irrigated and cultivar inputs in sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems*, 119, 22-34. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.04.002>
12. Jahan, M., Farhadi, M., Bannayan Aval, M., Fallah, M. H., & Yaghoubi, F. (2023). Study of changes in long-term wheat production trend and factors affecting it in North Khorasan province: I- irrigated wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(3), 265-284. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.78172.1192>
13. Javanshiri, Z., Asadi Oskoei, E., Flamarzi, Y., & Abasi, F. (2023). Accuracy assessment of CFS-v2, MERRA-2, ERA-5 temperature over the different regions of Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 17(4), 1-24. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.30499/ijg.2022.360882.1452>
14. Jowkar, L., Panahi, F., Sadatinejad, S. J., & Shakiba, A. (2021). Precipitation extremes variability trend in Bakhtegan Catchment using AgMERRA and stations data. *Irrigation and Irrigated Engineering*, 12(1), 364-381. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22125/iwe.2021.138351>
15. Lashkari, A., Bannayan Aval, M., Koocheki, A., Alizadeh, A., Choi, Y. S., & Park, S. (2016). Applicability of AgMERRA forcing dataset for gap-filling of *in-situ* meteorological observation, case study: Mashhad plain. *Irrigated and Soil*, 29(6), 1749-1758. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v29i6.41686>
16. lotfi, M., Kamali, G., Meshkatee, A., Varshavian, V. (2021). Evaluation of yield changes and length of dryland wheat phenological stages under RCP scenario using DSSAT and AquaCrop models in Western Iran. *Iranian Journal of Soil and Irrigated Research*, 52(10), 2665-2677. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.321307.668925>
17. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
18. Ozili, P. K. (2023). *The acceptable R-square in empirical modelling for social science research*. In social research methodology and publishing results: A guide to non-native english speakers. pp. 134-143. IGI global.
19. Ramezani Etedali, H., Gorgin, F., & Kakvand, P. (2022). Study of the performance of two meteorological datasets in estimating the maize irrigated footprint, a case study: Qazvin Plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(6), 1394-1403. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ije.2022.303567.1339>
20. Raymundo, R., Asseng, S., Robertson, R., Petsakos, A., Hoogenboom, G., Quiroz, R., Hareau, G., & Wolf, J. (2018). Climate change impact on global potato production. *European Journal of Agronomy*, 100(November 2016), 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.008>
21. Razavi, A. R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Beheshti, A. (2018). Applicability of AgMERRA for gap-filling of Afghanistan *in-situ* temperature and precipitation data. *Irrigated and Soil*, 32(3), 601-616. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i3.68501>

22. Salehnia, N., Alizadeh, A., Sanaeinejad, H., Bannayan, M., Zarrin, A., & Hoogenboom, G. (2017). Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. *Journal of Arid Land*, 9, 797-809.
23. Van Wart, J., Grassini, P., Yang, H., Claessens, L., Jarvis, A., & Cassman, K. G. (2015). Creating long-term weather data from thin air for crop simulation modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 209, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.020>
24. Yaghoubi, F., Bannayan Aval, M., & Asadi, G. A. (2018). Evaluation of grided AgMERRA weather data for simulation of irrigated requirement and yield of rainfed wheat in Khorasan Razavi province. *Irrigated and Soil*, 32(2), 415-431. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i2.68948>
25. Zandi, R. (2016). Climate classification of Khorasan-Razavi province by the Dumartin method using geographic information system. *Geographical Sciences, Architecture and Urban Planning Research Quarterly*, 1(10). (in Persian with English abstract).



The Effect of Combined Use of Nitrogen Fertilizer and Seaweed on Yield Components and Grain Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) Variety Hashemi

S. L. Tahae Roudsari¹, M. Ashouri^{2*}, N. Mohammadian Roshan², S. M. Sadeghi²

1- Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

2- Department of Agriculture, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

(*- Corresponding author's Email: Majid.Ashouri69@iau.ac.ir)

Received: 13 August 2024
Revised: 09 November 2024
Accepted: 19 November 2024
Available Online: 12 April 2025

How to cite this article:

Tahae Roudsari, S. L., Ashouri, M., Mohammadian Roshan, N., & Sadeghi, S. M. (2025). The effect of combined use of nitrogen fertilizer and seaweed on yield components and grain yield of Rice (*Oryza sativa* L.) variety Hashemi. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 271-284. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.89365.1346>

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is the staple food of half of the world's population, providing 21% of the energy and 15% of the protein of residents of rice-growing regions. Compared to other essential elements, rice needs more nitrogen. Therefore, for higher plant growth and productivity, nitrogen is used excessively. Nitrogen plays a vital role in the growth and development of rice and is an important part of enzymes, chlorophyll, nucleic acids, storage proteins, cell walls, and other cellular components. Excessive nitrogen application has resulted in many adverse effects such as increased nitrogen oxide emissions, reduced nitrogen use efficiency (NUE), and poor economic returns. Combining chemical fertilizers with biological and organic fertilizers is one of the ways to reduce the excessive consumption of chemical fertilizers. The use of seaweed as fertilizer in recent years has led to an increase in the quantity and quality of agricultural products due to its bioactive compounds. The purpose of this experiment was to investigate the effect of different levels of nitrogen fertilizer and seaweed foliar application on yield components, biomass, and grain yield of Hashemi rice cultivar in the Rudsar region.

Materials and Methods

In order to determine the appropriate level of nitrogen fertilizer and seaweed extract on the yield and yield components of Hashemi cultivar, an experiment was conducted, in Kishakjan village, Rudsar city, in Guilan province in 2022 and 2023. The experiment used the split plots in the form of randomized complete block design with three replications, the main factor being nitrogen fertilizer from the urea source at five levels (zero (control: without fertilizer use), 25, 50, 75 and 100 percent of nitrogen needed by the plant) and the sub factor of foliar spraying of fertilizer containing seaweed extract at four levels (zero (control: without seaweed use), 0.5, 1 and 1.5 liters per hectare) were considered.

Results and Discussion

The results showed that the application of nitrogen fertilizer levels and seaweed foliar application was significant on the investigated characteristics. So that the highest number of chlorophyll content (35), spike length (29.3 cm), thousand grain weight (26.3 g), grain yield (4014 kg ha⁻¹), biological yield (7690.8 kg ha⁻¹) and the harvest index (59.5%) was obtained in the application of 75% nitrogen fertilizer. In addition, the highest amount of the characteristics expressed in foliar spraying of seaweed fertilizer with a concentration of 1 lit ha⁻¹



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.89365.1346>

was obtained, which was not significantly different from the concentration of 1.5 1 lit h⁻¹. The results of the interaction of experimental treatments also showed that the highest plant height (150 cm), the number of spike (29), the number of full seeds (132.4), respectively, were related to the application of 100% nitrogen fertilizer* 1 lit ha⁻¹ of seaweed and 75% nitrogen fertilizer* 1 lit ha⁻¹ of seaweed. The lowest number of unfilled seeds (4.2) and percentage of unfilled seeds (3.5) were recorded for the application of 75% nitrogen fertilizer*no use of seaweed fertilizer and 75% nitrogen fertilizer*1 lit ha⁻¹ of seaweed fertilizer, respectively.

Conclusion

Nowadays, due to the high environmental and economic costs of chemical fertilizers, the use of fertilizers of biological and organic origin has received more attention than ever before. Based on the results of this study, foliar application of seaweed fertilizer in combination with nitrogen fertilizer significantly increased plant height, number of panicles, number of grain per panicle, and number of full grain per panicle. Nitrogen fertilizer application and foliar application of seaweed extract also increased chlorophyll content, panicle length, and 1000-grain weight, improving paddy yield and biological yield of Hashemi rice cultivar. In general, foliar application of one liter per hectare of seaweed and use of 50 and 75% nitrogen fertilizer was the best treatment to increase yield and yield components of Hashemi variety in the study region.

Keywords: Chlorophyll, Fertilizer, Rice yield, Thousand grain weight

اثر مصرف تلفیقی کود نیتروژن و جلبک دریایی بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa* L.) رقم هاشمی

سیده لادن طاهائی رودسری^۱، مجید عاشوری^{۲*}، ناصر محمدیان روشن^۳، سید مصطفی صادقی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹

چکیده

کاربرد گسترده کودهای شیمیایی جهت تولید گیاهان زراعی منجر به آسیب‌های زیست‌محیطی و اقتصادی شده است، درحالی‌که تلفیق کودهای شیمیایی با کودهایی از منابع زیستی و آلی، کاهش مصرف کودهای شیمیایی را به دنبال داشته و در راستای منافع زیست‌محیطی می‌باشد. به‌منظور تعیین سطح مناسب کود نیتروژن و محلول‌پاشی جلبک دریایی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) رقم هاشمی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در روستای کیشاکجان و شهرستان رودسر، استان گیلان اجرا شد. عامل اصلی، کود نیتروژن از منبع اوره در پنج سطح (شاهد بدون مصرف کود، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیتروژن) و عامل فرعی محلول‌پاشی برگ‌های کود حاوی جلبک دریایی در چهار سطح (شاهد بدون جلبک دریایی، ۰/۵، یک و ۱/۵ لیتر در هکتار) بود. نتایج نشان داد که کاربرد سطوح کود نیتروژن و محلول‌پاشی جلبک دریایی بر ویژگی‌های مورد بررسی معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیشترین عدد کلروفیل متر (۳۵)، طول خوشه (۲۹/۳ سانتی‌متر)، وزن هزار دانه (۲۶/۳ گرم)، عملکرد شلتوک (۴۰۱۴ کیلوگرم بر هکتار)، عملکرد زیستی (۷۶۹۰/۸ کیلوگرم بر هکتار) و شاخص برداشت (۵۹/۵ درصد) در کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژن به دست آمد. افزون بر این، بیشترین مقدار ویژگی‌های بیان‌شده در محلول‌پاشی کود جلبک دریایی با غلظت یک لیتر در هکتار به دست آمد که با غلظت ۱/۵ لیتر تفاوت معنی‌دار نداشت. نتایج برهم‌کنش تیمارهای آزمایش نیز نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۵۰ سانتی‌متر)، تعداد خوشه (۲۹) و تعداد دانه پر (۱۳۲/۴) به‌ترتیب مربوط به کاربرد ۱۰۰ درصد کود نیتروژن × یک لیتر در هکتار جلبک و ۷۵ درصد کود نیتروژن × یک لیتر در هکتار جلبک بود. کمترین تعداد دانه پوک (۴/۲) و درصد پوکی دانه (۳/۵) به‌ترتیب برای کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژن × عدم مصرف کود جلبک و ۷۵ درصد کود نیتروژن × یک لیتر در هکتار کود جلبک ثبت شد. در مجموع، محلول‌پاشی یک لیتر در هکتار جلبک و استفاده از ۵۰ و ۷۵ درصد کود نیتروژن جهت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد رقم هاشمی در منطقه مورد مطالعه تیمار برتر بود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد شلتوک، کلروفیل، کود، وزن هزار دانه

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) غذای اصلی نزدیک به نیمی از جمعیت جهان می‌باشد که ۲۱ درصد انرژی و ۱۵ درصد پروتئین مورد نیاز ساکنان مناطق برنج‌خیز را فراهم می‌کند (FAO, 2018). تولید برنج در ایران جایگاه ویژه‌ای داشته، به‌طوری‌که بخش عمده‌ای از غذای مردم کشور، برنج می‌باشد و نزدیک به ۷۰-۸۰ درصد از کل برنج

ایران در دو استان مازندران و گیلان تولید می‌شود (Amiri, Razavipour, Farid, & Bannayan, 2011). در زراعت برنج، مدیریت تغذیه به‌ویژه مصرف عنصر نیتروژن بسیار مهم است (Sheikhnazari, Niknezhad, Fallah, & Barari Tari, 2022; Nedunchezhiyan & Laximinaryan, 2011)، چرا که نیتروژن نقش حیاتی در رشدنمو برنج داشته و قسمت مهمی از آنزیم‌ها، کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌های ذخیره‌ای، دیواره سلولی و سایر اجزای سلولی از عنصر نیتروژن می‌باشد (Luo, Zhang, & Xu, 2020; Patane & Vibhute, 2014). کمبود نیتروژن منجر به اثر سوء بر رشد برگ‌ها شده و کم‌رنگ‌تر شدن آن‌ها را به‌دلیل کاهش کلروفیل و پیری زودرس به دنبال دارد که در نتیجه، با کاهش دریافت

۱- واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

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

(*)- نویسنده مسئول: Email: Majid.Ashouri69@iau.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.89365.1346>

تشعشع خورشیدی منجر به کاهش تجمع ماده خشک گیاه می‌شود (Noor, Ding, Ren, Sun, & Gao, 2023).

در چند دهه پیشین، با هدف افزایش تولید در واحد سطح، مصرف انواع کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی، افزایش یافته است (Aminpanah & Abbasian, 2016)، به‌طوری‌که کاربرد بیش از حد نیتروژن اثر سوء بسیاری از قبیل افزایش انتشار اکسید نیتروژن (Halvorson, Snyder, Blaylock, & Del Grosso, 2014)، کاهش کارایی مصرف نیتروژن (NUE) و بازده اقتصادی ضعیف (Xu, Fan, & Miller, 2012) را به دنبال داشته است. همچنین، با مصرف بیش از حد نیتروژن، افزایش ناگهانی جمعیت ریزجاندانان مصرف‌کننده کربن رخ داده که سبب برهم خوردن نسبت کربن به نیتروژن و در نتیجه، از بین رفتن مواد آلی موجود در خاک‌های زراعی شده است (Ren, Zhang, Reis, & Gu, 2022). بنابراین، تمامی موارد بیان‌شده و همچنین، هزینه بالای تولید کودهای شیمیایی، توجه پژوهشگران را به کودهایی با منبع زیستی و آلی معطوف ساخته است. اهمیت استفاده از این قبیل کودها نه‌تنها به‌دلیل فراهم‌سازی نیازهای گیاه، بلکه جهت منافع زیست‌محیطی، محصولات کشاورزی با کیفیت و سلامت مصرف‌کنندگان می‌باشد (Latique, Chernane, Mansori, & El Kaoua, 2013).

جلبک‌های دریایی سرشار از ترکیب‌های زیست‌فعال بوده که به‌دلیل افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی در سال‌های پیشین، استفاده از آن‌ها رواج پیدا کرده است (Hernández-Herrera, Santacruz-Ruvalcaba, Ruiz-López, Norrie, & Hernández-Carmona, 2014; MacKinnon, Hiltz, Ugarte, & Craft, 2010; Nayak, Biswas, & Dutta, 2020). ثابت شده است که عصاره جلبک دریایی زمانی که به خاک افزوده می‌شود و یا زمانی که به‌صورت محلول‌پاشی برگی در گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد، موجب بهبود عملکرد محصول می‌شود (Zodape, Mukhopadhyay, Eswaran, Reddy, & Chikara, 2010). عصاره جلبک دریایی همچنین، به‌دلیل برخورداری از هورمون‌های رشد از قبیل اکسین و سیتوکینین، عناصر نیتروژن، آهن، روی، مس، کبالت، مولیبدن، منگنز، منیزیم و نیکل، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه، تأثیر مفیدی بر رشد گیاهان به همراه دارد (Sridhar & Rengasamy, 2010).

در برنج گزارش شده است که کاربرد خاکی جلبک دریایی به‌مقدار ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار همراه با محلول‌پاشی ۰/۵ درصد کود مایع حاوی جلبک دریایی در دو مرحله پنجه‌زنی و ظهور خوشه، ارتفاع گیاه (۱۱۲/۱ سانتی‌متر)، ماده خشک (۱۱۳۹۰ کیلوگرم در هکتار)، تعداد دانه در خوشه (۱۶۶)، طول خوشه (۲۱/۸ سانتی‌متر)، وزن هزاردانه (۱۴/۷ گرم)، تعداد پنجه بارور در مترمربع (۲۷۵ عدد)، عملکرد دانه (۵۶۱۲ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد کاه (۷۸۲۹ کیلوگرم در هکتار) را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Deepana, Bama, Santhy, & Devi, 2021).

(Devi, 2021). در یک آزمایش گلدانی، تلفیق کود معدنی (۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد توصیه‌شده) به همراه عصاره جلبک دریایی قهوه‌ای بررسی شد و نتایج نشان داد که کاربرد ۲۵ درصد کود معدنی در ترکیب با عصاره جلبک دریایی منجر به افزایش رشد بوته و عملکرد برنج شد، به‌طوری‌که عملکرد مشابه با تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود معدنی بود (Sunarpi et al., 2021).

با توجه به اهمیت کود نیتروژن در تغذیه برنج و امکان تلفیق کودهای شیمیایی و زیستی جهت دستیابی به عملکرد و کیفیت بالای محصولات و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، این آزمایش تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و محلول‌پاشی جلبک دریایی بر اجزای عملکرد، زیست‌توده و عملکرد دانه برنج رقم هاشمی در منطقه رودسر را مورد بررسی قرار داد.

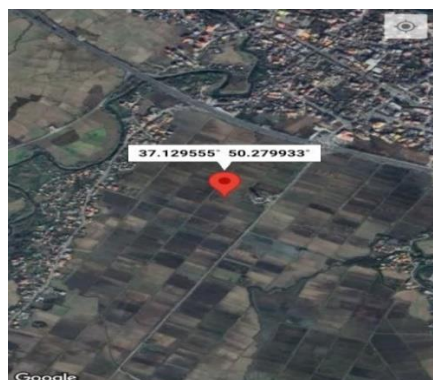
مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش

این پژوهش طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه‌ای به مساحت ۸۰۰ مترمربع واقع در شهرستان رودسر (۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و در ارتفاع ۱۹ متری از سطح دریا)، در روستای گیشاکجان (مزرعه شخصی) انجام شد (شکل ۱). متوسط دما و بارندگی ماهانه دوره آزمایش و ویژگی خاک مزرعه قبل از اعمال تیمارها به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

نوع طرح و تیمارهای آزمایش

آزمایش به‌صورت کرت‌های یک بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح کود نیتروژن از منبع اوره (۴۶ درصد نیتروژن) در پنج سطح (شاهد (N₁), ۲۵ (N₂), ۵۰ (N₃), ۷۵ (N₄) و ۱۰۰ (N₅) درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه) در کرت‌های اصلی و سطوح عصاره جلبک دریایی از منبع کود تجاری WOKOZIM از شرکت Biostadt هند در چهار سطح (شاهد (S₁), ۰/۵ (S₂), ۱ (S₃) و ۱/۵ (S₄) لیتر در هکتار) در کرت‌های فرعی بودند. برخی از ویژگی‌های کود مایع حاوی عصاره جلبک دریایی در جدول ۳ نشان داده شده است. کود وکوزیم مایع، عصاره یک جلبک دریایی با نام *Ascophyllum nodosum* می‌باشد که به‌روش تخمیر ساقه‌های جلبک تهیه شده است. وکوزیم مایع حاوی مواد محرک رشد گیاهی بوده که به‌صورت محلول‌پاشی مورد استفاده قرار گرفته و منجر به استفاده مطلوب‌تر گیاه از مواد غذایی، مقاومت در مقابل تنش‌های محیطی، تحریک رشد، بهبود پر شدن دانه‌ها، خاصیت انبارداری و عملکرد و افزایش روغن در دانه‌های روغنی می‌شود.



شکل ۱- عکس هوایی محل اجرای آزمایش

Figure 1- Aerial photo of the test site

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در طول فصل رشد برنج طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

Table 1- Meteorological information during the growth season of rice in experimental site in 2022 and 2023

سال	ماه‌های سال	کمینه دما	بیشینه دما	رطوبت	بارندگی
Year	Month of year	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Humidity (%)	Precipitation (mm)
۱۳۹۹	فروردین	6.4	17.5	98.4	102.9
	March				
2022	اردیبهشت	13.9	23	97.7	53.5
	April				
	خرداد	17.9	27.2	98.6	46.7
	May				
	تیر	20.5	29.4	98	37.6
	June				
	مرداد	21.6	33.2	96.7	29.6
	July				
	شهریور	18.9	27.2	97.5	134.1
	August				
	مجموع	99.2	157.5	586.9	401.7
	Total				
	میانگین	16.5	26.2	97.8	-
	Average				
۱۴۰۰	فروردین	9.2	17.8	99.6	61.9
	March				
2023	اردیبهشت	13.4	19.1	99	90
	April				
	خرداد	17.8	29.1	97	13
	May				
	تیر	20.2	30	96	73.9
	June				
	مرداد	20.2	32.3	96	24.4
	July				
	شهریور	19.8	30.1	98	22.5
	August				
	مجموع	100.6	159.3	585.6	285.7
	Total				
	میانگین	16.7	26.5	97.6	-
	Average				

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری)

Table 2- Physical and chemical properties of soil in the experiment site (depth 0-30 cm)

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت Texture
6.9	1.114	3.3	0.277	4	331	14	25	61	لومی-شنی Loam-sand

جدول ۳- برخی ویژگی‌های کود جلبک دریایی مورد مطالعه

Table 3- Some characteristics of the studied seaweed-fertilizer

شکل فیزیکی Physical form	نیتروژن N (%)	آهن Fe (%)	منگنز Mn (%)	روی Zn (%)	مس Cu (%)	عصاره جلبک Seaweed extract (%)	شکل بسته Type of packaging	اندازه بسته Package size
مایع Liquid	5.2	0.05	0.05	0.05	0.05	22	بطری Bottle	0.5 lit

عملیات کاشت برنج

در این مطالعه، برنج رقم هاشمی در تاریخ ۱۳ اردیبهشت ماه هر دو سال به صورت دستی در کرت‌هایی به طول پنج متر و عرض دو متر (۱۰ مترمربع)، با فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر نشاکاری شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۵۰ سانتی‌متر و فاصله تکرارها یک متر بود. مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی انجام شد. تغذیه کودی و مبارزه شیمیایی با کرم ساقه‌خوار نیز مطابق دستورالعمل‌های فنی صورت گرفت. جهت اعمال تیمار کود نیتروژن، ۵۰ درصد از مقدار در نظر گرفته شده هر کرت در زمان انتقال نشاء، ۲۵ درصد در زمان پنجه‌دهی و ۲۵ درصد در زمان خوشه‌دهی به کار رفت. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در دو زمان پنجه‌زنی و خوشه‌دهی انجام شد. جهت بازداری از پراکنده شدن کود مایع در زمان محلول‌پاشی از ورقه‌های پلاستیکی استفاده گردید. روی مرز کرت‌ها نیز با پلاستیک به عمق ۳۰ سانتی‌متر، برای بازداری از اختلاط تیمارهای کودی نیتروژن، پوشانده شد.

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده

اندازه‌گیری عدد کلروفیل متر در مرحله گل‌دهی با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (Spad 502 ساخت کشور ژاپن) انجام شد. در پایان فصل رشد، با رعایت اثر حاشیه، یک مترمربع از هر کرت برداشت گردید و ارتفاع بوته، طول خوشه، اجزای عملکرد شامل تعداد دانه پر و پوک در خوشه و تعداد خوشه در کپه ثبت شد. بعد از جدا کردن دانه از خوشه و رسیدن رطوبت نمونه‌ها به ۱۴ درصد، وزن هزار دانه، عملکرد شلتوک، عملکرد زیستی و شاخص برداشت تعیین گردید. جهت محاسبه عملکرد زیستی و عملکرد شلتوک، به ترتیب کل بوته و دانه‌ها در آون ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت، خشک و سپس، با ترازی ۰/۰۰۱ گرم توزین و به واحد کیلوگرم در هکتار

تبدیل شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آن‌ها و همگنی سال‌های آزمایش، تجزیه واریانس مرکب به وسیله نرم‌افزار SAS v.9.2 و مقایسه میانگین‌ها نیز با کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

عدد کلروفیل متر

اثر ساده کود نیتروژن و جلبک دریایی بر عدد کلروفیل متر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که با افزایش سطح نیتروژن، عدد کلروفیل متر در تیمارهای N₁ تا N₅ بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر افزایش یافت. باین‌حال، بیشترین مقدار در تیمار N₄، ۴۴/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد و کمترین مقدار در تیمار N₅، ۲۶/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد، به دست آمد (جدول ۵). محتوای کلروفیل در گیاهان با سطوح نیتروژن مرتبط بوده و عملکرد نهایی محصول را تعیین می‌کند (Wang et al., 2021). در برنج نیز عنصر نیتروژن منجر به افزایش محتوای کلروفیل و سرعت فتوسنتز می‌شود (Ghosh, Swain, Jha, Tewari, & Bohra, 2020)، به طوری که ارتباط مستقیم عدد کلروفیل متر با مصرف نیتروژن در گیاهان مختلف گزارش شده است (Wang et al., 2021).

مقایسه میانگین‌های محلول‌پاشی کود جلبک دریایی نشان داد که کمترین عدد کلروفیل متر مربوط به شاهد می‌باشد که به ترتیب ۳۲/۶، ۶۳/۱ و ۳۱/۷ درصد در مقایسه با تیمارهای S₂، S₃ و S₄ بیشتر بود (جدول ۵). مطابق با نتایج این پژوهش، محلول‌پاشی جلبک دریایی در گیاه برنج در دو مرحله پنجه‌دهی و خوشه‌دهی منجر به دستیابی به بالاترین عدد کلروفیل متر شد (Sivakamipriya, Suresh, Manikandan, & Ramesh, 2022).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب کود نیتروژن و جلبک دریایی بر ویژگی‌های مورد مطالعه برنج رقم هاشمی
Table 4- Combined analysis of variance for nitrogen fertilizer and seaweed fertilizer on studied traits in rice

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل Chlo.	ارتفاع P.H	طول خوشه S.L	تعداد خوشه No.S	تعداد دانه پر No.F.G	تعداد دانه پوک No.U.F.G	درصد دانه پوک P.U.F.G	وزن هزار دانه T.W.G	عملکرد دانه G.Y	عملکرد زیستی B.Y	شاخص برداشت H.I
سال Year (Y)	1	100.1 ^{ns}	1654.5*	70.9**	41.4*	1121.8*	4.2**	0.002 ^{ns}	60.2*	649005.2 ^{ns}	2623743.2 ^{ns}	0.04 ^{ns}
تکرار Rep (Y)	4	69.2	109.7	0.1	4.4	141.1	0.019	0.88	3.5	594270.2	4382728.7	229.6
نیتروژن Nitrogen (a)	4	439.3**	4520.5**	93.3**	316.7**	3390.7**	43.4**	69.6**	131.9**	6633042.5**	27061885.8**	895.7 ^{ns}
Y×a	4	1.1 ^{ns}	19.6 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.41 ^{ns}	12.2 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.4 ^{ns}	39317.8 ^{ns}	162503.9 ^{ns}	5.8 ^{ns}
خطا Error a	16	61.2	48.5	8.4	4.1	162.4	4.45	4.9	11.3	773402.6	4753210.3	464
محلول پاشی Spray (b)	3	1099.4**	2965**	120.8**	182.7**	4476.9**	27**	72.5**	132.1**	16110811.6**	22706928.7**	1400.3**
Y×b	3	2.2 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.25 ^{ns}	3.06 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.28 ^{ns}	9382.7 ^{ns}	7014.9 ^{ns}	1.4 ^{ns}
a × b	12	58.1 ^{ns}	82.4**	5.6 ^{ns}	32.6**	300.3*	6.15**	7.6**	6.9 ^{ns}	633001 ^{ns}	4083816.6 ^{ns}	216.2 ^{ns}
Y×a×b	12	0.23 ^{ns}	2.2 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.11 ^{ns}	2.2 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.1 ^{ns}	37301.2 ^{ns}	8930.9 ^{ns}	8.3 ^{ns}
خطای خطای												
آزمایش Error b	60	67.1	28.8	6.1	1.7	130.2	76.1	2.03	7.3	862949.9	2759145.6	233
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		26.3	4.14	9.2	6.3	10.7	17.2	23.5	10.9	26.8	25.8	27.5

ns, *, **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively ns: Not- significant

Chlorophyll content (Chlo.): عدد کلروفیل متر Plant height (P.H): ارتفاع بوته، Spike length (S.L): طول خوشه، No. of spike (No. S): تعداد خوشه،
No. of filled grain (N.F.G): تعداد دانه پر، No. of un-filled grain (N.U.F.G): تعداد دانه پوک، Percentage of un-filled grain (P.U.F.G): درصد دانه
پوک، Thousand Grain weight (T.G.W): وزن هزار دانه، Grain yield (G.Y): عملکرد شلتوک، Biological yield (B.Y): عملکرد زیستی، Harvest index
(H.I): شاخص برداشت

احتمال پنج درصد و اثر ساده کود نیتروژن و جلبک دریایی و همچنین، برهم‌کنش تیمارهای آزمایش در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین حاکی از افزایش ارتفاع برنج در تمامی سطوح کود نیتروژن همراه با عصاره جلبک دریایی، در مقایسه با شاهد بود. بیشترین ارتفاع بوته برنج برای ترکیب تیماری $N_5 \times S_3$ به دست آمد که ۵۳ درصد بیشتر از عدم کاربرد کود نیتروژن و محلول پاشی جلبک دریایی بود. افزون بر این، ترکیب‌های تیماری $N_3 \times S_4$ ، $N_4 \times S_3$ ، $N_4 \times S_4$ و $N_5 \times S_4$ با ترکیب $N_5 \times S_3$ در گروه آماری مشترکی قرار داشتند (جدول ۶).

دلیل این موضوع می‌تواند به فراهمی عناصر غذایی در طول مراحل رشد گیاه، بهبود تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی، جذب مطلوب‌تر نور و تسریع فرآیندهای فتوسنتزی توسط جلبک دریایی مرتبط باشد (Zayed, Salem, & El Sharkawy, 2011). در پژوهش حاضر نیز کود جلبک دریایی مورد استفاده حاوی عناصر نیتروژن، آهن، روی و مس بود (جدول ۳) که تمامی این عناصر در ساختمان فتوسنتزی گیاه نقشی اساسی بر عهده دارند.

ارتفاع گیاه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال در سطح

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده بر ویژگی‌های مورد مطالعه

Table 5- Mean comparison of simple effects on the studied traits

		شاخص برداشت	عملکرد زیستی	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	طول خوشه	کلروفیل
		H.I (%)	B.Y (kg ha ⁻¹)	G.Y (kg ha ⁻¹)	T.G.W (g)	S.L (cm)	Chlo.
سال	سال اول	55.5 ^a	6588.6 ^a	3542 ^a	25.5 ^a	27.9 ^a	32.1 ^{a*}
	سال دوم	54.46 ^a	6292.9 ^a	3394.9 ^a	24.1 ^b	26.3 ^b	30.2 ^a
سطوح کود نیتروژن	N1	54.4 ^{ab}	4828.7 ^c	2630.5 ^b	20.7 ^b	24 ^c	24.1 ^b
	N2	57 ^{ab}	6384.8 ^{ab}	3576.3 ^a	25.2 ^a	27 ^b	32.1 ^a
	N3	60.96 ^a	6290.3 ^b	3757.3 ^a	26.1 ^a	27 ^b	33.9 ^a
	N4	59.5 ^a	7009.1 ^{ab}	4013.9 ^a	26.3 ^a	29.3 ^a	34.9 ^a
	N5	45.5 ^b	7690.8 ^a	3364.2 ^a	25.9 ^a	28.3 ^{ab}	30.5 ^a
سطوح محلول‌پاشی	S1	49.9 ^b	5334.2 ^b	2602.7 ^c	21.7 ^b	25 ^b	23.6 ^c
	S2	57.5 ^{ab}	6186.7 ^{ab}	3462.3 ^b	25.4 ^a	25.9 ^b	31.3 ^b
	S3	64.3 ^a	6953.6 ^a	4395 ^a	26.6 ^a	29.3 ^a	38.5 ^a
	S4	50.3 ^b	7288.5 ^a	3413.7 ^b	25.3 ^a	28.2 ^a	31.1 ^b

* حروف مشترک در هر گروه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

* Data with different letters in the same column are significantly with Duncan's multiple range at 0.05 level.

Biological yield: Chlorophyll content (Chlo.)؛ عدد کلروفیل متر، Spike length (S.L): طول خوشه، وزن هزار دانه، Grain yield (G.Y): عملکرد شلنوک، Harvest index (H.I): شاخص برداشت

(B.Y): عملکرد زیستی،

درصد افزایش نسبت به شاهد و بدون تفاوت، متعلق به دو تیمار N₄ و N₅ بود (جدول ۵). افزایش طول خوشه ناشی از مصرف کودهای حاوی نیتروژن در برنج (Rahman, 2015) و گندم (Triticum aestivum L. (Kumar et al., 2022) گزارش شده است. مصرف کود حاوی نیتروژن با تشکیل خوشه‌های بزرگ‌تر، افزایش عملکرد برنج را به دنبال دارد (Liu et al., 2020). افزون بر این، تعادل سوخت‌وساز کربن و نیتروژن در مرحله تمایز خوشه با تعداد خوشه‌چه تولیدی ارتباط نزدیک دارد که به تبع، تعداد خوشه‌چه بیشتر شده و عملکرد برنج افزایش می‌یابد (Zhang et al., 2019).

در پژوهش حاضر، تمامی سطوح محلول‌پاشی کود جلبک دریایی بر طول خوشه در مقایسه با شاهد مؤثر بود و تیمارهای S₂، S₃ و S₄ به ترتیب طول خوشه را در مقایسه با شاهد، ۳/۶، ۱۷/۲ و ۱۲/۸ درصد افزایش دادند (جدول ۵). افزون بر نقش عنصر نیتروژن در تشکیل خوشه، حضور هورمون گیاهی سیتوکنین در ریشه در زمان تشکیل خوشه بر تولید خوشه‌های بلندتر مؤثر می‌باشد (Liu et al., 2020). کود جلبک دریایی مورد استفاده در این پژوهش، افزون بر نیتروژن (۵/۲ درصد) که منجر به فراهم‌سازی نیاز غذایی گیاه به این عنصر اساسی شد، از ترکیب‌های هورمونی شامل اکسین، جیبرلین و سیتوکنین برخوردار بود که توانست به افزایش رشد خوشه برنج کمک کند.

کاهش رشد اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان و محدودیت تشکیل و توسعه اندام‌های تولیدمثلی در اثر کمبود گیاه به عنصر نیتروژن گزارش شده است که این موضوع، به‌طور قابل توجهی بر عملکرد و کیفیت نهایی محصول تأثیر می‌گذارد (Fu et al., 2021). افزایش ارتفاع گیاه در اثر استفاده تلفیقی از کود حاوی عصاره جلبک دریایی و کودهای شیمیایی به دلیل بهره‌مندی از مزایای هر دو کود می‌باشد، به‌طوری که عنصر نیتروژن منجر به ازدیاد طول میان‌گره‌های ساقه برنج، به‌ویژه میان‌گره‌های پایه و در نتیجه، افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Zhang et al., 2016). در مجموع، فراهمی کافی از عنصر مهم نیتروژن، بهبود ویژگی‌های رویشی گیاه را به دنبال خواهد داشت. در این پژوهش، کود جلبک دریایی مورد استفاده حاوی ۵/۲ درصد عنصر نیتروژن بود (جدول ۳).

طول خوشه

براساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثر ساده سال، کود نیتروژن و جلبک دریایی بر طول خوشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که طول خوشه در سال اول شش درصد بالاتر از سال دوم بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که بارندگی بیشتر طی دوره رشد در سال اول منجر به افزایش رشد رویشی و زایشی گیاهان شده باشد (جدول ۱). نتایج همچنین نشان داد که مصرف کود نیتروژن در هر چهار تیمار، طول خوشه را در مقایسه با شاهد افزایش داد. بیشترین طول خوشه با ۲۲

جدول ۶- برهم کنش کود نیتروژن در کود جلبک دریایی بر ویژگی‌های مورد مطالعه
Figure 6- Interaction of nitrogen × seaweed fertilizer on the studied treatments

درصد دانه پوک	تعداد دانه پوک	تعداد دانه پر	تعداد خوشه	ارتفاع	محلول پاشی جلبک	سطوح کود نیتروژن
P.U.F.G.	No.U.F.G	No. F.G.	No. S.	P.H. (cm)	Foliar application of seaweed	Nitrogen fertilizers level
10.6 ^a	8.9 ^{ab}	77.7 ^g	14.01 ⁱ	98.17 ^{k*}	S1	N1
6.8 ^{bc}	6.3 ^{bc}	85.4 ^{fg}	15.2 ⁱ	100.3 ^k	S2	N1
5.3 ^{c-f}	5.5 ^{f-h}	99.8 ^{de}	19.1 ^f	112.4 ^j	S3	N1
9.1 ^a	9.07 ^{ab}	91.6 ^{ef}	14.01 ⁱ	114.07 ^{ij}	S4	N1
9.5 ^a	8.6 ^{bc}	82.8 ^{fg}	16.7 ^h	119.3 ^{hi}	S1	N2
5.5 ^{cd}	6.3 ^{ef}	110.5 ^{cd}	19.3 ^f	122.3 ^{gh}	S2	N2
4.9 ^{d-f}	5.9 ^{e-g}	117.2 ^{bc}	24.3 ^d	131.5 ^{ef}	S3	N2
6.1 ^{b-d}	6.7 ^{d-f}	105.4 ^{cd}	17.2 ^{gh}	135.3 ^{de}	S4	N2
7.3 ^b	6.8 ^{de}	109.5 ^{cd}	19.5 ^f	118.2 ^{h-j}	S1	N3
5.1 ^{d-f}	6.3 ^{e-g}	111.4 ^{cd}	24.6 ^d	130.9 ^{ef}	S2	N3
3.5 ^f	4.8 ^{hi}	129.3 ^{ab}	21.4 ^e	142 ^{bc}	S3	N3
3.55 ^f	4.7 ^{hi}	124.6 ^{a-c}	16.9 ^{gh}	147.4 ^{ab}	S4	N3
3.7 ^f	4.2 ⁱ	86.98 ^{fg}	22.3 ^e	120.5 ^{gh}	S1	N4
3.97 ^{d-f}	4.7 ^{hi}	116.5 ^c	25.4 ^{b-d}	137.5 ^{cd}	S2	N4
3.7 ^f	4.9 ^{hi}	132.4 ^a	28.9 ^a	144.9 ^{ab}	S3	N4
3.9 ^{ef}	5.1 ^{g-i}	127.8 ^{ab}	25.8 ^{bc}	148.8 ^a	S4	N4
10.12 ^a	9.9 ^a	89.8 ^{ef}	18.1 ^{fg}	126.2 ^{fg}	S1	N5
6.4 ^{b-d}	7.64 ^{cd}	111.2 ^{cd}	18.3 ^{fg}	139.4 ^{cd}	S2	N5
5.4 ^{c-e}	6.1 ^{e-g}	113.4 ^c	26.1 ^b	149.9 ^a	S3	N5
6.9 ^{bc}	8.4 ^{d-f}	107.9 ^{cd}	24.1 ^d	144.3 ^{ab}	S4	N5

* حروف مشترک در هر گروه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

* Data with different letters in the same column are significantly with Duncan's multiple range at 0.05 level.

No. of un-filled grain (N.U.F.G): ارتفاع بوته، No. of spike (No. S): تعداد خوشه، No. of filled grain (N.F.G): تعداد دانه پر، No. of un-filled grain (N.U.F.G):

تعداد دانه پوک، Percentage of un-filled grain (P.U.F.G): درصد دانه پوک

تعداد خوشه در کپه

نتایج تجزیه وایانس نشان داد که برهم‌کنش کود نیتروژن در جلبک دریایی بر تعداد خوشه در کپه اثر بسیار معنی‌داری داشت (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین، تمامی سطوح کود نیتروژن همراه با مصرف کود جلبک دریایی، تعداد خوشه را در مقایسه با شاهد افزایش داد. بالاترین تعداد خوشه در کپه مربوط به تیمار ۷۵ درصد کود نیتروژن همراه با محلول پاشی کود جلبک دریایی با غلظت یک لیتر در هکتار بود، به‌طوری‌که این ترکیب تیماری، تعداد خوشه را ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). افزایش تعداد خوشه در نتیجه مصرف تلفیقی کود نیتروژن و عصاره جلبک دریایی در برنج گزارش شده است (Xie et al., 2021). نیتروژن در افزایش تعداد پنجه و خوشه در واحد سطح برنج نقشی اساسی داشته و مصرف کودهای حاوی نیتروژن در خاک با تنظیم سوخت‌وساز نیتروژن و هورمون‌های رشد، سبب تحریک تولید خوشه در واحد سطح می‌شوند (Wang et al., 2016). افزایش تعداد خوشه بارور و عملکرد شلتوک برنج ناشی از افزایش سطح کود نیتروژن از ۶۰ به ۹۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار توسط حاتمی‌فر و همکاران (Hatamifar, Ashoury, Shokri-Vahed, & Shahin-Rokhsar, 2013) گزارش شده است. در این پژوهش، با وجود روند صعودی تعداد خوشه در کپه در تمامی سطوح کود نیتروژن همراه با کود جلبک دریایی، کاربرد تیمار

S₄ کود جلبک، تعداد خوشه در کپه را با کاهش مواجه کرد که می‌تواند نتیجه رشد رویشی زیاد در این تیمار باشد. پاوار و همکاران (Pawar, Radhakrishnan, & Mohanan, 2016) گزارش کردند که عواملی از قبیل روش کشت، فراهمی آب، طول روز و تراکم گیاه در کنار وضعیت تغذیه‌ای و عوامل ژنتیکی بر ظهور تعداد خوشه در مزرعه برنج اثرگذار می‌باشد. عصاره جلبک دریایی نوعی محرک زیستی است که مخلوطی از درشت و ریزمغذی‌ها، اسیدهای آمینه، کربوهیدرات‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و سایر محرک‌های رشد می‌باشد (Sunarpi et al., 2021). به نظر می‌رسد که در شرایط این پژوهش، کاربرد تلفیقی کود نیتروژن همراه با محلول پاشی کود جلبک دریایی در غلظت یک لیتر در هکتار، جهت دستیابی به بیشترین رشد و عملکرد کافی می‌باشد.

تعداد دانه پر در خوشه

مطابق با تجزیه وایانس، اثر ساده سال در سطح احتمال پنج درصد، کود نیتروژن و جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه پر در خوشه معنی‌دار شد. همچنین برهم‌کنش تیمارهای به‌کاررفته در این پژوهش در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد دانه پر معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ترکیب تیماری N₄×S₃ بیشترین تعداد دانه پر در خوشه را به خود اختصاص

داد که از افزایش ۷۰ درصدی در مقایسه با شاهد برخوردار شد. لازم به ذکر است که ترکیب‌های $N_4 \times S_4$ و $N_3 \times S_4$ نیز با $N_4 \times S_3$ دارای حرف مشترک آماری بودند (جدول ۶). مطابق با نتایج این بررسی، مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی در ذرت، به دلیل افزایش کارایی استفاده از کودها، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد را در مقایسه با شاهد به دنبال داشت (Wen et al., 2016). در برنج، افزایش تعداد دانه در خوشه، در نتیجه مصرف تلفیقی کود نیتروژن و عصاره جلبک دریایی در نتیجه افزایش زیست‌توده و سرعت پر شدن دانه گزارش شده است که با افزایش اجزای عملکرد منجر به افزایش عملکرد شده است (Xie et al., 2021). کاربرد تیمارهایی که بدون کاهش مقدار تولید، مصرف کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهد، برای کشاورزان بسیار قابل توصیه می‌باشد، زیرا از این مسیر می‌توان افزون بر کاهش هزینه‌های اقتصادی، از خطر ورود این کودها به منابع آب و خاک ممانعت کرد.

تعداد دانه پوک در خوشه و درصد پوکی دانه

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، برهم‌کنش کود نیتروژن در جلبک دریایی بر تعداد دانه پوک در خوشه و درصد پوکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تمامی سطوح کود نیتروژن، محلول‌پاشی کود جلبک دریایی در غلظت‌های ۵/۰ و یک لیتر در هکتار سبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه پوک در خوشه و درصد پوکی می‌شود، به‌طوری‌که کمترین تعداد دانه پوک و درصد پوکی، حدود ۵۳ و ۶۷ درصد کاهش نسبت به شاهد، به ترتیب برای ترکیب‌های تیماری $N_4 \times S_1$ و $N_3 \times S_3$ ثبت شد (جدول ۶). زاید و همکاران (Zayed et al., 2013) نیز اثر کاربرد کودهای حاوی عنصر نیتروژن در کاهش درصد پوکی دانه‌ها را گزارش کردند. در مطالعه این پژوهشگران، بالاترین درصد عقیمی گلچه و پوکی دانه مربوط به شاهد بود که با نتایج این بررسی مطابقت داشت.

وزن هزار دانه

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر ساده سال، کود نیتروژن و محلول‌پاشی کود جلبک دریایی بر وزن هزار دانه برنج معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین سال‌های آزمایش نشان داد که در سال اول مطالعه، وزن هزار دانه نسبت به سال دوم، نزدیک به شش درصد افزایش یافت که می‌تواند به دلیل بارندگی بیشتر در این سال باشد (جدول ۵). براساس نتایج، در بین تیمارهای کود نیتروژن، شاهد کمترین وزن هزار دانه برنج را به خود اختصاص داد و سایر تیمارهای کودی به کاررفته در پژوهش حاضر، بدون تفاوت با یکدیگر وزن هزارانه را در مقایسه با شاهد، ۲۷ درصد افزایش دادند. تیمارهای

محلول‌پاشی کود جلبک دریایی نیز در مقایسه با شاهد، ۲۲/۵ درصد افزایش در وزن هزار دانه را بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر به دنبال داشتند (جدول ۵). گیاهان جهت غذاسازی از طریق فتوسنتز، نیاز به فراهمی کافی مواد غذایی دارند. از این‌رو، مصرف کودهای آلی و شیمیایی ممکن است به دلیل افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی سبب افزایش در سطح برگ، جذب نور و فتوسنتز شده و با افزایش تولید گیاهی، افزایش وزن دانه‌ها را به دنبال داشته باشد (Siavoshi, Nasiri, & Laware, 2011). همان‌طور که در نتایج این پژوهش مشاهده می‌شود، مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود جلبک دریایی توانست سبب افزایش محتوی کلروفیل شده و با اثر بر فتوسنتز، تولید آسمیلات‌ها را افزایش دهد که به تبع آن، وزن دانه افزایش یافت. افزون بر این، گزارش شده است که طول، حجم ریشه و غلظت هورمون‌های آن با پر شدن دانه ارتباط دارد، بنابراین تغذیه مناسب گیاه قادر به بهبود ویژگی‌های ریشه و تأثیر بر عملکرد و اجزای عملکرد می‌باشد (Yang JianChang, Zhang Hao, & Zhang JianHua, 2012).

عملکرد شلتوک

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده کود نیتروژن و محلول‌پاشی جلبک دریایی بر عملکرد شلتوک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تمامی سطوح کود نیتروژن مورد مطالعه، عملکرد شلتوک را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. بالاترین مقدار عملکرد در تیمار N_4 معادل ۴۰۱۳/۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که با تیمارهای N_2 ، N_3 و N_5 در گروه آماری مشترکی قرار داشت. تیمارهای N_2 ، N_3 و N_4 معادل ۴۲/۸، ۴۲/۸ و ۵۲/۵ درصد در مقایسه با شاهد بهبود بخشیدند (جدول ۵). مشابه با نتایج این پژوهش، افزایش معنی‌دار عملکرد شلتوک و عملکرد زیستی برنج با افزایش سطح کود نیتروژن از ۹۰ به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Goyal & Thind, 2016). عاشوری (Ashouri, 2012) نیز بالاترین عملکرد شلتوک برنج را در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن گزارش کرد.

نیتروژن با اثر بر ویژگی‌های رویشی گیاه، به تأخیر انداختن تخریب کلروفیل و پروتئین‌های محلول و افزایش مدت زمان انجام فتوسنتز و تعویق پیری برگ، عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (Fageria, Dos Santos, & De Oliveira, 2013). در این مطالعه نیز افزایش مقدار کلروفیل در تیمارهای مصرف کود نیتروژن مشاهده شد که می‌تواند دلیل افزایش عملکرد شلتوک باشد. همچنین، گزارش شده است که وجود عنصر نیتروژن در مراحل مختلف رشد گیاه برنج، با افزایش تعداد ساقه و خوشه در مترمربع و تعداد کل سنبلچه، قدرت تولید دانه را افزایش داده و عملکرد دانه را بهبود می‌بخشد (Fei et

کیلوگرم در هکتار) نیز کمترین عملکرد زیستی را به خود اختصاص داد (جدول ۵). عنصر نیتروژن به دلیل اهمیت در فرآیند فتوسنتز، نقش مهمی در رشد رویش گیاهان ایفا می کند. کمبود این عنصر منجر به کاهش کلروفیل و زردی برگ ها می شود که با کاهش دریافت تشعشع خورشیدی و پیری زودرس برگ ها منجر به کاهش تجمع ماده خشک می شود (Nowak et al., 2024).

نتایج همچنین نشان داد که محلول پاشی با کود جلبک دریایی در بهبود عملکرد زیستی مؤثر می باشد و هر سه سطح مورد مطالعه، افزایش یکسانی در عملکرد زیستی نسبت به شاهد، ۳۶/۶ درصد افزایش داشتند (جدول ۵). در گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، استفاده از پودر جلبک دریایی، طول ساقه، طول ریشه، تعداد برگ و وزن خشک گیاهچه را در مقایسه با شاهد افزایش داد. همچنین، اثر تحریک رشد و تعویق پیری گیاهان در کاربرد جلبک دریایی اثبات شده است. این موضوع به دلیل فراهمی هورمون محرک رشد اکسین، توسط جلبک می باشد که افزایش اندازه و تقسیم سلولی گیاهان را به دنبال دارد (Sasikala, Indumathi, Radhika, & Sasireka, 2016).

شاخص برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کود نیتروژن و محلول پاشی جلبک دریایی بر شاخص برداشت برنج در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). شاخص برداشت نیز همسو با عملکرد شلتوک و عملکرد زیستی با مصرف کود نیتروژن از سطح صفر تا ۷۵ درصد افزایش یافت و ۱۲ درصد بدون تفاوت معنی دار با یکدیگر، شاخص برداشت را نسبت به شاهد افزایش داد، در حالی که تیمار N₅، کاهش معنی دار شاخص برداشت را منجر شد که می تواند ناشی از رشد رویشی زیاد و عدم پر شدن دانه ها در این تیمار باشد و در نتیجه، عملکرد زیستی بالا و کاهش عملکرد اقتصادی در این تیمار به وقوع پیوست. مصرف کود جلبک دریایی نیز در افزایش شاخص برداشت از سطح شاهد تا غلظت یک لیتر در هکتار نقش داشت. تیمارهای S₂ و S₃ بدون تفاوت ۲۸/۸ درصد، شاخص برداشت را در مقایسه با شاهد افزایش دادند، اما تیمار S₄ کاهش معنی دار شاخص برداشت را به دنبال داشت و با شاهد در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۵). بهبود شاخص برداشت با مصرف عصاره جلبک دریایی در گندم در شرایط آبیاری طبیعی و تنش خشکی گزارش شد که وجود ترکیب های محرک رشد در عصاره جلبک دریایی منجر به بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت گندم شد (De Carvalho, De Camargo, Gallo, & Junior, 2014). در بررسی دیگر، بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم با ترکیب های محرک رشد (اسید هیومیک، اسید آمینه، اسید فولویک و

al., 2024). لازم به ذکر است که مصرف بیش از نیاز عنصر نیتروژن نیز اثر سوء بر برنج داشته و می تواند سبب افزایش رشد بیش از اندازه قسمت های رویشی و بروز ورس در گیاه شده و عملکرد را کاهش دهد. در نتیجه، با مصرف مقدار مناسب کود نیتروژن و همچنین تلفیق غلظت های کاهش یافته کود های شیمیایی با کود های زیستی و آلی می توان از اثر منفی کود های شیمیایی بازداري کرده و هم زمان عملکرد دانه گیاهان زراعی مهم از قبیل برنج را افزایش داد.

نتایج مقایسه میانگین حاکی از افزایش عملکرد شلتوک برنج در محلول پاشی با کود جلبک دریایی در مقایسه با شاهد بود و بالاترین عملکرد شلتوک در تیمار محلول پاشی یک لیتر در هکتار جلبک ثبت شد. این تیمار، عملکردی معادل ۴۳۹۵ کیلوگرم در هکتار را نشان داد که در مقایسه با شاهد، ۶۸/۸ درصد افزایش داشت (جدول ۵). افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه، علت افزایش عملکرد دانه در استفاده از عصاره جلبک دریایی گزارش شده است (Szczepanek, Wszelaczynska, & Poberezny, 2018). در این پژوهش نیز مشاهده شد که مصرف کود جلبک دریایی، تعداد خوشه در کپه، تعداد دانه و وزن هزار دانه را با افزایش مواجه کرد که اثر مستقیم بر بهبود عملکرد شلتوک داشت.

افزایش عملکرد دانه در نتیجه محلول پاشی برگی با عصاره جلبک دریایی در راتون برنج نیز گزارش شده است که به دلیل افزایش جذب و انتقال مواد مغذی در گیاه می باشد (Bañoc, 2022). عصاره جلبک دریایی به دلیل وجود چندین ماده فعال زیستی که در رشد و عملکرد گیاهان نقش دارد، می تواند جذب مواد مغذی از خاک را بهبود بخشد و منجر به افزایش تولید گیاه شود. استفاده از عصاره جلبک دریایی همچنین سبب توسعه ریشه، ارتفاع، افزایش سطح برگ و قدرت گیاه می شود (Shukla et al., 2019). افزون بر این، گیاهان تیمار شده با عصاره جلبک دریایی دارای محتوای بیشتر ترکیب های بیوشیمیایی از قبیل کلروفیل، کاروتنوئیدها، پروتئین ها، آمینو اسید ها و هورمون های تنظیم کننده رشد از قبیل اکسین، جبرلین و سیتوکینین می باشند که در افزایش رشد و تولید گیاهان نقشی حیاتی ایفا می کنند (Hernández-Herrera et al., 2014).

عملکرد زیستی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کود نیتروژن و محلول پاشی کود جلبک دریایی بر عملکرد زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین حکایت از افزایش عملکرد زیستی با کاربرد کود نیتروژن در مقایسه با شاهد داشت. بالاترین عملکرد زیستی از تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن (۷۶۹۰/۸ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که با تیمار ۷۵ درصد (۷۰۰۹/۱ کیلوگرم در هکتار) تفاوتی نداشت. شاهد (۴۸۲۸/۷)

عصاره جلبک دریایی) گزارش شد که دلیل این موضوع به افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه در اثر تلفیق ترکیبهای محرک رشد مرتبط بود (Rajaie, 2022).

نتیجه گیری

امروزه با توجه به هزینه های فراوان زیست محیطی و اقتصادی کودهای شیمیایی، کاربرد کودهایی با منشأ زیستی و آلی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است، به طوری که تیمارهای تلفیقی غلظت های کاهش یافته کود شیمیایی همراه با کوهایی با منبع طبیعی، افزون بر حفظ کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی، مصرف کودهای

شیمیایی را با کاهش مواجه می کند. براساس نتایج این پژوهش، محلول پاشی کود حاوی جلبک دریایی در تلفیق با کود نیتروژن سبب افزایش معنی دار ارتفاع بوته، تعداد خوشه در کپه، تعداد دانه در خوشه و تعداد دانه پر در خوشه شد. مصرف کود نیتروژن و محلول پاشی عصاره جلبک دریایی همچنین محتوای کلروفیل، طول خوشه و وزن هزاردانه را افزایش داد و سبب بهبود عملکرد شلتوک و عملکرد زیستی برنج رقم هاشمی شد. به طور کلی، نتایج نشان داد که محلول پاشی یک لیتر در هکتار کود جلبک دریایی و یا کاربرد ۵۰ و ۷۵ درصد کود نیتروژن در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی دارای مزیت می باشد.

References

- Aminpanah, H., & Abassian, A. (2016). Effect of crop rotation, *Azotobacter chroococcum* inoculation and nitrogen rate on rice (*Oryza sativa* L.) paddy yield. *Crop Production*, 9(3), 211-230. <https://doi.org/10.22069/EJCP.2016.10291.1804>
- Amiri, E., Razavipour, T., Farid, A., & Bannayan, M. (2011). Effects of crop density and irrigation management on water productivity of rice production in Northern Iran: Field and modeling approach. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(17), 2085-2099. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.596238>
- Ashouri, M. (2012). The effect of water saving irrigation and nitrogen fertilizer on rice production in paddy fields of Iran. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 2(1), 56-59. <https://doi.org/10.7763/IJBBB.2012.V2.70>
- Bañoc, D. M. (2022). Ratooning response of lowland rice (*Oryza sativa* L.) to foliar application of seaweed extracts grown under high maximum temperatures. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*, 4(3), 68-78. <https://doi.org/10.21608/SVUIJAS.2022.133392.1205>
- De Carvalho, M. E. A., De Camargo, P. R., Gallo, L. A., & Junior, M. V. C. F. (2014). Seaweed extract provides development and production of wheat. *Agrarian*, 7(23), 166-170. <https://doi.org/10.5281/zenodo.51607>
- Deepana, P., Bama, K. S., Santhy, P., & Devi, T. S. (2021). Effect of seaweed extract on rice (*Oryza sativa* var. ADT53) productivity and soil fertility in Cauvery delta zone of Tamil Nadu, India. *Journal of Applied and Natural Science*, 13(3), 1111-1120. <https://doi.org/10.31018/jans.v13i3.2906>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2018) <www.fao.org>.
- Fageria, N. K., Dos Santos, A. B., & De Oliveira, J. P. (2013). Nitrogen-use efficiency in lowland rice genotypes under field conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(17), 2497-2506. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.812732>
- Fei, L., Pan, Y., Ma, H., Guo, R., Wang, M., Ling, N., Shen, Q., & Guo, Sh. (2024). Optimal organic-inorganic fertilization increases rice yield through source-sink balance during grain filling. *Field Crops Research*, 308, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109285>
- Fu, Y., Yang, G., Pu, R., Li, Z., Li, H., Xu, X., & Zhao, C. (2021). An overview of crop nitrogen status assessment using hyperspectral remote sensing: Current status and perspectives. *European Journal of Agronomy*, 124, 126241. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126241>
- Ghosh, M., Swain, D. K., Jha, M. K., Tewari, V. K., & Bohra, A. (2020). Optimizing chlorophyll meter (SPAD) reading to allow efficient nitrogen use in rice and wheat under rice-wheat cropping system in eastern India. *Plant Production Science*, 23(3), 270-285. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1717970>
- Goyal, P., & Thind, S. K. (2016). Photosynthetic attributes and carbohydrates in relation to yield of aerobic rice as influenced by nitrogen and sea weed extract application. *Agricultural Research Journal*, 53(4), 1-13.
- Halvorson, A. D., Snyder, C. S., Blaylock, A. D., & Del Grosso, S. J. (2014). Enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: Potential role in nitrous oxide emission mitigation. *Agronomy Journal*, 106(2), 715-722. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0081>
- Hatamifar, B., Ashoury, M., Shokri-Vahed, H., & Shahin-Rokhsar, P. (2013). Effects of irrigation and various rates of nitrogen and potassium on yield and yield components of rice plant (*Oryza sativa* L.). *Persian Gulf Crop Protection*, 2(2), 19-25.
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M. A., Norrie, J., & Hernández-Carmona, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, 26, 619-628.

16. Kumar, A., Singh, K., Verma, P., Singh, O., Panwar, A., Singh, T., & Raliya, R. (2022). Effect of nitrogen and zinc nanofertilizer with the organic farming practices on cereal and oil seed crops. *Scientific Reports*, 12(1), 6938. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10843-3>
17. Latique, S., Chernane, H., Mansori, M., & El Kaoua, M. (2013). Seaweed liquid fertilizer effect on physiological and biochemical parameters of bean plant (*Phaesus vulgaris* variety Paulista) under hydroponic system. *European Scientific Journal*, 9(30), 174-191.
18. Liu, K., Li, T., Chen, Y., Huang, J., Qiu, Y., Li, S., & Yang, J. (2020). Effects of root morphology and physiology on the formation and regulation of large panicles in rice. *Field Crops Research*, 258, 107946. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107946>
19. Luo, L., Zhang, Y., & Xu, G. (2020). How does nitrogen shape plant architecture? *Journal of Experimental Botany*, 71(15), 4415-4427. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa187>
20. MacKinnon, S. L., Hiltz, D., Ugarte, R., & Craft, C. A. (2010). Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts. *Journal of Applied Phycology*, 22, 489-494. <https://doi.org/10.1007/s10811-009-9483-0>
21. Nayak, P., Biswas, S., & Dutta, D. (2020). Effect of seaweed extracts on growth, yield and economics of kharif rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(3), 247-253. <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i3d.11269>
22. Nedunchezhiyan, M., & Laxminarayan, K. (2011). Site-specific nutrient management for rice. *Orissa Review*, 2, 62-64.
23. Noor, H., Ding, P., Ren, A., Sun, M., & Gao, Z. (2023) Effects of nitrogen fertilizer on photosynthetic characteristics and yield. *Agronomy*, 13(1550), 1-20. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061550>
24. Nowak, R., Szczepanek, M., Kobus-Cisowska, J., Stuper-Szablewska, K., Graczyk, R., & Blaszczyk, K. (2024). Relationships between photosynthetic efficiency and grain antioxidant content of barley genotypes under increasing nitrogen rates. *Agriculture*, 14(1913), 1-21. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111913>
25. Patane, P., & Vibhute, A. (2014). Chlorophyll and nitrogen estimation techniques: A review. *International Journal of Engineering Research and Reviews*, 2(4), 33-41.
26. Pawar, S. Y., Radhakrishnan, V. V., & Mohanan, K. V. (2016). The importance of optimum tillering in rice-an overview. *South Indian Journal of Biological Sciences*, 2(1), 125-127.
27. Rahman, M. R. (2015). Effectiveness of nitrogen and potassium fertilizer application on lodging habit and yield attributes of *T. Aman* rice in Ganges Tidal Flood plain. *International Journal of Business, Social and Scientific Research*, 3(1), 1-12.
28. Rajaie, M. (2022). Improving yield, yield components and the absorption of nutrients of wheat by growth stimulants under normal irrigation and drought stress, *Iranian Journal of Field Crops Research*, 20(2), 147-162. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/JCESC.2022.72226.1083>
29. Ren, Ch., Zhang, X., Reis, S., & Gu, B. (2022). Socioeconomic barriers of nitrogen management for agricultural and environmental sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 333, 1-12. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2022.107950>
30. Sasikala, M., Indumathi, E., Radhika, S., & Sasireka, R. (2016). Effect of seaweed extract (*Sargassum tenerrimum*) on seed germination and growth of tomato plant. *International Journal of ChemTech Research*, 9(09), 285-293.
31. Sheikhnazari, S., Niknezhad, Y., Fallah, H., & Barari Tari, D. (2022). Effect of application of nitrogen doses with biochar and zinc nanoparticles on quantitative and qualitative characteristic of rice (*Oryza sativa* L.), *Iranian Journal of Field Crops Research*, 20(3), 349-361. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/JCESC.2022.75649.1150>
32. Shukla, P. S., Mantin, E. G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2019). *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in Plant Science*, 10, 462648. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>
33. Siavoshi, M., Nasiri, A., & Laware, S. L. (2011). Effect of organic fertilizer on growth and yield components in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agricultural Science*, 3(3), 217-221. <https://doi.org/10.5539/jas.v3n3p217>
34. Sivakamipriya, J., Suresh, S., Manikandan, K., & Ramesh, P. T. (2022). Effect of water soluble fertilizer, micronutrients, humic acid and seaweed extract on growth and yield of rice. *Biological Forum – An International Journal*, 14(2), 493-498.
35. Sridhar, S., & Rengasamy, R. (2010). Studies on the effect of seaweed liquid fertilizer on the flowering plant *Tagetes erecta* in field trial. *Advances in BioResearch*, 1(2), 29-34.
36. Sunarpi, H., Nikmatullah, A., Sunarwidhi, A. L., Jihadi, A., Ilhami, B. T. K., Ambana, Y., & Prasedya, E. S. (2021, March). Combination of inorganic and organic fertilizer in rice plants (*Oryza sativa* L.) in screen houses. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 712, No. 1, p. 012035). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/712/1/012035>
37. Szczepanek, M., Wszelaczynska, E., & Poberezy, J. (2018). Effect of seaweed biostimulant application in spring wheat. *Agro Life Scientific Journal*, 7(1), 1-7.

38. Wang, N., Fu, F., Wang, H., Wang, P., He, S., Shao, H., & Zhang, X. (2021). Effects of irrigation and nitrogen on chlorophyll content, dry matter and nitrogen accumulation in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Scientific Reports*, 11(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95792-z>
39. Wang, Y., Ren, T., Lu, J., Ming, R., Li, P., Hussain, S., & Li, X. (2016). Heterogeneity in rice tillers yield associated with tillers formation and nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, 108(4), 1717-1725. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0587>
40. Wen ZhiHui, W. Z., Shen JianBo, S. J., Blackwell, M., Li HaiGang, L. H., Zhao BingQiang, Z. B., & Yuan HuiMin, Y. H. (2016). Combined applications of nitrogen and phosphorus fertilizers with manure increase maize yield and nutrient uptake via stimulating root growth in a long-term experiment. *Pedospher*, 26(1), 62-73. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60023-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60023-6)
41. Xie, H., Wu, K., Iqbal, A., Ali, I., He, L., Ullah, S., & Jiang, L. (2021). Synthetic nitrogen coupled with seaweed extract and microbial inoculants improves rice (*Oryza sativa* L.) production under a dual cropping system. *Italian Journal of Agronomy*, 16(2), 1-10. <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1800>
42. Xu, G., Fan, X., & Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 153-182. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>
43. Yang JianChang, Y. J., Zhang Hao, Z. H., & Zhang JianHua, Z. J. (2012). Root morphology and physiology in relation to the yield formation of rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(6), 920-926. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60082-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60082-3)
44. Zayed, B. A., Elkhoby, W. M., Salem, A. K., Ceesay, M., & Uphoff, N. T. (2013). Effect of integrated nitrogen fertilizer on rice productivity and soil fertility under saline soil conditions. *Journal of Plant Biology Research*, 2(1), 14-24.
45. Zayed, B. A., Salem, A. K. M., & El Sharkawy, H. M. (2011). Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 7(2), 179-184.
46. Zhang, H., Liu, H., Hou, D., Zhou, Y., Liu, M., Wang, Z., & Yang, J. (2019). The effect of integrative crop management on root growth and methane emission of paddy rice. *The Crop Journal*, 7(4), 444-457. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.12.011>
47. Zhang, W., Wu, L., Wu, X., Ding, Y., Li, G., Li, J., & Wang, S. (2016). Lodging resistance of japonica rice (*Oryza Sativa* L.): Morphological and anatomical traits due to top-dressing nitrogen application rates. *Rice*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12284-016-0103-8>
48. Zodape, S. T., Mukhopadhyay, S., Eswaran, K., Reddy, M. P., & Chikara, J. (2010). Enhanced yield and nutritional quality in green gram (*Phaseolus radiata* L.) treated with seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 69, 468-471.



Research Article

Vol. 23, No. 3, Fall 2025, p. 285-301

Evaluation of Water and Nitrogen Use Efficiency of Dryland Barley (*Hordeum vulgare*) Genotypes

V. Feiziasl ^{1*}

1- Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

(*- Corresponding author's Email: v.feiziasl@areeo.ac.ir)

Received: 20 August 2024

Revised: 30 November 2024

Accepted: 03 December 2024

Available Online: 13 April 2025

How to cite this article:

Feiziasl, V. (2025). Evaluation of water and nitrogen use efficiency of dryland barley (*Hordeum vulgare*) genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 285-301. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.89493.1348>

Introduction

Precipitation and nitrogen are the most abiotic factors that greatly impact the yield of barley (*Hordeum vulgare*) in arid and semi-arid regions. Because with water restrictions in dryland conditions, Iran's drylands have low organic matter and mineral nitrogen ($NO_3^- + NH_4^+$) for barley plant nutrition. Researchers believe, the production of dryland barley is often influenced by the three factors of planting date, soil available water and determining the exact nitrogen requirement of this crop. Therefore, many researchers have reported the existence of interaction effects between water (supplemental irrigation) and nitrogen in barley plants. Because nitrogen through the expansion of the plant's root system, it causes better absorption of nutrients and water and as a result increases water use efficiency. Therefore, the main purpose of this experiment was to evaluate the interaction effects of nitrogen and supplemental irrigation in the production of new barley lines, to increase yield and introduce them for cold areas.

Materials and Methods

The experiment was conducted in a split split-plot arrangement based on randomized complete block design (RCBD) with three replications and for two cropping years (2021-2023) in the Dryland Agricultural Research Institute (DARI). Factors included supplemental irrigation with two levels (50 mm in autumn and 50 mm in autumn + 30 mm in end of stem elongation stage (ZS77)) in main plot, nitrogen 5 levels (0, 30, 60, 90 and 120 kgN.ha⁻¹) in sub-plots and five rainfed barley genotypes (Artan, Ghaflan, ERBYT 8-(96-93), ERBYT 8-(95-92) and ERBYT 22-(93-90) in sub sub-plots. The barley genotypes were planted on a flat plot area by Hassia planter in 11-row plots with 15 m long and 2.2 m wide (20 cm row spacing). The sowing rate was 380 seeds per m² based on thousand kernel weight (TKW) of each genotype. Seeds were treated with the fungicide Penconazole. Planting took place between September 22 and 28. Measured plant traits included water use efficiency (WUE), agronomic nitrogen use efficiency (NUE), nitrogen partial factor productivity (PFP), biological yield, grain yield, yield components, and canopy temperature (CT). Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and regression models.

Results and Discussion

The results indicated that the effect of year was significant ($P \leq 0.01$) for both biological and grain yield, which was attributed to a 58 mm increase in early spring rainfall during the second year. An increase in early



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.89493.1348>

spring rainfall causes an increase in plant canopy and number of spikes per m² and a significant decrease in the canopy temperature by 7.5 °C. With the increase of each millimeter of rainfall, the nitrogen partial factor productivity (PFP) increased by 41 kg yield kg N⁻¹. A significant difference was observed between the two supplemental irrigation levels in most of the plant characteristics including biological and grain yield. This increase was due to a significant increase in the spikes.m². The effect of nitrogen on biological and grain yield was significant ($P \leq 0.01$). With the increase of nitrogen application rate, nitrogen use efficiency (NUE) and nitrogen partial factor productivity (PFP) decreased significantly. Nitrogen application reduced canopy temperature (CT) by 2 °C and NUE and PFP by 47 and 104 kg yield kg N⁻¹, respectively. Nitrogen application reduced the effects of water and heat stress in the grain filling stage and on average increased WUE by 48 and 56% for grain and biological yield, respectively. There was a significant difference ($P \leq 0.01$) between the barley genotypes in terms of biological, grain and straw yield. The highest biological yield of 8419 kg ha⁻¹ was obtained from Artan cultivar and the highest grain yield was obtained from Artan, Ghaflan number 3 genotypes with an average of 3635 kg ha⁻¹. These three genotypes had the highest partial factor productivity (PFP) with an average of 69.7 kg ha⁻¹. The average water use efficiency (rainfall + supplemental irrigation) for the production of biological and grain yield, these three genotypes was 22.3 and 9.9 kg ha⁻¹.mm⁻¹, respectively. WUE for the superior Artan genotype, 22.9 and 10 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectively. The interaction effect of supplemental irrigation and nitrogen on grain yield was significant ($P \leq 0.01$). The calculations showed that the contribution of nitrogen fertilizer in the production of barley grain yield 16.3% was more than soil nitrogen. Finally, two stages of supplemental irrigation (50 mm at planting time + 30 mm at end of steam elongation) with 30 kg ha⁻¹ nitrogen application was the best term.

Conclusion

The interaction effect of supplemental irrigation and nitrogen in the production of barley genotypes was obtained by improving plant health indices, reducing the canopy temperature and increasing the number of spikes per m². Supplying the nitrogen requirement of barley under supplemental irrigation conditions to reduce the effects of moisture and heat stress on the plant was proved in this research.

Keywords: Canopy temperature, Contribution of soil nitrogen in production, Piecewise (broken) regression, Yield, Yield components

ارزیابی کارایی استفاده از آب و نیتروژن در ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare*) دیمولی فیضی اصل^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳

چکیده

اثرات متقابل آب و نیتروژن در تولید جو (*Hordeum vulgare*) به اثبات رسیده است. برای ارزیابی این اثرات، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده با دو سطح آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در پاییز و ۵۰ میلی‌متر در پائیز + ۳۰ میلی‌متر در اواخر ساقه رفتن)، پنج سطح نیتروژن (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) و پنج رقم و لاین پیشرفته جو دیم (آرتان، قافلان، ERBYT (۹۳-۹۰)، ۲۲-ERBYT (۹۲-۹۵) و ۸-ERBYT (۹۳-۹۶) در سه تکرار و به‌مدت دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۲) اجرا شد. عملکرد، اجزای عملکرد، کارایی استفاده از نیتروژن (NUE) و آب (WUE) و سهم نیتروژن خاک (CSN) در تولید تعیین شد. نتایج نشان داد که در هر دو سطح آبیاری تکمیلی، بیشترین عملکرد از مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به دست آمد که با تیمار N0 اختلاف معنی‌داری داشت، اما با سایر سطوح مصرف نیتروژن در یک کلاس آماری قرار گرفت. اثر متقابل آبیاری تکمیلی در نیتروژن بر عملکرد ۱/۷ برابر بیشتر از اثر آبیاری تکمیلی و نیتروژن بود. هر دو عامل از طریق افزایش تعداد سنبله در واحد سطح عملکرد را افزایش دادند. با مصرف نیتروژن، کارایی استفاده از نیتروژن و بهره‌وری جزئی نیتروژن (PFP) به‌صورت نمایی کاهش یافت و بیشترین آن‌ها برای عملکرد دانه به‌ترتیب ۴۷ و ۱۰۴ کیلوگرم بر کیلوگرم از تیمار N30 به دست آمد. مصرف نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار کارایی استفاده از آب برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب ۴۸ و ۵۶ درصد شد. سهم نیتروژن کودی در تولید عملکرد به‌طور میانگین ۱۶/۳ درصد بیشتر از سهم نیتروژن خاک بود. در مجموع، تیمار دو مرحله آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در پاییز + ۳۰ میلی‌متر در اواخر ساقه رفتن) با مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص برترین بود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، دمای تاج‌پوشش، رگرسیون تکه‌ای، سهم نیتروژن خاک در تولید، عملکرد

مقدمه

به اینکه جو به تنش‌های خشکی و گرما تحمل بالایی دارد، لذا این ویژگی، جو را به‌عنوان یکی از محصولات سازگار و موفق برای مناطق نیمه‌خشک درآورده است. همچنین جو از جمله گیاهان غله‌ای است که تحمل خوبی در مقابل شوری دارد. این گونه گیاهی در واکنش‌های (pH) مختلف خاک از ۵ تا ۸/۳ رشد می‌کند و در سیستم‌های تناوبی به‌عنوان انبار یا ذخیره‌کننده عناصر غذایی برای گیاهان بعدی به شمار می‌آید (Valenzuela & Smith, 2002).

کمبود آب در غرب آسیا و شمال آفریقا، محدودیت اصلی تولید محصولات کشاورزی است، عملکرد پایین و متغیر بودن آن به‌دلیل بارندگی‌های فصلی ناکافی و نامنظم در این مناطق می‌باشد. معمولاً در این مناطق، کشاورزان به‌طور سنتی گندم (*Triticum aestivum* L.) را به‌صورت آبی و جو را به‌صورت دیم کشت می‌کنند، زیرا از گندم درآمد بیشتری کسب می‌کنند و معتقدند جو با شرایط دیم سازگاری بیشتری دارد. بنابراین با مرسوم شدن آبیاری در این مناطق، کشاورزان تمایل بیشتری به آبیاری گندم در مقایسه با جو دارند

اگرچه حدود ۸۵ درصد جو (*Hordeum vulgare* L.) دنیا صرف تغذیه دام می‌شود (Fischbeck, 2002)، اما در سال‌های اخیر، به‌دلیل داشتن بتاگلوکان (β -glucan) بیشتر آن نسبت به سایر غلات و علاقه به استفاده از آن در تغذیه انسان، افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است (Erkan, Celik, Bilgi, & Koksel, 2006). این ماده در پایین آوردن کلسترول، کنترل گلوکز و انسولین خون و نیز کاهش خطر ابتلا به سرطان مؤثر است (Mokhtari, Esfarjani, & Kargar Fard, 2014). جو در تیپ‌های مختلف خاک با بافت لومی تا سنگین به‌استثنای خاک‌های ماندابی به‌خوبی رشد می‌کند. با توجه

۱- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

(Email: v.feiziasl@areeo.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

کرت‌های دو بار خردشده با دو سطح آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در پاییز در زمان کاشت (برای سبز شدن بذور) و ۵۰ میلی‌متر در پاییز در زمان کاشت + ۳۰ میلی‌متر در اواخر ساقه رفتن ZS77) در کرت اصلی (Feiziasl, 2022)، پنج سطح نیتروژن شامل ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در سطوح کرت فرعی و دو رقم و سه لاین پیشرفته جو دیم (آرتان، قافلان، ERBYT، ۹۰-۹۳-۲۲، ERBYT، ۹۲-۹۵-۸، ERBYT، ۹۳-۹۶-۸) در سطوح کرت فرعی فرعی در سه تکرار و به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه اجرا شد.

در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ میزان بارندگی ۳۰۲/۴ میلی‌متر بود که نسبت به بلندمدت ۶۵ میلی‌متر (۱۷/۷ درصد) کاهش داشت. پراکنش بارندگی در پاییز ۱۱۹ میلی‌متر (۳۰ درصد)، زمستان ۱۲۵/۴ میلی‌متر (۳۷ درصد) و بهار ۵۸ میلی‌متر (۳۳ درصد) بود. بارندگی‌های فصل پاییز و زمستان به ترتیب ۱۶ و ۵ درصد نسبت به آمار بلندمدت افزایش داشت، اما بارندگی در فصل بهار ۵۷ درصد (۷۷ میلی‌متر) کاهش یافت (جدول ۱ و شکل ۱A). در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ میزان بارندگی ۲۹۰/۷ میلی‌متر بود که نسبت به بلندمدت ۷۶/۸ میلی‌متر (۱۹/۵ درصد) کمتر بود. پراکنش بارندگی در پاییز ۶۹/۳ میلی‌متر (۲۳/۸ درصد)، زمستان ۱۰۷/۱ میلی‌متر (۳۶/۸ درصد) و بهار ۱۱۴/۱ میلی‌متر (۳۹/۳ درصد) بود. مطابق این نتایج، بارندگی‌های هر سه فصل پاییز، زمستان و بهار نسبت به آمار بلندمدت کاهش داشت، اما بارندگی فصل بهار ۵۷/۷ میلی‌متر (۱۰۲ درصد) نسبت به سال زراعی اول افزایش یافت (جدول ۱ شکل ۱B).

به منظور اطلاع از ویژگی‌های اولیه خاک و انجام توصیه‌های کودی، نمونه خاکی به روش مرکب از محل اجرای آزمایش تهیه و ویژگی‌های بافت خاک به روش هیدرومتری، کلسیم کربنات معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود، کربن آلی به روش اکسایش تر (والکلی بلک)، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس قابل جذب تعیین شد (Ali Ehyaei, 1999). در سال اول و دوم زراعی، فسفر قابل جذب در خاک کمتر از حد بحرانی ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Feiziasl, Kasraei, Moghaddam, & Valizadeh, 2004) بود و برای جبران کمبود آن به ترتیب ۱۰۵ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل به صورت نواری همزمان با کاشت مصرف شد. مقادیر سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس در خاک بیش از حد بحرانی این عناصر به ترتیب ۲۵۰، ۵، ۱۱، ۰/۹ و ۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای جو دیم بود (جدول ۲)، لذا نیازی به مصرف کودهای حاوی این عناصر نبود (Pala, & Mosavi, 2009).

(Abourached, Yau, Nimah, & Bashour, 2008). از سوی دیگر، عملکرد جو به طور مستقیم تحت تأثیر تنش آبی در مراحل بحرانی رشد این گیاه قرار می‌گیرد. معمولاً این مراحل بحرانی برای گیاهان مختلف شناخته شده است (Singh & Kumar, 1981). اگرچه جو نسبت به سایر غلات به تنش رطوبتی متحمل تر است، ولی در دو مرحله ساقه رفتن و تشکیل دانه نسبت به کمبود آب به شدت حساس بوده و تنش رطوبتی در این مراحل منجر به کاهش شدید عملکرد آن می‌شود (Lauer & Partridge, 1990). تنش رطوبتی در شرایط دیم تنها به دلیل کمبود بارندگی و محدودیت آب رخ نمی‌دهد، بلکه عوامل دیگری مانند تنش گرمایی به ویژه پس از مرحله گل‌دهی باعث بر هم زدن تعادل جذب و مصرف آب و تشدید پدیده تنش آبی می‌شود (Aynehband, Asadi, & Rahnama, 2014). پس از آب، تأمین نیتروژن مورد نیاز، محدودیت اصلی رشد غلات در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. معمولاً خاک‌های مناطق ایران دارای مواد آلی و نیتروژن معدنی کم برای تغذیه گیاه هستند (Feiziasl, 2020). عملکرد جو دیم اغلب تحت تأثیر سه عامل تاریخ کاشت، آب قابل استفاده در خاک و تعیین نیاز دقیق نیتروژنی این محصول می‌باشد (McKenzie & Jackson, 2005). بر این اساس، پژوهشگران زیادی وجود اثرات متقابل بین آب (آبیاری تکمیلی) و نیتروژن را در گیاه جو گزارش کرده‌اند. آن‌ها معتقدند که نیتروژن با تقویت گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه، جذب عناصر غذایی و آب و در نتیجه کارایی استفاده از آب را بهبود می‌بخشد. نیتروژن از طریق تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه، در کاهش تنش‌های محیطی از جمله تنش رطوبتی و گرمای آخر فصل بسیار مؤثر می‌باشد و اثرات مثبت آن با تأمین بهینه آب بیشتر مشهود است (Abourached et al., 2008; Agami, Alamri, Abd El-Mageed, Abousekken, & Hashem, 2018; Al-Menaie, Al-Ragam, Al-Shatti, Al-Hadidi, & Babu, 2024; Cossani, Slaferand, & Savin, 2012; Khan et al., 2023; Muurinen, Kleemola, & Peltonen-Sainio, 2007; Ru et al., 2022; Sadras & McDonald, 2012). لذا با توجه نقش اثرات متقابل نیتروژن و آبیاری تکمیلی در تولید گیاه جو و امکان افزایش عملکرد این محصول در مناطقی با امکان آبیاری تکمیلی و با مناطق پر باران، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات متقابل آب و نیتروژن به منظور امکان بهبود صفات مؤثر در عملکرد دانه و بیولوژیک و کارایی استفاده از آب و نیتروژن در ژنوتیپ‌های جو دیم اجرا شد.

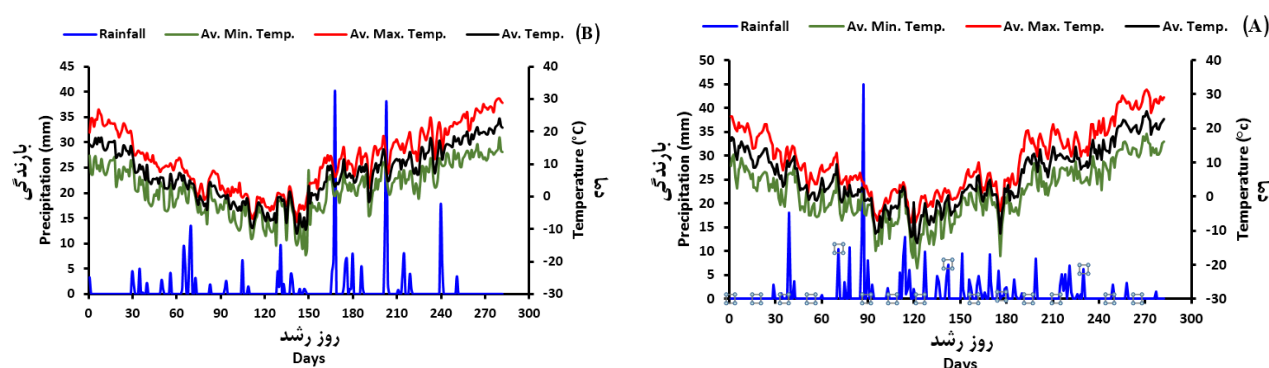
مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در سال‌های اجرای آزمایش و میانگین بلندمدت (۲۸ سال)

Table 1- Meteorological information for station of Dryland Agricultural Research Institute (DARI) in cropping seasons and long term (28 years)

سال Year	بارندگی Rainfall (mm)	میانگین حداقل دما Mean Min. temperature (°C)	میانگین حداکثر دما Mean Max. temperature (°C)	میانگین دما Mean temperature (°C)	تعداد روزهای زیر صفر Days of blow zero	رطوبت نسبی هوا Relative humidity (%)	تبخیر و تعرق Evaporation (mm)
1400-01 (2021-22)	302.4	2.2	12.0	7.1	127	60.0	1100.0
1401-02 (2022-23)	290.7	3.2	12.7	7.9	113	60.0	1217.7
بلندمدت Long term	367.5	2.2	11.2	7.0	124	57.2	1082.0



شکل ۱- تغییرات بارندگی و دمای هوا در طول دوره رشد در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ (A) و ۱۴۰۱-۰۲ (B)
Figure 1- Variation of rainfall and air temperature in 2021-2022 (A) and 2022-2023 (B) cropping seasons

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۰ الی ۲۵ سانتی‌متری

Table 2- Soil physical and chemical properties of experiment location (0-25 cm)

سال Year	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اشباع خاک Saturation percentage	مواد خشتی شونده TNV (%)	کربن آلی Organic C	فسفر P (Available)	پتاسیم K (Available)	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	بافت Texture
1400-01 2021-22	7.1	0.74	42	10.5	0.81	3.0	436	5.2	12.5	1.0	1.8	Silty loam
1401-02 2022-23	7.7	0.15	47	5.1	0.72	4.0	677	7.6	13.6	1.1	2.3	Clay loam

عملکرد دانه و بیولوژیک، کارایی استفاده از آب^۱ (WUE)، کارایی استفاده از نیتروژن^۲ (NUE)، بهره‌وری جزئی^۳ (PFP) نیتروژن (نسبت عملکرد دانه به میزان نیتروژن خالص مصرف‌شده از طریق کود اوره در هر هکتار)، سهم نیتروژن خاک در تولید عملکرد^۴ (CSN) و دمای

کاشت با بذركار هاسیای آزمایشی مجهز به سیستم جایگذاری کود دارای ۱۱ ردیف به فاصله ردیف‌های ۲۰ سانتی‌متر و با تراکم ۴۵۰ دانه در مترمربع در دهه اول مهر ماه انجام گرفت (Anonymous, 2022). مساحت هر کرت فرعی ۲۲ مترمربع بود. دو سوم تیمار نیتروژنی در پاییز همزمان با کاشت و به‌صورت جایگذاری و یک سوم به‌صورت سرک در اواخر اسفند مصرف شد. تیمارهای آبیاری به‌صورت بارانی انجام گرفت. صفات اجزای عملکرد،

1- Water use efficiency (WUE)

2- Nitrogen use efficiency (NUE)

3- Partial factor productivity (PFP)

4- Contribution of soil nitrogen in production (CSN)

تاج‌پوشش^۱ (CT) در مرحله پر شدن دانه در تیمارها اندازه‌گیری شد (Feiziasl, 2022). قبل از اجرای آزمایش و پس از برداشت محصول، نمونه خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر از هر کرت جهت تعیین میزان رطوبت خاک تهیه و کارایی استفاده از آب محاسبه گردید. در محاسبه این شاخص، مقدار آب زهکشی‌شده به لایه‌های پایین‌تر از ۱/۸ متر پروفیل صفر در نظر گرفته شد (Bian et al., 2016). پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، مابقی هر کرت به کمک موور (به‌صورت کف‌بر) برداشت و عملکرد بیولوژیک دانه تعیین شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به کمک نرم‌افزار GenStat14 انجام و شکل‌ها به کمک Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، همگن بودن خطاها از طریق تجزیه واریانس ساده برای هر سال زراعی برای صفات عملکرد دانه و بیولوژیک از طریق آزمون Fmax هارتلی (Chukwudi, Idochi, & Sylvia, 2019) مورد تأیید قرار گرفت و پس از آن، داده‌ها به‌صورت مرکب تجزیه واریانس گردید و مقایسه میانگین‌ها انجام شد (جدول ۳).

اثر سال

بین دو سال از لحاظ تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال پنج درصد و عملکرد بیولوژیک و دانه، تعداد سنبله در واحد سطح، بهره‌وری جزئی نیتروژن (PFP)، بهره‌وری آب (WUE) برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک و سهم نیتروژن خاک (CSN) در تولید عملکرد دانه و بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک و دانه از سال دوم به دست آمد که به‌ترتیب ۶۳۵۰ و ۲۶۴۷ کیلوگرم در هکتار افزایش داشت. افزایش عملکرد دانه در سال دوم بیشتر به‌دلیل افزایش معنی‌دار (۱۳۱ درصد) جزء تعداد سنبله در واحد بود، زیرا افزایش دو جزء دیگر قادر به توجیه افزایش ۱۲۷ درصدی عملکرد دانه در سال دوم نبودند (جدول ۴). آمار هواشناسی نشان داد که اولاً میانگین دمای دو ماه فروردین و اردیبهشت به‌عنوان ماه‌های رشد سریع جو در سال دوم ۰/۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از سال اول (سال اول ۹/۳ و سال دوم ۹/۸ درجه سانتی‌گراد) بود. همچنین در سال دوم، تعداد روزهای یخبندان در این دو ماه کمتر از سال اول (سال اول ۱۰ روز و سال دوم ۴ روز) بود. ثانیاً اگرچه میزان بارندگی دو سال زراعی کمتر از چهار درصد (۱۲ میلی‌متر) اختلاف داشت، اما میزان بارندگی در فصل بهار در سال دوم ۵۷/۷ میلی‌متر (۱۰۲ درصد) بیشتر از سال

اول بود، لذا متوسط دمای بیشتر همراه با افزایش بارندگی در اوایل فصل بهار، دلیل اصلی افزایش معنی‌دار عملکرد در سال دوم می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۱). بنابراین علی‌رغم انجام آبیاری تکمیلی، اثر بارندگی در اوایل فصل بهار از طریق افزایش تعداد سنبله بارور نقش مؤثری در افزایش تولید جو داشت (جدول ۴). پژوهشگران، بارندگی اوایل فصل بهار را یکی از عوامل مؤثر در افزایش عملکرد جو در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مطرح نموده‌اند (Austin, Cantero-Martínez, Arrúe Ugarte, Playán Jubillar, & Cano-Marcellán, 1998; Högy, Poll, Marhan, Kandeler, & Fangmeier, 2012). به‌طوری‌که کاهش بارندگی در اوایل فصل بهار منجر به تشدید اثر تنش رطوبتی و کاهش عملکرد بیولوژیک و تشش آخر فصل منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Ahmadi, Hosseinpour, & Soltani, 2014; Radaei Alamoli, Jahansooz, Bagher Hosseini, & Soufizadeh, 2020). همچنین در سال دوم بهره‌وری جزئی نیتروژن ۵۴ کیلوگرم بر کیلوگرم، کارایی استفاده از آب برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب ۷/۵ و ۱۸/۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر و سهم نیتروژن خاک در تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب ۳۹/۸ و ۸۲/۰ کیلوگرم بر کیلوگرم به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/01$) افزایش یافت. برخلاف صفات یادشده کارایی استفاده از نیتروژن در سال دوم حدود ۱۰ درصد کاهش یافت که این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۴). با توجه به این نتایج استنباط می‌شود که بارندگی در اوایل فصل بهار (فروردین و اردیبهشت) مصادف با فصل رشد سریع جو، عامل بسیار مهم در افزایش اندام‌های هوایی گیاه به‌عنوان منبع فتوسنتزی و افزایش عملکرد این محصول در سال دوم زراعی بوده است.

اثر آبیاری تکمیلی

بین دو سطح آبیاری تکمیلی تفاوت معنی‌داری در بیشتر صفات از جمله عملکرد بیولوژیک و دانه مشاهده شد (جدول ۳)، به‌طوری‌که آبیاری تکمیلی دو مرحله‌ای باعث افزایش ۲۵۷۸ و ۱۲۵۹ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب عملکرد بیولوژیک و دانه با میانگین ۴۱ درصد نسبت به آبیاری تک مرحله‌ای شد. اگرچه هر سه جزء عملکرد در آبیاری تکمیلی دو مرحله‌ای افزایش داشت، اما افزایش وزن هزاردانه ($P \leq 0/01$) و تعداد سنبله در واحد سطح ($P \leq 0/05$) معنی‌دار بود و بیشترین افزایش با ۹۷ درصد (وزن هزاردانه هشت درصد) مربوط به تعداد سنبله در واحد سطح بود. بنابراین افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک مرهون افزایش تعداد سنبله در واحد سطح بوده است. مقایسه اثر سال با اثر آبیاری تکمیلی در تولید عملکرد نشان داد که تفاوت عملکرد بین سال‌ها به‌طور میانگین ۲/۵ برابر تغییرات اثر آبیاری تکمیلی است و این نشانگر اثر بیشتر بارندگی اوایل بهار در سال دوم در مقایسه با آبیاری تکمیلی ۳۰ میلی‌متر دوم می‌باشد

1- Canopy temperature (CT)

چنانچه در این لایه نیتروژن معدنی کمتر از ۶۰ کیلوگرم در هکتار باشد، گیاه جو به مصرف کودهای نیتروژنی پاسخ مثبت نشان می‌دهد (Al-Menaie et al., 2024; Cammarano et al., 2021; Ismail & Withers, 1984). نتایج المناعی و همکاران (Al-Menaie et al., 2024) نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، اولین سطح مصرف نیتروژن بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک را تولید نمود، اما در شرایط کم‌آبیاری (آبیاری ۷۵ درصد FC) نه تنها عملکرد دانه و بیولوژیک کمتری تولید شد، بلکه بیشترین عملکرد از سطح دوم مصرف نیتروژن به دست آمد. رابطه بین اجزای عملکرد و عملکرد دانه نشان داد که مصرف نیتروژن تعداد سنبله در واحد سطح را به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) افزایش داد (جدول ۳) و بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح در تیمار N30 ثبت شد (جدول ۴). با این تفاوت که این رابطه رگرسیونی از نوع خطی بود (شکل B۲) و باعث افزایش عملکرد دانه شد (جدول ۴). بررسی رابطه بین سه جزء عملکرد دانه با اجزای عملکرد از طریق رگرسیون گام‌به‌گام نیز نشان داد که از بین سه جزء عملکرد دانه، تنها جزء تعداد سنبله در واحد سطح توانست عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری ($\text{Grain yield} = 274.17 + 5.30 \times (\text{No. Spike})$) توضیح نماید. نتایج پژوهش‌های پیشین نیز نشان می‌دهد که افزایش تعداد سنبله در واحد سطح با مصرف کودهای نیتروژنی در گندم و جو دیم در شرایط آبیاری تکمیلی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه در مناطق سرد شده است و این موضوع در مدیریت‌های موفق به‌زراعی مانند آبیاری تکمیلی و مصرف نیتروژن مد نظر قرار می‌گیرد (Feiziasl et al., 2017; Feiziasl, 2009).

مصرف نیتروژن، WUE برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک و CSN در تولید عملکرد دانه را به‌صورت مثبت و معنی‌دار افزایش داد، اما PFP و NUE را به‌طور منفی و معنی‌دار کاهش داد. NUE با مصرف نیتروژن از ۶۱/۸ به ۱۴/۲ و PFP از ۱۳۰/۱ به ۳۱/۷ کیلوگرم عملکرد دانه به‌ازای کیلوگرم مصرف نیتروژن کاهش یافت (جدول ۳ و جدول ۴). روابط بین نیتروژن مصرفی با PFP و NUE نشان داد که با مصرف نیتروژن هر دو شاخص به‌طور معنی‌داری و به‌صورت نمایی کاهش یافت. مطابق این نتایج، بین مقادیر N30 تا N60، کاهش NUE و PFP به‌طور میانگین به‌ترتیب ۱/۱ و ۲/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم، بین N60 تا N90 به‌ترتیب ۰/۳ و ۰/۷ کیلوگرم بر کیلوگرم و بین N90 تا N120 به‌ترتیب ۰/۲ و ۰/۴ کیلوگرم بر کیلوگرم بود (شکل ۳). سایرین نیز سیر نزولی کارایی مصرف نیتروژن را با مصرف نیتروژن در محدوده پژوهش حاضر برای جو دیم گزارش کرده‌اند (Muurinen et al., 2007; Nehe et al., 2020; Sylvester-Bradley & Kindred, 2009). دامنه PFP برای جو آبی در مشهد ۶۰-۲۷ کیلوگرم بر کیلوگرم بیان شده است (Fanoodi, Khazaei, & Kafi, 2017). دامنه NUE برای تولید دانه غلات

(جدول ۴). پژوهشگران زیادی همبستگی بالای میزان بارندگی به‌ویژه بارندگی فصل بهار را با عملکرد جو گزارش کرده‌اند و نقش بیشتر میزان بارندگی را در مقایسه با سایر عوامل به‌زراعی مورد تأکید قرار داده‌اند (Feiziasl et al., 2016; Feiziasl, Jafarzadeh, Sadeghzadeh, & Mousavi Shalmani, 2022; Matar, Jabbour, & El-Hajj, 1987).

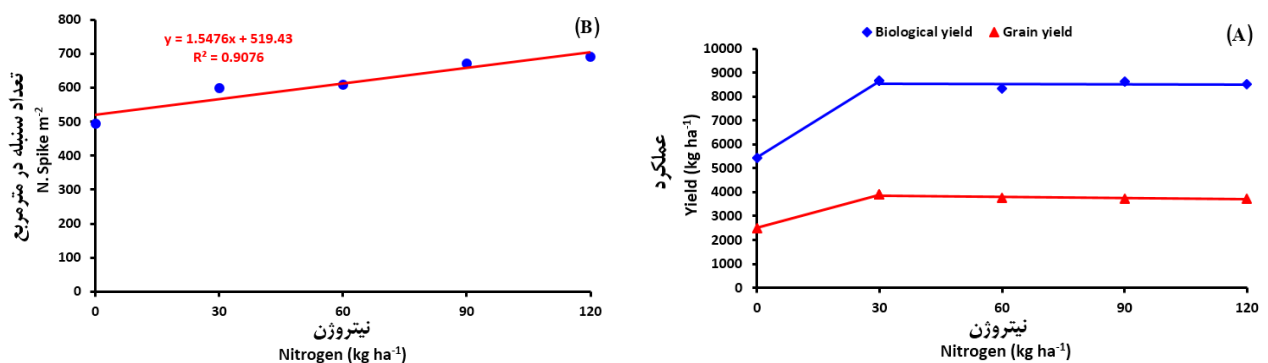
آبیاری ۸۰ میلی‌متر باعث افزایش معنی‌دار WUE، PFP، NUE برای تولید دانه و عملکرد بیولوژیک و CSN در تولید عملکرد دانه شد (جدول ۳). با افزایش یک میلی‌متر آبیاری تکمیلی در اواخر ساقه رفتن، NUE، PFP، WUE برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک و CSN به‌طور میانگین به‌ترتیب ۰/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم، ۱ کیلوگرم بر کیلوگرم، ۱ و ۰/۲ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر و ۰/۱۹ کیلوگرم بر کیلوگرم افزایش یافت. بنابراین، انجام آبیاری تکمیلی مرحله دوم توانسته است که کارایی استفاده از کود اوره و بهره‌وری آب در تولید را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. این افزایش مرهون افزایش درصد پوشش گیاهی (از ۴۹ به ۷۵ درصد) و تا حدودی کاهش دمای تاج‌پوشش (از ۲۲/۹ به ۲۲/۴ درجه سانتی‌گراد) و ایجاد شرایط مناسب برای فتوسنتز گیاه بوده است. همچنین مقایسه اثر سال و آبیاری تکمیلی در WUE برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک نشان داد که اثر سال به‌ترتیب ۲ و ۲/۵ برابر بیشتر از اثر آبیاری تکمیلی در مرحله دوم بوده است و این اهمیت بارندگی را در فصل بهار برای جو و افزایش WUE را نشان می‌دهد (جدول ۴). آب مورد نیاز برای تولید واحد بذر در گیاه جو به‌دلیل پایین بودن میزان تعرق آن کمتر از سایر غلات است (Ryan, Abdel Monem, & Amri, 2009). کارایی استفاده از آب برای این گیاه در شرایط مدیترانه‌ای ۱۴/۶ الی ۲۷/۸ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر گزارش شده است (Katerji, Mastrorilli, & Rana, 2008) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

اثر نیتروژن

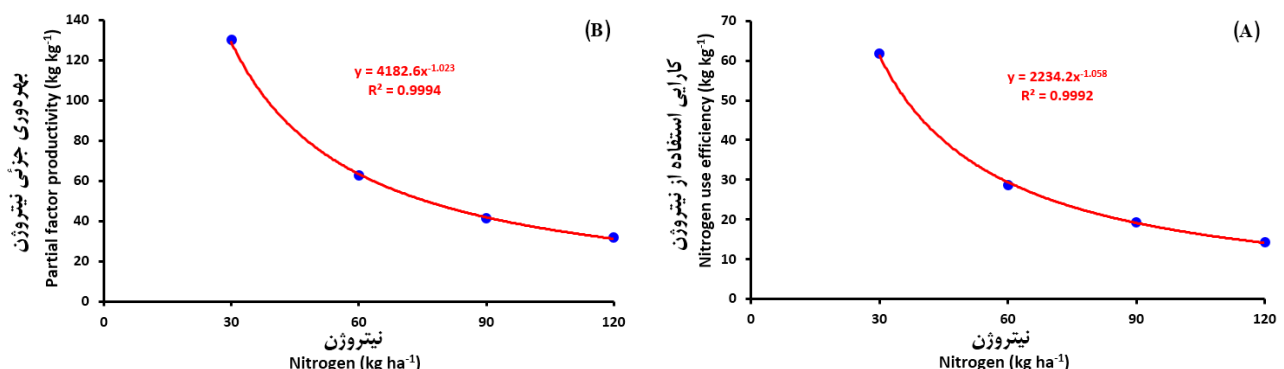
اثر نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک و دانه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۳)، اما هر چهار سطح مصرف نیتروژن در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول ۴). روابط رگرسیونی بین نیتروژن مصرفی با عملکرد بیولوژیک و دانه نشان داد که این روابط از نوع رگرسیون تکه‌ای (خط شکسته) و بیشترین افزایش عملکرد مربوط به تیمار N30 می‌باشد. مصرف هر کیلوگرم در هکتار نیتروژن تا سطح ۳۰ کیلوگرم در هکتار، به‌طور میانگین باعث افزایش ۱۰۷ و ۴۷ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب عملکرد بیولوژیک و دانه شد، اما مصرف بیش از آن روند تقریباً ثابتی داشت (شکل A۲). پژوهشگران معتقدند که پاسخ ارقام جو به مصرف نیتروژن به دو عامل آب قابل استفاده و نیتروژن معدنی در عمق ۶۰ سانتی‌متر اولیه خاک بستگی دارد.

۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، اثر کود مصرفی (کودپذیری) در تولید عملکرد دانه به ترتیب ۶۲، ۲۹، ۱۹ و ۱۴ کیلوگرم بر کیلوگرم و اثر نیتروژن خاک به ترتیب ۷۸، ۴۰، ۲۶ و ۲۰ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. مطابق این نتایج، سهم نیتروژن خاک (CSN) در تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به طور میانگین به ترتیب ۳۲ و ۲۲ درصد بیشتر از نیتروژن مصرف شده از طریق کود (NUE) بود (جدول ۴ و شکل ۴). پژوهشگران علت این موضوع را مصرف زیاد کودهای نیتروژنی و اثر محدودکننده آن بر تنوع ریزجانداران و کارکرد ریشه گیاهان زراعی می دانند. وقتی نمی توان از مصرف مفرط نیتروژن اجتناب کرد باید ژنوتیپ هایی را یافت که قادر به جذب و انباشت غلظت بالای نیتروژن هستند و یا اینکه به واسطه برخی صفات NUE بالایی دارند (Barati, Ghadiri, Zand-Parsa, & Karimian, 2015; Koocheki, 2017).

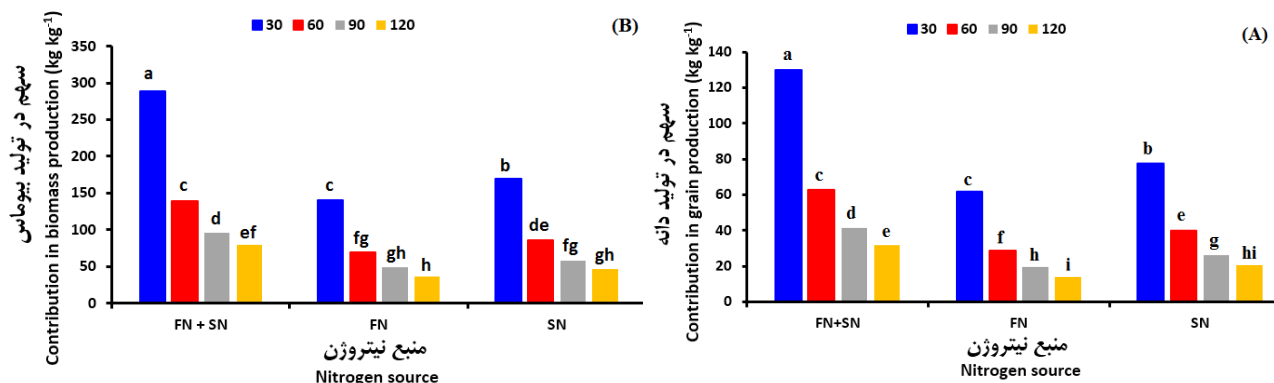
۸۰-۴۰ کیلوگرم بر کیلوگرم و برای PFP، ۳۰-۱۰ کیلوگرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Govindasamy et al., 2023; Raun & Johnson, 1999; Udvardi, Brodie, Riley, Kaeppler, & Lynch, 2015). المناعی و همکاران (Al-Menaie et al., 2024) با استفاده از نیتروژن-۱۵ بیشترین کارایی مصرف نیتروژن را در اثر متقابل آبیاری تکمیلی در نیتروژن، ۳۷/۶ درصد برای جو محاسبه نمودند. کوچکی (Koocheki, 2017) نتیجه مشابهی را در مورد کاهش بودن روابط بین نیتروژن مصرفی با PFP و NUE گزارش کرده اند، اما اعداد و ارقام آن ها در هر دو شاخص برای گندم کمتر از نتایج پژوهش حاضر برای گیاه جو می باشد. پژوهش ها نشان می دهد که ارقام جو با جذب بالای نیتروژن، عملکرد بالاتری تولید می کنند. سهم نیتروژن خاک در تولید عملکرد دانه ($\text{Grain yield} = 2102 \times \text{SN}^{(-0.971)}$; $R^2 = 0.998^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($\text{Biological yield} = 4141 \times \text{SN}^{(-0.941)}$; $R^2 = 0.999^{**}$) با افزایش مصرف نیتروژن به طور معنی دار ($P \leq 0.01$) کاهش یافت. در مقادیر



شکل ۲- رابطه بین میزان مصرف نیتروژن با عملکرد (A) و تعداد سنبله در واحد سطح (B)
Figure 2- Relationship between nitrogen rates with yield (A) and number of spike per m² (B)



شکل ۳- رابطه بین میزان نیتروژن مصرفی با کارایی زراعی استفاده از نیتروژن (A) و بهره‌وری جزئی نیتروژن (B)
Figure 3- Relationship between nitrogen with nitrogen use efficiency (NUE) (A), and partial factor productivity (PFP) (B)



شکل ۴- سهم نیتروژن از منابع کود مصرفی (FN) و خاک (SN) در تولید عملکرد دانه (A) و بیولوژیک (B)؛ (کلاس‌بندی براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

Figure 4- The contribution of nitrogen source from fertilizer (FN) and soil (SN) on grain (A) and biological yield (B); (Classification based on Duncan's Multiple Range Test at $P \leq 0.05$)

افزایش داد که این افزایش اندکی بیشتر از نتایج آن‌ها برای گندم دیم می‌باشد. مسئله مهم دیگر اینکه رابطه بین نیتروژن مصرفی با دمای تاج‌پوشش نشان داد که اولاً بیشترین کاهش دمای تاج‌پوشش در N30 به دست آمد. ثانیاً این رابطه از نوع رگرسیون تکه‌ای (خط شکسته) کاهشی است (شکل ۵A) که کاملاً عکس رابطه نیتروژن مصرفی با عملکرد بیولوژیک و دانه می‌باشد (شکل ۵B). مقایسه این دو شکل نشان می‌دهد که کاهش CT در اثر مصرف نیتروژن منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه شده است (شکل ۵A و شکل ۵B). CT در شرایط مختلف رطوبتی، به‌طور شدیدی تحت تأثیر تغییرات وضعیت نیتروژن و مدیریت این عنصر مهم قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که نیتروژن، همبستگی بین CT و عملکرد را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jia-Zhou, Li-Rong, Guo & Shuang, 2010; Meijer, 2004). اثرات متقابل نیتروژن و CT بستگی به شدت تنش رطوبتی حاکم دارد. در تنش رطوبتی پایین، مصرف نیتروژن منجر به افزایش تدریجی حجم ریشه و کاهش CT می‌شود، اما در تنش رطوبتی بالا، مصرف مقادیر زیاد نیتروژن منجر به افزایش تاج‌پوشش و تقاضای تعرق گیاه و در نتیجه تشدید تنش آبی (افزایش CT) می‌شود (Nielsen & Halvorson, 1991). مطابق نتایج به‌دست‌آمده برای CT در پژوهش حاضر، مصرف نیتروژن باعث کاهش CT گردید. بنابراین استنباط می‌شود که با مصرف نیتروژن به‌ویژه سطح اول مصرف آن، میزان تنش آبی وارد شده بر ژنوتیپ‌های جو کاهش یافته است.

ژنوتیپ

بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0.01$) از لحاظ عملکرد بیولوژیک و دانه وجود داشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک به‌میزان ۸۴۱۹ کیلوگرم در هکتار از رقم آرتان به

مصرف نیتروژن، CT را تا دو درجه سانتی‌گراد (شکل ۵A)، NUE و PFP را به‌ترتیب ۴۸ و ۹۸/۴ کیلوگرم بر کیلوگرم کاهش داد. درحالی‌که WUE برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک را به‌ترتیب تا ۳/۷ و ۸/۶ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر افزایش داد و بیشترین افزایش از تیمار N30 به دست آمد (جدول ۴). مقایسه نتایج نشان می‌دهد که دامنه NUE در سطوح مختلف آبیاری تکمیلی از ۲۳ تا ۳۸ کیلوگرم بر کیلوگرم و در سطوح مصرف نیتروژن ۱۴ تا ۶۲ کیلوگرم بر کیلوگرم می‌باشد. این دامنه برای WUE در سطوح آبیاری تکمیلی ۸ تا ۱۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر و در سطوح مصرف نیتروژن ۷ تا ۱۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر می‌باشد. بنابراین اگرچه با مدیریت مصرف نیتروژن می‌توان هر دو NUE و WUE را بهبود بخشید، اما امکان تغییر و بهبود ویژگی NUE از طریق مصرف کود نیتروژنی بیشتر از WUE است (جدول ۴). پژوهشگران نیز گزارش کرده‌اند که مصرف نیتروژن توانسته است WUE را در گیاه جو بهبود بخشد. نتایج آن‌ها نشان داد که در شرایط تنش رطوبتی، زمانی که مکش در لایه‌های بالایی خاک بیش از ۱۵ بار می‌باشد، گیاه جو قادر به جذب آب از اعماق پایین‌تر از ۶۰ سانتی‌متری است. به همین دلیل، گیاه جو را برای کاشت در شرایط تنش آبی متوسط تا شدید و یا برای دیرکاشت به گندم ترجیح می‌دهند (Naghdyzadegan Jahromi, Razzaghi, & Zand-Parsa, 2023; Singh & Kumar, 1981; Acuña, Lisson, Johnson, & Dean, 2015). WUE را برای گندم دیم با مصرف بهینه نیتروژن ۴۲ درصد افزایش دادند و بیشترین مقدار این کارایی به‌میزان ۱۳/۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر رسید که در خصوص افزایش WUE با مصرف نیتروژن و همچنین مقدار افزایش تا حدودی با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. زیرا در پژوهش حاضر، مصرف نیتروژن به‌طور میانگین WUE را برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب ۴۸ و ۵۶ درصد

دست آمد. این رقم از لحاظ عملکرد بیولوژیک با رقم قافلان و شماره ۳ در کلاس مشابه قرار گرفتند، اما ژنوتیپ شماره ۵ با حداقل عملکرد در کلاس مستقلی قرار گرفت. مطابق این نتایج، بین ژنوتیپ‌ها حداکثر ۱۱۳۸ کیلوگرم در هکتار تفاوت وجود داشت که این مقدار حدود ۱۴ درصد میانگین عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ‌ها است (جدول ۴). سه ژنوتیپ اول (آرتان، قافلان و شماره ۳) با میانگین ۳۶۳۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را تولید نمودند که با ژنوتیپ چهارم با اختلاف عملکرد ۱۵۱ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشتند. همانند عملکرد بیولوژیک، کمترین عملکرد دانه را ژنوتیپ شماره ۵ با ۳۲۲۰ کیلوگرم در هکتار تولید نمود که با ژنوتیپ شماره ۴ تفاوت معنی‌داری نداشت. مطابق این نتایج، بیشترین اختلاف عملکرد دانه بین ژنوتیپ‌ها ۴۴۷ کیلوگرم در هکتار بین دو ژنوتیپ شماره ۳ و ۵ بود (جدول ۴). بررسی روابط بین اجزای عملکرد با عملکرد دانه نشان داد که اولاً بین اجزای عملکرد در سطوح ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. ثانیاً دلیل اصلی تفاوت اندک در عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به‌ویژه چهار ژنوتیپ اول (حداکثر ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار) عدم معنی‌داری اجزای عملکرد در سطوح ژنوتیپ‌ها می‌باشد (جدول ۴). به بیان دیگر، ژنوتیپ‌های معرفی‌شده برای این آزمایش، وضعیت و تیپ رشدی و اغلب صفات ریخت‌شناختی تقریباً مشابهی دارند.

PFP در بین ژنوتیپ‌ها متفاوت بود و این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شد (جدول ۳). چهار ژنوتیپ برتر اول بیشترین PFP را با میانگین ۶۹ کیلوگرم بر کیلوگرم داشتند که در کلاس مشترک قرار گرفتند. کمترین PFP با ۵۹/۸ کیلوگرم بر کیلوگرم به ژنوتیپ شماره ۵ اختصاص یافت که با ژنوتیپ‌های قبلی به‌طور میانگین ۹/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم اختلاف داشت و این اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود. بیشترین WUE (بارندگی + آبیاری تکمیلی) برای تولید دانه با ۱۰ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر به رقم آرتان و ژنوتیپ شماره ۳ اختصاص یافت که با قافلان و ژنوتیپ شماره ۴ تفاوت معنی‌داری نداشتند. مطابق این نتایج، میانگین WUE برای تولید دانه ۹/۶ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر و برای سه ژنوتیپ برتر اول ۹/۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر بود. بیشترین WUE برای عملکرد بیولوژیک ۲۲/۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر به رقم آرتان اختصاص یافت که با رقم قافلان و ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۳ اختلاف معنی‌داری نداشت، اما با دو ژنوتیپ شماره ۴ و ۵ اختلاف معنی‌داری نشان داد. بنابراین، سه ژنوتیپ برتر اول با میانگین ۲۲/۳ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر بیشترین WUE برای تولید عملکرد بیولوژیک را داشتند. از لحاظ سهم نیتروژن خاک (CSN) در تولید عملکرد دانه و بیولوژیک، اگرچه سه ژنوتیپ اول وضعیت مطلوبی را داشتند، اما بیشترین مقدار به ژنوتیپ شماره ۳ به‌ترتیب با ۴۵/۳ و ۹۷/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم اختصاص یافت که به‌طور مستقل در گروه برتر قرار گرفت. در نتیجه، سه ژنوتیپ اول (آرتان، قافلان و شماره ۳) علاوه بر

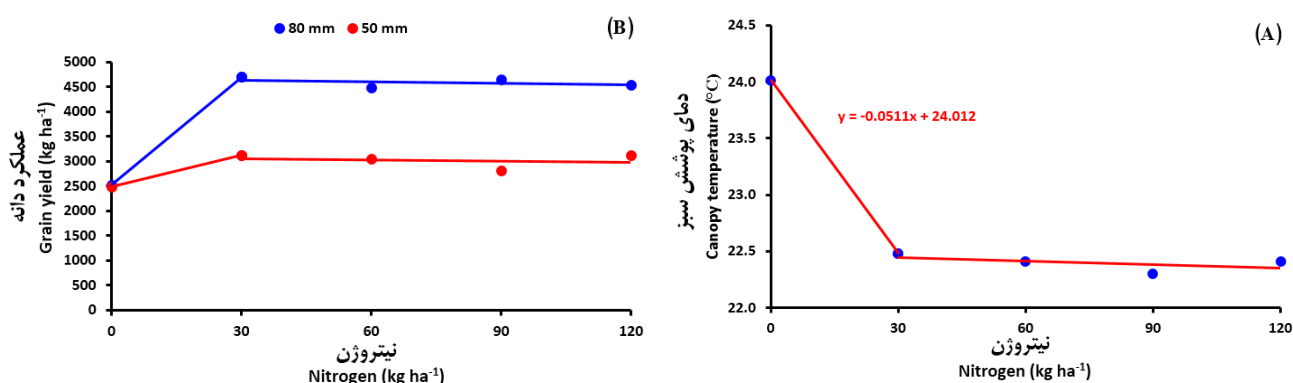
عملکرد دانه (۳۶۳۵ کیلوگرم در هکتار) و بیولوژیک (۸۲۰۳ کیلوگرم در هکتار) بالا، بیشترین PFP (۷۰ کیلوگرم بر کیلوگرم)، WUE برای عملکرد بیولوژیک (۲۲/۳ کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر) و CSN تولید عملکرد دانه (۴۲/۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) و بیولوژیک (۹۲/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) را داشتند و می‌توانند برای شرایط آبیاری تکمیلی قابل توصیه باشند، اما در بین آن‌ها، ژنوتیپ شماره ۳ به‌دلیل سهم نسبی بالای نیتروژن خاک در تولید، تا حدودی می‌تواند در اراضی کم‌بازده موفق‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها عمل نماید (جدول ۴). پژوهشگران دامنه WUE برای تولید دانه جو دیم را بین ۶ تا ۱۳ کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر و برای عملکرد بیولوژیک ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر گزارش کرده‌اند (Cooper, Gregory, Keatinge, & Brown, 1987; Harries, Flower, Renton, & Anderson, 2022; Kemanian, Stöckle, & Huggins, 2005). اعداد گزارش‌شده WUE برای عملکرد دانه تاحدودی در محدوده نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌باشد، اما برای عملکرد بیولوژیک حدود دو برابر اعداد به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌باشد. شاید این اختلاف به‌دلیل تفاوت در ژنوتیپ‌ها و یا شرایط خاکی و اقلیمی مناطق مورد آزمایش باشد.

اثرات متقابل عامل‌ها

اثر متقابل آبیاری در نیتروژن بر عملکرد دانه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه به‌میزان ۴۶۹۰ کیلوگرم در هکتار از تیمار N30 با ۸۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی به دست آمد که با سایر سطوح مصرف نیتروژن در همان سطح آبیاری تکمیلی در کلاس برتر قرار گرفت. مصرف کود نیتروژنی با ۸۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی باعث افزایش به‌طور میانگین ۲۰۴۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه شد. در آبیاری تکمیلی ۵۰ میلی‌متر، مصرف مقادیر مختلف نیتروژن به‌طور میانگین ۵۰۸ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه را افزایش داد که این مقدار حدود یک چهارم افزایش عملکرد دانه در آبیاری تکمیلی ۸۰ میلی‌متر بود (جدول ۴). روابط عملکرد دانه با نیتروژن مصرفی در سطوح آبیاری تکمیلی نشان داد که این روابط از نوع رگرسیون تکه‌ای است و بیشترین افزایش عملکرد از N30 (معادل ۶۵ کیلوگرم اوره در هکتار) به دست آمد و با افزایش مصرف نیتروژن، تغییرات عملکرد دانه ناچیز بود. شیب بخش صعودی رگرسیون شکسته نشان داد که با افزایش هر کیلوگرم در هکتار نیتروژن (تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار)، مقدار افزایش عملکرد دانه در آبیاری تکمیلی ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر به‌ترتیب ۲۱ و ۷۲ کیلوگرم در هکتار بود و این اثر مثبت متقابل آبیاری تکمیلی و نیتروژن را با نقش بیشتر آبیاری تکمیلی در آن آشکار می‌سازد (شکل B۵). اثر اصلی آبیاری تکمیلی باعث افزایش ۱۲۹۵ کیلوگرم در هکتار و اثر اصلی نیتروژن در سطح اول مصرف منجر به افزایش ۱۲۷۴ کیلوگرم در هکتار شد، درحالی‌که در اثر

پاسخی مشاهده نمی‌شود، اما در این محدوده، کاهش مصرف نیتروژن از لحاظ اقتصادی می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد (Garabet, Wood, & Ryan, 1998). پژوهشگران وجود اثرات متقابل آبیاری و نیتروژن را در گیاه جو گزارش کرده‌اند. آن‌ها با استفاده از این اثرات توانسته‌اند که NUE و عملکرد دانه را در جو در شرایط تنش آبی بهبود بخشند (Al-Menaie et al., 2024; Cossani et al., 2012).

متقابل آبیاری تکمیلی در سطح اول مصرف نیتروژن، افزایش عملکرد دانه ۲۱۷۲ کیلوگرم در هکتار بود که این مقدار ۱/۷ برابر اثر آبیاری تکمیلی (۸۰ میلی‌متر نسبت به ۵۰ میلی‌متر) و همچنین اثر N30 نسبت به N0 بود (جدول ۴). پاسخ گیاه به مصرف نیتروژن تحت تأثیر شرایط محیطی به‌ویژه میزان آب قابل دسترس بستگی دارد. با وجود این، افزایش مصرف کود نیتروژنی، اغلب عملکرد در غلات را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تا حدی افزایش می‌دهد که فراتر از آن



شکل ۵- رابطه رگرسیونی بین مقادیر نیتروژن با دمای تاج پوشش (A) و عملکرد دانه (B)

Figure 5- The regression relationship between nitrogen rate with canopy temperature (A) and grain yield (B)

اثر متقابل آبیاری در نیتروژن بر NUE، PFP و WUE برای تولید دانه در سطح احتمال یک درصد و بر CSN در تولید دانه و بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که با افزایش میزان نیتروژن، NUE و PFP به‌صورت نمایی کاهش یافت و در هر دو سطح آبیاری تکمیلی، تیمار N30 از لحاظ NUE (به‌ترتیب با ۴۶/۷ و ۷۲/۴ کیلوگرم بر کیلوگرم) و PFP (به‌ترتیب با ۱۰۳/۸ و ۱۵۶/۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) در کلاس برتر قرار گرفتند، اما تفاوت معنی‌داری نداشتند و بیشترین این ویژگی‌ها به سطح دوم آبیاری اختصاص یافت (جدول ۴). در آبیاری تکمیلی ۵۰ میلی‌متر علی‌رغم کمتر بودن عملکرد دانه در سطوح مختلف نیتروژن، NUE با شیب بیشتری کاهش (NUE_{50mm} = 2235.3 × N^{-1.148}) یافت، اما میانگین مقدار کاهش در سه سطح مصرف نیتروژن در آبیاری تکمیلی ۵۰ میلی‌متر و ۰/۴۰ و ۰/۶۱ کیلوگرم در هکتار به‌ازای مصرف هر کیلوگرم در هکتار نیتروژن بود. وضعیت مشابهی برای PFP (PEP_{80mm} = 4453 × N^{-0.99}; PEP_{50mm} = 3619 × N^{-1.045}) نیز مشاهده شد. استنباط می‌شود که اولاً افزایش میزان آبیاری تکمیلی همراه با افزایش میزان مصرف نیتروژن منجر به کاهش بیشتر هر دو کارایی NUE و PFP شد و این در مقادیر پایین نیتروژن بیشتر مشهود بود. ثانیاً اثر آبیاری تکمیلی در افزایش NUE و PFP در

اثر متقابل آبیاری در نیتروژن از سه جزء عملکرد دانه بر وزن هزاردانه معنی‌دار (P ≤ ۰/۰۱) بود (جدول ۳). بیشترین وزن هزاردانه با میانگین ۵۲/۴ گرم به آبیاری تکمیلی ۸۰ میلی‌متر در تمامی تیمارهای نیتروژن تعلق داشت و همه آن‌ها در کلاس برتر قرار گرفتند. در سطح آبیاری ۵۰ میلی‌متر، تفاوت معنی‌داری بین تیمار N0 با سطوح مختلف مصرف نیتروژن وجود داشت، به‌طوری‌که مصرف نیتروژن به‌طور میانگین ۲/۱ گرم وزن هزاردانه را کاهش داد، درحالی‌که در آبیاری ۸۰ میلی‌متر، مصرف نیتروژن به‌طور میانگین ۱/۲ گرم وزن هزاردانه را افزایش داد، اما این افزایش معنی‌دار نبود. بررسی ارتباط بین وزن هزاردانه با عملکرد دانه نشان داد که رابطه منطقی بین آن‌ها وجود ندارد. بنابراین تغییرات عملکرد دانه در اثر متقابل آبیاری در نیتروژن نمی‌تواند ناشی از تغییرات وزن هزاردانه باشد (جدول ۴). اگر چه اثر متقابل آبیاری در نیتروژن بر جزء تعداد سنبله در واحد سطح معنی‌دار نبود (جدول ۳)، اما افزایش ۳۰ درصدی آن (۱۵۰ سنبله در واحد سطح) در تیمارهای مصرف نیتروژن در مقایسه با تیمار N0 باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه شد (جدول ۴). این نتیجه با نتایج پژوهش‌های پیشین در خصوص افزایش تعداد سنبله در واحد سطح با مصرف کودهای نیتروژنی و به‌دنبال آن افزایش عملکرد گندم و جو در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی کاملاً مطابقت دارد (Feiziasl, 2017; Feiziasl, Jafarzadeh, & Roostaei, 2021).

بیولوژیک و WUE شد (جدول ۴). سایرین نیز اثرات متقابل آب و نیتروژن را در غلات به‌ویژه جو دیم گزارش کرده‌اند (Feiziasl, 2017; Ryan et al., 2009; Sadras & McDonald, 2012). تأمین نیتروژن نه تنها WUE را بهبود می‌بخشد، بلکه از سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز نیز پشتیبانی می‌کند که در کاهش تنش مرتبط با کم‌آبیاری نقش دارند (Agami et al., 2018). نیتروژن به‌عنوان یک عامل تنظیم‌کننده در جنبه‌های مختلف فیزیولوژی گیاه مانند گرمای کوتاه‌مدت، خشکسالی و تنش‌های ترکیبی شناخته می‌شود که شامل فرآیندهای فتوسنتز، عملکرد، متابولیسم نیتروژن، NUE و WUE می‌باشد (Ru et al., 2023; Khan et al., 2022).

با افزایش میزان مصرف نیتروژن در هر دو سطح آبیاری تکمیلی، CSN برای عملکرد دانه و بیولوژیک کاهش یافت. این کاهش برای دانه در سطح اول آبیاری تکمیلی ۵۳ کیلوگرم بر کیلوگرم و در سطح دوم آبیاری تکمیلی ۶۳ کیلوگرم بر کیلوگرم بود که از لحاظ آماری معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شد. برای تولید عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۱۱۲ و ۱۳۵ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد، اما این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۳ و جدول ۴). مطابق این نتایج، رابطه بین سهم نیتروژن خاک با نیتروژن مصرفی از طریق کود (کودپذیری) نشان داد که سهم کود در تولید دانه ($CSN_G = 0.8392 \times NUE_G - 4.7528$)، $16/1$ درصد و در تولید عملکرد بیولوژیک ($CSN_B = 0.8349 \times NUE_B - 3.579$)، $16/5$ درصد بیشتر از سهم نیتروژن خاک بود. به بیان دیگر، سهم هر دو مصرف نیتروژن به‌صورت کود و نیتروژن خاک در تولید عملکرد دانه و بیولوژیک جو در شرایط آبیاری تکمیلی تا حدودی نزدیک به هم بوده با این وصف که نقش سهم نیتروژن کود، اندکی بیشتر از نیتروژن خاک بود.

نتیجه‌گیری

بارندگی اوایل فصل بهار یکی از عوامل بسیار مؤثر در تولید جو دیم به‌شمار می‌آید، به‌طوری‌که با تفاوت ناچیز میزان بارندگی بین دو سال اجرای آزمایش، با افزایش ۱۰۰ درصدی بارندگی دو ماه اول فصل بهار در سال دوم زراعی عملکرد دانه و بیولوژیک به‌طور میانگین ۱۲۷ درصد افزایش یافت. آبیاری تکمیلی مرحله دوم باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیک شد، اما این افزایش حدود ۴۴ درصد افزایش ناشی از اثر سال و افزایش بارندگی بهار بود.

سطوح پایین مصرف نیتروژن بیشتر از سطوح بالای آن مشاهده شد (جدول ۴). کارایی مصرف نیتروژن ارتباط تنگاتنگی با ویژگی‌های ریشه ارقام و ژنوتیپ‌های جو دارد، به‌نحوی‌که ویژگی‌هایی مانند طول، تراکم، شعاع و سطح ریشه و تعداد، طول و تراکم ریشه‌های مویی، میزان جذب نیتروژن را در جو تحت تأثیر قرار می‌دهند. به همین دلیل، به‌نژادگران جو تلاش برای تقویت صفات مرتبط با ریشه را به‌منظور بهبود کارایی مصرف نیتروژن ضروری می‌دانند (Anbessa, & Juskiw, 2012; Fiorani, & Schurr, 2013; Wang, Inukai, & Yamauchi, 2006). همچنین استنباط می‌شود که به‌جای استفاده توأم از هر دو ویژگی NUE و PFP می‌توان از یکی از آن‌ها استفاده نمود. به نظر می‌رسد که شاخص PFP به‌دلیل اینکه کارایی استفاده از نیتروژن کل خاک (نیتروژن خاک + نیتروژن کود) را در بر می‌گیرد، برای کشاورزان اهمیت بیشتری دارد و محدوده این ویژگی برای غلات ۴۰ تا ۸۰ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی بیان شده است (Congreves et al., 2021; Govindasamy et al., 2023; Raun & Johnson, 1999). تیمار N30 در هر دو سطح آبیاری تکمیلی، شاخص PFP بسیار بیشتر از این دامنه می‌باشد. شاید دلیل آن به‌کارگیری ارقام و ژنوتیپ‌های اختصاصی جو دیم در پژوهش حاضر می‌باشد که در شرایط سخت بیشتر متکی به سیستم انتقال مجدد می‌باشند (Abourached et al., 2008; Muurinen et al., 2007).

با افزایش میزان نیتروژن مصرفی در هر دو سطح آبیاری تکمیلی، WUE برای تولید دانه و زیست‌توده افزایش یافت، اما در این میان برای تولید دانه معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۳). به بیان دیگر، کمترین میزان WUE برای تولید دانه در هر دو سطح آبیاری تکمیلی از تیمار N0 به دست آمد که در سطح دوم آبیاری تکمیلی با سایر سطوح مصرف نیتروژن تفاوت معنی‌داری داشت، اما در سطح اول آبیاری این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴). بین CT و WUE برای تولید عملکرد دانه ($WUE_G = -2.0617 \times CT + 56.45$) و بیولوژیک ($WUE_B = -4.5615 \times CT + 124.98$) رابطه خطی کاهشی وجود داشت، به‌طوری‌که با افزایش یک درجه سانتی‌گراد به دمای تاج‌پوشش، WUE برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب $2/1$ و $4/6$ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر کاهش یافت. مطابق این رابطه، بیشترین CT با کمترین WUE برای تولید دانه در هر دو سطح آبیاری تکمیلی به‌ویژه در سطح اول، به تیمار N0 اختصاص یافت که مصرف نیتروژن WUE را برای تولید دانه و بیولوژیک افزایش داد (جدول ۴). علت این موضوع، افزایش تعداد سنبله در واحد سطح با کاهش دمای تاج‌پوشش ($No. Spike m^{-2} = -63.766 \times CT + 2058.1$) ناشی از آبیاری تکمیلی و مصرف بهینه نیتروژن است، به‌طوری‌که با کاهش هر سانتی‌گراد دمای تاج‌پوشش، تعداد ۶۴ سنبله در مترمربع افزایش یافت و این باعث افزایش عملکرد دانه و

Table 3-Combined analysis of variance for measured traits in experimental treatments

[illegible]

* Means those followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% of probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در سطوح تیمارهای آزمایشی

Table 4- Mean comparison of measured traits in experimental treatments

تیمار Treatment	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزارانه TKW (g)	تعداد سنبله در شتر مربع No. spike.m ⁻²	تعداد دانه در سنبله No. grains.spike ⁻¹	(kg kg ⁻¹)			(kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)			سهام نیتروژن خاک در تولید دانه CSN _g	سهام نیتروژن خاک در زیست توده CSN _h
						WUE _g (دانه)	WUE _g (دانه)	WUE _g (دانه)	WUE _g (دانه)	WUE _g (دانه)	WUE _g (دانه)		
سال Year	2021- 2022- 2023	2198b 4845a	47.8a 49.3a	370b 854a	17.5a 18.8b	33.8a 30.3a	46.2b 87.3a	5.9b 13.4a	12.5b 30.6a	21.0b 60.8a	48.7b 130.7a		
آبیاری Irrigation	LSD5%	1402	714	36.0	0.9	15.6	9.6	1.99	3.98	10.3	26.2		
	50	6622b	2892b	564b	17.9a	22.8b	52.7b	8.3b	18.9b	38.1b	82.2a		
	80	9200a	4151a	661a	18.4a	38.1a	82.3a	10.9a	24.2a	43.7a	97.1a		
نیتروژن Nitrogen	LSD5%	1523	305	79.2	1.8	18.4	7.8	0.87	4.3	4.9	30.1		
	0	5447b	2502b	493b	17.7a	61.8a	130.1a	10.6a	23.5a	77.5a	169.4a		
	30	8651a	3903a	600a	17.9a	60.0a	102.6a	10.2a	22.7a	39.7b	85.8b		
ژنوتیپ Genotype	LSD5%	8616a	3723a	670a	18.3a	19.4b	41.4c	10.1a	23.5aa	26.2c	57.6c		
	60	8322a	3758a	609a	18.5a	14.2b	31.7c	10.2a	23.2a	20.0d	45.8d		
	90	8518a	3720a	690a	18.7a	13.9	10.8	1.50	3.49	3.2	8.8		
آبیاری Irrigation (50+30 mm)	LSD5%	5332a	2485b	454a	17.7a	32.7a	69.7a	10.0a	22.9a	40.7b	87.7b		
	0	6956a	3115b	507a	17.3a	46.7b	103.8b	8.9b	19.8a	71.1b	153.3b		
	30	6977a	3040b	609a	18.8a	20.1cd	50.7d	9.8a	21.8ab	38.0cd	80.1cd		
آبیاری Irrigation (50+30 mm)	LSD5%	7155a	3013b	533a	17.7a	10.9de	31.2e	8.0bc	19.2a	24.6e	53.8e		
	0	5562a	2519b	51.5a	17.7a	10.4de	25.1ef	8.6bc	20.5a	18.5e	41.5e		
	30	10345a	4690a	692a	18.4a	72.4a	156.3a	12.3a	27.1a	84.0a	185.4a		
آبیاری Irrigation (50+30 mm)	LSD5%	9668a	4476a	609a	18.2a	34.2bc	74.6c	11.8a	25.4a	41.5c	91.5c		
	60	10542a	4642a	717a	18.6a	24.6cd	51.6d	12.2a	27.8a	27.8de	61.5de		
	90	9880a	4428a	755a	19.2a	17.0cde	39.7de	11.8a	25.9a	21.5e	50.2e		
آبیاری Irrigation (50+30 mm)	LSD5%	1968	625	136.8	1.8	22.6	14.7	1.76	5.50	38.1	82.2		
	0	5332a	2485b	454a	17.7a	32.7a	69.7a	10.0a	22.9a	40.7b	87.7b		
	30	6956a	3115b	507a	17.3a	46.7b	103.8b	8.9b	19.8a	71.1b	153.3b		
آبیاری Irrigation (50+30 mm)	LSD5%	7155a	3013b	533a	17.7a	10.9de	31.2e	8.0bc	19.2a	24.6e	53.8e		
	0	5562a	2519b	51.5a	17.7a	10.4de	25.1ef	8.6bc	20.5a	18.5e	41.5e		
	30	10345a	4690a	692a	18.4a	72.4a	156.3a	12.3a	27.1a	84.0a	185.4a		
آبیاری Irrigation (50+30 mm)	LSD5%	9668a	4476a	609a	18.2a	34.2bc	74.6c	11.8a	25.4a	41.5c	91.5c		
	60	10542a	4642a	717a	18.6a	24.6cd	51.6d	12.2a	27.8a	27.8de	61.5de		
	90	9880a	4428a	755a	19.2a	17.0cde	39.7de	11.8a	25.9a	21.5e	50.2e		

* Means with similar letters in each column are not significantly different at P<0.05 based on Duncan's Multiple Range Test.

WUE_g: Water use efficiency (for grain yield); NUE_g: Nitrogen use efficiency (for grain yield); PFP_g (Partial factor productivity (for grain yield); CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); NUE_g: Water use efficiency (for biological yield); CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield).

افزایش تعداد سنبله در واحد سطح مقدور شد و در نهایت نیاز به مصرف بهینه کود نیتروژنی در سطوح مختلف آبیاری تکمیلی از ملزومات اساسی کاهش اثرات تنش رطوبتی و گرمایی بر گیاه به اثبات رسید.

سیاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه شماره ۷۴۴-۰۰۰۶-۱۵-۱۵-۲ مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم می‌باشد. صمیمانه از مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم و بخش تحقیقات مدیریت منابع در تأمین هزینه‌ها و امکانات مورد نیاز برای اجرای این پروژه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

ارقام آرتان و قافلان و ژنوتیپ شماره ۳ شرایط مطلوبی در پاسخ به هر دو عامل آبیاری تکمیلی و نیتروژن داشتند و توانستند بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک را تولید نمایند. میانگین کودپذیری ارقام برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به ترتیب ۳۱ و ۷۵ کیلوگرم عملکرد به ازای یک کیلوگرم نیتروژن مصرفی بود. میانگین کارایی مصرف آب برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک برای ارقام به ترتیب ۱۰ و ۲۳ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب (آبیاری تکمیلی + بارندگی) به دست آمد. سهم نیتروژن مصرف‌شده از طریق کود در تولید ارقام و لاین‌های مورد ارزیابی بیشتر از سهم نیتروژن خاک بود و این سهم در شرایط دو مرتبه آبیاری نسبت به یک مرتبه آبیاری ۴۶ درصد افزایش داشت. اثر متقابل آبیاری تکمیلی و نیتروژن در تولید جو از طریق بهبود وضعیت رشد گیاه، کاهش دمای تاج‌پوشش و

References

1. Abourached, C. G., Yau, S. K., Nimah, M. N., & Bashour, I. I. (2008). Deficit irrigation and split N fertilization on wheat and barley yields in a semi-arid Mediterranean area. *The Open Agriculture Journal*, 2, 28-34. <https://doi.org/10.2174/1874331500802010028>
2. Acuña, T. B., Lisson, S., Johnson, P., & Dean, G. (2015). Yield and water-use efficiency of wheat in a highrainfall environment. *Crop and Pasture Science*, 66(5), 419-429. <https://doi.org/10.1071/CP14308>
3. Agami, R. A., Alamri, S. A. M., Abd El-Mageed, T. A., Abousekken, M. S. M., & Hashem, M. (2018). Role of exogenous nitrogen supply in alleviating the deficit irrigation stress in wheat plants. *Agricultural Water Management*, 210, 261-270. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.034>
4. Ahmadi, A., Hosseinpour, T., & Soltani, M. (2014). The effect of plant density on yield and its components in three rain fed barley cultivars. *Applied Field Crops Research*, 27(102), 131-140. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/aj.2014.100939>
5. Ali Ehyaei, M. (1999). Study of soil chemical analysis. Technical Soil and Water Research Institute, 893. (in Persian).
6. Al-Menaie, H., Al-Ragam, O., Al-Shatti, A., Al-Hadidi, M. A., & Babu, M. A. (2024). Optimizing nitrogen fertilization for barley crop at full and deficit irrigation in the arid region. *Indian Journal of Agricultural Research*, 58(3), 517-524. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-823>
7. Anbessa, Y., & Juskiw, P. (2012). Review: Strategies to increase nitrogen use efficiency of spring barley. *Canadian Journal of Plant Science*, 92, 617625. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-207>
8. Anonymous. (2022). *Technical guidelines for dryland barley cultivation in different regions of Iran*. Dryland Agricultural Research Institute (DARI). pp. 36.
9. Austin, R. B., Cantero-Martínez, C., Arrúe Ugarte, J. L., Playán Jubillar, E., & Cano-Marcellán, P. (1998). Yield-rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain. *European Journal of Agronomy*, 8(3-4), 239-248. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(97\)00063-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(97)00063-4)
10. Ayneband, A., Asadi, S., & Rahnama, A. (2014). Nitrogen use efficiency assessment under Intra- and inter-specific competitions stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 4(2), 9-21.
11. Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, S., & Karimian, N. (2015). Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid Mediterranean climate. *Agronomy and Soil Science*, 61, 15-32. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.921286>
12. Bian, C., Ma, C., Liu, X., Gao, C., Liu, Q., Yan, Z., Ren, Y., & Li, Q. (2016). Responses of winter wheat yield and water use efficiency to irrigation frequency and planting pattern. *PLoS ONE* 11(5), e0154673. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108572>
13. Cammarano, D., Ronga, D., Francia, E., Akar, T., Al-Yassin, A., Benbelkacem, A., Grando, S., Romagosa, I., Stanca, A. M., & Pecchioni, N. (2021). Genetic and management effects on barley yield and phenology in the Mediterranean Basin. *Frontiers in Plant Science*, 12, 655406. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.655406>
14. Chukwudi, O., Idochi, O., & Sylvia, I. O. (2019). Effect of sample sizes on the empirical power of some tests of homogeneity of variances. *International Journal of Mathematics Trends and Technology (IJMTT)*, 65(6), 119-134. <https://doi.org/10.14445/22315373/IJMTT-V65I6P518>
15. Congreves, K. A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S., & Arcand, M. M. (2021). Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, 12, 637108.

- <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637108>
16. Cooper, P. J. M., Gregory, P. J., Keatinge, J. D. H., & Brown, S. C. (1987). Effects of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in Northern Syria 2. Soil Water Dynamics and Crop Water Use. *Field Crops Research*, 16, 67-84. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(87\)90054-2](https://doi.org/10.1016/0378-4290(87)90054-2)
 17. Cossani, C. M., Slaferand, G. A., & Savin, R. (2012). Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. *Field Crops Research*, 128, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.01.001>
 18. Erkan, H., Celik, S., Bilgi, B., & Koxsel, H. (2006). A new approach for the utilization of barley in food products: Barley tarhana. *Food Chemistry*, 97, 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.018>
 19. Fanoodi, F., Khazaei, H. R., Kafi, M., & Goldani, M. (2017). Effect of nitrogen application rate on nitrogen use efficiency in barley cultivars in Mashhad and Damghan conditions. *Applied Field Crops Research*, 30(3), 1-13. <https://doi.org/10.22092/aj.2018.110384.1176>
 20. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Pala, M., & Mosavi, S. B. (2009). Determination of micronutrient critical Levels by plant response column order procedure for dryland wheat (*T. aestivum*. L.) in Northwest of Iran. *International Journal of Soil Science*, 4(1), 14-19. <https://doi.org/10.3923/ijss.2009.14.26>
 21. Feiziasl, V. (2017). Evaluation of dryland barley (*Hordeum vulgare*) genotypes response to the nitrogen rates and application times. *Water and Soil*, 31(2), 490-508. (in Persian) <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i2.53350>
 22. Feiziasl, V. (2020). Evaluation of soil fertility status in Northwest of Iran drylands by Nutrient Index Value (NIV). *Water and Soil*, 34(4), 897-919. (in Persian) <https://doi.org/10.22067/jsw.v34i4.84165>
 23. Feiziasl, V. (2022). Assessment of water status and its critical stages in dryland barley genotypes (*Hordeum vulgare*) using Crop Water Stress Index (CWSI). *Water and Soil*, 36(2), 197-213. (in Persian) <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.75527.1146>
 24. Feiziasl, V., Fotovat, A., Astaraei, A., Lakzian, A., Mousavi Shalmani, M., & Khorasani, A. (2016). Calibration of soil available nitrogen and water content with grain yield of dry land wheat. *Water and Soil*, 30(5), 1556-1573. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.36954>
 25. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., & Roostaei, M. (2021). Response of dryland winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to nitrogen application under supplemental irrigation. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(4), 391-406. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.71401.1066>
 26. Feiziasl, V., Kasraei, R., Moghaddam, M., & Valizadeh, G. R. (2004). Investigation on uptake limitation and nutrient deficiency diagnosis at applied phosphorus and zinc fertilizers by different methods in Sardari wheat. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 11, 23-33. (in Persian). <https://www.magiran.com/p222906>
 27. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Sadeghzadeh, B., & Mousavi Shalmani, M. A. (2022). Water deficit index to evaluate water stress status and drought tolerance of rainfed barley genotypes in cold semi-arid area of Iran. *Agricultural Water Management*, 262(107), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107395>
 28. Fiorani, F., & Schurr, U. (2013). Future scenarios for plant phenotyping. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 267–291. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120137>
 29. Fischbeck, G. (2002). *Contribution of barley to agriculture: A brief overview*. In: G. A. Slafer, et al. eds. Barley Science: Recent Advances from Molecular Biology to Agronomy of Yield and Quality, Food Products Press, an imprint of The Haworth Press, Inc., pp. 1-14.
 30. Garabet, S., Wood, M., & Ryan, J. (1998). Nitrogen and water effects on wheat yield in a Mediterranean-type climate: I. Growth, water-use and nitrogen accumulation. *Field Crops Research*, 57, 309-18. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00075-6)
 31. Govindasamy, P., Muthusamy, S. K., Bagavathiannan, M., Mowrer, J., Jagannadham, P. T. K., Maity, A., Halli, H. M. G. K. S., Vadivel, R. T. K. D., Raj R., Pooniya, V., Babu, S., Rathore, S. S. L. M., & Tiwari, G. (2023). Nitrogen use efficiency—a key to enhance crop productivity under a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1121073. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1121073>
 32. Harries, M., Flower, K. C., Renton, M., & Anderson, G. (2022). Water use efficiency in Western Australian cropping systems. *Crop and Pasture Science*, 73(10), 1097–1117. <https://doi.org/10.1071/CP21745>
 33. Högy, P., Poll, C., Marhan, S., Kandeler, E., & Fangmeier, A. (2012). Impacts of temperature increase and change in precipitation pattern on crop yield and yield quality of barley. *Food Chemistry*, 136(3-4), 470-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.056>
 34. Ismail, S. B., & Withers, N. J. (1984). The effect of nitrogen management and paddock history on barley growth and yield. *Proceedings Agronomy Society New Zealand*, 14, 23–30.
 35. Jia-Zhou, C., Li-Rong, L., Guo L., & Shuang, W. (2010). Effects of nitrogen fertilization on crop water stress index of summer maize in red soil. *Journal Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 16(5), 1114-1119. <https://doi.org/10.11674/zwf.2010.0511>
 36. Katerji, N., Mastrorilli, M., & Rana, G. (2008). Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: review and analysis. *European Journal of Agronomy*, 28, 493–507.

- <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.12.003>
37. Kemanian, A. R., Stöckle, C. O., & Huggins, D. R. (2005). Transpiration-use efficiency of barley. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.01.003>
38. Khan, M. I. R., Nazir, F., Maheshwari, C., Chopra, P., Chhillar, H., & Sreenivasulu, N. (2023). Mineral nutrients in plants under changing environments: A road to future food and nutrition security. *Plant Genome*, 16, e20362. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20362>
39. Koocheki, A. (2017). Trend analysis of nitrogen use and productivity in wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems of Iran. *Journal of Agroecology*, 9(2), 360-378. <https://doi.org/10.22067/jag.v9i2.29287>
40. Lauer, J. G., & Partridge, J. R. (1990). Planting date and nitrogen rate effects on spring malting barley. *Agronomy Journal*, 82, 1083- 1088. <https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200060011x>
41. Matar, A. E., Jabbour, E., & El-Hajj, K. (1987). *Prediction of barley response to fertilizers by means of soil nitrogen and phosphorus tests*. In Proceedings of Workshop, Soil Test Calibration in West Asia and North Africa, 12-23. A. E. Matar, P. N. Soltanpour, and A. Chouinard, eds. Ankara, Turkey, 1-6 Sept. 1987. ICARDA, Aleppo, Syria.
42. McKenzie, R. M., & Jackson, G. (2005). Barley production in semiarid regions—making the malting grade. *Better Crops*, 89(4), 10-12.
43. Meijer, A. D. (2004). *Characterizing a crop water stress index for predicting yield in corn*. A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science. Crop Science. pp. 141.
44. Mokhtari, F., Esfarjani, F., & Kargar Fard, M. (2014). The effect of combined aerobic exercise and barley β -glucan on lipid profile and glucose blood of women with diabet type two. *Iranian Journal of Diabetes and Metabolism*, 13(4), 340-351. (in Persian). <http://ijld.tums.ac.ir/article-1-5218-en.html>
45. Muurinen, S., Kleemola, J., & Peltonen-Sainio, P. (2007). Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*, 99, 441-9. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0107>
46. Naghdizadegan Jahromi, M., Razzaghi, F., & Zand-Parsa, S. (2023). Strategies to increase barley production and water use efficiency by combining deficit irrigation and nitrogen fertilizer. *Irrigation Science*, 41, 261–275.
47. Nehe, A. S., Misra, S., Murchie, E. H., Chinnathambi, K., Singh, Tyagi, B., & Foulkes, M. J. (2020). Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and protein concentration in Indian wheat cultivars. *Field Crops Research*, 251, 107778. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107778>
48. Nielsen, D. C., & Halvorson, A. D. (1991). Nitrogen fertility influence on wheat stress and yield of winter wheat. *Agronomy Journal*, 83, 1065-1070. <https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300060025x>
49. Radaei Alamoli, Z., Jahansooz, M. R., Bagher Hosseini, S. M., & Soufizadeh, S. (2020). Evaluation the growth characteristics, yield and yield components of wheat and barley under water and nitrogen stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(2), 87-104. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.264529.654518>
50. Raun, W. R., & Johnson, G. V. (1999). Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91, 357363. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100030001x>
51. Ru, C., Hu, X., Chen, D., Song, T., Wang, W., Lv, M., & Hansen, N. C. (2022). Nitrogen modulates the effects of short-term heat, drought and combined stresses after anthesis on photosynthesis, nitrogen metabolism, yield, and water and nitrogen use efficiency of wheat. *Water*, 14(9), 1407. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10650-0>
52. Ryan, J., Abdel Monem, M., & Amri, A. (2009). Nitrogen fertilizer response of some barley varieties in semi-arid conditions in Morocco. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11, 227-236. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-8971-en.html>
53. Sadras, V. O., & McDonald, G. (2012). *Water use efficiency of grain crops in Australia: principles, benchmarks and management*. Canberra: Grains Research and Development Corporation. 27 pp.
54. Singh, K. P., & Kumar, V. (1981). Water use and water-use efficiency of wheat and barley in relation to seeding dates, levels of irrigation and nitrogen fertilization, *Agricultural Water Management, Elsevier*, 3(4), 305-316. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(81\)90014-7](https://doi.org/10.1016/0378-3774(81)90014-7)
55. Sylvester-Bradley, R., & Kindred, D. R. (2009). Analyzing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency, *Journal of Experimental Botany*, 60, 1939 -1951. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp116>
56. Udvardi, M., Brodie, E. L., Riley, W., Kaeppler, S., & Lynch, J. (2015). Impacts of agricultural nitrogen on the environment and strategies to reduce these impacts. *Procedia Environmental Science*, 29, 303. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.275>
57. Valenzuela, H., & Smith, J. (2002). *Green manure crops: Barley*. Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa, Honolulu. pp. 3.
58. Wang, H., Inukai, Y., & Yamauchi, A. (2006). Root development and nutrient uptake. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25, 279-301. <https://doi.org/10.1080/07352680600709917>



Research Article

Vol. 23, No. 3, Fall 2025, p. 303-320

Effect of Applying Different Levels of Humic Acid and Salicylic Acid on Yield and Quality of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Seed

F. Mozafari¹, Gh. Heidari^{1*}, Sh. Khalesro¹

1- Department of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(*- Corresponding author's Email: g.heidari@uok.ac.ir)

Received: 03 October 2024
Revised: 15 November 2024
Accepted: 02 December 2024
Available Online: 13 April 2025

How to cite this article:

Mozafari, F., Heidari, Gh., & Khalesro, Sh. (2025). Effect of applying different levels of humic acid and salicylic acid on yield and quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 303-320. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.90098.1353>

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most significant crops in the legume family, ranking third globally after beans and peas. This plant plays a crucial role in biological stabilization and serves as an important source of nutrition for humans, as well as animal feed and forage. The majority of chickpea production in Iran occurs through spring sowing under rain-fed conditions, where terminal drought stress particularly during seed filling significantly impacts growth and productivity, leading to yield reductions of up to 70%. To enhance plant growth under dryland conditions, using compounds that improve drought tolerance and metabolic activities in plants represents a practical strategy. Among the identified compounds, humic acid (HA) and salicylic acid (SA) have shown promise. Humic acid has a significant effect on root growth and the emergence of lateral roots and increases the levels of auxins, cytokinins, and gibberellins in plants. Salicylic acid stimulates flowering and enhances defensive responses to water deficiency conditions. External application of SA reduces cellular lipid peroxidation and hydrogen peroxide accumulation, thereby mitigating membrane damage in leaves of water-stressed plants. Thus, this study aims to investigate the effects of varying levels of humic acid and salicylic acid on the yield and quality of chickpea seeds.

Materials and Methods

This study was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block design with four replications. The experimental factors included foliar spraying of humic acid at three levels: 0, 3, and 6 L ha⁻¹ as the first factor, and salicylic acid at four levels: 0, 50, 100, and 150 mg L⁻¹ as the second factor. The plants were sprayed with these treatments at two stages: during vegetative growth and just before flowering. The following variables were measured in this experiment: number of pods per plant, seeds per square meter, weight of 100 seeds, grain yield, biological yield, harvest index, and the content of protein, potassium, phosphorus, iron, zinc, and manganese in the seeds. The experimental data were analyzed using SAS 9.1 statistical software, and the comparison of the means was conducted based on the Least Significant Difference (LSD) test at the 1% and 5% probability levels.

Results and Discussion

Results revealed significant effects of salicylic acid on pod number per plant, seed number per square meter, 100 seed weight and seed and biological yield, while humic acid did not have a significant effect on chickpea



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.90098.1353>

yield and yield components. The highest number of pods per plant (20.95) was achieved with the application of 150 mg L⁻¹ of salicylic acid. Foliar spraying with this concentration led to increases of 35.27% in the number of seeds per square meter and 26.80% in the weight of 100 seeds, compared to the untreated control. Additionally, the application of 150 mg L⁻¹ salicylic acid resulted in the highest seed yield (1488.85 kg ha⁻¹) and biological yield (3451.93 kg ha⁻¹). Results indicated significant effects of both humic and salicylic acid on the protein content and nutrient levels (potassium, phosphorus, iron, zinc, and manganese) of chickpea seeds. As the concentration of salicylic acid and humic acid increased, so did the levels of protein and potassium in the seeds. Conversely, foliar applications of humic acid and salicylic acid on chickpea plants not only enhanced the nutrient content and protein levels in chickpea seeds but also improved the overall quality of the seeds.

Conclusion

This study highlights the effectiveness of foliar application of humic acid at 6 L ha⁻¹ and salicylic acid at 150 mg L⁻¹ in improving growth, yield, and nutritional quality of chickpeas under dryland conditions. Salicylic acid particularly enhanced reproductive success and biomass allocation, whereas humic acid improved nutrient availability and metabolic activity. These findings suggest that simultaneous applications of HA and SA could serve as effective strategies for boosting chickpea productivity and quality under challenging dryland farming conditions.

Keywords: 100-seed weight, Harvest index, Number of pods, Nutrient element, Seed protein content

اثر کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و کیفیت دانه نخود

*(Cicer arietinum L.)*فرشید مظفری^۱، غلامرضا حیدری^{۱*}، شیوا خالصرو^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

چکیده

با توجه به اهمیت نخود (*Cicer arietinum* L.)، از نظر ارزش غذایی و مساحت کشت آن در دیمزارها، این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و کیفیت دانه، نخود آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان کرمانشاه با مختصات جغرافیایی ۳۴/۴۵ درجه شمالی و ۴۶/۵۸ درجه شرقی به صورت دیم اجرا شد. عوامل آزمایش شامل محلول‌پاشی برگ‌های اسید هیومیک با سه سطح صفر، سه و شش لیتر در هکتار به عنوان عامل اول و اسید سالیسیلیک در چهار سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر بودند. گیاهان در دو مرحله شروع ساقه رفتن (BBCH 30) و قبل از گل‌دهی (BBCH 59) محلول‌پاشی شدند. عملکرد و اجزای عملکرد نخود تحت تأثیر اثر ساده محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید قرار گرفتند. غلظت فسفر، روی، آهن و منگنز دانه تحت تأثیر اثر متقابل محلول‌پاشی اسید هیومیک و سالیسیلیک اسید معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۰/۸۷ عدد) با کاربرد ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد. کاربرد غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به ترتیب باعث افزایش ۳۵/۲ و ۲۶/۸ درصدی تعداد دانه در مترمربع و وزن ۱۰۰ دانه نخود نسبت به شاهد آن شد. بیشترین عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت با کاربرد ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد. محلول‌پاشی گیاهان نخود با اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک سبب افزایش میزان عناصر غذایی و پروتئین دانه شد و کیفیت دانه نخود را افزایش داد. به طور کلی، محلول‌پاشی اسید هیومیک با غلظت شش لیتر در هکتار و اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر نقش مؤثرتری در افزایش غلظت عناصر، عملکرد و اجزای عملکرد نخود داشت. بنابراین محلول‌پاشی همزمان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب جهت افزایش عملکرد و کیفیت دانه نخود استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: تعداد غلاف، شاخص برداشت، عناصر غذایی، میزان پروتئین دانه، وزن ۱۰۰ دانه

مقدمه

درصد) همراه با مقدار قابل توجهی اسیدهای آمینه ضروری و محتوای ویتامین‌های A، B و C است (Singh, Gupta, Singh, Jain, & Garg., 2023). علاوه بر این، با تثبیت نیتروژن اتمسفر، حاصلخیزی خاک را افزایش داده و به عنوان بخشی از تناوب زراعی، تلفات عملکرد را در محصولات غلات کاهش می‌دهد و علف‌های هرز را مهار می‌کند (Ali & Terefe, 2023). این محصول در سطح زیرکشت حدود ۱۵ میلیون هکتار با تولید سالانه ۱۵ میلیون تن و با میانگین عملکرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در جهان کشت می‌شود (FAO, 2022). ایران با ۵۳۰ هزار هکتار سطح زیرکشت و داشتن دو درصد از کل تولید جهانی، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان این محصول در سطح جهان محسوب می‌شود (FAO, 2022). متوسط عملکرد دانه نخود در ایران ۰/۴ تا ۰/۶ تن در هکتار است که کمتر از میانگین

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از محصولات مهم حبوبات است که عمدتاً در آب‌وهوای گرمسیری و نیمه‌گرمسیری با بارندگی سالانه ۴۰۰ میلی‌متر رشد می‌کند (Karimizadeh et al., 2023). این محصول در سراسر جهان به‌ویژه در مناطق آفریقایی و آسیایی با فواید غذایی فراوان و کیفیت پروتئین برتر کشت می‌شود (Pappula-Reddy et al., 2024). نخود با دارا بودن محتوای بالای پروتئین (۲۰ تا ۲۵ درصد)، کربوهیدرات (۶۱/۵ درصد) و اسیدهای چرب (۴/۵ درصد)

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

(Email: g.heidari@uok.ac.ir)

*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.90098.1353>

جهانی ۱/۳ تن در هکتار می‌باشد (Rahimi-Moghaddam, Amiri & Eyni-Nargeseh, 2023). از آنجاکه در ایران، عمده تولید نخود از طریق کاشت بهاره در شرایط دیم صورت می‌گیرد، بنابراین تنش خشکی در مرحله پایانی رشد گیاه، به‌ویژه در زمان پر شدن بذر یک محدودیت عمده است که بر رشد و بهره‌وری نخود تأثیر منفی می‌گذارد و منجر به کاهش عملکرد محصول تا ۷۰ درصد می‌شود (Maleki, Khoshro, Kanouni, Shobeiri & Ashour, 2024). یکی از راهکارهای ساده و عملی برای بهبود رشد گیاه در شرایط دیم، استفاده از ترکیباتی است که تحمل گیاهان را به تنش‌های محیطی افزایش دهند و موجب بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه شوند. از جمله ترکیباتی که در این زمینه شناسایی شده است، می‌توان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک را نام برد (Hassan, Suleiman, & Dais, 2022).

اسید هیومیک (HA) یک ماده فعال هوموسی است که در خاک، ذغال سنگ نارس، رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها یافت می‌شود و می‌تواند ناشی از تجزیه بیولوژیکی و مواد آلی باشد (Izhar Shafi et al., 2020). اسید هیومیک به‌عنوان پیش‌ساز ترکیبات هیومیک عمل می‌کنند و می‌توانند در شرایط اسیدی محلول باشد. محلول‌پاشی هیومیک اسید روشی مؤثر، سازگار با محیط زیست و کم‌هزینه است که باعث آلودگی خاک یا هوا نمی‌شود. همچنین محلول‌پاشی هیومیک اسید یکی از مؤثرترین روش‌ها برای افزایش مقاومت گیاه گندم در برابر شرایط کم‌آبی است (Altaf et al., 2023). محلول‌پاشی اسید هیومیک می‌تواند به‌طور مستقیم با تحریک فعالیت آنزیمی، افزایش فتوسنتز و بهبود جذب مواد مغذی بر فیزیولوژی گیاه تأثیر بگذارد و امکان جذب مستقیم مواد مغذی از طریق برگ‌ها را فراهم کرده و محدودیت‌های بالقوه مربوط به خاک را از بین ببرد (Haranal, Hanumanthappa, Mavarkar, & Mopagar, 2024). این ماده از طریق کبلیت کردن مواد مغذی مختلف برای غلبه بر کمبود عناصر، رشد گیاه را افزایش می‌دهد و به‌دلیل دارا بودن ترکیبات هورمونی اثرات مفیدی بر افزایش رشد، تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دارد (Meena, Dhanaji, & Naik, 2023). به‌علاوه، اسید هیومیک اثر مشخصی بر رشد ریشه و ظهور ریشه‌های جانبی دارد و موجب افزایش هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و جیبرلین در گیاه می‌شود (Abbood & Madhhachi, 2021).

مشابه اسید هیومیک، اسید سالیسیلیک (SA) نقش مهمی در کاهش تنش خشکی در گیاهان دارد. اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی است که به‌طور طبیعی در گیاه وجود دارد و نقش هورمونی در گیاهان دارد. این هورمون گیاهی، رشدنمو گیاه را در شرایط تنش خشکی بهبود می‌بخشد و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی و تنظیم‌کننده رشد گیاه عمل می‌کند که تأثیر قابل توجهی بر تنظیم فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاه دارد (Ahmed & Ali, 2024).

اسید سالیسیلیک گل‌دهی را تحریک می‌کند و واکنش‌های دفاعی در شرایط کمبود آب را افزایش می‌دهد. کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید با کاهش پراکسیداسیون لیپیدی سلولی و تجمع پراکسید هیدروژن، آسیب غشاء سلولی در برگ گیاهان تحت تنش آبی را کاهش می‌دهد (Altaf et al., 2023). مطالعات مربوط به بررسی اثر همزمان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک می‌تواند مفید باشد، زیرا هر دو به‌عنوان کاهش‌دهنده اثرات کم‌آبی عمل می‌کنند. اسید هیومیک موجب رشد و تکثیر ریشه‌ها می‌شود و به آن‌ها کمک می‌کند تا به‌عمق بیشتری در خاک نفوذ کنند، درحالی‌که اسید سالیسیلیک توانایی گیاهان را برای مبارزه با رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) در شرایط کمبود آب افزایش می‌دهد (Altaf et al., 2023). گزارش شده است که محلول‌پاشی SA از طریق افزایش خصوصیات رشدی، جذب مواد مغذی، افزایش محتوای کلروفیل و مواد فتوسنتزی و کارایی مصرف آب منجر به افزایش عملکرد و اجزای آن و همچنین بهبود اثرات منفی تنش خشکی می‌شود (Ali, Abd EL-Kader, Ahmed & Morsy, 2022).

در تحقیقی، کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش ارتفاع بوته، ارتفاع اولین غلاف، تعداد شاخه در بوته، تعداد غلاف و دانه در بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن ۱۰۰ دانه، محتوای پروتئین دانه و میزان پتاسیم بذر نخود شد (Dönder & Toğay, 2021). به‌علاوه حسن و رسول (Hassan, Suleiman & Vigna, 2022) بیان کردند که محلول‌پاشی گیاه ماش (radita) تحت تنش خشکی با ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسید سالیسیلیک سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص برداشت گیاه شد و اثر نامطلوب تنش خشکی را به‌میزان قابل توجهی کاهش داد. طبق مطالعه‌ای که توسط نایف و حمادی (Nayyef & Hammadi, 2021) انجام شد، محلول‌پاشی اسید هیومیک (۲۵۰ میلی گرم در لیتر) و اسید سالیسیلیک (غلظت ۳۷۵ میکرومولار) بیشترین میانگین صفات تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گیاهان آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) را به خود اختصاص دادند. در پژوهش دیگری، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام نخود گردید (Shiroui, Hatami, Zeidali, & Alizadeh, 2023). امیری و همکاران (Amiri, Esmaeilian, & Alboghobiesh, 2022) طی آزمایشی گزارش کردند که محلول‌پاشی همزمان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک روی گیاهان سورگوم (*Sorghum* L.) در شرایط کم‌آبیاری باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، وزن خشک اندام هوایی، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه شده و از این‌رو گیاهان را قادر می‌سازد تا اثرات نامطلوب خشکی را تحمل کنند. با توجه به

در دو مرحله شروع ساقه رفتن (BBCH 30) و قبل از گل‌دهی (BBCH 59) در هنگام صبح براساس سطوح عامل‌های آزمایش پس از کالیبره کردن به وسیله سم‌پاش دستی دو لیتری توسط تیمارها به صورت جداگانه محلول‌پاشی شدند.

جهت انجام عملیات آماده‌سازی، مزرعه مورد نظر با گاوآهن برگردان دار شخم زده شد و کرت‌هایی به ابعاد سه متر طول و ۱/۸ متر عرض ایجاد گردید. هر کرت شامل پنج ردیف کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بود و فاصله بین کرت‌ها ۹۰ سانتی‌متر و بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. بذرها، به صورت دستی روی ردیف‌هایی با فاصله بوته ۱۱ سانتی‌متر و تراکم ۳۰ بوته در مترمربع کاشته شدند. قبل از انجام عملیات کاشت، برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از شش نقطه مختلف زمین و به طور تصادفی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن در **جدول ۲** نشان داده شده است. براساس نتایج آزمایش خاک، ۲۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به خاک اضافه شد. وجین علف‌های هرز در مراحل مختلف رشد گیاه به صورت دستی صورت گرفت.

در پایان فصل رشد (۸۹ روز پس از کاشت)، هنگامی که رنگ بوته‌ها متمایل به زرد شده و رطوبت دانه ۱۴-۱۲ درصد بود، تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و تعداد غلاف در بوته شمارش و از آن‌ها میانگین گرفته شد. جهت اندازه‌گیری صفات مرتبط با عملکرد، دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه حذف و با استفاده از کوادرات بوته‌های واقع در سطح یک مترمربع از سطح خاک برداشت شد و تعداد دانه در مترمربع، وزن ۱۰۰ دانه (با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱)، عملکرد دانه، عملکرد زیستی (وزن خشک کل) و شاخص برداشت محاسبه شد. شاخص برداشت با استفاده از رابطه (۱) (Maleki et al., 2024) محاسبه گردید.

یافته‌های سینگ و همکاران (Singh et al., 2024)، محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک به طور جداگانه تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) را افزایش داد.

با توجه به اهمیت نخود، از نظر ارزش غذایی و مساحت کشت آن در دیم‌زارها و کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در بهبود تحمل به کم‌آبی در گیاهان زراعی، مطالعه حاضر به منظور بررسی تأثیر اسید هیومیک و سالیسیلیک اسید بر عملکرد و کیفیت دانه نخود تحت شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و به صورت دیم در مزرعه‌ای واقع در شهرستان کرمانشاه بخش بیلوار روستای چوبتاشان واقع در ۵۵ کیلومتری جاده کرمانشاه- سنندج با مختصات جغرافیایی ۳۴/۴۵ درجه شمالی و ۴۶/۵۸ درجه شرقی و ارتفاع ۱۴۳۰ متر از سطح دریا در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. آمار هواشناسی در طی اجرای آزمایش در **جدول ۱** ارائه شده است. بذر نخود دیم مورد استفاده در این پژوهش، توده محلی بیونج از کرند غرب کرمانشاه تهیه گردید. کاشت در تاریخ ۱۴۰۱/۱/۱۰ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی برگ‌های اسید هیومیک با سه سطح صفر (آب مقطر)، سه و شش لیتر در هکتار به عنوان عامل اول و اسید سالیسیلیک در چهار سطح صفر (آب مقطر)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر در نظر گرفته شد. اسید هیومیک مایع (تولید شرکت زاگرس که از مواد اولیه شرکت black earth کانادا) حاوی ۱۲ درصد اسید هیومیک و سه درصد اسید فولویک و سه درصد پتاسیم بود. این ترکیب می‌تواند به صورت خاکی، محلول‌پاشی و یا در اختلاط با سایر کودها استفاده شود و مناسب برای تمام خاک‌ها و گیاهان است (Hayati, Hosseini, Rahimi, & Kelidari, 2022). گیاهان

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه شهرستان کامیاران در سال ۱۴۰۱
Table 1- Meteorological statistics of Kamiyaran station in 2020

ماه Month	میانگین دما Average temperature (°C)		میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%)		بارندگی ماهیانه Rainfall (mm)
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	
فروردین April	6.4	20.3	13.03	57.19	10
اردیبهشت May	9.5	23.5	16.90	62.90	47.3
خرداد Jun	14.5	30.9	3.50	34.33	0
تیر July	18.1	36.2	2.90	24.39	0

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical Soil properties of the experimental location

بافت	اسیدیته	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	مس	روی	آهن	منگنز
Texture	pH	Organic C	N	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn
		(%)				(mg kg ⁻¹)			
لومی	7.7	1.25	0.11	12	280	6.2	6.1	8.4	13
Loam									

Glomalin (Giménez, García-Pastor, & Zapata, 2021). همچنین اسید سالیسیلیک، استحکام مخزن را از طریق تقسیم سلولی در تخمدان‌های نابالغ افزایش داده و جریان متابولیت‌ها را به دانه‌های در حال رشد هدایت می‌کند که منجر به کاهش میزان سقط و کمک به تشکیل مؤثر گل و توسعه غلاف می‌شود (Kuchlan & Kuchlan, 2023). به‌طور گسترده پذیرفته شده است که هر چه تعداد شاخه‌های اولیه بیشتر باشد، شاخه‌های ثانویه بیشتر خواهد بود و در نتیجه عداد اندام‌های زایشی گیاه را بیشتر می‌کند (Arshad et al., 2020). به نظر می‌رسد که کاربرد اسید سالیسیلیک^۱ به‌ویژه غلظت ۵۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد نخود تحت تنش خشکی عمل کرده و رشد اندام‌های هوایی به‌نحو مطلوب افزایش یافته و گیاه نخود توانسته است که تعداد غلاف بیشتری را تولید کند.

تعداد دانه در مترمربع

نتایج نشان داد که اثر اسید سالیسیلیک بر تعداد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر این اساس، تیمار ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک سبب تشکیل غلاف و تحریک گیاه به تولید دانه بیشتر شده است، به‌طوری‌که حدود ۳۹۸/۸۰ عدد دانه در مترمربع گزارش شد. براساس نتایج، اعمال این سطح از تیمار اسید سالیسیلیک باعث افزایش ۳۵/۲ درصدی تعداد دانه نسبت به بوته‌های بدون کاربرد اسید سالیسیلیک شد. همچنین سایر غلظت‌های اسید سالیسیلیک در تولید دانه مؤثر بودند و تفاوت معنی‌داری با شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک) داشتند (جدول ۴). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، شرایط مناسب برای تلقیح گل‌های بیشتری را فراهم نموده و در نتیجه تعداد واحدهای زایشی در گیاه از جمله تعداد غلاف و تعداد دانه نخود را افزایش داده است. محققان نیز بیان کرده‌اند که افزایش تعداد دانه در اثر مصرف اسید سالیسیلیک می‌تواند به‌دلیل نقش اسید سالیسیلیک بر مریستم‌های رویشی و زایشی و القاء گل‌دهی باشد. همچنین بوته‌های قوی‌تر بر اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، غلاف‌های بزرگتری را به وجود می‌آورند که دارای تعداد دانه‌ی بیشتری هستند (Torabi et al., 2023). محمد و همکاران (Mohamed, Mohamed, 2023).

غلظت فسفر به‌روش مولیبدات وانادات (روش زرد) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل PD-303 ساخت ژاپن و مقدار پتاسیم به‌روش نشر شعله‌ای و با دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل Clinical pfp7) اندازه‌گیری شد (Chapman & Pratt, 1962). به‌منظور سنجش میزان عناصر کم‌مصرف آهن، روی و منگنز دانه نخود پودر شده، از روش هضم از طریق سوزاندن خشک و ترکیب با HCl استفاده گردید. پس از تهیه عصاره، عناصر مذکور توسط دستگاه جذب اتمی (Spectra AA10-Australia) اندازه‌گیری شدند (Jones, Wolf, & Mills, 1991). درصد نیتروژن دانه به‌روش کج‌لدال تعیین شد و میزان پروتئین دانه از حاصلضرب میزان نیتروژن در فاکتور پروتئینی نخود ۶/۲۵ به دست آمد (Lithourgidis, Vasilakoglou, Dhima, Dordas, & Yiakoulaki, 2006). در پایان، داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام گرفت.

(۱)

$$100 \times (\text{عملکرد بیولوژیک} / \text{عملکرد اقتصادی}) = (\%) \text{ شاخص برداشت}$$

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد نخود

تعداد غلاف در بوته

طبق جدول تجزیه واریانس، اثر اسید سالیسیلیک بر تعداد غلاف در بوته نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک از صفر به ۱۵۰ میلی گرم در لیتر، تعداد غلاف در بوته نخود ۹۲ درصد افزایش یافت، به‌گونه‌ای که بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۰/۸۵ عدد) در غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد که در مقایسه با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به‌ترتیب ۴۹ و ۴۲ درصد افزایش نشان داد. درحالی‌که گیاهان شاهد محلول‌پاشی شده با آب مقطر (۱۰/۸۳ عدد) کمترین تعداد غلاف در بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۴). افزایش اندام زایشی می‌تواند عمده‌تأثیر مستقیم اسید سالیسیلیک بر سرعت گل‌دهی، القاء گل و باروری در گیاهان باشد که به‌طور طبیعی در طول فرآیند رشد رخ می‌دهد (Dobón-Suárez, 2023).

1- Salicylic acid

Halawa, & Saleh, 2023) نشان دادند که تیمار گیاهان لوبیا با اسید سالیسیلیک در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر منجر به افزایش قابل توجه وزن غلاف، تعداد دانه در غلاف، وزن دانه، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه در بوته و عملکرد کل دانه شد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر اجزای عملکرد و وزن ۱۰۰ دانه گیاه نخود

Table 3- Analysis of variance the effect of foliar application humic acid and salicylic acid of yield components and 100- seeds weight of chickpea

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares		
		تعداد غلاف در بوته The number of pods per plant	تعداد دانه در مترمربع The number of seeds. m ⁻²	وزن ۱۰۰ دانه 100- seeds weight
بلوک Block	3	2.77 ^{ns}	3848.10 ^{ns}	4.46 ^{ns}
اسید هیومیک Humic acid (HA)	2	26.59 ^{ns}	2242.56 ^{ns}	10.90 ^{ns}
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (SA)	3	299.81 ^{**}	22280.10 ^{**}	126.92 ^{**}
HA × SA	6	13.96 ^{ns}	747.79 ^{ns}	4.69 ^{ns}
خطا Error	33	6.70	1542.32	4.01
ضریب تغییرات C.V (%)	-	16.7	11.2	5.9

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1 % probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر اجزای عملکرد گیاه نخود

Table 4- Mean comparisons the effect of foliar application salicylic acid on yield components of chickpea

اسید سالیسیلیک Salicylic acid	تعداد غلاف در بوته The number of pods per plant	تعداد دانه در مترمربع The number of seeds m ⁻²	وزن ۱۰۰ دانه 100- seeds weight (g m ⁻²)
0 (Control)	10.83 c*	294.80 c	29.4 c
50 mg L ⁻¹	14.00 b	348.91 b	33.9 b
100 mg L ⁻¹	14.60 b	362.06 b	34.6 b
150 mg L ⁻¹	20.87 a	398.80 a	37.3 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* The means with common letter(s) in each column do not have a significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

وزن ۱۰۰ دانه

افزایش وزن دانه نخود در نتیجه محلول پاشی با اسید سالیسیلیک ممکن است به افزایش تولیدات فتوسنتزی نسبت داده شود که باعث تشکیل یک منبع ذخیره‌ای برای مقصد و افزایش گنجایش مخازن (دانه‌ها) شده و منجر به افزایش وزن دانه می‌شود (Sahraei & Sepehri, 2022). تیمار سالیسیلیک اسید موجب افزایش جذب مواد مغذی و یون‌های مورد نیاز گیاه و افزایش دریافت انرژی تابشی و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه می‌شود که به نوبه خود باعث افزایش وزن دانه در گیاه خواهد شد. همچنین محلول پاشی با اسید سالیسیلیک گیاهان قوی‌تری تولید می‌کند و این گیاهان دانه‌های بزرگ‌تر با وزن بیشتر تولید می‌کنند (Younespour, Samdeliri, Mazloom, Mirkalaei, & Moballeghi, 2023). علاوه بر این، اسید سالیسیلیک نقش مهمی در کاهش رقابت بین گل و رشد رویشی

نتایج حاکی از این بود که میزان وزن ۱۰۰ دانه تحت تأثیر اسید سالیسیلیک قرار گرفت (جدول ۳). بر این اساس، بین غلظت‌های به کار رفته اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در واقع، بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۳۷/۳ گرم در مترمربع) حاصل شد که نسبت به غلظت صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به ترتیب ۲۶/۸، ۱۰/۱ و ۷/۸ درصد افزایش وزن نشان داد. کمترین وزن ۱۰۰ دانه نیز با میزان ۲۹/۴ گرم در مترمربع مربوط به گیاهان شاهد (بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) بود. لازم به ذکر است که بین غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴).

عملکرد دانه

برای محصولات فتوسنتزی و افزایش عناصر غذایی در برگ‌ها و سپس انتقال آن‌ها به بذرها دارد (Mohamed et al., 2023). وزن دانه نمایانگر ریز یا درشت بودن بذر بوده و نشان‌دهنده میزان انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه می‌باشد. هرچه تعداد دانه در بوته کم باشد یا طول دوره پر شدن دانه افزایش یابد، می‌تواند وزن دانه را بالا ببرد (Khademian & Yaghoobian, 2018). در همین راستا، کاربرد سالیسیلیک اسید، طول دوره و سرعت پر شدن دانه را زیاد می‌کند که این امر موجب افزایش وزن ۱۰۰ دانه می‌شود (Shiroui et al., 2023).

اثر اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. درحالی‌که اثر اسید هیومیک و اثر متقابل اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه معنی‌دار نشد (جدول ۵). بر این اساس، بیشترین میزان عملکرد دانه با میزان ۱۴۸۸/۸۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک بود که این تیمار در مقایسه با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک (۷۱/۳ درصد)، غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۲۵/۸ درصد) و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۱۸/۸ درصد) افزایش داشت. سایر غلظت‌های اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری با شاهد داشتند. کمترین عملکرد دانه نیز در گیاهان شاهد (بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) به میزان ۸۶۹/۲۱ کیلوگرم در هکتار بود. به‌طور کلی، غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۶۱۹/۶۴ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با عدم کاربرد اسید

سالیسیلیک شد (جدول ۶). بالاتر بودن عملکرد دانه در تیمار کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک ناشی از بالاتر بودن اجزای عملکرد (تعداد دانه در مترمربع و تعداد غلاف در بوته) در تیمار مذکور بود. از سوی دیگر، افزایش معنی‌دار وزن ۱۰۰ دانه نخود در تیمار کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک موجب افزایش عملکرد دانه گردید (جدول ۴). علاوه بر این، افزایش عملکرد دانه ممکن است به‌واسطه اثر محرک اسید سالیسیلیک بر محتوای کلروفیل در برگ، رشد رویشی و توانایی فتوسنتزی باشد که بر افزایش بهره‌وری محصولات زراعی از نظر تولید زیست‌توده یا عملکرد دانه مؤثر هستند (Kuchlan & Kuchlan, 2023). همچنین اسید سالیسیلیک از طریق افزایش دسترسی به عناصر فسفر، پتاسیم، نیتروژن و سایر مواد مغذی منجر به تشکیل گل و غلاف بیشتر و افزایش تعداد دانه‌ها می‌شود (Ahmad et al., 2023). همچنین، کاربرد اسید سالیسیلیک ممکن است در نتیجه تعامل با سایر تنظیم‌کننده‌های گیاهی جیبرلین‌ها بر گل‌دهی، سرعت تقسیم سلولی در میستم آپیکال ریشه گیاهان و افزایش سطح هورمون ایندول استیک اسید و سیتوکینین‌ها در گیاهان تأثیر بگذارد و در نتیجه رشد و عملکرد گیاهان را افزایش دهد (Kareem, Rihan, & Fuller, 2017). علاوه بر این، به نظر می‌رسد که با کاربرد سالیسیلیک اسید و افزایش تحمل گیاه به انواع تنش‌ها، طول دوره رشد رویشی و زایشی افزایش می‌یابد و در نتیجه آب و مواد غذایی برای گیاه فراهم می‌شود، بنابراین طول دوره و سرعت پر شدن دانه‌ها افزایش می‌یابد، در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری را به توسعه اندام‌های زایشی اختصاص داده و موجب افزایش وزن و عملکرد دانه نخود گردید (Ahmad et al., 2023).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر صفات عملکردی گیاه نخود

Table 5- Analysis of variance the effect of foliar application humic acid and salicylic acid on yield traits of chickpea plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares		
		عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	3	15487.84 ^{ns}	283813.50 ^{ns}	33.27 ^{ns}
اسید هیومیک Humic acid (HA)	2	19810.10 ^{ns}	155671.91 ^{ns}	24.42 ^{ns}
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (SA)	3	783479.78 ^{**}	1328753.43 ^{**}	303.11 ^{**}
HA × SA	6	6621.57 ^{ns}	53355.36 ^{ns}	16.66 ^{ns}
خطا Error	33	8206.20	112892.54	44.83
ضریب تغییرات C.V (%)	-	9.41	11.35	16.59

ns و *: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1 % probability levels, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر صفات عملکردی گیاه نخود

Table 6- Mean comparisons the effect of foliar application salicylic acid on yield traits of chickpea plant

اسید سالیسیلیک Salicylic acid	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد زیستی Biological yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
0 (Control)	869.21 c	2521.37 c	34.47 b
50 mg L ⁻¹	1182.83 b	2894.34 b	40.86 a
100 mg L ⁻¹	1253.44 b	2914.83 b	42.91 a
150 mg L ⁻¹	1488.85 a	3451.93 a	43.12 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* The means, in each column, similar letters show that there is no significant difference according to LSD test at the level of 5% probability.

عملکرد زیستی

نتایج نشان داد که عملکرد زیستی تحت تأثیر محلول پاشی با اسید سالیسیلیک معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که عملکرد زیستی در بوته‌های محلول پاشی شده با اسید سالیسیلیک بیشتر از بوته‌های شاهد بود. بیشترین عملکرد زیستی (۳۴۵۱/۹۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول پاشی در تیمار با غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک بود که در مقایسه با شاهد ۳۶/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۶). گزارش شده است که اسید سالیسیلیک با تحریک تقسیم سلولی در مریستم‌های ریشه و ساقه منجر به افزایش رشد گیاه و تولید زیست توده و ماده خشک گیاه می‌شود. همچنین با تأثیر بر رشد اندام‌های تولیدمثلی مانند تعداد دانه، وزن دانه و در نتیجه عملکرد دانه، عملکرد زیستی را افزایش می‌دهد (Younespour et al., 2023). به علاوه، این فیتوهورمون با تنظیم باز شدن منافذ روزنه‌ها، سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای را بهبود می‌بخشد که در نهایت منجر به افزایش رشد و تولید گیاهان می‌شود (Alotaibi et al., 2023). در پژوهش حاضر، اسید سالیسیلیک با افزایش اجزای عملکرد از جمله تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در مترمربع سبب افزایش عملکرد زیستی شد (جدول ۴). به طور مشابه، خادمیان و یعقوبیان (Khademian & Yaghoubian, 2018) بیان کردند که اسید سالیسیلیک باعث افزایش قابل توجه عملکرد زیستی گیاه نخود نسبت به گیاهان شاهد شد. بهبود این صفت ممکن است به دلیل تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک در بهبود و افزایش ظرفیت فتوسنتزی باشد که همسو با نتایج تحقیق حاضر بود. از سوی دیگر، نتایج پژوهش دیگری نشان داد که تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه می‌تواند عملکرد زیستی را از طریق تغییر در تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر قرار دهد (Shiroui et al., 2023).

شاخص برداشت

نتایج نشان داد که تیمار اسید سالیسیلیک بر شاخص برداشت اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۵). بر این اساس، کمترین شاخص برداشت در شاهد (بدون کاربرد اسید

سالیسیلیک) با میزان ۳۴/۴۷ درصد مشاهده شد، درحالی که بیشترین شاخص برداشت با میزان ۴۳/۱۲ درصد با کاربرد غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد که باعث افزایش ۸/۶ درصدی شاخص برداشت نخود نسبت عدم کاربرد اسید سالیسیلیک شد. به علاوه بین تیمارهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). شاخص برداشت برآیندی از عملکرد زیستی و عملکرد دانه است، لذا تحت تأثیر این صفات قرار دارد. تجمع ماده خشک بیشتر در دانه‌ها سبب افزایش شاخص برداشت می‌گردد. به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک نیز از طریق تقلیل اثر منفی تنش بر تشکیل دانه و جلوگیری از عقیمی آن‌ها، تسریع در تولید و انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها، حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی از تخریب، حفظ محتوای نسبی آب بافت و افزایش ظرفیت مخازن در جذب مواد فتوسنتزی، در نتیجه افزایش تجمع ماده خشک دانه موجب افزایش شاخص برداشت گردیده است (Ghalambaz, Roshanfekar, Rahnama Ghahfarokhi, & Monsefi, 2024). گیاه در یک فرآیند طبیعی سعی بر انتقال مواد ذخیره‌ای خود از اندام گیاهی به دانه را دارد تا بتواند هر چه بهتر به بقای نسل خود ادامه دهد. بنابراین احتمالاً محلول پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند با تأثیر بر جذب آب، نفوذپذیری غشاء سلولی و جذب مواد غذایی موجب افزایش تولید دانه و در نتیجه شاخص برداشت شود (Salmanpour, Sharafi, Rezaei, Khalily, & Abbaspour, 2022). در این پژوهش نیز احتمالاً اسید سالیسیلیک موجب افزایش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی شده و شاخص برداشت نخود را افزایش داده است.

نتایج صفات مرتبط با کیفیت دانه

میزان پروتئین دانه

نتایج نشان داد که اثر اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان پروتئین دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۷). بر این اساس با افزایش سطوح اسید هیومیک، میزان پروتئین دانه افزایش یافت، به نحوی که بیشترین پروتئین دانه مربوط به کاربرد

شش لیتر در هکتار (۱۲/۱۹ درصد) بود و کمترین میزان پروتئین در گیاهان شاهد (بدون کاربرد اسید هیومیک) با میانگین ۱۰/۱۲ درصد به دست آمد (شکل ۱). به نظر می‌رسد که اسید هیومیک از طریق شرکت در فعالیتهای آنزیمی با فراهمی آنها برای گیاه سبب افزایش توان ساخت پروتئین در گیاه و انتقال آن به دانه‌ها و بهبود کیفیت دانه می‌گردد. از طرفی، اسید هیومیک در افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز مؤثر است و باعث افزایش رشد رویشی گیاه و افزایش ماده خشک و میزان پروتئین می‌شود (Hosseini Nik *et al.*, 2022). همچنین محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به بالا بردن راندمان فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها و سرعت انتقال آنها به دانه‌ها و افزایش پروتئین دانه می‌شود (Alfatlawi & Alrubaiee, 2020). از آنجایی که درصد پروتئین دانه با میزان نیتروژن دانه رابطه مستقیمی دارد و افزایش میزان نیتروژن موجب افزایش پروتئین دانه می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد که اسید هیومیک از طریق افزایش میزان فتوسنتز و کلروفیل برگ سبب افزایش میزان نیتروژن و انتقال آن به دانه شده است. به نظر می‌رسد که با کاربرد اسید هیومیک، طی تنش خشکی در زمان پرشدن دانه، انتقال مواد به‌خصوص نیتروژن که نقش اساسی در تولید و تشکیل پروتئین دانه دارد، زودتر و به‌مقدار بیشتری انجام شده و انتقال مجدد نیتروژن نیز به‌سمت مخازن دانه تسریع می‌گردد (Alfatlawi & Alrubaiee, 2020).

از سوی دیگر، محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک موجب افزایش پروتئین دانه نخود نسبت به گیاهان شاهد (بدون کاربرد اسید

سالیسیلیک) شد. در واقع، بالاترین سطح اسید سالیسیلیک (غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) از بیشترین درصد پروتئین دانه برخوردار بود و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. تیمار مذکور سبب افزایش ۶۹/۷۲ درصدی پروتئین دانه نخود در مقایسه با گیاهان شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک) شد (شکل ۱). احتمالاً اسید سالیسیلیک سبب طولانی شدن دوره رسیدگی شده و به‌دنبال آن مدت ذخیره پروتئین در دانه‌ها را افزایش داده در نتیجه درصد پروتئین دانه نخود افزایش یافته است. محققان بیان کرده‌اند که اسید سالیسیلیک با افزایش سطح کلسیم و تأثیر آن بر بهبود فعالیت ناقل‌های نیترات و آنزیم نیترات ردوکتاز موجب افزایش جذب نیتروژن می‌شود (Rajabi Dehnavi, Zahedi, Razmjoo, & Eshghizadeh, 2019). به عبارتی، اسید سالیسیلیک بر فرآیندهای مربوط به متابولیسم اولیه بذر و کیفیت بذر از جمله سنتز پروتئین و انتقال پروتئین ذخیره‌شده در دانه که بنیه بذر را افزایش می‌دهند، تأثیر می‌گذارد و کارایی گردش مجدد نیتروژن را از طریق افزایش تخریب پروتئین و انتقال اسید آمینه در برگ‌ها افزایش می‌دهد (Al-Wattar & Al-Hamdani, 2021). افزایش وزن دانه در نتیجه محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک ممکن است به افزایش تولیدات فتوسنتزی نسبت داده شود که باعث تشکیل یک منبع ذخیره‌ای برای مقصد و افزایش گنجایش مخزن شده و منجر به افزایش وزن دانه و افزایش عملکرد دانه و به‌تبع آن افزایش پروتئین دانه می‌شود (Rajabi Dehnavi *et al.*, 2019).

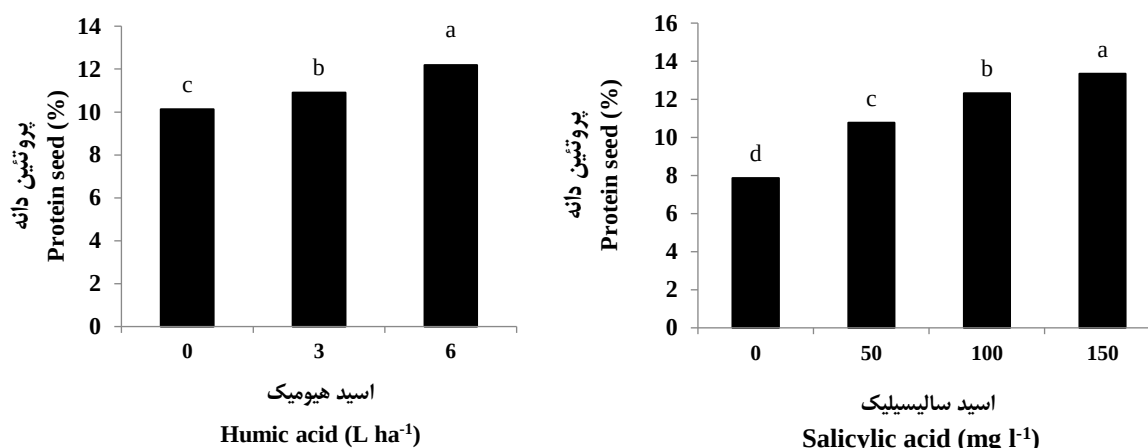
جدول ۷- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان صفات مرتبط با کیفیت دانه نخود

Table 7- Analysis of variance the effect of foliar application humic acid and salicylic acid on the amount of traits related to chickpea seed quality

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		پروتئین دانه Protein seed	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	آهن Iron	روی Zinc	منگنز Manganese
بلوک Block	3	0.60 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.016 ^{ns}	0.00003*	0.0008 ^{ns}	0.0000005 ^{ns}
اسید هیومیک Humic acid (HA)	2	17.47**	0.27 ^{ns}	0.74**	0.00025**	0.20**	0.0001**
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (SA)	3	68.39**	0.51*	1.75**	0.00008**	0.016*	0.00004*
HA × SA	6	1.43 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.05**	0.00003**	0.015**	0.00001**
خطا Error	33	0.88	0.16	0.013	0.000008	0.004	0.000007
ضریب تغییرات C.V (%)	-	8.5	14.0	5.1	4.9	4.19	5.39

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان پروتئین دانه نخود

Figure 1- Mean comparisons the simple effect of foliar application humic acid and salicylic acid on protein content seed chickpea

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

میزان پتاسیم دانه

نتایج حاکی از این است که اثر اسید سالیسیلیک در سطح احتمال پنج درصد بر میزان پتاسیم دانه نخود معنی‌دار بود (جدول ۷). بر این اساس، بیشترین پتاسیم دانه در بین سطوح مختلف اسید سالیسیلیک مربوط به غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر (۳/۱۲ میلی‌گرم در یک گرم دانه) بود که نسبت به پتاسیم دانه گیاهان شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک) ۱۸/۶۳ درصد افزایش نشان داد. از سوی دیگر، بین غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌علاوه کمترین میزان پتاسیم دانه در گیاهان شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک) با میزان ۲/۶۳ میلی‌گرم در یک گرم دانه به دست آمد (شکل ۲). جذب بیشتر پتاسیم با اسید سالیسیلیک را می‌توان به سازوکارهای فیزیولوژیکی دخیل در تنظیم اسمزی نسبت داد. اسید سالیسیلیک جذب یون را به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی و نقش محافظتی روی غشاهای تنظیم می‌کند (Hafez & Farig, 2019). از عمده‌ترین نقش‌های عنصر پتاسیم، مقاوم نمودن گیاه در برابر عوامل خارجی است، این بدان معنی است که گیاهان کشت شده تحت شرایط دیم به‌محض مواجه شدن با تنش با ایجاد سازوکار افزایش یون پتاسیم درون سلول‌ها و آوندهای خود، در برابر خشکی مقاومت می‌کنند. از سوی دیگر، علت افزایش جذب پتاسیم تحت شرایط تنش خشکی را می‌توان به سازوکار جذب فعال این یون به‌وسیله گیاه نسبت داد که بدین‌وسیله مقاومت خود را در برابر تنش بالا می‌برد. پژوهشگران گزارش کردند که میزان یون پتاسیم با افزایش سطح اسید سالیسیلیک طی تنش خشکی روند صعودی دارد (Al-Wattar & Al-Hamdani, 2021). به‌علاوه اسید سالیسیلیک می‌تواند خواص غشاء پلاسمایی را تغییر دهد و بر فعالیت

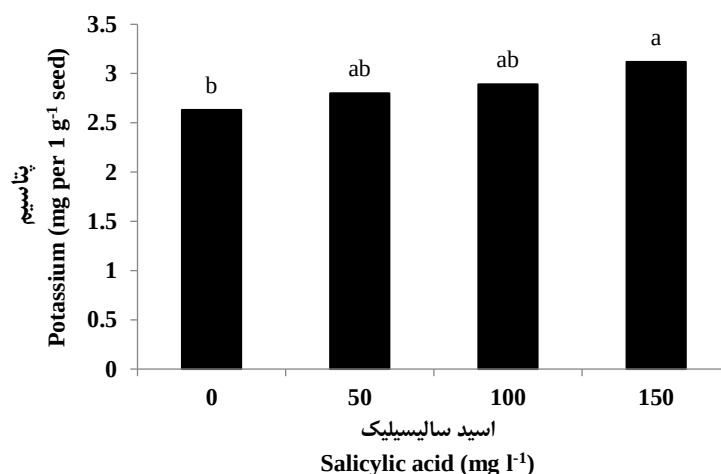
کانال‌های یونی تأثیر بگذارد و با تنظیم بیان و فعالیت پمپ‌های H^+ و فرستنده‌های پتاسیم باعث افزایش غلظت یون پتاسیم در سیتوپلاسم شود (Moazam Babasheikhali, Jabbarzadeh, Amiri, & Barin, 2020). مطابق با نتایج این تحقیق، انجم و همکاران (Anjum et al., 2022) گزارش کردند سطوح مختلف اسید سالیسیلیک موجب افزایش محتوای مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه و کاه گندم شد.

میزان فسفر دانه

نتایج نشان داد که اثر ساده اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و همچنین اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر میزان فسفر دانه معنی‌دار شد (جدول ۷). با محلول‌پاشی همزمان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک، میزان فسفر دانه نخود نسبت به غلظت صفر اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک افزایش نشان داد. حداکثر فسفر دانه مربوط به کاربرد همزمان غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و تیمار شش لیتر در هکتار اسید هیومیک بود که افزایش ۱/۸۹ برابری نسبت به شاهد (بدون کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک) داشت. حداقل میزان فسفر دانه نیز در شاهد بدون کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک (۱/۵۸ میلی‌گرم در یک گرم دانه) مشاهده شد (شکل ۳). این امر به این دلیل است که محلول‌پاشی اسید هیومیک روی گیاهان منجر به افزایش رشد گیاه و فعال شدن بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی و متعاقب آن افزایش جذب فسفر توسط ریشه می‌شود. علاوه بر این اسید هیومیک باعث بهبود فراهمی عناصر غذایی خاص به‌ویژه فسفر می‌شود. عامل اصلی افزایش قابلیت جذب فسفر در نتیجه مصرف اسید هیومیک، تشکیل کمپلکس‌های

شست‌وشو توسط این ماده و کمپلکس شدن با آهن است. به‌طور مسلم آهن و روی می‌توانند به‌طور نامحلول با فسفر رسوب کنند (Awad, El-Taib, Sweed, & Omran, 2022).

آلی گزارش شده است. اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری غشاء سلول‌های ریشه، جذب و انتقال فسفر را بهبود بخشیده و باعث افزایش میزان فسفر موجود در گیاه می‌شود (Mahmood et al., 2019). همچنین در دسترس بودن فسفر نتیجه محافظت آن از



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی برگی اسید سالیسیلیک بر میزان پتاسیم دانه نخود

Figure 2- Mean comparison of the foliar application effect of salicylic acid on seed protein content of chickpea

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

سالیسیلیک نشان داد که بیشترین میزان آهن دانه با محلول پاشی همزمان غلظت شش لیتر در هکتار اسید هیومیک و غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۰/۰۶۹ میلی گرم در یک گرم دانه) حاصل شد که در مقایسه با سایر سطوح اسید سالیسیلیک در همین غلظت اسید هیومیک برتری نشان داد. همچنین می‌توان گفت که عدم کاربرد اسید هیومیک سبب کاهش میزان آهن دانه در کاربرد بدون کاربرد اسید سالیسیلیک نسبت به غلظت‌های سه و شش لیتر در هکتار اسید هیومیک شد. به‌علاوه کمترین میزان آهن دانه مربوط به شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک) با میانگین ۰/۰۵۳ میلی گرم در یک گرم دانه بود که با ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک با همین شرایط تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴). افزایش جذب آهن ممکن است به اثر القائی اسید سالیسیلیک بر آنزیم H^+ -ATPase مرتبط باشد. این آنزیم نقش مهمی در غشاء پلاسمایی و تحرک غیرمستقیم یون‌ها دارد (Moazam Babasheikhali et al., 2020). افزایش فعالیت آنزیم H^+ -ATPase منجر به افزایش محتوای کاتیون‌ها در ریشه و اندام هوایی می‌شود و در نتیجه جذب بیشتر مواد مغذی را به همراه دارد (Gorni et al., 2020). مطابق با نتایج این پژوهش، در مطالعه حسین و همکاران (Hussein et al., 2015) کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش محتوای آهن در گیاهان کلزا (*Brassica napus*) شد که

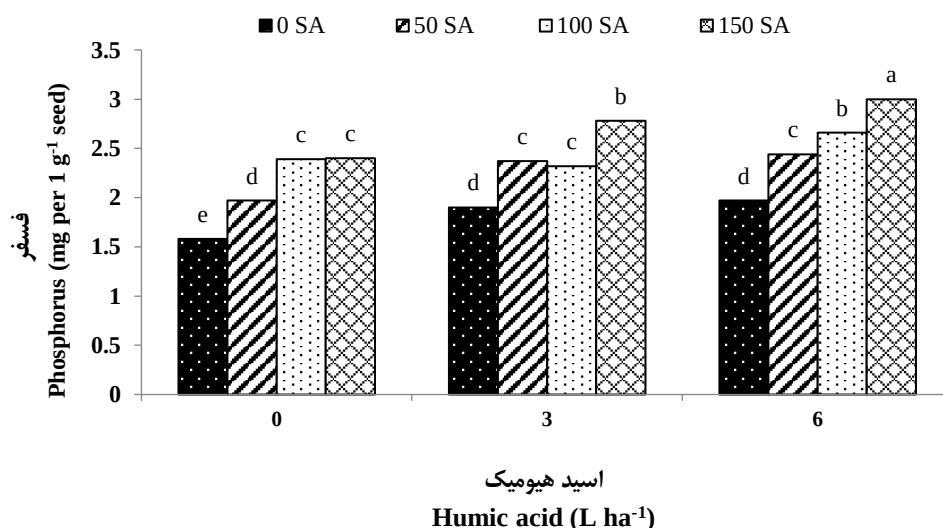
از سوی دیگر، اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر محتوای فسفر به دلیل اثر آن بر تولید و انتقال مواد فتوسنتزی از منبع به مخازن است (Rajabi Dehnavi et al., 2019). احتمال داده می‌شود که اسید سالیسیلیک با تأثیر بر جذب عناصر مختلف از خاک توانسته است با ایجاد سیستم ریشه‌ای قوی‌تر موجب افزایش قدرت جذب گیاه شود و به‌خصوص فسفر بیشتری را جذب نماید (Salmanpour et al., 2022). در مطالعه طلعت و همکاران (Talaat, Mahmoud, & Hanafy, 2023)، محلول پاشی اسید سالیسیلیک به‌طور قابل توجهی میزان عناصر ضروری در دانه‌های گندم را افزایش داد. آن‌ها این افزایش را به توانایی گیاهان تیمار شده در بهبود جذب، تجمع و جابه‌جایی مواد معدنی نسبت داده‌اند. به‌طور مشابهی، تومار و همکاران (Tomar et al., 2022) بیان کردند که استفاده از اسید سالیسیلیک منجر به جذب بیشتر نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط بذر، انتقال و جذب کل توسط محصول نخود شد که مطابق با نتایج تحقیق حاضر بود.

آهن دانه

نتایج حاکی از این بود که تأثیر اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آن‌ها بر میزان آهن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). نتایج اثر متقابل اسید هیومیک در اسید

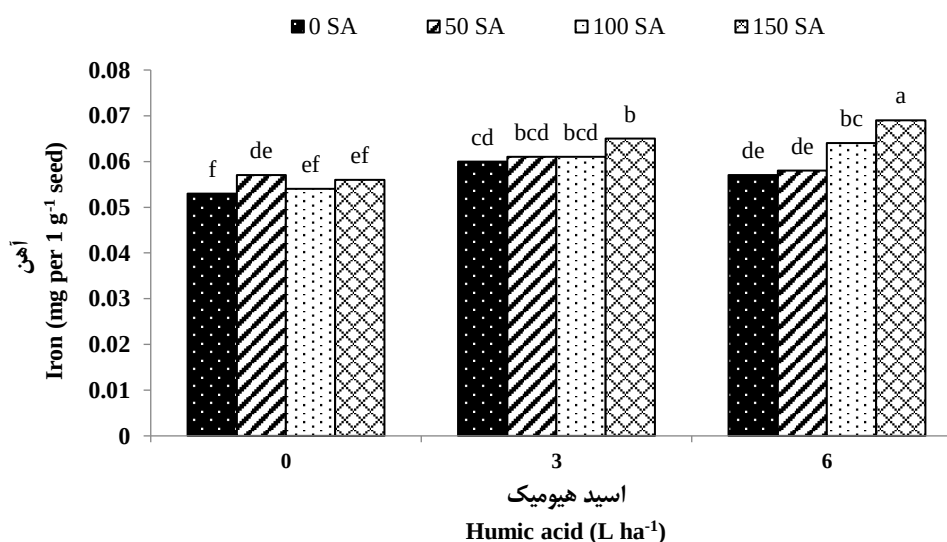
به دلیل خاصیت احیاء کنندگی آن مرتبط است که در دسترس بودن و تجمع آهن در بافت گیاهی را افزایش می دهد (*Gorni et al., 2020*).

دلیل این امر توانایی عبور ملکول های اسید هیومیک از غشاء سلول می باشد که در آپوپلاست باعث احیاء آهن شوند و در دسترس بودن آهن را افزایش دهند. اثر افزایش جذب آهن توسط اسید هیومیک



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان فسفر دانه نخود
Figure 3- Mean comparison of the interaction effect of humic acid and salicylic acid foliar application on the phosphorus content in chickpea seed

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

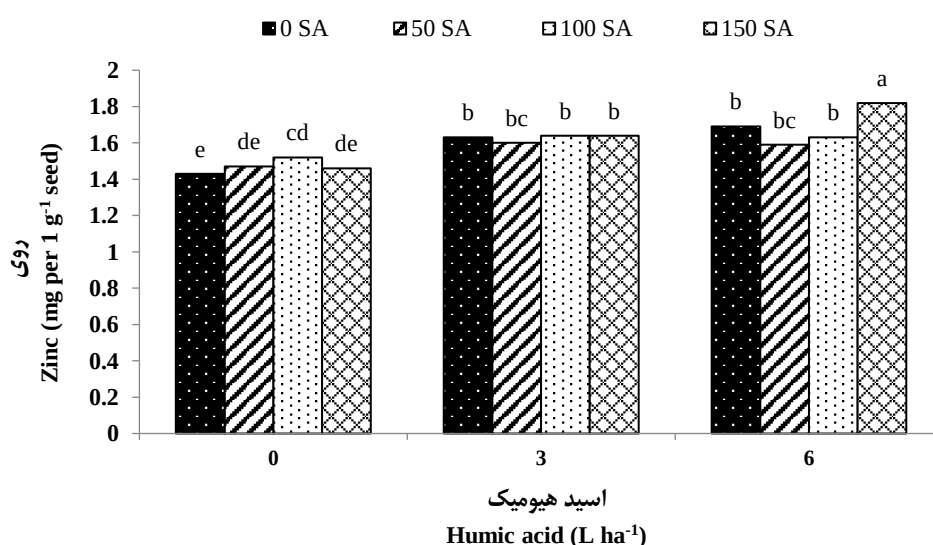


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان آهن دانه نخود
Figure 4- Mean comparison of the treatment combination effect of humic acid and salicylic acid foliar application on the iron content in chickpea seed

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

میزان روی دانه

غلظت روی دانه تحت تأثیر اثر متقابل محلول پاشی اسید هیومیک و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید (جدول ۳-۴). بر این اساس، بیشترین میزان روی دانه در تیمار شش لیتر در هکتار اسید هیومیک و غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۱/۸۲ میلی گرم در یک گرم دانه) به دست آمد. میزان روی دانه در تیمارهای صفر، ۵۰ و ۱۵۰ به ترتیب برابر ۱/۴۳، ۱/۴۷ و ۱/۴۶ میلی گرم در یک گرم دانه بود (شکل ۳). مواد هیومیکی نه تنها به افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک کمک می کنند، بلکه با تحریک بیان ژن های دخیل در جذب و جابه جایی



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان روی دانه نخود

Figure 5- Mean comparison of the interaction effect of humic acid and salicylic acid foliar application on the zinc content in chickpea seed

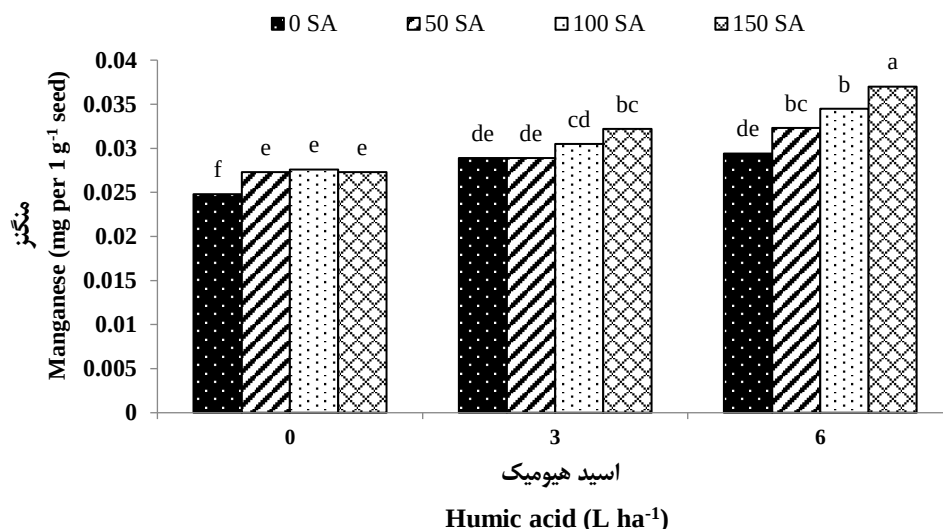
میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

دانه می تواند به دلیل عمل اسید هیومیک به عنوان یک کلات طبیعی برای ریزمغذی های کاتیونی باشد. علاوه بر این، معمولاً اسیدهای آلی مانند اسیدهای سیتریک، اگزالیک، تارتاریک و α -گلوکاریک در ترشحات ریشه می توانند آهن، روی و منگنز را از کمپلکس های اسید هیومیک استخراج کنند (Awad et al., 2022). از سوی دیگر، محلول پاشی اسید سالیسیلیک با تحریک تقسیم سلولی و افزایش فعالیت فتوسنتزی و تولید رنگدانه های فتوسنتزی ممکن است که منبع کافی از متابولیت ها را برای افزایش رشد، توسعه و فعالیت های عملکردی ریشه فراهم کند و سبب افزایش جذب عناصر غذایی گردد (Tomar et al., 2022). علاوه بر این، گزارش شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث تحریک محتوای منگنز در گیاهان می شود (Arpali, Furan, & Ozturkci, 2016).

میزان منگنز دانه

اثرات اصلی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن ها در سطح احتمال پنج درصد بر میزان منگنز دانه معنی دار بود (جدول ۷). بر این اساس، بیشترین منگنز دانه در محلول پاشی غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۰/۳۷ میلی گرم در یک گرم دانه) و پس از آن غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۰/۳۴ میلی گرم در یک گرم دانه) در کاربرد شش لیتر در هکتار اسید هیومیک حاصل شد که اختلاف معنی داری با هم داشتند. از طرفی، کمترین منگنز دانه مربوط به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بود که اختلاف معنی داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۳). افزایش محتوای ریزمغذی ها از جمله منگنز



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان منگنز دانه نخود
Figure 6- Mean comparison of the interaction effect of humic acid and salicylic acid foliar application on the manganese content in chickpea seed

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

نتیجه‌گیری

نخود تأثیر گذاشت. به نظر می‌رسد که مصرف اسید هیومیک به‌صورت محلول پاشی در طی دو مرحله از طریق فراهمی شرایط سریع‌تر برگ‌ها و افزایش رشد کلی بوته و نیز افزایش دوام و ماندگاری برگ‌ها و افزایش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی به‌ویژه دو عنصر مهم و ضروری فسفر و نیتروژن می‌تواند کیفیت دانه را افزایش دهد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که محلول پاشی اسید هیومیک با غلظت شش لیتر در هکتار و اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نقش مؤثرتری در افزایش عملکرد و اجزای آن و کیفیت دانه نخود داشت. بنابراین محلول پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند به‌عنوان راهکاری جهت افزایش عملکرد و کیفیت دانه نخود در شرایط دیم استفاده شود. با توجه به معنی‌دار نشدن اثر متقابل اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک بر صفات مرتبط با عملکرد نخود پیشنهاد می‌شود که مطالعات بیشتری شامل محدوده وسیع‌تری از غلظت‌ها، ارقام مختلف نخود، و مصرف خاکی اسید هیومیک انجام گیرد تا ارزیابی برهم‌کنش‌های بالقوه یا اثرات هم‌افزایی آن‌ها میسر گردد.

پژوهش حاضر نشان داد که محلول پاشی اسید هیومیک به‌ویژه غلظت شش لیتر در هکتار با افزایش تقسیم و طویل شدن سلول‌ها موجب افزایش پروتئین و عناصر غذایی دانه نخود گردید. از سوی دیگر، محلول پاشی اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌داری بر صفات رشدی نخود داشت. همچنین تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تأثیر را بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد نخود داشت. این امر می‌تواند عمده‌تأثیر مستقیم اسید سالیسیلیک بر سرعت و القاء گل‌دهی در گیاهان باشد که شرایط بهتری برای تلقیح گل‌ها فراهم نموده و در نتیجه تعداد واحدهای زایشی را بیشتر می‌کند. یکی از دلایل افزایش عملکرد در گیاهان محلول پاشی شده ناشی از تأثیر سالیسیلیک اسید بر افزایش تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌باشد. از سوی دیگر، اسید هیومیک موجب دوام بیشتر سطح برگ می‌شود، که به‌نوبه خود باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی گردید. مشخص شد که اسید سالیسیلیک بر جذب و تجمع عناصر پرمصرف (فسفر و پتاسیم) و کم‌مصرف (آهن، روی و منگنز) دانه

References

1. Abbood, A. A., & Al-Madhhachi, A. S. T. (2021). Quantifying mechanistic detachment parameters due to humic acids in biological soil crusts. *Land*, 10(11), 1180. <https://doi.org/10.3390/land10111180>
2. Ahmad, B., Hussain, F., Shuaib, M., Shahbaz, M., Hadayat, N., Shah, M., Yaseen, T., Rauf, A., Anwar, J., Khan, S. H., Jabeen, A., & Alharbi, K. (2023). Effect of salicylic acid and amino acid on pea plant (*Pisum sativum*) late

- season, growth and production. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(3), 1987-1994.
3. Ahmed, N. J., & Ali, K. A. (2024). Effect of exogenous salicylic acid foliar spray on growth, yield and chemical content of sesame crop (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. *Sarhad Journal of Agriculture*, 40(3), 702-712. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2024/40.3.702.712>
 4. Alfatlawi, Z. H. C., & Alrubaiee, S. H. A. W. (2020). Effect of spraying different concentrations of humic acid on the growth and yield of wheat crop (ipa 99 cultivar) in different stages. *Plant Archives*, 20(2), 1517-1521.
 5. Ali, B., & Terefe, H. (2023). Host resistance by sowing date interaction reduced *Fusarium* wilt pressure and improved grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in North Shoa, Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 6(3), e20400. <https://doi.org/10.1002/agge2.20400>
 6. Ali, E. S. A., Abd EL-Kader, M. N., Ahmed, M. A., & Morsy, A. S. (2022). Effect of irrigation intervals and foliar spray with salicylic acid on the production of two bread wheat cultivars in newly Reclaimed land. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 53(3), 55-71.
 7. Alotaibi, M., El-Hendawy, S., Mohammed, N., Alsamin, B., Al-Suhaibani, N., & Refay, Y. (2023). Effects of salicylic acid and macro-and micronutrients through foliar and soil applications on the agronomic performance, physiological attributes, and water productivity of wheat under normal and limited irrigation in dry climatic conditions. *Plants*, 12(12), 2389. <https://doi.org/10.3390/plants12122389>
 8. Altaf, A., Nawaz, F., Majeed, S., Ahsan, M., Ahmad, K. S., Akhtar, G., & Farman, M. (2023). Foliar humic acid and salicylic acid application stimulates physiological responses and antioxidant systems to improve maize yield under water limitations. *JSFA Reports*, 3(3), 119-128. <https://doi.org/10.1002/jsf2.106>
 9. Al-wattar, M. J. M., & Al-Hamdani, K. M. (2021). Efficiency of salicylic acid application on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Euphrates Journal of Agricultural Science*, 13(4), 124-135.
 10. Amiri, M. B., Esmaeilian, Y., & Alboghobiesh, M. (2022). Effect of humic and salicylic acids spraying on some morphological characteristics, yield and yield components of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in different levels of irrigation. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(1), 55-67. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.311183.654757>
 11. Anjum, M. A., Sarfraz, M., Qureshi, M. A., Rizwan, M., Naz, A., Ahmed, K., Saqib, M., Nawaz, M., Ali, M., Khalid, M., Nazarati, A & Al, A. (2022). Impact of salicylic acid on wheat growth and nutrient uptake in salinized environments. *Journal of Pure and applied Agriculture*, 7(3), 1-7.
 12. Arpali, D., Furan, M. A., & Ozturkci, Y. (2016). Recovering wheat (*Triticum aestivum* L.) to intake mineral nutrient components under drought stress with salicylic acid. *FEB-Fresenius Environ Bullet*, 3395. 539 pp.
 13. Arshad, A., Qamar, H., Siti-Sundari, R., Zhang, Y., Zubair, M., Raza, M. A., Rehman, M., Zhang, L. (2020). Phenotypic plasticity of spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in response to exogenous application of salicylic acid under rainfed climate conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 33(4), 729. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2020/33.4.729.743>
 14. Awad, A. A., El-Taib, A. B., Sweed, A. A., & Omran, A. A. (2022). Nutrient contents and productivity of *Triticum aestivum* plants grown in clay loam soil depending on humic substances and varieties and their interactions. *Agronomy*, 12(3), 705. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030705>
 15. Barzegar, T., Mahmoodi, S., Nekounam, F., Ghahremani, Z., & Khademi, O. (2022). Effects of humic acid and cytokinin on yield, biochemical attributes and nutrient elements of radish (*Raphanus sativus* L.) cv. Watermelon. *Journal of Plant Nutrition*, 45(10), 1582-1598. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2003395>
 16. Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1962). Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, 93(1), 68.
 17. Dobón-Suárez, A., Giménez, M. J., García-Pastor, M. E., & Zapata, P. J. (2021). Salicylic acid foliar application increases crop yield and quality parameters of green pepper fruit during postharvest storage. *Agronomy*, 11(11), 2263. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112263>
 18. Dönder, E., & Toğay. (2021). The effect of humic acid and potassium applications on the yield and yield components in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 5(3), 568-574.
 19. FAO. (2022). Food and agriculture organisation of the United Nations. Rome, Italy. FAOSTAT. 2022. Rome. Available online: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> (accessed on 17 December 2021).
 20. Ghalambaz, S., Roshanfekr, H., Rahnama Ghahfarokhi, A., & Monsefi, A. (2024). Effect of salicylic acid foliar application on physiological indices and induction of terminal heat stress tolerance of quinoa in Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2), 137-154. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.84530.1275>
 21. Gomes, G. A., Pereira, R. A., Sodr , G. A., & Gross, E. (2019). Humic acids from vermicompost positively influence the nutrient uptake in mangosteen seedlings1. *Pesquisa Agropecu ria Tropical*, 49, e55529. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v49e55529>
 22. Gorni, P. H., Pacheco, A. C., Moro, A. L., Silva, J. F. A., Moreli, R. R., de Miranda, G. R., Pelegrini, J. M., Bronzel, da Silva, R. M. G. (2020). Salicylic acid foliar application increases biomass, nutrient assimilation, primary metabolites and essential oil content in *Achillea millefolium* L. *Scientia Horticulturae*, 270, 109436. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109436>

23. Hafez, E., & Farig, M. (2019). Efficacy of salicylic acid as a cofactor for ameliorating effects of water stress and enhancing wheat yield and water use efficiency in saline soil. *International Journal of Plant Production*, 13(2), 163-176.
24. Haranal, K., Hanumanthappa, M., Mavarkar, N. S., & Mopagar, M. M. (2024). Humic acid foliation and nutrient levels concerning yield and quality of sweet corn (*Zea mays* L. Convar. Saccharata). *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(8), 535-542. <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i82733>
25. Hassan, H., Suleiman, S., & Dais, M. A. (2022). Effect of spraying humic acid and salicylic acid on potato leaf area, yield and quality at two different levels of field capacity. *Al-Qadisiyah Journal of Pure Science*, 27(1), 1-12.
26. Hayati, A., Hosseini, S. M., Rahimi, M. M., & Kelidari, A. (2022). The effect of humic acid and nano-chelate iron on the absorption of some nutrients, grain yield, oil, and essential oil of (*Nigella sativa*) under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(14), 1744-1755. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2063319>
27. Hosseini Nik, M. H., Shokuhfar, A., & Payandeh, K. (2022). Effect of combination of the humic acid and nano-potassium fertilizer on yield, yield components and protein percentage of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 13(2), 50-61. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2202-1022>
28. Hussein, M. M., Rezk, A. I., El-Nasharty, A. B., & Mehanna, H. M. (2015). Nutritional and growth response of canola plants to salicylic acid under salt stress conditions. *International Journal of ChemTech Research*, 8(6), 574-581.
29. Izhar Shafi, M., Adnan, M., Fahad, S., Wahid, F., Khan, A., Yue, Z., Danish, S., Hey, M., Brtnicky, M., & Datta, R. (2020). Application of single superphosphate with humic acid improves the growth, yield and phosphorus uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) in calcareous soil. *Agronomy*, 10(9), 1224. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091224>
30. Jones, J. J., Wolf, B., & Mills, H. A. (1991). *Plant Analysis Handbook*. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. pp. 213-pp). Micro-Macro Publishing, Inc, Athens, Georgia.
31. Kareem, F., Rihan, H., & Fuller, M. (2017). The effect of exogenous applications of salicylic acid and molybdenum on the tolerance of drought in wheat. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal (ARTOAJ)*, 41(2), 110-214.
32. Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Mirzaee, A., Barzali, M., Sharifi, P., Khoshkhoy Nilash, E. A., & Safari Motlagh, M. R. (2023). Identification of stable chickpeas under dryland conditions by mixed models. *Legume Science*, 5(4), e206. <https://doi.org/10.1002/leg3.206>
33. Khademian, R., & Yaghoubian, I. (2018). Growth of chick pea (*Cicer arietinum*) in response to salicylic acid under drought stress. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 12, 255-263.
34. Kuchlan, P., & Kuchlan, M. K. (2023). Effect of salicylic acid on plant physiological and yield traits of soybean. *Legume Research-An International Journal*, 46(1), 56-61. <https://doi.org/10.18805/LR-4527>
35. Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2-3), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.03.008>
36. Mahmood, Y. A., Ahmed, F. W., Juma, S. S., & Al-Arazah, A. A. (2019). Effect of solid and liquid organic fertilizer and spray with humic acid and nutrient uptake of nitrogen, phosphorus and potassium on growth, yield of cauliflower. *Plant Archives*, 19(2), 1504-1509.
37. Maleki, H. H., Khoshro, H. H., Kanouni, H., Shobeiri, S. S., & Ashour, B. M. (2024). Identifying dryland-resilient chickpea genotypes for autumn sowing, with a focus on multi-trait stability parameters and biochemical enzyme activity. *BMC Plant Biology*, 24(1), 750. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05463-0>
38. Meena, M. K., Dhanoji, M. M., & Naik, M. C. (2023). In luence of humic acid foliar spray on physiological growth indices in redgram (*Cajanus Cajan*). *Agriculture Association of Textile Chemical and Critical Reviews Journal*, 11(2), 378-384.
39. Moazam Babasheikhali, M., Jabbarzadeh, Z., Amiri, J., & Barin, M. (2020). Impact of salicylic acid and nitric oxide on improving growth and nutrients uptake of rose in alkaline soil conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 43(5), 667-681. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1701023>
40. Mohamed, A. S., Mohamed, M. H., Halawa, S. S., & Saleh, S. A. (2023). Partial exchange of mineral N fertilizer for common bean plants by organic N fertilizer in the presence of salicylic acid as foliar application. *Gesunde Pflanzen*, 75(5), 2009-2020. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00834-3>
41. Nayyef, A. G., & Hammadi, H. J. (2021). *Effect of activating of salicylic acid and foliar application with humic acid on some growth and yield characteristics of sunflower (Helianthus annuus L.)*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 761(1), 012076. IOP Publishing.
42. Pappula-Reddy, S. P., Kumar, S., Pang, J., Chellapilla, B., Pal, M., Millar, A. H., & Siddique, K. H. (2024). High-throughput phenotyping for terminal drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Stress*, 11, 100386. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100386>

43. Rahimi-Moghaddam, S., Amiri, S., & Eyni-Nargeseh, H. (2023). Assessing chickpea attainable yield and closing the yield gaps caused by agronomic and genetic factors. *Field Crops Research*, 303, 109137. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109137>
44. Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M., Razmjoo, J., & Eshghizadeh, H. (2019). Effect of exogenous application of salicylic acid on salt-stressed sorghum growth and nutrient contents. *Journal of Plant Nutrition*, 42(11-12), 1333-1349. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617307>
45. Sahraei, S., & Sepehri, A. (2022). Effect of pseudo-hormones growth regulators on growth and yield of two new Kabuli cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in rainfed conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 13(2), 191-206. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2205-1034>
46. Salmanpour, V., Sharafi, S., Rezaei, M., Khalily, M., & Abbaspour, N. (2022). Evaluation of the effect of foliar application of potassium, salicylic acid and gamma aminobutyric acid on yield, yield components and uptake of nitrogen, phosphorus and potassium in bread wheat genotypes under soil salinity stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(3), 133-148. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.46995.2707>
47. Shiroui, H., Hatami, A., Zeidali, E., & Alizadeh, Y. (2023). Effect of foliar application of salicylic acid and biofertilizers on yield and yield components of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) in dryland conditions. *Plant Production and Genetics*, 4(1), 71-86. <https://doi.org/10.34785/J020.2022.017>
48. Singh, A. K., Mubeen, M., Kaleem, K., Khan, N., Sachan, D. S., & Mued, M. (2024). Effect of different levels of humic acid and salicylic acid on yield parameters and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Asian Research Journal of Agriculture*, 17(2), 272-277.
49. Singh, V., Gupta, K., Singh, S., Jain, M., & Garg, R. (2023). Unravelling the molecular mechanism underlying drought stress response in chickpea via integrated multi-omics analysis. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1156606. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1156606>
50. Talaat, N. B., Mahmoud, A. W. M., & Hanafy, A. M. (2023). Co-application of salicylic acid and spermine alleviates salt stress toxicity in wheat: growth, nutrient acquisition, osmolytes accumulation, and antioxidant response. *Acta Physiologiae Plantarum*, 45(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03485-5>
51. Tomar, M., Chaplot, P. C., Choudhary, J., Meena, R. H., Patidar, R., & Samota, A. K. (2022). Effect of salicylic acid and biochar on nutrient content and uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed condition. *Biological Forum-An International Journal*, 14(3) 613-616.
52. Torabi, S., Alahdadi, I., Akbari, G. A., Ghorbani Javid, M., & Fotovat, R. (2023). Effects of foliar application of salicylic acid and nanosilicon on the yield and physiological traits of maize (*Zea mays*) in heavy metal contaminated fields. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(1), 151-168. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.346622.654931>
53. Younespour, M. P., Samdeliri, M., Mazloom, P., Mirkalaei, A. M., & Moballeghi, M. (2023). Effect of foliar application of salicylic acid and mycorrhiza on quantitative and qualitative traits of maize. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e274601. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.274601>
54. Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z., & Pinton, R. (2019). Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators and biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, 10, 675. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00675>



Research Article

Vol. 23, No. 3, Fall 2025, p. 321-339

Estimation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Yield Gap and Determining the Contribution of Water and Nitrogen Across Khorasan Razavi Province using Modeling Approach

M. Jahan^{1*}, M. Noori¹, H. R. Khazaei¹, M. Nassiri-Mahallati¹, K. Shojaei-Nofarast², M. H. Fallah¹

1- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi, Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)**How to cite this article:**

Received: 12 October 2024
Revised: 26 November 2024
Accepted: 27 November 2024
Available Online: 13 April 2025

Jahan, M., Noori, M., Khazaei, H. R., Nassiri-Mahallati, M., Shojaei-Nofarast, K., & Fallah, M. H. (2025). Estimation of potato (*Solanum tuberosum* L.) yield gap and determining the contribution of water and nitrogen across Khorasan Razavi province using modeling approach. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 321-339. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.90184.1355>

Introduction

The growing human population, global warming, depletion of water and soil resources, and climate change make it imperative to reconsider food production methods in agricultural systems. Improving resource use efficiency and enhancing productivity are key strategies to address these challenges. Reducing the gap between the actual yield currently achieved on farms and the yield that could be achieved using the best environmentally compatible cultivars and the best water, soil and plant management practices is a key solution to overcome the challenge of feeding the world's growing population. The first step in addressing the yield gap is to determine how much and how it is distributed.

Materials and Methods

To estimate the potato (*Solanum tuberosum* L.) yield gap in Khorasan Razavi province and to determine the contribution of water and nitrogen to it, two separate field experiments were conducted based on randomized complete block design (RCBD) with water and nitrogen limitation conditions for potato cultivars in the city of Quchan during the growing season of 2018-2019. The first experiment was conducted with three irrigation levels of 100, 75, and 50% water requirement, and used two potato cultivars. The second experiment was conducted with four levels of nitrogen, including 0, 50, 100, and 150 kg of pure nitrogen, and also included two potato cultivars.

Results and Discussion

The results showed that increasing nitrogen fertilizer application improved many of the evaluated characteristics of two potato varieties. However, with the increase in nitrogen use, nitrogen use efficiency (productivity) decreased. The potential yield of potatoes in different regions of Khorasan Razavi province was estimated using the DSSAT model. The data obtained from one of the field experiments, including dry matter, leaf area, phenology (developmental stages), and yield, were used to calibrate the model. After determining the potential yield and estimating the yield gap, the contribution of water and nitrogen to the yield gap was identified. Based on the protocol provided by the Global Yield Gap Atlas, the province was clustered into three



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.90184.1355>

regions. Region 1 (R1) includes the cities of Quchan and Fariman; Region 2 (R2) comprises Golmakan, Neyshabour, Torbat-e Hydarie, Mashhad, and Dargaz, which lie between regions 1 and 3; and Region 3 (R3) includes the cities of Torbat-e Jam, Gonabad, Khaf, Kashmar, Sabzevar, Sarakhs, and Bardaskan. The model was calibrated and validated with the data obtained from the field experiment. Long-term weather data and average actual yield were collected for each station, and the potential yield in each station was simulated using the model. Then, the difference between the potential yield and the actual yield was calculated, and the yield gap was determined for each area. Afterward, using the model, the potential yield was recalculated under water and nitrogen limitation conditions, and the contribution of water and nitrogen to the yield gap was assessed.

Conclusion

In R1, the yield gap varied between 40.5 and 57.7 ton ha⁻¹. The average yield gap during 10 years was estimated at 48.8 and 31.7 ton ha⁻¹ for R1 and R2, respectively. According to the DSSAT model's results, R3 had a lower potential yield than the other two regions. The average contribution of water and nitrogen limitations to the potato yield gap in R1 and R2 was calculated. Accordingly, in R1, the impact of water and nitrogen limitations was 12.1 and 18 ton ha⁻¹, and in R2, it was 10.9 and 8.3 ton ha⁻¹, respectively. Although narrowing the yield gap depends on the climatic conditions of each region, selecting a compatible crop variety, optimizing planting date, and adopting appropriate plant density are among the most effective crop management strategies to reduce the yield gap, regardless of climatic differences.

Keywords: Calibration and Validation, DSSAT, Food security, Potential yield, Zoning

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، ص ۳۳۹-۳۲۱

برآورد خلاء عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان خراسان رضوی و تعیین سهم آب و نیتروژن در آن با استفاده از رهیافت مدل‌سازی

محسن جهان^{۱*}، محسن نوری^۲، حمیدرضا خزاعی^{۱b}، مهدی نصیری محلاتی^۱، کوروش شجاعی نوفرست^۲محمد حسن فلاح^{۱b}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۷

چکیده

خلاء عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان خراسان رضوی براساس شیوه‌نامه اطلس جهانی خلاء عملکرد و با استفاده از مدل SUBSTOR-Potato برنامۀ DSSAT برآورد شد. مدل گیاهی با استفاده از داده‌های دو آزمایش مزرعه‌ای که در شرایط محدودیت آب و نیتروژن طراحی و اجرا شدند و همچنین اطلاعات جمع‌آوری شده از سایر آزمایشات زراعی در مناطق مورد مطالعه مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفت. استان براساس شیوه‌نامه اطلس جهانی خلاء عملکرد به سه ناحیه اقلیمی کشاورزی کلاستر بندی شد. سپس، با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی بلندمدت (۲۰۱۱-۲۰۲۰) و میانگین عملکرد واقعی هر ایستگاه، پتانسیل عملکرد برای هر ناحیه شبیه‌سازی شد و میزان خلاء عملکرد محاسبه گردید. در نهایت، در شرایط محدودیت‌های آب و نیتروژن، پتانسیل عملکرد مجدداً بررسی شد و سهم هر یک از این عوامل در ایجاد خلاء عملکرد تعیین گردید. بیشترین عملکرد پتانسیل در سطح استان مربوط به ناحیه یک و در شهرستان فریمان (در سال ۲۰۱۲) با مقدار ۸۶/۷ تن در هکتار برآورد گردید. کمترین مقدار عملکرد پتانسیل برای شهرستان بردسکن واقع در ناحیه اقلیمی سه با مقدار ۸/۳ تن در هکتار برآورد شد. میانگین خلاء عملکرد در دوره آماری ۱۰ ساله در ناحیه یک ۴۸/۸ و در ناحیه دو ۳۱/۷ تن در هکتار برآورد گردید. میانگین تأثیر محدودیت آب و نیتروژن در ایجاد خلاء عملکرد سیب‌زمینی در ناحیه یک به ترتیب ۱۲/۱ و ۱۸ تن در هکتار و در ناحیه دو به ترتیب ۱۰/۹ و ۸/۳ تن در هکتار بود. پر کردن بخشی از خلاء عملکرد با توجه به شرایط اقلیمی هر ناحیه متفاوت است، با این حال انتخاب رقم زراعی سازگار، تاریخ کاشت و تراکم بوته مناسب از جمله مهم‌ترین گزینه‌های مدیریت زراعی به‌منظور جبران بخشی از خلاء عملکرد، صرف نظر از تفاوت‌های اقلیمی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، امنیت غذایی، پهنه‌بندی، عملکرد پتانسیل، واسنجی، DSSAT

مقدمه

و آب‌وهوایی بر امنیت غذایی، اگر اکوسیستم‌ها باید از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار باشند (IISD Report, 2012). در این ارتباط، گزینه‌های فناوری نیز بسیار مهم است، اما شواهد روشن مبتنی بر حمایت از تصمیم‌گیری در قالب فناوری نسبتاً کمیاب است (Rosegrant et al., 2014).

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بعد از گندم، برنج و ذرت بیشترین سهم را در تولید محصولات غذایی دارد و نقش مهمی در تغذیه و سید غذایی جهان ایفا می‌کند (FAO, 2017). بر این اساس، سازمان خواروبار جهانی این محصول زراعی را با توجه به روند روبه‌رشد جمعیت و پیامدهای ناشی از آن شامل افزایش تعداد گرسنگان و نیاز به غذا، به‌عنوان یک گیاه امنیت غذایی معرفی و

امنیت غذایی بیانگر وضعیتی است که تمام آحاد مردم در تمام زمان‌ها یا ایام سال از نظر فیزیکی و اقتصادی برای تأمین نیازهای یک زندگی سالم، به غذای کافی، سالم و با کیفیت دسترسی داشته باشند (Coates, 2013). به‌منظور کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی

۱- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

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

(*)- نویسنده مسئول (Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.90184.1355>

توصیه نموده است (Devaux, Kromann & Ortiz, 2014). ایران با تولید ۴/۵ میلیون تن غده سیب‌زمینی، رتبه ۱۹ را در بین کشورهای تولیدکننده سیب‌زمینی در سال ۲۰۲۰ داشته است. مقایسه عملکرد این محصول در ۲۰ کشور اصلی تولیدکننده، تفاوت‌های زیادی را نشان می‌دهد، به نحوی که ایالات متحده آمریکا با ۵۱ تن در هکتار، بیشترین عملکرد و اوکراین با ۱۶ تن در هکتار، کمترین عملکرد را در بین این کشورها داشته است. متوسط عملکرد این محصول در کل کشورهای جهان، ۱۸/۵ تن و در ایران ۳۴ تن در هکتار بوده که رتبه ۲۱ را در عملکرد نشان می‌دهد (FAO, 2021). در استان خراسان رضوی در حال حاضر بیش از ۱۰۴ هزار تن سیب‌زمینی از سطحی برابر با ۲۸۸۳ هکتار زمین زراعی با میانگین عملکرد ۳۶/۲ تن برداشت می‌شود (Ministry of Agriculture, 2022).

کودهای نیتروژنی بیش از ۶۱ درصد از مصرف کودهای شیمیایی را در کشور به خود اختصاص داده و کود اوره با سهم ۹۰ درصد، حائز رتبه اول در مصرف کودهای نیتروژنی می‌باشد (Tavakkoli-Kakhki, 2016). در مقیاس جهانی، ۵۰ تا ۷۰ درصد از نیتروژن خاک، از دسترس خارج شده و جذب گیاه نمی‌شود که حاصل آن علاوه‌بر آلودگی محیط، کاهش کارایی مصرف آن است (Dobermann & Cassman, 2002). کاربرد کودهای شیمیایی اثرات مهمی بر عملکرد کمی و کیفی سیب‌زمینی دارند (Westermann, 2005). مصرف کود نیتروژن گاه‌ها بیش از حد نیاز گیاه بوده، از این رو بهبود کارایی مصرف زراعی نیتروژن یک راهبرد کلیدی در جهت پیشبرد سیاست‌های کشاورزی پایدار محسوب می‌شود که این امر می‌تواند منجر به دستیابی به حداکثر عملکرد در ازای مصرف حداقل نهاده‌ها و کاهش هدررفت نیتروژن گردد (Fageria & Baligar, 2005). در صورتی که آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه فراهم و محیط رشد عاری از هر گونه علف هرز، آفت یا بیماری باشد، سرعت رشد محصول توسط عوامل محیطی تعیین می‌شود. عملکرد در این شرایط به عملکرد بالقوه یا پتانسیل^۱ موسوم است. عملکرد واقعی^۲، عملکرد برداشت‌شده در مزرعه را نشان می‌دهد. اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی، خلاء عملکرد^۳ نام داشته و شامل عواملی است که هدف از مدیریت و پژوهش‌های زراعی، کنترل آن‌ها است.

تحلیل خلاء عملکرد یک روش کمی برای افزایش احتمالی ظرفیت تولید گیاهان زراعی در یک ناحیه مشخص می‌باشد و یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و جهانی است (Van Wart et al., 2013). تعیین میزان خلاء عملکرد جهت شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد

ضروری می‌باشد. کم کردن فاصله بین عملکرد واقعی که در حال حاضر در مزارع به دست می‌آید و عملکردی که می‌تواند به‌وسیله استفاده از بهترین ارقام سازگار با محیط و بهترین روش‌های مدیریت آب، خاک و گیاه به دست آید، راهکاری کلیدی جهت غلبه بر چالش تغذیه‌ای جمعیت در حال رشد جهان است. نخستین گام جهت رفع خلاء عملکرد، تعیین مقدار و نحوه توزیع آن می‌باشد (Hochman, Gobbett, Horan & Garcia, 2016). وان ایترسام و همکاران (Van Ittersum et al., 2013) شیوه‌نامه گیگا (GYGA)^۴ را برای محاسبه خلاء عملکرد محصولات عمده زراعی جهان ارائه کردند. هدف گیگا در دسترس قرار دادن اطلس برخطی است که شامل اطلاعات پتانسیل عملکرد، پتانسیل عملکرد آب محدود، عملکرد واقعی و خلاء عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد. عملکردها در سطح ملی و پهنه‌های اقلیمی نمایش داده می‌شوند. در این شیوه‌نامه از ترکیب اطلاعات روزانه داده‌های هواشناسی، اطلاعات خاک و مدل‌های گیاهان زراعی استفاده شده و به‌دلیل انجام رویکرد مشابه در تمامی کشورها، نتایج حاصل از اجرای شیوه‌نامه در کشورهای مختلف با یکدیگر قابل مقایسه می‌باشد. نتایج این اطلس می‌تواند برای شناسایی مناطقی استفاده شود که پتانسیل بالایی برای سرمایه‌گذاری توسعه کشاورزی و انتقال تکنولوژی دارند. با وجود اهمیتی که موضوع پتانسیل‌یابی تولید محصولات زراعی دارد، تحقیقات محدودی در ایران انجام شده که عمدتاً بر محصول گندم (*Triticum aestivum*) (L. تمرکز دارد (Kamali & Bazgir, 2009; Koocheki, Nassiri-Mahallati, Mansoori & Moradi, 2017).

نظر به اهمیت امنیت غذایی و ارائه راهکارهای مناسب جهت افزایش تولید سیب‌زمینی در واحد سطح در استان خراسان رضوی، این پژوهش با هدف واستجی^۵ و تعیین اعتبار^۶ مدل DSSAT برای پیش‌بینی مراحل نمو و عملکرد پتانسیل در نظام کشت بهاره سیب‌زمینی استان، تعیین عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد محصول سیب‌زمینی در این نظام و در نهایت تعیین سهم آب و نیتروژن در ایجاد خلاء انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در سطح استان خراسان رضوی انجام شد. استان خراسان رضوی با وسعت ۱۲۷۰۰۰ کیلومترمربع، به‌عنوان چهارمین استان پهناور ایران در شمال شرق کشور بین عرض جغرافیایی ۳۴ تا ۳۸ درجه شمالی و طول ۵۷ تا ۶۱ درجه شرقی قرار دارد. بارش

4- Global Yield Gap Atlas
5- Calibration
6- Validation

1 - Potential yield
2- Actual yield
3- Yield gap

پوست زرد و مقاوم به ویروس پیچیدگی برگ و حساس به بیماری ساق سیاه و اسکب معمولی و رقم آریندا نیمه زودرس با رنگ پوست زرد و گوشت زرد کم رنگ با عملکرد بالا در کرت های فرعی قرار گرفتند. آزمایش دوم با چهار سطح نیتروژن صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به عنوان عامل کرت اصلی و دو رقم سیب زمینی (آگریا و آریندا) به عنوان عامل کرت فرعی اجرا شد (از نتایج این آزمایش شامل ماده خشک، سطح برگ، فنولوژی و عملکرد، در ادامه جهت واسنجی مدل استفاده گردید).

آماده سازی زمین، عملیات کاشت و داشت

جهت تعیین بافت و سایر ویژگی های خاک، قبل از اجرای آزمایش نمونه برداری انجام شد. برای این منظور در چند نقطه از مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک نمونه گیری انجام شد. نمونه ها با هم ترکیب و نمونه ای مرکب به آزمایشگاه منتقل گردید. نتایج آزمون خاک در **جدول ۱** ارائه شده است.

جدول ۱- برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Some physicochemical properties of the soil of the experiment site

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	درصد اشباع Saturation percent (%)	اسیدیته pH	کربن C (%)	نیتروژن Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P (mg kg ⁻¹ soil)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg kg ⁻¹ soil)
لوم رسی Clay loam	2.1	36	7.62	1.3	0.13	19	147

متالاکسیل-مانکوزب انجام شد. جهت مبارزه با حشره مکنده تریپس، حشره کش دیمتوات به میزان یک لیتر در هکتار قبل از گل دهی مصرف شد. نیتروژن مورد نیاز در تیمارهای کودی از طریق مصرف کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) تأمین گردید. اوره با توجه به سطوح کاربرد آن در سه نوبت (۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز بعد از کاشت) و تا قبل از مرحله گل دهی سیب زمینی در مزرعه مصرف شد. آبیاری مزرعه مطابق عرف منطقه، هر هشت روز یک مرتبه به صورت جویچه ای (توسط سیفون) با حجمی معادل ۴۰۰ مترمکعب آب در هکتار (برای تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی) انجام گردید.

نمونه گیری، اندازه گیری و محاسبات

همزمان با رسیدگی فیزیولوژیک سیب زمینی و خشک شدن حدود ۸۰ درصد برگ های پایینی گیاه، برداشت انجام شد. دو خط کناری در هر کرت به عنوان اثر حاشیه ای حذف گردید و از دو خط وسطی (به مساحت دو متر مربع) نمونه برداری ها انجام شد. ویژگی های مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد غده در بوته به تفکیک اندازه ریز، متوسط و درشت، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد غده به صورت تر و

متوسط سالانه آن ۲۰۸ میلی متر است که توزیع آن از دامنه های شمالی استان به سمت جنوب، کاهشی و عمدتاً در فصول زمستان و بهار به صورت برف و باران است (Fallah-Ghalhari, Moosavi- Baygi & Habibi-Nokhandan, 2000).

آزمایش های مزرعه ای

دو آزمایش مزرعه ای با شرایط محدودیت آب و محدودیت نیتروژن برای دو رقم سیب زمینی آگریا و آریندا، در سال ۱۳۹۹ در شهرستان قوچان در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه عرض شمالی و ۵۸ درجه طول شرقی اجرا شد. ارتفاع از سطح دریای این شهرستان، ۱۳۵۰ متر و دارای آب و هوای معتدل و سرد با میانگین بارش سالانه ۲۹۶ میلی متر است. آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در آزمایش اول، سه سطح آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در کرت اصلی و دو رقم سیب زمینی شامل رقم آگریا که نیمه دیررس با رنگ گوشت و

به منظور آماده سازی بستر کاشت، پس از شخم عمیق، کلوخه ها توسط دیسک خرد و زمین به وسیله لولر کاملاً تسطیح شد. سپس کرت های اصلی به ابعاد ۱۲×۴ متر ایجاد شدند. قبل از کشت، طبق عرف منطقه، کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به همراه ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار به طور یکنواخت در زمین پخش و تا عمق ۳۰ سانتی متری با خاک مخلوط شد. در تاریخ ۱۰ خردادماه و همزمان با تاریخ کشت رایج در منطقه، اقدام به کشت غده شد. ضد عفونی غده ها توسط قارچ کش کاپتان انجام شد. چهار ردیف سیب زمینی به طول چهار متر در هر کرت کشت شد که ردیف ها از یکدیگر ۷۵ سانتی متر فاصله داشته و فاصله غده ها روی ردیف ۱۵ سانتی متر بود. تراکم نه بوته در مترمربع و عمق کاشت ۱۵ سانتی متر بود. مراحل داشت سیب زمینی شامل آبیاری، مبارزه با علف های هرز، بیماری ها و آفات به موقع انجام گردید. علف کش سنکور (متری بوزین) جهت مهار علف های هرز به کار گرفته شد و جهت پاک سازی کامل علف های هرز، وجین دستی در یک مرحله قبل از گل دهی سیب زمینی انجام شد. جهت پیشگیری از بیماری های قارچی، سم پاشی در دو نوبت شامل قبل و بعد از گل دهی توسط قارچ کش های استروبی و

سال، محاسبه شد. تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه به روش Priestley-Taylor، و براساس داده‌های هواشناسی در DSSAT برآورد شد. براساس شیوه‌نامه ارائه‌شده توسط اطلس جهانی خلاء عملکرد، طبقه‌بندی نواحی اقلیمی کشاورزی براساس سه معیار، شامل مجموع درجه روزهای بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد (Growing degree days (GDD)) (رابطه ۱)، شاخص خشکی سالانه (Annual aridity index (AI)) (نسبت بارندگی کل سالانه به مجموع کل تبخیر و تعرق بالقوه سالانه) (رابطه ۲) و شدت فصلی بودن درجه حرارت (Seasonality temperature) (انحراف معیار ۱۲ ماهه میانگین درجه حرارت ماهانه) انجام شد (van Bussel et al., 2015). در ادامه، نواحی اقلیمی-کشاورزی استان خراسان با اجرای آنالیز خوشه‌ای روی معیارهای فوق تعیین (شکل ۱) و موقعیت آن‌ها بر روی نقشه نشان داده شد (شکل ۲).

$$GDD = \sum_{i=1}^{365} \max(0, T_i - T_b) \quad (1)$$

$$AI = \frac{MAP}{MAE} \quad (2)$$

که در آن‌ها، T_i : دمای روزانه (برحسب درجه سانتی‌گراد) و T_b : دمای پایه (برحسب درجه سانتی‌گراد) است (دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد). MAP: میانگین بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر و MAE: میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه برحسب میلی‌متر است.

عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل

عملکرد واقعی: میزان عملکرد واقعی سیب‌زمینی، برای دوره ۱۰ ساله (۲۰۱۱-۲۰۲۰) شهرستان‌های واقع در هر ناحیه اقلیمی از سالنامه‌های آماری جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی و تکمیل پرسش‌نامه جمع‌آوری شد. میانگین عملکرد واقعی با استفاده از داده‌های واقعی و معادله ارائه‌شده توسط مرلوسا و همکاران (Merlos et al., 2015) برآورد گردید. میانگین عملکرد واقعی برای هر ناحیه اقلیمی با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$Y_k = \sum_{j=1}^n (\mu_j \times \frac{a_j}{a_k}) \quad (3)$$

که در آن، Y_k : میانگین عملکرد واقعی محصول در ناحیه اقلیمی k ، n : تعداد شهرستان‌های ناحیه k ، μ_j : میانگین عملکرد واقعی محصول در شهرستان j ، a_j : سطح زیرکشت محصول در شهرستان j و a_k : سطح زیرکشت محصول در کل ناحیه اقلیمی k می‌باشد.

عملکرد پتانسیل: عملکرد پتانسیل سیب‌زمینی در مناطق مختلف استان خراسان رضوی با استفاده از برنامه DSSAT (مدل SUBSTOR-Potato) برآورد گردید. در این مدل، زمان غده‌زایی براساس هر دو عامل طول و روز دما تعیین می‌شود. رشد ساقه

خشک و همچنین میزان نیتروژن موجود در غده و اندام‌های هوایی گیاه در مرحله برداشت سیب‌زمینی بود. برای اندازه‌گیری نیتروژن از دستگاه کج‌دال و روش برمنر و مولوانی (Bremner & Mulvaney, 1982) استفاده شد. قطر غده‌ها با استفاده از کولیس اندازه‌گیری گردید. غده‌های ریز با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر (کوچک)، غده‌های متوسط با قطر ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر و غده‌های درشت با قطر بیشتر از ۵۵ میلی‌متر ثبت و گزارش شدند. با توجه به تعداد غده‌های کوچک، متوسط و بزرگ، درصد هر کدام از آن‌ها تعیین گردید.

شبیه‌سازی رشد و نمو سیب‌زمینی به وسیله

مدل SUBSTOR-Potato

جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز

اطلاعات مورد نیاز ورودی مدل، شامل حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه، بارندگی و تعداد ساعات آفتابی روزانه مربوط به دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۱۱-۲۰۲۰) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. پارامترهای گیاهی لازم برای واسنجی مدل از جمله اطلاعات مراحل نمو سیب‌زمینی از داده‌های ایستگاه‌های تحقیقاتی، و پژوهش‌های انجام‌شده استخراج شد. ورودی‌های اصلی خاک شامل حجم آب خاک در نقطه پژمردگی، مقدار اولیه آب خاک، ضرایب زهکشی و رواناب، پارامترهای رشد ریشه، ظرفیت زراعی و اشباع، تبخیر اولیه و آلبیدو خاک که از منابع علمی، مقالات منتشرشده و پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده توسط کشاورزان استخراج گردید. داده‌های مدیریت زراعی شامل تراکم، تاریخ و عمق کاشت، مقدار و زمان مصرف کود شیمیایی و آب آبیاری و همچنین شرایط اولیه آب و محتوای نیتروژن خاک است که از مقالات منتشرشده و پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده توسط کشاورزان تهیه شد.

تعیین ناحیه‌های اقلیمی-کشاورزی استان خراسان رضوی

(کلاستر بندی منطقه)

از بین ایستگاه‌های هواشناسی استان خراسان رضوی، ۱۴ شهرستان شامل قوچان، فریمان، گل‌مکان، نیشابور، تربت‌حیدریه، مشهد، درگز، تربت‌جام، گناباد، خواف، کاشمر، سبزوار، سرخس و بردسکن دارای داده‌های بیش از ۱۰ سال بودند که انتخاب شدند (شکل ۱). داده‌های مورد استفاده شامل بارندگی و تعداد ساعات آفتابی روزانه و حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه، مربوط به دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۱۱-۲۰۲۰) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. به توجه به اینکه برخی از داده‌ها در سال‌های مختلف ناقص بود، داده‌های گم‌شده به وسیله ابزار WeatherMan در برنامه DSSAT برآورد شد. میزان تشعشع روزانه با استفاده از داده‌های تعداد ساعات آفتابی و براساس معادله آنگستروم ضریب نشر اتمسفر برای روزهای

پهنه‌بندی عملکرد و آنالیز خلاء عملکرد

عملکردهای پیش‌بینی‌شده به‌وسیله مدل و نیز مقادیر عملکرد واقعی در فواصل بین شهرستان‌های تحت بررسی در سطح استان، میان‌یابی شده و نتایج به سیستم اطلاعات جغرافیایی در نرم‌افزار ARC/INFO منتقل و نقشه‌های مربوط به پهنه‌بندی در شهرستان‌های تحت بررسی تهیه شدند.

نتایج پیش‌بینی‌شده برای پتانسیل عملکرد سیب‌زمینی (Yp) در پهنه‌های مختلف استان و نیز مقادیر عملکرد واقعی (Ya) خراسان جهت تخمین خلاء عملکرد مورد استفاده قرار گرفت، به این منظور ضریب عملکرد منطقه‌ای^۳ (RYF) براساس رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$RYF = \frac{Y_a}{Y_p} \quad (4)$$

ضریب عملکرد منطقه‌ای بین صفر و ۱ متغیر است و نشان‌دهنده توسعه نظام تولید در یک منطقه است. با مدیریت صحیح آب، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، عناصر غذایی و بهینه‌سازی عملیات زراعی مانند تاریخ کاشت و تراکم، مقدار عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل نزدیک خواهد شد.

با استفاده از مدل و اطلاعات اقلیمی بلندمدت، عملکرد پتانسیل برای سال‌های مختلف محاسبه و با توجه به عملکرد واقعی منطقه در همان سال‌ها، خلاء عملکرد در هر سال محاسبه گردید. خلاء عملکرد (YG) اختلاف بین عملکرد پتانسیل (Yp) و عملکرد واقعی (Ya) خواهد بود (رابطه ۵).

$$(Y_g) = (Y_p) - (Y_a) \quad (5)$$

پس از محاسبه عملکرد پتانسیل با استفاده از مدل، مجدداً در شرایط محدودیت آب، عملکرد پتانسیل محاسبه و اختلاف دو عملکرد نشان‌دهنده سهم آب در ایجاد خلاء است. همچنین در شرایط محدودیت آب و نیتروژن مجدداً عملکرد پتانسیل محاسبه گردید و اختلاف عملکرد به‌دست‌آمده در شرایط محدودیت آب و نیتروژن با عملکرد پتانسیل بدون محدودیت، نشان‌دهنده سهم آب و نیتروژن در ایجاد خلاء است. سپس با توجه به اقلیم و نوع مدیریت مزرعه در هر منطقه، پیشنهاداتی در جهت کاهش خلاء عملکرد ارائه شد. همچنین با استفاده از مدل پس از واسنجی و تعیین اعتبار آن، می‌توان بهترین تاریخ کاشت، تراکم، آبیاری و سایر عوامل مدیریتی را در جهت افزایش تولید در واحد سطح و افزایش بهره‌وری در مناطق مختلف ارائه نمود.

نتایج و بحث

نواحی اقلیمی-کشاورزی استان خراسان با اجرای آنالیز خوشه‌ای تعیین و موقعیت آن‌ها بر روی نقشه نشان داده شد (شکل‌های ۱ و

براساس ۷۵ درصد رشد برگ محاسبه گردیده و رشد ریشه به‌عنوان تابعی از رشد برگ و ریشه تخمین زده می‌شود (Arora, Nath & Singh, 2013). اگرچه ضرایب ژنتیکی خاص ارقام، تقریباً شبیه به هم هستند، ولی یافته‌ها نشان می‌دهد که ارقام به عوامل اقلیمی واکنش‌های متفاوت می‌دهند.

واسنجی^۱ و اعتبارسنجی^۲ مدل

از روش واسنجی، برای برآورد پارامترهای مدل استفاده شد. تعیین پارامترها، بر مبنای آزمون و خطا و با توجه به تعریف و مفهوم هر پارامتر در محدوده معقول آن‌ها انجام گردید. همچنین از ابزار Sensitivity نرم‌افزار DSSAT برای رسیدن به حداقل جزر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. از داده‌های حاصل از مزرعه آزمایشی (چهار سطح نیتروژن: صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و دو رقم سیب‌زمینی شامل آگریا و آریندا) شامل تعداد دفعات آبیاری، حجم کل آب آبیاری، زمان و مقدار مصرف کود نیتروژن، تراکم، تاریخ کاشت، فنولوژی (مراحل نمو) شامل تاریخ سبز شدن، تاریخ شروع غده‌زایی و تاریخ رسیدگی) و عملکرد، جهت واسنجی مدل استفاده گردید. برای واسنجی اکثر مدل‌های رشد گیاهی، یک روش سیستماتیک ارائه شده و آن بدین گونه است که ابتدا باید تاریخ گل‌دهی و تاریخ رسیدگی و سپس تجمع ماده خشک و شاخص سطح برگ و در پایان، اجزای عملکرد و عملکرد غده مورد واسنجی قرار گیرد (Hoogenboom et al., 1999). در این آزمایش، ابتدا پارامترهای مربوط به ضرایب ژنتیکی رقم که جزء مهم‌ترین پارامترها در بخش واسنجی مدل محسوب می‌شود با استفاده از نرم‌افزار GenCalc محاسبه شد. مقادیر ضرایب ژنتیکی G2 و G3 با استفاده از اطلاعات مزرعه‌ای آزمایشی نیز محاسبه گردید که مقدار آن‌ها به‌مقدار تخمین زده‌شده با ابزار GenCalc بسیار شبیه بود.

مدل پس از واسنجی، به‌وسیله اطلاعات حاصل از آزمایش‌های انجام‌شده در ایستگاه‌های تحقیقاتی در شرایط بهینه رشد (بدون محدودیت آب و عناصر غذایی و آفات و بیماری‌ها) تعیین اعتبار شد. شاخص‌های آماری که برای مقایسه نتایج اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی مدل با داده‌های واقعی مورد استفاده قرار گرفت شامل شاخص توافق ویلموت (d)، جزر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R²) بود. هر چقدر مقدار d برآوردشده توسط مدل به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشانگر آن است که مدل در شبیه‌سازی موفق‌تر بوده و توانسته است که پیش‌بینی را با اختلاف کمتری نسبت به مقادیر مشاهده‌شده انجام دهد (Willmott, 1982).

1- Calibration

2- Validation

۰/۰۹۶، ناحیه‌ای گرم و خشک محسوب می‌شود.

واسنجی و تعیین اعتبار مدل

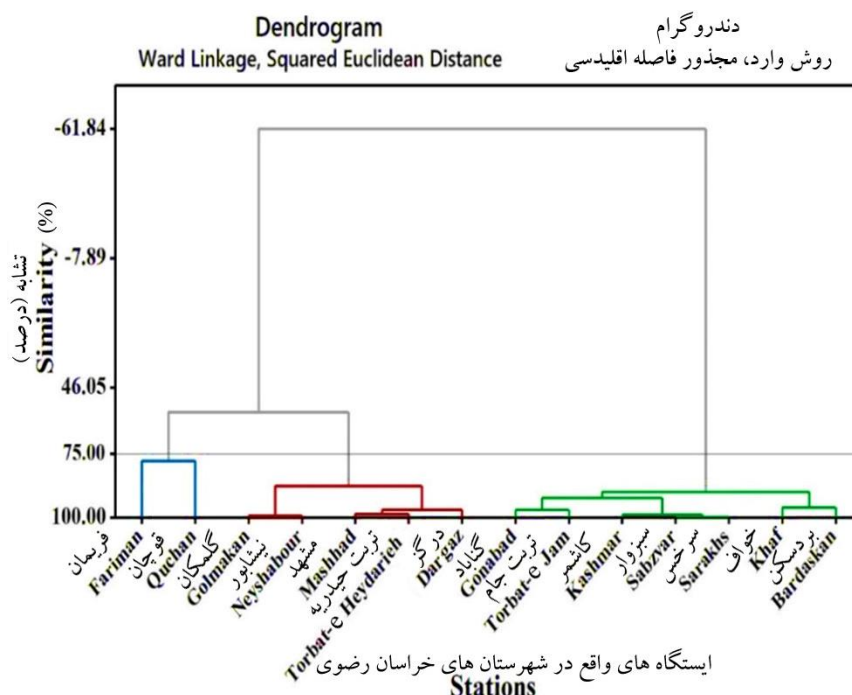
واسنجی مدل: مهم‌ترین ضرایب ژنتیکی برای تعیین عملکرد در مدل DSSAT، پارامترهای G2 و G3 بودند که مقادیر تنظیم‌شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

عملکرد غده مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده، همچنین روزهای کاشت تا غده‌زایی بعد از واسنجی در شکل ۳ نمایش داده شده است. نتایج حاکی از همبستگی قوی بین مقادیر روزهای کاشت تا غده‌زایی مشاهده‌شده (۳۸ روز) و شبیه‌سازی‌شده (۳۸ روز) می‌باشد. تعداد روزهای کاشت تا شروع غده‌زایی سیب‌زمینی در نواحی مختلف اقلیمی به‌خوبی توسط مدل شبیه‌سازی شد. میانگین عملکرد شبیه‌سازی‌شده توسط مدل، به مقادیر مشاهده‌شده در نواحی مختلف اقلیمی بسیار نزدیک بود، همچنین مقدار RMSE، CV و d به‌ترتیب (۳/۶۴۲ روز، ۰/۵ و ۰/۹۵۸) بود که نشان‌دهنده واسنجی مناسب مدل است (شکل ۳).

۲) ناحیه ۱ (R1: معتدل و نیمه‌خشک) شامل شهرهای قوچان و فریمان، دارای بیشترین میزان بارش و کم‌ترین میانگین دمای ماهانه بوده، میانگین مجموع درجه روزهای رشد بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد در این ناحیه 4659°C و میانگین شاخص خشکی آن ۰/۲۰۴ است که براساس طبقه‌بندی متزگر و فلاناگین (Metzger & Flanagan, 2013) منطقه‌ای معتدل و نیمه‌خشک می‌باشد.

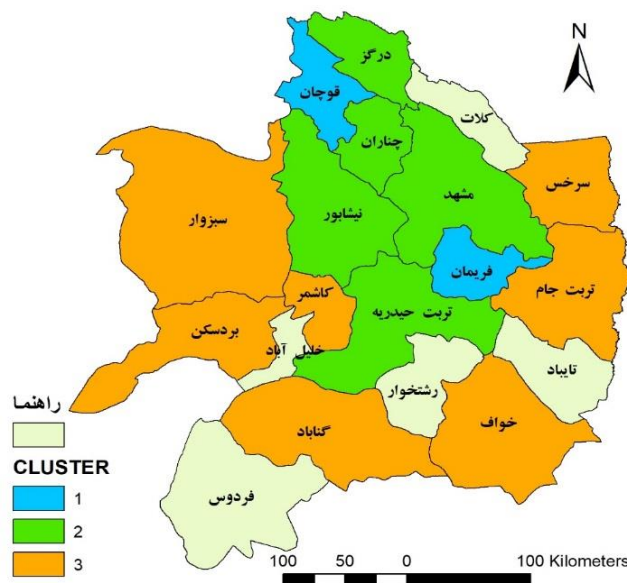
ناحیه ۲ (R2: گرم و نیمه‌خشک)، شهرهای گل‌مکان، نیشابور، تربت‌حیدریه، مشهد و درگز در حدفاصل ناحیه‌های یک و سه بوده و با میانگین مجموع درجه روزهای رشد سالانه برابر با 5651°C و میانگین شاخص خشکی حدود ۰/۱۶۳ براساس طبقه‌بندی متزگر و فلاناگین (Metzger & Flanagan, 2013)، منطقه‌ای گرم و نیمه‌خشک می‌باشد.

ناحیه سه (R3: گرم و خشک) شامل شهرهای تربت‌جام، گناباد، خواف، کاشمر، سبزوار، سرخس و بردسکن از بالاترین میانگین دما و کمترین میزان بارندگی برخوردار است، میانگین مجموع درجه روزهای رشد سالانه آن 6765°C بوده و با میانگین شاخص خشکی حدود



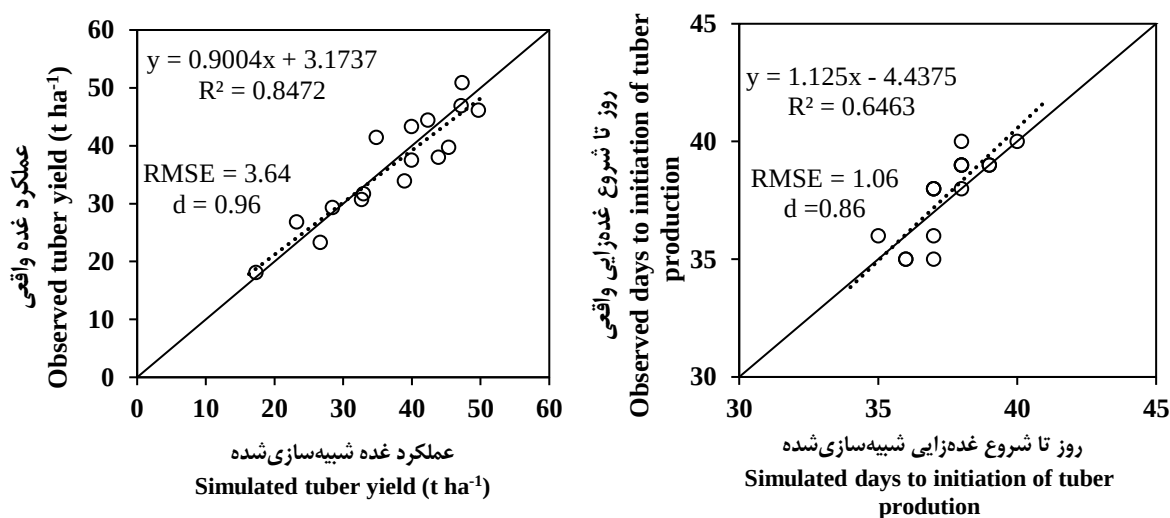
شکل ۱- دندروگرام حاصل از اجرای آنالیز خوشه‌ای بر روی متغیرهای اقلیمی-کشاورزی شهرستان‌های استان خراسان رضوی و تفکیک سه ناحیه اصلی (R1، R2، R3). خوشه‌بندی بر مبنای ۷۵ درصد تشابه

Figure 1- Dendrogram of cluster analysis for agroclimatic variables of studied cities across Khorasan province resulted in tree main area (R1, R2, R3). Clustering was done based on 75% similarity



شکل ۲- موقعیت شهرستان‌های استان خراسان رضوی و خوشه‌بندی آن‌ها در سه گروه براساس درجه حرارت روزهای بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد، شاخص خشکی سالانه و شدت فصلی بودن درجه حرارت

Figure 2- Location of studied cities across Khorasan province were clustered in 3 groups based on days with temperature above zero, annual aridity index and severity of temperature seasonality



شکل ۳- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی و روز تا شروع غده‌زایی شبیه‌سازی شده و روز تا شروع غده‌زایی واقعی (براساس داده‌های به‌کاررفته برای واسنجی مدل)

Figure 3- Comparison of simulated yield with actual yield, simulated days to initiation of tuber production and observed days to initiation of tuber production (based on data input for model calibration)

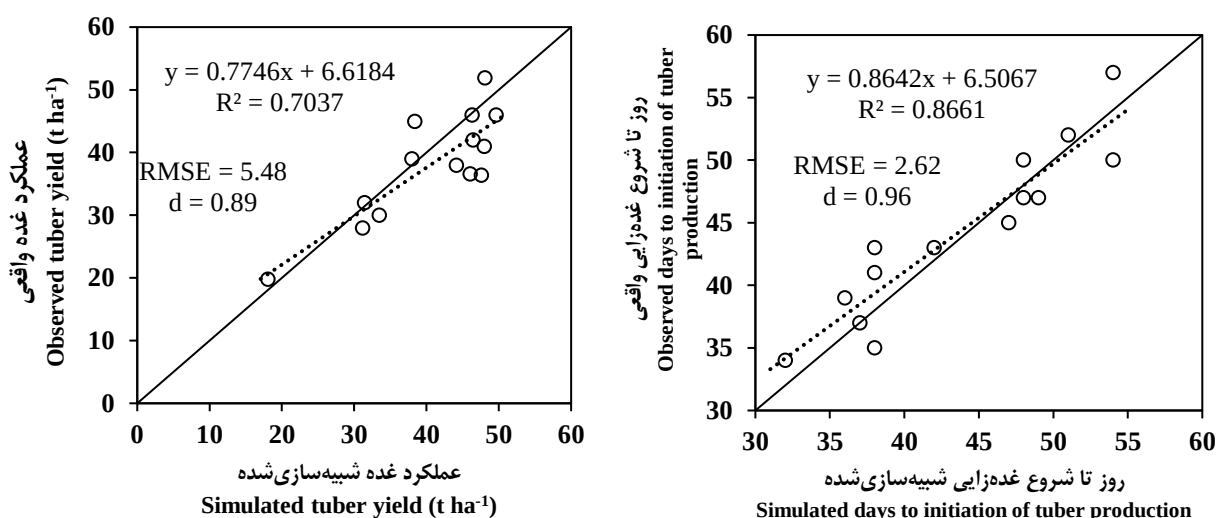
تعیین اعتبار مدل: مدل با دقت قابل قبولی تعدا دروز تا شروع غده‌زایی را شبیه‌سازی کرد. نتایج تعداد روز تا شروع غده‌زایی شبیه‌سازی شده و تعداد روز تا شروع غده‌زایی واقعی، همچنین مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی سیب‌زمینی در شکل ۴ نشان داده شده است.

باقری و همکاران (Bagheri, Gharineh & Bakhshandeh, 2015) در تحقیقی دریافتند که علی‌رغم تفاوت‌های ناشناخته در سن فیزیولوژیک قطعات بذری، مدل SUBSTOR-Potato به‌طور دقیق آغازش غده (TI) را شبیه‌سازی می‌کند. این شبیه‌سازی با شرایط رشد س ریع (غده‌زایی ۳۰ تا ۴۰ روز پس از کاشت) و تأخیر در غده‌زایی تا اواسط فصل رشد (۸۰ تا ۹۰ روز پس از کاشت) انجام شد.

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی گیاهی در مدل DSSAT برای محصول سیبزمینی

Table 2- Genetic coefficients of potato in DSSAT model

رقم	G2	G3	PD	P2	TC
سرعت توسعه برگ	سرعت رشد غده	شاخص القاء غده‌زایی	حساسیت آغازش غده به فتوپریود	دمای بحرانی	
Cultivar	Leaf expansion rate (cm ² m ² d ⁻¹)	Tuber growth rate (g m ⁻² d ⁻¹)	Index of induction of tuber production	Sensitivity of initiation of tuber to photoperiod	Critical temperature (°C)
آگریا	1100	22	1	0.3	18
Agria					



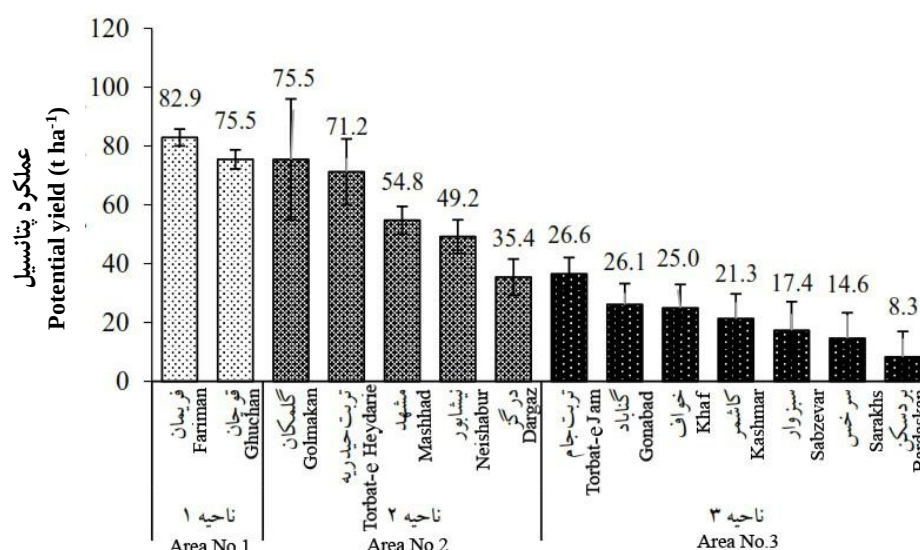
شکل ۴- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی و روز تا شروع غده‌زایی شبیه‌سازی شده و روز تا شروع واقعی (براساس داده‌های به کاررفته برای اعتبار سنجی مدل)

Figure 4- Comparison of simulated yield with actual yield, simulated days to initiation of tuber production and observed days to initiation of tuber production (based on data input for model validation)

ارزیابی مدل با پارامترهای کالیبره شده ارقام، نشان از تطبیق دقیق بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده دارد (شکل ۴). معیارهای

ارزیابی شامل $RMSE$ ، R^2 و d به ترتیب ۲/۶۲، ۰/۸۶۶ و ۰/۹۶ برای روز تا شروع غده‌زایی و ۵/۶۳ تن در هکتار، ۰/۷۷۹ و ۰/۹۰ برای عملکرد غده نشان داد که مدل دینامیک در شبیه‌سازی مراحل رشد فنولوژیکی (غده‌زایی و رسیدگی) سیبزمینی بسیار قوی بوده و از دقت بالایی برخوردار است. با توجه به اینکه تولید و توزیع ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی تحت تأثیر زمان وقوع مراحل فنولوژی است، پیش‌بینی مراحل نمو گیاه یا نمو فنولوژیک اهمیت زیادی دارد. پیش‌بینی تغییرات سطح برگ و سایر فرایندها، وابسته به پیش‌بینی نمو فنولوژیک است. کارایی مدلی دینامیک برای شبیه‌سازی رشد سیبزمینی در شرایط مختلف نیتروژن توسط گرین‌وود و همکاران (Greenwood, Neeteson &)

Draycott, 1985) بررسی گردید که انطباق بسیار خوبی بین عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده مشاهده شد. **عملکرد پتانسیل:** مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد پتانسیل سیبزمینی در دوره آماری ۱۰ ساله در سطح استان در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس پیش‌بینی مدل، بیشترین عملکرد پتانسیل در سطح استان مربوط به ناحیه یک و در شهرستان فریمان (در سال ۲۰۱۲) با مقدار ۸۶/۷ تن در هکتار بود. کمترین مقدار عملکرد پتانسیل برای شهرستان بردسکن واقع در ناحیه اقلیمی سه با مقدار ۸/۳ تن در هکتار برآورد شد. کشت سیبزمینی در ناحیه سه، رواج نداشته و تنها در بخش نصرآباد در شهرستان تربت‌جام کشت انجام می‌گردد (Ministry of Agriculture, 2022). میانگین ۱۰ ساله عملکرد پتانسیل برای این ناحیه ۲۱/۶ تن در هکتار بود.



شکل ۵- مقادیر پیش‌بینی‌شده عملکرد پتانسیل سیب‌زمینی در دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۱۱) در سه ناحیه اقلیمی در استان خراسان رضوی
Figure 5- Simulated potential yield of potato across three climatic zones during 10 years of study

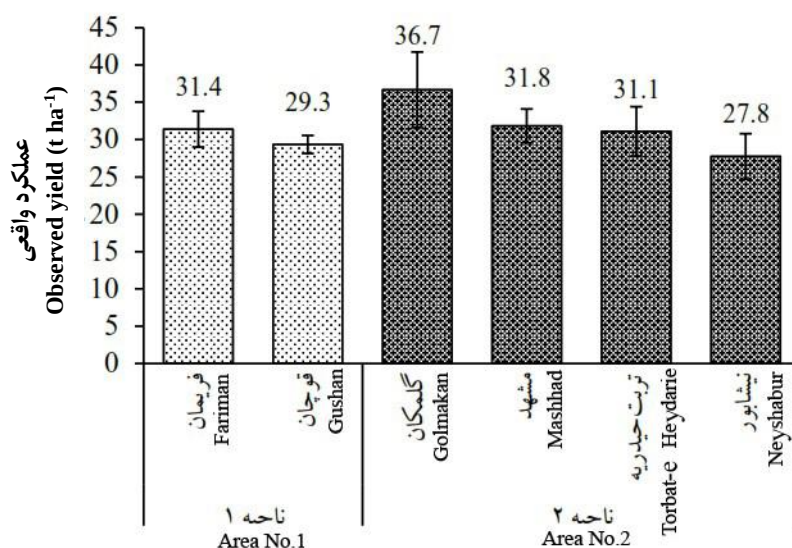
واقعی ۱۰ ساله شهرستان قوچان ۲۹/۳۵ تن در هکتار برآورد گردیده است. میانگین عملکردهای واقعی در ناحیه دو، از ۲۷/۸ تن در هکتار تا ۳۶/۷ تن در هکتار متغیر بود. در بین شهرستان‌های واقع‌شده در ناحیه دو، بیشترین میانگین عملکرد واقعی مربوط به سال ۲۰۱۵ در شهرستان گلکان با ۴۸/۷ تن در هکتار و کمترین میانگین عملکرد واقعی مربوط به سال ۲۰۱۲ در شهرستان نیشابور با ۲۲ تن در هکتار می‌باشد. بر این اساس، میانگین عملکرد واقعی ۱۰ ساله شهرستان گلکان، مشهد، تربت حیدریه و نیشابور به ترتیب ۳۶/۷، ۳۱/۸، ۳۱/۱ و ۲۷/۸ تن در هکتار گزارش شده است (شکل ۶). همان‌گونه که قبلاً بیان شد، در ناحیه اقلیمی سه، کشت سیب‌زمینی در مساحت بسیار محدود انجام می‌شود و اطلاعات درستی از آن در دست نیست.

خلاء عملکرد سیب‌زمینی

میانگین خلاء عملکرد در ناحیه یک که حاصل اختلاف عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی‌شده و عملکرد واقعی است، در شکل ۷ نشان داده شده است. میانگین خلاء عملکرد در دوره آماری ۱۰ ساله در شهرستان فریمان ۵۱/۵ تن در هکتار و در شهرستان قوچان ۴۶/۱ تن در هکتار برآورد گردید. همچنین میانگین خلاء عملکرد در دوره آماری ۱۰ ساله در ناحیه یک، ۴۸/۸ تن در هکتار برآورد شد. در ناحیه دو، خلاء عملکرد بین ۲۱/۴ تا ۴۰/۱ تن در هکتار متغیر می‌باشد. میانگین خلاء عملکرد در دوره آماری ۱۰ ساله در شهرستان‌های تربت حیدریه، گلکان، درگز، مشهد و نیشابور به ترتیب ۳۸/۸، ۳۵/۴، ۲۲/۹ و ۲۱/۴ تن در هکتار برآورد گردید. همچنین میانگین خلاء عملکرد در دوره آماری ۱۰ ساله در ناحیه دو، ۳۱/۷ تن در هکتار

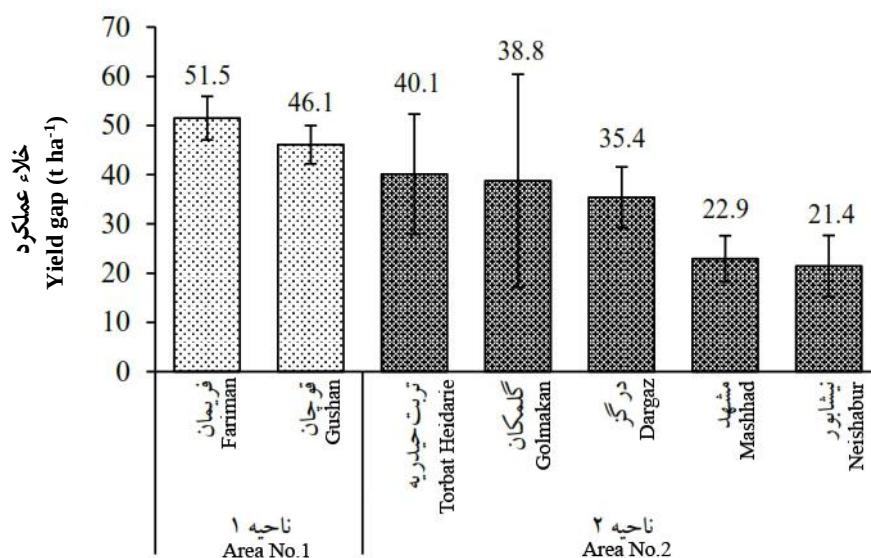
عملکرد پتانسیل می‌تواند تحت تأثیر تغییر شرایط اقلیمی قرار گرفته و این تغییرات ممکن است از تحقق پتانسیل ژنتیکی ارقام ممانعت نموده و یا باعث بهبود آن شود (Neumann, Verburg, 2010; Stehfest & Muller, 2010; Hall & Richards, 2013; Hochman, Gobbett, Horan & Garcia, 2016). در تحقیقی عنوان نمودند که کاهش عملکرد پتانسیل ارقام پرمحصول گندم دیم در استرالیا به دلیل کاهش میزان بارش سالانه است، این در حالی است که جاگارد و همکاران (Jaggard, Qi & Ober, 2010) گزارش نمودند که به دلیل بهبود شرایط اقلیمی به‌ویژه درجه حرارت فصل بهار به علت گرمایش جهانی، عملکرد پتانسیل چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) در انگلستان افزایش یافته و اصلاح ژنتیکی ارقام چغندرقد نقشی در افزایش پتانسیل عملکرد ندارد. با توجه به نوع منطقه و اقلیم، عملکرد بالقوه (پتانسیل) نیز متفاوت است. رسیدن به عملکرد پتانسیل برای طیف گسترده‌ای از کشاورزان یک منطقه غیرممکن است، چون در بسیاری از اوقات، دستیابی به آن با توجه به نهاده‌های مصرفی توجیه اقتصادی ندارد (Van Ittersum et al., 2013). لذا برآورد عملکرد پتانسیل معمولاً از طریق مدل‌سازی و براساس فرضیات مبتنی بر بهینه بودن شرایط انجام می‌شود.

عملکرد واقعی: میانگین عملکرد واقعی سیب‌زمینی در دوره آماری ۱۰ ساله از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ از آمارنامه جهاد کشاورزی و داده‌های اخذشده از سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی استخراج گردید. بر این اساس، میانگین عملکرد واقعی ۱۰ ساله شهرستان فریمان در این ناحیه ۳۱/۴ تن در هکتار و میانگین عملکرد



شکل ۶- مقادیر میانگین عملکرد واقعی سیب‌زمینی در دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۱۱) در ناحیه‌های اقلیمی یک و دو

Figure 7- The mean of potato actual yield in climatic zones one and two during 10 years of study



شکل ۷- میانگین خلاء عملکرد سیب‌زمینی در دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۲۰-۱۰۱۱) در ناحیه‌های اقلیمی یک و دو

Figure 7- The mean of potato yield gap in climatic regions one and two during 10 years study

ترمیم زخم) و تراکم کم بوته می‌باشد (Mohammadi, 2020). خلاء عملکرد سیب‌زمینی در مناطق مختلف کشور ژاپن توسط دگوچی و همکاران (Deguchi, Iwama & Haverkort, 2016) بررسی شد. نتایج نشان داد که خلاء عملکرد براساس نسبت عملکرد واقعی به پتانسیل بین ۰/۲۱ و ۰/۶۳ با متوسط ۰/۴ می‌باشد. ایشان وضعیت غده بذری (رقم، سن فیزیولوژیک، میزان بذر و سلامت بذر) و مدیریت مزرعه (تغذیه، وضعیت خاک و مقابله با عوامل کاهنده) را از

عوامل مختلفی می‌توانند در ایجاد خلاء عملکرد نقش داشته باشند. در تحقیق هاورکورت (Haverkort, 2014) بیان شد که در مناطقی که خلاء عملکرد سیب‌زمینی حدود ۶۰ درصد عملکرد پتانسیل است، با افزایش مقدار عملکرد واقعی، خلاء عملکرد کاسته می‌شود. پایین بودن عملکرد سیب‌زمینی در ناحیه شمال شرق ایران به علت عدم استفاده از بذور گواهی‌شده، بافت نامناسب خاک، تنش خشکی، خاک‌دهی نامناسب پای بوته، آماده‌سازی نامناسب بذر (عدم

به شهرستان فریمان با سه درصد می‌باشد. تشابه داده‌های هواشناسی ۱۰ ساله و یا اختلاف آن‌ها باعث کاهش و یا افزایش ضریب تغییرات خواهد شد. در شهرستان بردسکن به علت اختلاف زیاد بین داده‌های هواشناسی ۱۰ ساله، ضریب تغییرات بالا به دست آمده است. شهرستان گلستان با دامنه تغییرات عملکرد واقعی ۴۸/۷-۳۰ تن در هکتار بیشترین نوسانات عملکرد (ضریب تغییرات ۱۴) و شهرستان مشهد با دامنه تغییرات عملکرد واقعی ۳۵-۲۹ تن در هکتار کمترین ضریب تغییرات را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). با توجه به اینکه عملکرد پتانسیل پیش‌بینی شده توسط مدل برای شهرستان گلستان از ۴۷/۴ تا ۹۶/۷ تن در هکتار متغیر بود، ضریب تغییرات خلاء عملکرد این شهرستان با عدد ۵۵/۸ درصد، بیشترین مقدار را در این ناحیه به خود اختصاص داد. ضریب تغییرات خلاء عملکرد برای شهرستان‌های تربت‌حیدریه، نیشابور، مشهد و درگز به ترتیب ۳۰/۴، ۲۹/۱، ۲۰/۵ و ۱۷/۴ درصد بود (جدول ۳).

مهم‌ترین دلایل خلاء عملکرد عنوان نمودند. اسووویور و همکاران (Svubure, Struik, Haverkort & Steyn, 2015) در تحقیقی در زیمبابوه نشان دادند که میانگین عملکرد واقعی سیب‌زمینی ۸ تا ۳۵ درصد عملکرد پتانسیل بود و خلاء عملکرد ۶۵ تا ۹۲ درصدی مشاهده شد که نشان می‌دهد این منطقه، از پتانسیل بالایی برای افزایش تولید برخوردار است. مصرف بالای کود در این منطقه و عدم حصول عملکرد مطلوب، نشان از ناکارآمدی استفاده از کود در تولید سیب‌زمینی در زیمبابوه است.

ضریب تغییرات عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی و خلاء عملکرد

ضریب تغییرات پتانسیل عملکرد در نواحی سه‌گانه استان خراسان رضوی در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین ضریب تغییرات مربوط به شهرستان بردسکن با ۱۰۴ درصد و کمترین ضریب تغییرات مربوط

جدول ۳- ضریب تغییرات عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی و خلاء عملکرد سیب‌زمینی در دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۱۱) برای شهرستان‌های واقع در ناحیه‌های اقلیمی یک، دو و سه

Table 3- Coefficients of variation of potential yield, actual yield and yield gap of potato during 10 years study for cities located across climatic regions 1 and 2

شهرستان/ ضریب تغییرات City/coefficient of variation (%)	فریمان Farinan	قوچان Guchan	گلمکان Golmakan	تربت حیدریه Torbat Heydarieh	مشهد Mashhad	نیشابور Neyshabour	درگز Dargaz	تربت جام Torbat Jaam	گناباد Gonabad	خواف Khaaf	کاشمر Kashmar	سبزوار Sabzevar	سرخس Sarakhsh	بردسکن Bardaskan
عملکرد پتانسیل Potential yield	3	4	37	16	9	12	17	15	27	32	39	56	59	104
عملکرد واقعی Actual yield	7.6	4.1	13.8	10.6	7.1	11								
خلاء عملکرد Yield gap	8.6	8.4	55.8	30.4	20.5	29.1	17.4							

ناحیه یک: فریمان و قوچان. ناحیه دو: گلمکان، تربت حیدریه، مشهد و نیشابور، درگز. ناحیه سه: تربت جام، گناباد، خواف، کاشمر، سبزوار، سرخس و بردسکن

Area 1: Freeman and Guchan. Area 2: Golmakan, Torbat Heidarie, Mashhad, Neyshabur and Dargaz. Area 3: Torbat Jaam, Gonabad, Khaf, Kashmar, Sabzevar, Sarakhsh and Bardaskan

عملکرد پتانسیل کم، زیاد باشد (Mohammadi, Koocheki & Nassiri-Mahallati, 2018). در تحقیق محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2018)، خلاء عملکرد سیب‌زمینی در استان خراسان رضوی بررسی گردید که براساس نتایج آن، خلاء عملکرد نواحی مورد بررسی در محدوده ۳۵/۳۳ تا ۳۲/۳۳ تن در هکتار برآورد شد. خلاء نسبی بین ۵۶-۵۲ درصد و عملکرد واقعی در محدوده ۴۸-

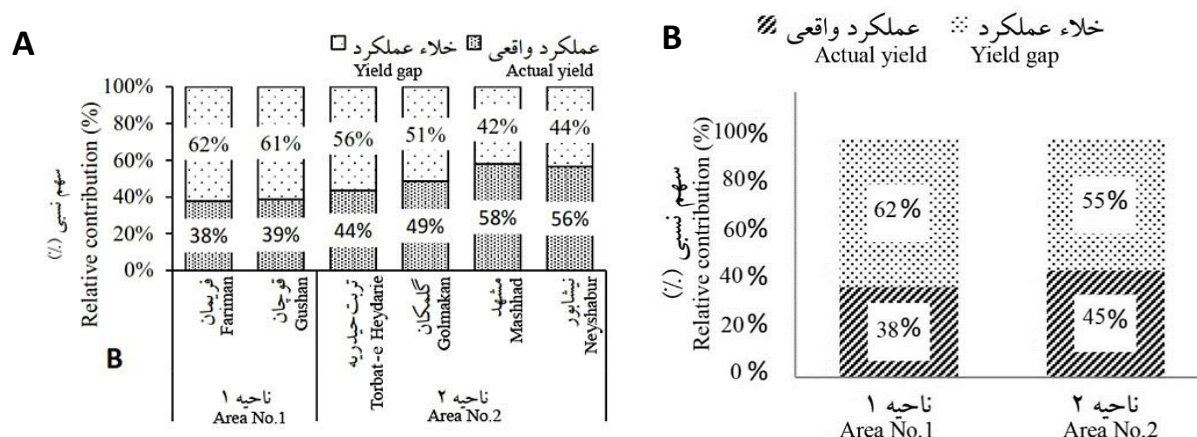
گزارش شده است که در منطقه شمال شرق، نوسانات عملکرد پتانسیل سیب‌زمینی در محدوده ۶۳/۵ تا ۵۶ تن در هکتار با ضریب تغییرات ۱۳ درصد بود. ولی عملکرد واقعی در محدوده ۳۶/۱۱ تا ۱۵/۷۴ تن در هکتار با ضریب تغییرات ۱۲۹/۵ درصد نوسان داشت. کمترین عملکرد در نواحی غربی منطقه شمال شرق وجود داشت. لذا عملکرد پایین سبب گردید تا خلاء عملکرد سیب‌زمینی در مناطق با

طبق نتایج به دست آمده، بیشترین خلاء عملکرد در شهرستان فریمان و کمترین خلاء عملکرد مربوط به شهرستان مشهد بود، به طوری که در شهرستان فریمان ۶۲ درصد خلاء عملکرد و ۳۸ درصد عملکرد واقعی محاسبه گردید. شهرستان مشهد دارای ۵۸ درصد عملکرد واقعی و ۴۲ درصد خلاء عملکرد بود. در مجموع براساس نتایج حاصل از این پژوهش، ناحیه یک دارای ۶۲ درصد خلاء عملکرد و ناحیه دو دارای ۵۵ درصد خلاء عملکرد بود (شکل ۸-ب). اسوویبور و همکاران (Svubure et al., 2015) در تحقیقی در زیمبابوه نشان دادند که میانگین عملکرد واقعی سیب زمینی ۸ تا ۳۵ درصد عملکرد پتانسیل بود و خلاء عملکرد ۶۵ تا ۹۲ درصدی مشاهده شد که نشان می دهد این منطقه، از پتانسیل بالایی برای افزایش تولید برخوردار است. مصرف بالایی کود در این منطقه و عدم حصول عملکرد مطلوب، نشان از ناکارآمدی استفاده از کود در تولید سیب زمینی در زیمبابوه است.

۴۴ درصد عملکرد پتانسیل قرار داشت. خلاء قابل مهار عملکرد (خلاء ۸۵ درصد) سیب زمینی در شهرستان قوچان، نیشابور، فریمان و تربت حیدریه به ترتیب برابر ۴۹، ۴۸، ۴۳ و ۴۷ درصد بود که نشان می دهد به ترتیب ۵۱، ۵۲، ۵۷ و ۵۳ درصد از عملکرد پتانسیل قابل مهار در این نواحی محقق نشده است. در نتیجه می توان گفت که با برنامه ریزی در شهرستان های قوچان، نیشابور، فریمان و تربت حیدریه می توان عملکرد را به ۵۲/۲۵، ۵۰/۳۰، ۵۲/۹۹ و ۵۱/۲۷ تن در هکتار افزایش داد.

نسبت بین عملکرد واقعی و خلاء عملکرد

طبق آمار به دست آمده از آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹، بیشترین سطح زیرکشت سیب زمینی در استان خراسان رضوی در ناحیه یک و دو شامل شهرستان های فریمان، قوچان، تربت حیدریه، نیشابور، گلستان و مشهد واقع گردیده است. نسبت بین عملکرد واقعی و خلاء عملکرد در این دو ناحیه محاسبه گردید (شکل ۸-ا).



شکل ۸- نسبت بین میانگین عملکرد واقعی و خلاء عملکرد در ناحیه های یک و دو (ا) و شهرستان های واقع در ناحیه یک و دو استان خراسان رضوی (ب)

Figure 8- The ratio of actual yield means to yield gap in climatic regions one and two (A) and cities located across climatic regions one and two in Khorasan Razavi province

شد. همچنین سهم نیتروژن در ایجاد خلاء در شهرستان های مذکور به ترتیب، ۸/۵، ۷/۶، ۷/۷ و ۶/۱ تن در هکتار بود. محدودیت آب در ایجاد خلاء در شهرستان تربت حیدریه با ۴۵ درصد بیشترین سهم را در این منطقه به خود اختصاص داد (شکل ۹-آ).

ارقام جدید سیب زمینی علاوه بر تأمین نیاز آبی، به مقادیر بالای کود نیتروژن نیاز دارند. فراوانی نیتروژن غده بندی را به تأخیر می اندازد و موجب تحریک رشد رویشی سیب زمینی می شود، اما تا وقتی که سایر عوامل محیطی و گیاهی محدود کننده نباشد، باعث افزایش رشد غده و در نتیجه افزایش عملکرد می شود. وقتی گیاه در شرایط

در شهرستان فریمان سهم آب در ایجاد خلاء، مقدار ۱۸/۶ تن در هکتار معادل ۳۶ درصد و تأثیر نیتروژن، ۱۴ تن در هکتار معادل ۲۷ درصد و سهم سایر عوامل مدیریتی، ۱۸/۹ تن در هکتار معادل ۳۷ درصد برآورد شد. همچنین در شهرستان قوچان، سهم آب در ایجاد خلاء عملکرد سیب زمینی ۵/۶ تن در هکتار معادل ۱۲ درصد، سهم نیتروژن ۲۱/۹ تن در هکتار معادل ۴۷ درصد و سهم سایر عوامل مدیریتی ۱۸/۷ تن در هکتار معادل ۴۰ درصد برآورد گردید. در ناحیه دو، سهم آب در ایجاد خلاء در شهرستان گلستان، تربت حیدریه، مشهد و نیشابور به ترتیب، ۱۶/۸، ۱۸/۰، ۸/۰ و ۹/۰ تن در هکتار برآورد

گلمکان، تربت‌حیدریه، مشهد و نیشابور به‌ترتیب ۴۳، ۴۵، ۳۵ و ۴۲ درصد در ایجاد خلاء عملکرد سیب‌زمینی نقش داشته است. همچنین سهم نسبی محدودیت نیتروژن در ایجاد خلاء در این شهرستان‌ها به‌ترتیب ۲۲، ۱۹، ۳۳ و ۲۸ درصد برآورد شد (شکل ۹-ب).

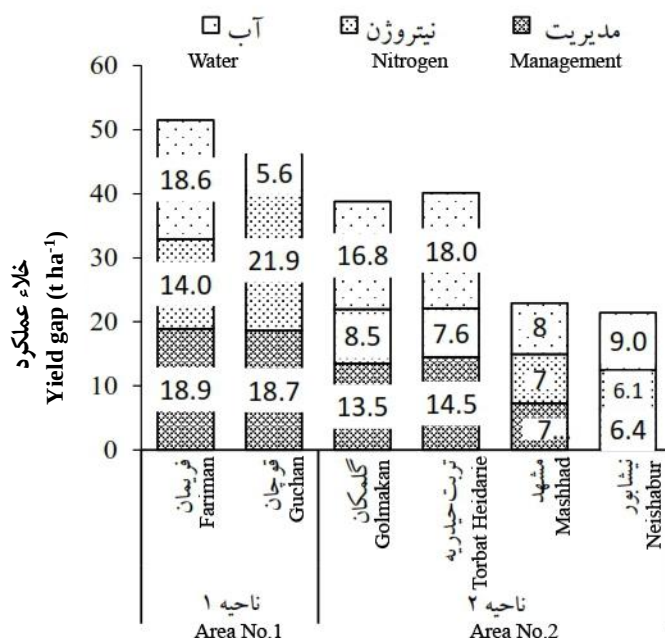
در مجموع براساس نتایج حاصل از این پژوهش، میانگین سهم محدودیت آب، نیتروژن و عوامل مدیریتی در ایجاد خلاء عملکرد سیب‌زمینی در ناحیه یک و دو استان خراسان رضوی محاسبه گردید (شکل ۱۰-ا). بر این اساس در ناحیه ۱ سهم محدودیت آب، نیتروژن و سایر عوامل مدیریتی به‌ترتیب ۱۸/۱، ۱۸ و ۱۸/۸ تن در هکتار برآورد گردید. همچنین سهم محدودیت آب، نیتروژن و سایر عوامل مدیریتی در ناحیه دو به‌ترتیب ۱۰/۹، ۸/۳ و ۱۲/۵ تن در هکتار بود.

شاه‌نظری و همکاران (Shahnazari, Liu, Anderson, 2007) اثر کم‌آبیاری بر گیاه سیب‌زمینی را بررسی و گزارش نمودند که اعمال تنش آبی با کاهش ۳۰ درصد نیاز آبی گیاه سیب‌زمینی پس از مرحله رشد اولیه غده‌ها، موجب حفظ محصول و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب نسبت به شاهد شد. برخی محققان نیز کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شامل میانگین وزن غده در بوته، تعداد غده در بوته و همچنین افزایش کارایی مصرف آب را در اثر اعمال تنش‌های آبی گزارش کرده‌اند (Sobhani & Hamidi, 2013; Alva et al., 2012; Ayas, 2013).

غیرعادی مانند مصرف بیش از حد کود نیتروژن رشد نماید، تولید پروتئین کاسته شده و نیتروژن به‌شکل غیرپروتئینی در گیاه انباشته می‌شود. استفاده بهینه کود نیتروژن، وزن غده، وزن خشک گیاه، تعداد غده و خصوصیات کیفی و کمی غده‌ها را بهبود می‌دهد، ولی مصرف بیش از حد نیتروژن باعث تأخیر در نمو و تغییر خصوصیات کمی و کیفی غده‌ها می‌گردد (Doring, Brandt, Heb, Finckh, & Saucke, 2005; Alva, Ren, & Moore, 2012).

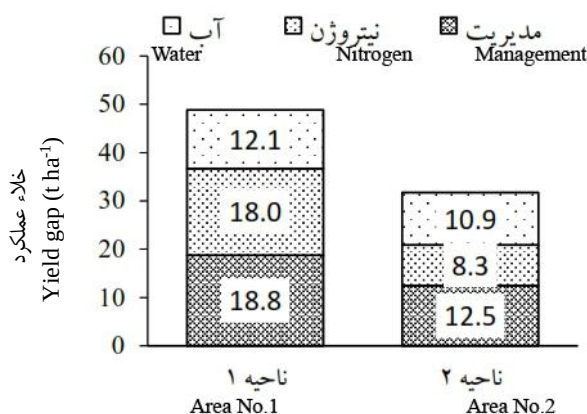
نتایج اکثر پژوهش‌های انجام‌شده نشان‌دهنده آن است که ترکیب مناسبی از تیمارهای آبیاری و کود نیتروژن به‌طوری‌که گیاه با سطح معینی از تنش آبی مواجه شود، ممکن است در نهایت منجر به رسیدن حداکثر کارایی مصرف آب در گیاه شود (Shock, Feibert & Saunders, 1998; Zhang, Li, Huang, Cheng & Zhang, 2006; Shahnazari, Liu, Anderson, Jacobsen & Jensen, 2007).

سهم نسبی محدودیت آب، نیتروژن و عوامل مدیریتی در ایجاد خلاء عملکرد سیب‌زمینی در شهرستان‌های واقع در ناحیه یک و دو استان خراسان رضوی در شکل ۹-ب نشان داده شده است. بر این اساس در شهرستان فریمان، محدودیت آب ۳۶ درصد، نیتروژن ۲۷ درصد و سایر عوامل مدیریتی ۳۷ درصد در ایجاد خلاء مؤثر بوده است. همچنین در شهرستان قوچان، محدودیت آب ۱۲ درصد، نیتروژن ۴۷ درصد و سایر عوامل مدیریتی ۴۰ درصد در ایجاد خلاء مؤثر بوده است. در ناحیه دو، سهم محدودیت آب در شهرستان‌های



شکل ۹- سهم محدودیت آب، نیتروژن و عوامل مدیریتی (ا) و سهم نسبی آن‌ها (ب) در ایجاد خلاء عملکرد سیب‌زمینی در شهرستان‌های واقع در ناحیه یک و دو استان خراسان رضوی

Figure 9- Contribution of water, nitrogen, and management limitations (A) relative contribution (B) impact on potato yield gap across cities in climatic regions one and two in Khorasan Razavi province



شکل ۱۰- سهم محدودیت آب، نیتروژن و عوامل مدیریتی (آ) و سهم نسبی آن‌ها (ب) در ایجاد خلاء عملکرد سیب‌زمینی در ناحیه‌های اقلیمی یک و دو واقع در استان خراسان رضوی

Figure 10- Contribution of water, nitrogen, and management limitations (A) relative contribution (B) impact on potato yield gap in climatic regions one and two in Khorasan Razavi province

خراسان رضوی نشان داد. بیشترین عملکرد پتانسیل در سطح استان، مربوط به ناحیه اقلیمی یک و در شهرستان فریمان بود و کمترین آن برای شهرستان بردسکن واقع در ناحیه اقلیمی سه برآورد شد. میانگین ۱۰ ساله عملکرد پتانسیل برای ناحیه اقلیمی یک ۲۱/۶ تن در هکتار بود. در مجموع براساس نتایج حاصل از این تحقیق، میانگین سهم محدودیت آب، نیتروژن و عوامل مدیریتی در ایجاد خلاء عملکرد سیب‌زمینی در ناحیه اقلیمی یک به ترتیب ۱۸/۱، ۱۸ و ۱۸/۸ تن در هکتار برآورد گردید. همچنین سهم محدودیت آب، نیتروژن و سایر عوامل مدیریتی در ناحیه اقلیمی دو به ترتیب ۱۰/۹، ۸/۳ و ۱۲/۵ تن در هکتار بود.

در مناطقی که محدودیت آب، سهم بیشتری در ایجاد خلاء دارد، می‌توان با استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری و افزایش کارایی مصرف آب، بخشی از خلاء عملکرد را جبران نمود. در مناطقی که نیتروژن باعث ایجاد خلاء گردیده است، با مصرف بهینه و به موقع کودهای شیمیایی نیتروژنه و همچنین رعایت تناوب زراعی و استفاده از کودهای دامی، می‌توان کمبود نیتروژن را رفع نموده و به عملکرد قابل حصول نزدیک‌تر شد. در برخی مناطق، محدودیت آب و نیتروژن نقش کمتری در ایجاد خلاء داشته و سایر عوامل مدیریتی باعث ایجاد خلاء عملکرد گردیدند که انتظار می‌رود کارشناسان ترویج سازمان جهاد کشاورزی نسبت به آگاهی‌رسانی و آموزش کشاورزان گام برداشته تا خلاء عملکرد از طریق افزایش دانش به‌روز کشاورزان به‌ویژه در وهله اول با انتخاب تاریخ کاشت مناسب، و در ادامه با تراکم کاشت مناسب، انتخاب رقم زراعی سازگار با منطقه و مدیریت تغذیه‌ای تلفیقی جبران گردد.

نسبت تأثیر محدودیت آب، نیتروژن و عوامل مدیریتی در ایجاد خلاء عملکرد سیب‌زمینی در ناحیه یک و دو استان خراسان رضوی در شکل ۱۰-ب آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، در ناحیه یک محدودیت آب ۲۵ درصد در ایجاد خلاء عملکرد سهمیه بوده و محدودیت نیتروژن ۳۷ درصد ایجاد خلاء عملکرد را به خود اختصاص داده است. ۳۸ درصد سهم سایر عوامل مدیریتی در ایجاد خلاء عملکرد سیب‌زمینی در این ناحیه است. همچنین با توجه به نمودار مذکور، در ناحیه دو سهم آب، نیتروژن و سایر عوامل مدیریتی در ایجاد خلاء به ترتیب ۳۴، ۲۶ و ۳۹ درصد برآورد گردید.

آزمایشی برای بهبود مدیریت نیتروژن در مزرعه سیب‌زمینی با خصوصیات متغیر خاک توسط زبارت و همکاران (Zebarth, Rees, Tremblay, Fournier & Leblon, 2002) انجام شد. آن‌ها برای بررسی تغییرات وضعیت نیتروژن، تیمارهای کودی مختلف نیتروژن را در یک مزرعه با مقیاس آزمایشی در دو سال به کار گرفتند و مقدار نیتروژن سیب‌زمینی و کلروفیل برگ را با استفاده از دستگاه Field Scout و دستگاه SPAD-۵۰۲ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بین داده‌های دو دستگاه و مقدار نیتروژن گیاه و عملکرد کل غده، همبستگی مثبت و قوی وجود دارد. وس و همکاران (Vos & Van der Putten, 1998) نیز گزارش نمودند که فراهمی نیتروژن در افزایش تعداد و اندازه برگ‌های سیب‌زمینی مؤثر است و کمبود نیتروژن به این معنی است که گیاه نمی‌تواند به پتانسیل تولید برگ خود دست یابد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی شبیه‌سازی انجام‌شده در این مطالعه، دقت بالایی در پیش‌بینی عملکرد پتانسیل در کشت بهاره سیب‌زمینی در استان

سیاسگزاری

بخشی از هزینه‌های انجام این پژوهش در قالب طرح شماره ۳ به شماره ۳/۵۲۶۹۲ مصوب ۱۳۹۹/۰۷/۲۳ توسط معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که به این وسیله

قدردانی می‌شود. نگارندگان مراتب سپاس خود را به داوران گمنام مقاله ابراز می‌دارند که با پیشنهادهای ارزنده خود سبب ارتقاء کیفیت علمی مقاله شدند.

References

- Alva, A. K., Ren, H., Moore, A. D. (2012). Water and nitrogen management effects on biomass accumulation and partitioning in two potato cultivars. *American Journal of Plant Sciences*, 3, 164-170. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.31019>
- Arora, V. K., Nath, J. C., & Singh, C. B. (2013). Analyzing potato response to irrigation and nitrogen regimes in a sub-tropical environment using SUBSTOR-Potato model. *Agricultural Water Management*, 124, 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.03.021>
- Ayas, S. (2013). The effects of different regimes on potato (*Solanum tuberosum* L. Hermes) yield and quality characteristics under unheated greenhouse conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(1), 87-95.
- Bagheri, H. R., Gharineh, M. H., & Bakhshandeh, A. (2015). *Agroecological zoning and gap analysis of potato yield using SUBSTOR-Potato simulation model and geographic information system in Chaharmahal-Bakhtiari province*. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Khuzestan University of Agriculture and Natural Resources, Ahvaz, Iran.
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). *Nitrogen-total*. In Methods of Soil Analysis. Chemical and microbiological properties. A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney eds. *Soil Science Society of America: Madison, WI, USA*, 2, 595-624.
- Coates, J. (2013). Build it back better: Deconstructing food security for improved measurement and action. *Global Food Security*, 2(3), 188-194. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2013.05.002>
- Deguchi, T., Iwama, K., & Haverkort, A. J. (2016). Actual and potential yield levels of potato in different production systems of Japan. *Potato Research*, 59, 207-225. <https://doi.org/10.1007/s11540-016-9322-z>
- Devaux, A., Kromann, P., & Ortiz, O. (2014). Potatoes for sustainable global food security. *Potato Research*, 57, 185-199. <https://doi.org/10.1007/s11540-014-9265-1>
- Dobermann, A., & Cassman, K. G. (2002). Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil*, 247, 153-175. <https://doi.org/10.1023/A:1021197525875>
- Doring, T. F., Brandt, M., Heß, J., Finckh, M. R., & Saucke, H. (2005). Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil erosion in organically grown potatoes. *Field Crops Research*, 94(2-3), 238-249. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.006>
- Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 88, 97-185. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6)
- FAO. (2017). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Food Security*, 1(1), 5-7. Available in: <http://faostat.fao.org/countryprofiles>.
- FAO. (2021). Potato. FAOSTAT database for agriculture.
- Fallah-Ghalhari, Gh., Moosavi-Baygi, M., & Habibi-Nokhandan, H. (2000). Forecasting seasonal precipitation based on synoptic patterns using adaptive neural fuzzy inference system (ANFIS). *Research on Natural Geographia*, 66, 121-139. (In Persian)
- Greenwood, D. J., Neeteson, J. J., & Draycott, A. (1985). Response of potatoes to N fertilizer: Dynamic model. *Plant and Soil*, 85, 185-203.
- Hall, A. J., & Richards, R. A. (2013). Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops. *Field Crops Research*, 143, 18-33. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.05.014>
- Haverkort, A. J. (2014). Yield gaps and ecological footprints of potato production systems in Chile. *Potato Research*, 57, 13-31. <https://doi.org/10.1007/s11540-014-9250-8>
- Hochman, Z., Gobbett, D., Horan, H., & Garcia, J. N. (2016). Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Research*, 197, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.017>
- Hoogenboom, G., Wilkens, P. W., Thornton, P. K., Jones, J. W., Hunt, L. A. & Imamura, D. T. (1999). Decision support system for agrotechnology transfer v3. 5. *DSSAT Version*, 3, 1-36. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3624-4_8
- IISD Report. (2012). Food Security and Climate Change Initiative. International Institute for Sustainable Development. https://www.iisd.org/system/files/publications/food_security_agriculture_financing.pdf
- Jaggard, K. W., Qi, A., & Ober, E. S. (2010). Possible changes to arable crop yields by 2050. *Philosophical*

- Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2835-2851. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0153>
22. Kamali, Gh., & Bazgir, S. (2009). Prediction of wheat yield using agrometeorological indices in some western areas of the Iran, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(2), 113-121
 23. Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M., Mansoori, H., & Moradi, R. (2017). Effect of climatic and management factors on potential and gap of wheat yield in Iran using WOFOST Model. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(2), 244-256. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v15i2.54278>
 24. Merlos, F. A., Monzon, J. P., Mercau, J. L., Taboada, M., Andradea, F. H., Halle, A. J., Jobbagy, E., Cassman, K. G., & Grassini, P. (2015). Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*, 184, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.001>
 25. Metzger, M. J., & Flanagan, A. J. (2013). Credibility and trust of information in online environments: The use of cognitive heuristics. *Journal of Pragmatics*, 59, 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.pragma.2013.07.012>
 26. Ministry of Agriculture. (2022). Review of harvest level statistics and production rate of 36 years of crops. Ministry of Agricultural Jihad, Planning and Economic Deputy. Information and Communication Technology Center. <https://maj.ir> also in: <https://agrieng.org/1401>
 27. Mohammadi, A., Koocheki, A., & Nassiri-Mahallati, M. (2018). Evaluation of LINTUL1-POTATO Model for simulation of development stages and potential yield of spring-sown potato (*Solanum tuberosum* L.) in Iran. *Journal of Agroecology*, (in Persian with English abstract).
 28. Neumann, K., Verburg, P. H., Stehfest, E., & Müller, C. (2010). The yield gap of global grain production: A spatial analysis. *Agricultural Systems*, 103(5), 316-326. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2010.02.004>
 29. Rosegrant, M. W., Koo, J., Cenacchi, N., Ringler, C., Robertson, R. D., Fisher, M., & Sabbagh, P. (2014). Food security in a world of natural resource scarcity: The role of agricultural technologies. Washington, DC: International Food Policy Research Institute (IFPRI). 250 p. <https://doi.org/10.2499/9780896298477>
 30. Mohammadi, A. (2020). Strategies for optimal agricultural management in delayed potato cultivation. *Applied Science of Potato*, 3(2), 27-34. (In Persian). Available Online at: https://pem.areeo.ac.ir/article_123326_be6943fb65aad7cc09abc77063059f50.pdf
 31. Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E., & T Jensen, C. R. (2007). Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research*, 100(1), 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.05.010>
 32. Shock, C. C., Feibert, E. G., & Saunders, L. D. (1998). Potato yield and quality response to deficit irrigation. *Horticultural Science*, 33, 655-659. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.33.4.655>
 33. Sobhani, A. R., & Hamidi, H. (2013). Effects of water deficit and potassium on yield and water use efficiency of potato crop in linear sprinkler irrigation method (line source). *Environmental Stress in Crop Sciences*, 6(1), 1-15. (in Persian with English Abstract).
 34. Svubure, O., Struik, P. C., Haverkort, A. J., & Steyn, J. M. (2015). Yield gap analysis and resource footprints of Irish potato production systems in Zimbabwe. *Field Crops Research*, 178, 77-90. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.002>
 35. Taei, J. S., Ghanbari, A., Amiri, E., Ghaffari, A., Siahsar, B., & Ayoubi, S. (2013). Agroecological zoning of wheat in the Borujen Watershed: Rianfed and irrigated wheat cropping system evaluation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(4), 1-12. (in Persian with English abstract). Available Online at: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_801.html?lang=en
 36. Tavakkoli-Kakhki, H. R. (2016). *Zoning and evaluation of nitrogen use efficiency and nitrogen balance for wheat and corn cropping systems of Iran by using simulation model and GIS*. Ph.D. Dissertation. the Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 151 pp. (In Persian with English abstract).
 37. Van Bussel, L. G., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., & van Ittersum, M. K. (2015). From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crops Research*, 177, 98-108. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.005>
 38. Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance- a review. *Field Crops Research*, 143, 4-17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>
 39. Van Wart, J., van Bussel, L. G., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J., Mueller, N. D., Claessens, L., & van Ittersum, M. K. (2013). Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*, 143, 44-55. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.023>
 40. Vos, J., & Van der Putten, P. E. L. (1998). Effect of nitrogen supply on leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in potato. *Field Crops Research*, 59(1), 63-72. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00107-5)
 41. Westermann, D.T. (2005). Nutritional requirements of potatoes. *American Journal of Potato Research*, 82, 301-307. <https://doi.org/10.1007/BF02871960>
 42. Willmott, C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American*

- Meteorological Society*, 63(11), 1309-1313.
43. Zebarth, B. J., Rees, H., Tremblay, N., Fournier, P., & Leblon, B. (2002). *Mapping spatial variation in potato nitrogen status using the N Sensor*. In XXVI International Horticultural Congress: Toward Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Production. *Acta Horticultura*, 627, 267-273. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.627.34>
44. Zhang, B., Li, F. M., Huang, G., Cheng, Z. Y., & Zhang, Y. (2006). Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. *Agricultural Water Management*, 79(1), 28-42. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.02.007>



Evaluation of the Competitive Indices and Economical Advantage of Corn (*Zea mays* L.)- Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Intercropping under the influence of Tillage Levels, Crop Residues, and Planting Patterns

F. Akbari¹, M. Dahmardeh^{1*}, A. Morshedi², A. Ghanbari¹, S. Khorramdel³

1- Department of Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran

2- Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Education and Extension Organization, Shahrekord, Iran

3- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: Dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 03 November 2024
Revised: 15 December 2024
Accepted: 07 January 2025
Available Online: 13 April 2025

Akbari, F., Dahmardeh, M., Morshedi, A., Ghanbari, A., & Khorramdel, S. (2025). Evaluation of the competitive indices and economical advantage of corn (*Zea mays* L.)- bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping under the influence of tillage levels, crop residues, and planting patterns. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 341-357. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.90594.1358>

Introduction

Intercropping is considered as one of the components of sustainable agriculture, where two or more species are grown in the same location to take advantage of the beneficial effects between the species. The competition among species for resource use can be facilitative, conflicting, or neutral. In many intercropping systems, plants from the legume and cereal families are cultivated with the aim of creating a complementary relationship between species and to enhance resource use efficiency. One practical way to increase organic matter in agricultural lands is through conservation tillage and returning plant residues to the soil. Corn (*Zea mays* L.) is the third most important cereal in the world, after wheat and rice. Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are among the most consumed legumes, playing a crucial role in providing the protein that humans need. The purpose of this research was to evaluate the performance, competitive indicators, and economic benefits of intercropping of corn and beans influenced by tillage systems, crop residues, and planting patterns in the conditions of Shahrekord.

Materials and Methods

The experiment was performed using split-split plot based on a randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Field of Shahrekord during 2016–2018. Tillage with two levels (minimum, and no-tillage) and three levels of crop residues (30, 60, and 90% of straw yield of wheat) and five intercropping patterns including corn and bean sole cropping, corn and bean ratio with 2:2, 3:1 and 1:3 were considered as main, sub and sub-sub plots, respectively. After measuring the yield of corn and beans, in order to evaluate the efficiency and competition in intercropping, the indices of land equivalent ratio, relative crowding coefficient, aggressivity and competition ratio were calculated. Also, in order to measure the economic usefulness of intercropping, system productivity index, Intercropping Advantage, and Monetary Advantage Index were used.



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.90594.1358>

Results and Discussion

Based on the results obtained, the interaction of tillage $\times$ crop residues $\times$ plant patterns had a significant effect on the yield of corn and beans ($P \leq 0.05$). Based on the average comparison results, the highest corn yield was obtained in sole corn cultivation under no-till conditions and using 60% of residues in the second year of the experiment ($1.9317 \text{ kg ha}^{-1}$). The yield of bean seeds, the highest yield was related to sole bean cultivation in low tillage conditions and the use of 60% plant residues ($2933.91 \text{ kg ha}^{-1}$). The interaction of tillage $\times$ crop residues $\times$ plant patterns on total land equivalent ratio was significant ($P \leq 0.05$). The plant pattern of 2 corn: 2 beans had the highest amount of LER (1.71) compared to other intercropping patterns. The maximum value of total relative crowding coefficient and competition index for corn was obtained in the plant pattern of 2 corn: 2 beans. Also, the positive values of the aggressivity index for the corn showed the competitive advantage of this plant compared to beans. The corn canopy has a larger volume and height compared to the bean canopy, so corn is a stronger competitor in absorbing light and other resources than beans. The corn canopy has a larger volume and height compared to the bean canopy, so corn is considered a stronger competitor in absorbing light and other resources than beans. The system productivity index was positive across all intercropping ratios, indicating the overall effectiveness of intercropping. The highest intercropping advantage (5859.42) and monetary advantage index (5988.62) were observed in the 2 corn: 2 beans planting pattern. The increased monetary advantage index in this ratio can be attributed to the higher land equivalent ratio and total relative crowding coefficient achieved in this treatment.

Conclusion

According to the results obtained from the evaluation of the land equivalent ratio and the relative crowding coefficient, intercropping advantage and monetary advantage index, it can be stated that the 2 corn: 2 bean planting pattern was superior in terms of competition and economic usefulness compared to other intercropping patterns. Based on the findings of this research, the positive values of the aggressivity index and the increase in the competition index indicate a competitive advantage of corn over beans in intercropping. Therefore, it can be said that the 2 corn: 2 beans, in addition to creating diversity and sustainability through maximizing the biological potential of the species, is significantly effective in enhancing financial advantage and the efficiency of using agricultural lands.

Keywords: Cereal, Land equivalent ratio, Monetary advantage, Relative crowding coefficient, Yield

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، ص ۳۵۷-۳۴۱

ارزیابی شاخص‌های رقابت و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) - لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تأثیر سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کاشت

فریده اکبری^۱، مهدی دهمرده^{۱*}، علی مرشدی^۲، احمد قنبری^۱، سرور خرم دل^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

چکیده

تفاوت در خصوصیات ساختاری و زیستی گیاهان نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد ارتباط بین گونه‌های مختلف در سیستم کشت مخلوط دارد. در همین راستا، به منظور ارزیابی توان رقابتی و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) آزمایشی به صورت کرت‌های دوبر خرد شده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۷) با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان شهرکرد اجرا شد. سیستم‌های خاک‌ورزی در دو سطح (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) به عنوان عامل اصلی، مدیریت بقایای گیاهی در سه سطح (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد وزن بقایای گندم (*Triticum aestivum* L.) به عنوان عامل فرعی و الگوی کشت مخلوط در پنج سطح (کشت خالص ذرت (*Zea mays* L.)، کشت خالص لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، نسبت‌های کشت مخلوط ۲:۲، ۳:۱ و ۱:۳ ذرت: لوبیا) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص ذرت در شرایط بی‌خاک‌ورزی و کاربرد ۶۰ درصد بقایای گیاهی (۹۳۱۷/۱ کیلوگرم در هکتار) و کشت خالص لوبیا در شرایط کم‌خاک‌ورزی و کاربرد ۶۰ درصد بقایای گیاهی (۲۹۳۳/۹۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. مقادیر شاخص‌های ضریب ازدحام نسبی، رقابت و درجه تهاجم برای ذرت بیشتر از لوبیا بود که این امر بیانگر توان رقابتی بالاتر ذرت بود. بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۷۱)، ضریب ازدحام نسبی، شاخص سودمندی و مزیت مالی کشت مخلوط مربوط به الگوی کشت ۲:۲ ذرت: لوبیا بود. با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان بیان کرد که رویکردهای کشاورزی کم‌نهاد و افزایش تنوع با استفاده از گونه‌ها و الگوهای مناسب که حداقل رقابت را ایجاد نمایند منجر به افزایش بهره‌وری تولید و سودمندی سیستم کشت می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ضریب ازدحام نسبی، عملکرد، غلات، مزیت مالی، نسبت برابری زمین

مقدمه

مناطق کشاورزی است (UNFPA, 2023) که منجر به معضلات زیست‌محیطی و بوم‌شناختی زیان‌باری شده است (Crews, Carton, & Olsson, 2018). بنابراین به منظور افزایش پایداری کشاورزی در بلندمدت، تأمین امنیت غذایی، حفظ منابع طبیعی و بهبود معیشت کشاورزان، راهکارهای کشاورزی پایدار مطرح گردید (Koochafkan & Altieri, 2016). یکی از مؤلفه‌های کشاورزی پایدار که در آن دو یا چند گونه یا ژنوتیپ در یک مکان به منظور بهره‌برداری از اثرات مفید بین گونه‌ها کشت می‌شوند، کشت مخلوط می‌باشد که امکان ترکیب یک محصول سودآور با محصولات پوششی یا غیرسودآور را فراهم می‌نماید. همچنین از لحاظ افزایش عملکرد، کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی و افزایش کارایی مصرف آب

جمعیت جهان به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش و در سال‌های اخیر به بیش از هشت میلیارد نفر رسیده است. از پیامدهای رایج افزایش جمعیت، از بین رفتن بوم‌نظام‌های طبیعی هم‌زمان با گسترش

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

۲- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، شهرکرد، ایران

۳- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*) - نویسنده مسئول: Email: Dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.90594.1358>

فراوان در تغذیه انسان و دام، صنعت و تأمین انرژی، این گیاه را به محصولی با ارزش و با تقاضای فراوان تبدیل کرده است که نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی در برخی از مناطق فقیر جهان ایفا می‌کند (FAO, 2017; Grote, Fasse, Nguyen, Erenstein, 2021). تا سال ۲۰۵۰، تقاضا برای ذرت در کشورهای در حال توسعه دو برابر خواهد شد. پتانسیل بالای ذرت در جذب و ذخیره انرژی، این گیاه را به یک محصول حیاتی تبدیل کرده است که حداقل ۳۰ درصد کالری مورد نیاز بیش از ۴/۵ میلیارد نفر در سراسر جهان را تأمین می‌نماید، این امر بیانگر اهمیت ذرت در تضمین امنیت غذایی جهانی است (Cimmyt & IITA, 2010; Yali, 2022). لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) از خانواده بقولات (Leguminosae)، از جمله حبوبات پر مصرف در ایران و جهان است که در تأمین پروتئین مورد نیاز انسان نقش به‌سزایی ایفا می‌کند. سطح زیر کشت آن در جهان حدود ۲۹ میلیون هکتار (FAO, 2022) و در ایران بیش از ۱۰۰ هزار هکتار (آمارنامه جهاد کشاورزی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰) است. لوبیا چیتی از زیرگونه‌های لوبیا معمولی است که حدود ۵۰ درصد سطح زیر کشت انواع لوبیا و بیش از نیمی از تولید کل لوبیا در ایران به آن اختصاص دارد (Behgam, Amini, & Dabagh, 2018; Mohammadi Nesab, 2018; Ghatari, Roozbahani, & Rosataei, Fallah, & Yaghoobi, 2019). روستایی و همکاران (Abbasi Surki, 2018) با بررسی نسبت برابری زمین، شاخص رقابت، ضریب ازدحام نسبی، شاخص‌های سودمندی و مزیت مالی کشت مخلوط شنبلله و سیاهدانه گزارش کردند که رقابت بین گونه‌ای و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط به‌شکل معنی‌داری تحت تأثیر الگوهای کاشت و سیستم تغذیه گیاهان قرار دارد. نتایج مطالعه دودمان و همکاران (Doodeman, Mirshekari, Taheri, 2020; Farahvash, & Moradi, 2020) بیانگر افزایش سود مالی و مقادیر مثبت شاخص بهره‌وری سیستم در کشت مخلوط خلر (*Lathyrus sativus* L.) و جو (*Hordeum vulgare*) نسبت به کشت خالص بود. در بیان اهمیت طراحی الگوی کاشت در سودمندی کشت مخلوط، صالحی شیخی و همکاران (Salehi Sheikhi, Nakhzari, Moghaddam, Rahemi Karizaki, & Mohamad Eamaeili, 2021) اظهار داشتند که نسبت برابری زمین و ضریب نسبی تراکم در الگوهای افزایشی بیشتر از الگوهای جایگزینی کشت مخلوط بود. همچنین در الگوهای جایگزینی، نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) و در الگوهای افزایشی، اسفناج غالب بود و در مجموع، نسبت برابری زمین بالای یک و مثبت بودن شاخص بهره‌وری سیستم بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به تک کشتی گونه‌ها بود. محققان در بررسی کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای تحت تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی گزارش کردند که نسبت برابری جزئی زمین هر یک از گیاهان با افزایش تراکم آن گیاه در الگوهای مختلف کاشت

به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک حائز اهمیت است (Maitra, 2024; Brooker et al., 2023; Tokar et al., 2024). گونه‌های کشت‌شده در مجاورت یکدیگر، منابع را به‌صورت متفاوت و کارآمدتری استفاده می‌نمایند (Beillouin, Ben-Ari, & Makowski, 2019; Jensen, Carlsson, & Hauggaard-Nielsen, 2020)، رقابت هر یک از گونه‌ها در استفاده از منابع می‌تواند به‌صورت تسهیل یا تداخل و یا خنثی باشد. بر همین اساس، در طراحی سیستم کشت مخلوط لازم است که خانواده گیاهان و توانایی گونه‌ها برای رقابت بر سر منابع محدود مورد توجه قرار گیرد (Gaudio et al., 2019; Gaudio et al., 2021). در بسیاری از سیستم‌های کشت مخلوط، گیاهانی از خانواده بقولات و غلات با هدف ایجاد رابطه مکملی بین گونه‌ها و افزایش کارایی استفاده از منابع کشت می‌شوند (Gaba et al., 2018; Jensen et al., 2020). کشاورزان جهت دستیابی به اهداف متعددی از عملیات شخم استفاده می‌نمایند، روش شخم، از نظر شدت و زمان، تأثیرات بلندمدت بر سلامت خاک دارد (Stevens, 2018; Ogieriakhi & Woodward, 2022). عملیات شخم به‌شکل مرسوم منجر به حذف بقایای گیاهی، هجوم علف‌های هرز، اختلال در چرخه آفات و بیماری‌ها (Claassen, Bowman, McFadden, Smith, & Wallander, 2018; Claassen et al., 2018; Blanco, & Lal, 2023)؛ تخریب ساختمان خاک، کاهش حاصلخیزی و افزایش اتکا به نهاده‌های خارجی (Kopitke, 2019; Menzies, Wang, McKenna, & Lombi, 2019) شده است. کشاورزی حفاظتی^۱ که برپایه حداقل اختلال در خاک، تناوب زراعی و حفظ بقایای گیاهی در خاک بنا شده است، به‌عنوان یک راه‌حل در جهت تولید پایدار محصولات کشاورزی پیشنهاد می‌شود که هم‌زمان منابع خاک و آب را حفظ کرده و هزینه‌های ورودی را نیز کاهش می‌دهد. در این نوع کشاورزی، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی (شخم کاهشی و بدون شخم) جایگزین خاک‌ورزی مرسوم شده است (Margenot et al., 2017; Zhang et al., 2018; Bergtold & Sailus, 2020). امروزه یکی از مشکلات اصلی در سیستم‌های کشاورزی، کمبود مواد آلی خاک است. یکی از راهکارهای قابل اجرا برای افزایش مواد آلی در اراضی کشاورزی، برگرداندن بقایای محصولات گیاهی به خاک است که ضمن تأمین نیازهای گیاه، در حفظ و افزایش مقدار ذخیره کربن آلی خاک مؤثر است، ضمن اینکه از لحاظ اقتصادی نیز برای کشاورزان ارزان‌تر و سودآور می‌باشد (Diaz, 2023). ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده گندمیان (Poaceae) است که پس از گندم و برنج، سومین غله مهم در جهان است. ویژگی‌های خاص ذرت از جمله پتانسیل بالای عملکرد، دامنه سازگاری گسترده در اقلیم‌های مختلف و کاربردهای

عامل فرعی-فرعی الگوهای کشت مخلوط ذرت و لوبیا چیتی در پنج سطح (کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیا، نسبت ۲:۲ ذرت و لوبیا، نسبت ۳:۱ ذرت و لوبیا و نسبت ۱:۳ ذرت و لوبیا) در سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش از ذرت رقم K.S.C 704 از ارقام دیررس با طول دوره رشدی ۱۳۰-۱۲۵ روز و لوبیا چیتی رقم صدری دارای تیپ رشدی رونده و میانگین دوره رشدی ۱۰۸-۱۱۵ روز استفاده شد. به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت، نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه انجام گردید که نتایج آن **جدول ۱** ارائه شده است.

در اوایل بهار، قطعه زمینی به مساحت ۲۴۰۰ مترمربع انتخاب و برای اعمال تیمار بقایای گیاهی، بقایای یک مزرعه گندم در پاییز سال قبل (۸۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) توزین و به‌مقدار لازم برحسب تیمارها به زمین اضافه و سپس عملیات خاک‌ورزی انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف کاشت به‌طول دو متر و فاصله ۶۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۲/۵، کرت‌های فرعی دو، کرت‌های فرعی-فرعی یک متر و فاصله دو بوته روی ردیف برای لوبیا و ذرت به‌ترتیب پنج و ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که تیمارهای خاک‌ورزی نیاز به کرت‌های بزرگ دارند به‌عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شدند. به این ترتیب، در هر پلات اصلی تعداد ۱۵ تیمار وجود داشت. بنابراین در طول هر پلات اصلی ۴۸ متر با عرض دو متر، خاک‌ورزی اعمال گردید. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی در طول فصل رشد و توسط کارگر انجام شد. آبیاری به‌صورت بارانی در ابتدای فصل رشد با فاصله زمانی چهار روز و بعد از آن با فاصله زمانی یک هفته صورت گرفت. طی مرحله گرده‌افشانی ذرت که حدود ۱۰ روز به طول انجامید، آبیاری در شب انجام شد تا بساک‌ها در اوایل صبح باز و هوای سرد و مرطوب باعث تأخیر و هوای گرم و خشک باعث تسریع در باز شدن بساک‌ها و گرده‌افشانی نگردد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه دو گیاه هم‌زمان با زرد شدن اندام‌های گیاه، عملیات برداشت در ۳۰ شهریورماه با رعایت اثر حاشیه انجام شد. پس از محاسبه عملکرد، شاخص‌های رقابتی و سودمندی کشت مخلوط با استفاده از رابطه‌های ۱-۱۰ محاسبه شد.

افزایش یافته است. براساس نتایج حاصل از شاخص‌های رقابتی، ترتیب‌کاله گیاه غالب بود و در این شرایط ماشک را به‌عنوان یک گیاه همراه مطلوب با توانایی رقابتی کمتر معرفی نمودند (Sadra & Fatemi, 2021). در مطالعه فاطمی دوبین و همکاران (Devin, Hosseini, Moghadam, & Motesharezadeh, 2020)، بیشترین نسبت برابری زمین از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد ذرت + ۶۰ درصد لوبیاچیتی (۱/۲۲) و بیشترین عملکرد لوبیا چیتی از کشت خالص به دست آمد. ارزیابی شاخص‌های رقابتی شامل ضریب ازدحام نسبی، نسبت رقابت و شاخص غالبیت در کشت مخلوط نشان داد که چغندر علوفه‌ای نسبت به پنبه از قدرت رقابتی بالاتری برخوردار است (Rastgoo, Asadi, Sorkhsaraei, & Rahimi, 2021). کشت مخلوط ذرت و لوبیا با افزایش تنوع، نقش مؤثری در افزایش پایداری بوم‌نظام زراعی ایفا می‌کند، در همین راستا امکان ارتقاء شاخص‌های اقتصادی از طریق بهبود شاخص‌های رقابتی با طراحی الگوی کشت مناسب و کاربرد کشاورزی کم‌نهاد امکان‌پذیر می‌باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی عملکرد، شاخص‌های رقابتی و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت و لوبیا تحت تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کاشت در شرایط شهرکرد بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه ایستگاه چهارتخته مرکز تحقیقات شهرستان شهرکرد با موقعیت ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۲۰۶۰ متر از سطح دریا طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۵ انجام شد. اقلیم منطقه براساس روش دومارتن - گوسن و کوپن به‌ترتیب نیمه‌خشک - استپی سرد و معتدل سرد با تابستان‌های گرم و خشک با میانگین بارندگی ۳۳۰ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد است. آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خردشده (اسپلیت - اسپلیت پلات) برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای آزمایشی شامل عامل اصلی سیستم خاک‌ورزی در دو سطح کم‌خاک‌ورزی (دیسک و فاروئر) و بی‌خاک‌ورزی، عامل فرعی مدیریت بقایای گیاهی در سه سطح (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد وزن بقایای گندم) و

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil before start of the experiment

سال زراعی Year	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	کربن آلی Organic C (%)	نیترژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترسی Available P (ppm)	پتاسیم قابل دسترسی Available K (ppm)	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g cm ⁻³)
1395-1396	لومی - رسی	7.86	0.73	0.62	0.087	8.6	217	1.4
1396-1397	Clay-loam	7.91	1.1	0.78	0.077	8.2	249	1.38

نسبت برابری زمین^۱ (LER)

$$LER = Y_{ia}/Y_{sa} + Y_{ib}/Y_{sb} \quad (۱)$$

که در آن، Y_{ia} ، Y_{ib} : به ترتیب عملکرد ذرت و لوبیا در کشت مخلوط و Y_{sa} ، Y_{sb} : به ترتیب عملکرد ذرت و لوبیا در کشت خالص می باشد (Willey, 1979).

ضریب ازدحام نسبی^۲ (K) بیانگر غالبیت نسبی یک جزء در مخلوط نسبت به جزء دیگر (DeWit, 1960) و شاخص درجه تهاجم^۳ (A) جهت ارزیابی رقابت در کشت مخلوط ذرت و لوبیا (Willey, 1979) با استفاده از روابط ۴، ۳، ۲ و ۵ محاسبه گردید.

$$K_{ab} = \frac{Y_{ab} \times Z_{ba}}{(Y_{aa} - Y_{ab}) \times Z_{ab}} \quad (۲)$$

$$K_{ba} = \frac{Y_{ba} \times Z_{ab}}{(Y_{bb} - Y_{ba}) \times Z_{ba}} \quad (۳)$$

$$A_{ab} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ab}} - \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ba}} \quad (۴)$$

$$A_{ba} = \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ba}} - \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ab}} \quad (۵)$$

که در آن ها، K_{ba} و K_{ab} : به ترتیب ضریب ازدحام نسبی ذرت و لوبیا، A_{ba} و A_{ab} : به ترتیب درجه تهاجم ذرت و لوبیا، Y_{bb} و Y_{aa} : به ترتیب عملکرد ذرت و لوبیا در کشت خالص، Y_{ba} و Y_{ab} : به ترتیب عملکرد ذرت و لوبیا در مخلوط و Z_{ba} و Z_{ab} : نسبت کشت از هر جزء در مخلوط است. هر چه مقدار K کل ($K_{ab} \times K_{ba}$) در کشت مخلوط بیشتر باشد، نشان دهنده کارایی بیشتر سیستم کشت مخلوط از نظر رقابتی است.

به جای شاخص درجه تهاجم، شاخص دیگری تحت عنوان نسبت رقابت^۴ (CR) معرفی گردید که در این شاخص، نسبت برابری زمین برای هر گیاه در مخلوط همراه با سهم نسبی کشت شده از هر گیاه در نظر گرفته شده است (Willey & Rao, 1980).

$$CR_a = (LER_a/LER_b) (Z_{ba}/Z_{ab}) \quad (۶)$$

به منظور سنجش سودمندی اقتصادی از شاخص های مزیت مالی^۵ و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط^۶ استفاده شد (Lithourgidis, Vlachostergios, Dordas, & Damalas, 2011).

$$MAI = (Y_a \times P_c + Y_b \times P_w) \times \frac{LER-1}{LER} \quad (۷)$$

$$IA_c = AYL_c \times P_c \quad (۸)$$

$$IA_w = AYL_w \times P_w \quad (۹)$$

که در آن ها، AYL_c : کاهش واقعی عملکرد لوبیا، P_c : قیمت محصول لوبیا، AYL_w : کاهش واقعی عملکرد ذرت و P_w : قیمت محصول ذرت است.

شاخص بهره وری سیستم^۷ (SPI)

بر اساس این شاخص، عملکرد جزء دوم (گیاه همراه: لوبیا) در مخلوط بر حسب جزء اول (گیاه اصلی: ذرت) استاندارد می شود (Odo, 1991).

$$SPI = \frac{S_a}{S_b} Y_b + Y_a \quad (۱۰)$$

که در آن، S_a و S_b : میانگین عملکرد ذرت و لوبیا در کشت خالص و Y_a و Y_b : میانگین عملکرد ذرت و لوبیا در کشت مخلوط است. تجزیه داده ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه ذرت و لوبیا

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح خاک ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت بر عملکرد دانه ذرت و لوبیا در جدول ۲ ارائه گردیده است. برپایه نتایج به دست آمده، اثر متقابل خاک ورزی $\times$ بقایای گیاهی، بقایای گیاهی $\times$ الگوهای کشت و سال $\times$ خاک ورزی $\times$ بقایای گیاهی $\times$ الگوهای کشت بر عملکرد دانه ذرت معنی دار بود ($P \leq 0.05$). همچنین اثر متقابل خاک ورزی $\times$ بقایای گیاهی و خاک ورزی $\times$ بقایای گیاهی $\times$ الگوهای کشت بر عملکرد دانه لوبیا معنی دار بود ($P \leq 0.05$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین عملکرد دانه ذرت در کشت خالص ذرت در شرایط بی خاک ورزی و کاربرد ۶۰ درصد بقایا در سال دوم آزمایش (۹۳۱۷/۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که با تیمار کم خاک ورزی از لحاظ آماری اختلاف معنی داری نشان نداد. کمترین عملکرد دانه ذرت در الگوی کشت ۱ ردیف ذرت: ۳ ردیف لوبیا در سیستم کم خاک ورزی و کاربرد ۳۰ درصد بقایای گیاهی (۵۸۱۳/۴ کیلوگرم در هکتار) در سال دوم آزمایش مشاهده شد (جدول ۳). این نتایج با یافته های قاضی نژاد و همکاران (Ghazinejad, Monjezi, Rahnema Ghahfarokhi, & Sheikhdavoodi, 2022) در رابطه با تأثیر معنی دار اثر متقابل خاک ورزی و بقایای گیاهی بر عملکرد دانه ذرت مطابقت دارد، به طوری که بیشترین عملکرد دانه ذرت در تیمار کم خاک ورزی و حفظ بقایای گندم به دست آمد. همچنین سرخه و همکاران (Sorkheh, Zaefarian, & Gharineh, 2020) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که عملکرد ذرت در تیمار کم خاک ورزی و استفاده از بقایای گندم و گیاه پوششی افزایش یافت. ایشان بیان نمودند که در خاک ورزی حفاظتی، وجود بقایا در سطح خاک موجب کاهش سبز شدن و استقرار علف های هرز و در نتیجه کاهش رقابت آن ها با گیاه زراعی شده و عملکرد ذرت در چنین شرایطی افزایش یافته است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت بر عملکرد دانه ذرت و لوبیا
 Table 2- Combined analysis of variance (mean of squares) of the effect of tillage levels, crop residues and planting patterns on the yield of corn and beans.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه ذرت Corn grain yield	عملکرد دانه لوبیا Bean grain yield
سال (Y) Year (Y)	1	696942.05 ^{ns}	141118.93 ^{ns}
بلوک (سال) Block (year)	4	109595.44	26024.86
سطوح خاک‌ورزی (T) Tillage levels (T)	1	60794.46 ^{ns}	1078.71 ^{ns}
سال × خاک‌ورزی Y × T	1	2432818.45*	89331.54 ^{ns}
خطای اصلی Main error	4	82714.93	9696.16
بقایای گیاهی (R) Crop residues (R)	2	2158900.94*	1227769.18*
سال × بقایای گیاهی Y × R	2	78454.19 ^{ns}	1466201.31*
خاک‌ورزی × بقایای گیاهی T × R	2	2253240.01*	264357.47*
سال × خاک‌ورزی × بقایای گیاهی Y × T × R	2	3596624.6*	305261.36*
خطای فرعی Sub error	16	178739.29	16278.47
الگوهای کشت (P) Planting patterns (P)	3	21188411.57*	2295579.66*
سال × الگوهای کشت Y × P	3	758152.41*	251427.91*
خاک‌ورزی × الگوهای کشت T × P	3	370799.91 ^{ns}	25818.34 ^{ns}
سال × خاک‌ورزی × الگوهای کشت Y × T × P	3	1138388.2*	15537.86 ^{ns}
بقایای گیاهی × الگوهای کشت R × P	6	47393.08*	108181.11 ^{ns}
سال × بقایای گیاهی × الگوهای کشت Y × R × P	6	487632.64*	34959.49 ^{ns}
خاک‌ورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت T × R × P	6	346207.93 ^{ns}	67441.47*
سال × خاک‌ورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت Y×T × R × P	6	458700.18*	41898.17 ^{ns}
خطای فرعی-فرعی Sub-sub error	72	80251.5	8629.13
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.9	4.0

ns و *: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

ns and *: Non-significant and significant at 5% of probability level, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهم کنش سال، سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت بر عملکرد دانه ذرت
Table 3- Mean comparisons of the interaction of year, tillage levels, crop residues and planting Patterns on corn grain yield

سال Year	سیستم خاک‌ورزی Tillage systems	الگوهای کشت Planting patterns	درصد بقایای گیاهی Crop residues (%)		
			30	60	90
1395-1396	کم خاک‌ورزی Reduced tillage	ذرت خالص Corn sole cropping	7785.9 ^{c-f*}	7758 ^{c-f}	7610.6 ^{d-h}
		2C:2B	6355.7 ^{p-t}	7085.5 ⁱ⁻ⁿ	6361.3 ^{p-t}
		3C:1B	6977.7 ^{k-o}	7144.2 ^{h-m}	6857.6 ^{l-p}
		1C:3B	6404.6 ^{p-s}	6884.5 ^{l-p}	6737.6 ^{d-q}
	بی خاک‌ورزی No tillage	ذرت خالص Corn sole cropping	8677.7 ^b	8725.6 ^b	8088.8 ^{cd}
		2C:2B	6564.5 ^{n-r}	7218.2 ^{g-l}	6717.5 ^{l-q}
		3C:1B	6919 ^{l-q}	7656 ^{d-h}	6755.2 ^{l-q}
		1C:3B	6240.8 ^{q-u}	6670.1 ^{m-q}	6556.2 ^{n-r}
1396-1397	کم خاک‌ورزی Reduced tillage	ذرت خالص Corn sole cropping	7755.72 ^{d-f}	9237.2 ^a	7687.1 ^{d-g}
		2C:2C	6358.4 ^{p-t}	7545.2 ^{e-j}	6512.5 ^{o-r}
		3C:1B	7016.3 ^{k-o}	8249.9 ^{b-c}	7566.7 ^{d-i}
		1C:3B	5813.4 ^u	7595.7 ^{d-i}	5853 ^{tu}
	بی خاک‌ورزی No tillage	ذرت خالص Corn sole cropping	7879.8 ^{c-f}	9317.1 ^a	8260.6 ^{bc}
		2C:2B	6442.7 ^{p-s}	6999.5 ^{h-o}	7044.7 ^{i-o}
		3C:1B	6669.9 ^{m-q}	7442.7 ^{f-k}	7982.1 ^{c-e}
		1C:3B	6102.1 ^{r-u}	6618.4 ^{m-r}	5965.3 ^{s-u}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column follow by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که کشت یک ردیف از هر گیاه در الگوی کشت موجب کاهش عملکرد شده است که می‌توان آن را به کاهش تراکم هر گونه در کشت مخلوط نسبت داد. در تأیید نتایج این پژوهش، پیری و همکاران (Piri, Zendehtdel, & Tavassoli, 2017) اظهار داشتند که عملکرد دانه ذرت و سویا (*Glycine max* L.) لادر الگوهای مختلف کاشت مخلوط کاملاً تحت تأثیر تراکم قرار گرفته و با افزایش تراکم در الگوهای کاشت، عملکرد دانه نیز افزایش یافته است. با توجه به نتایج می‌توان بیان نمود که عدم استفاده از ادوات خاک‌ورزی با تأثیرات مثبت بر ساختار خاک همراه با افزایش مواد آلی، شرایط بهینه رشد را برای گیاهان فراهم آورده و موجب افزایش عملکرد در واحد سطح شده است. همچنین با توجه به روند تدریجی تجزیه و آزادسازی عناصر مغذی از بقایای گیاهی، در سال دوم آزمایش این عناصر به‌نحو مؤثرتری در دسترس گیاهان قرار گرفته و موجب بهبود عملکرد شده است. نتایج آزمایش اسدی و همکاران (Asadi, Khorramdel, Shahriary, Ranjbar, & Aghhavan, 2017) نشان داد که بالاترین عملکرد دانه لوبیا و ذرت مربوط به کشت خالص بود و در کشت مخلوط با افزایش نسبت لوبیا و ذرت در نسبت‌های کشت، عملکرد دانه افزایش یافته است. همچنین بنابر گزارش کوچکی و همکاران (Koocheki,

در خصوص عملکرد دانه لوبیا، بیشترین عملکرد مربوط به کشت خالص لوبیا در شرایط کم‌خاک‌ورزی و کاربرد ۶۰ درصد بقایای گیاهی (۲۹۳۳/۹۱) کیلوگرم در هکتار) بود، درحالی‌که با تیمار بی‌خاک‌ورزی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین عملکرد دانه لوبیا در الگوی کشت ۳ ردیف ذرت : ۱ ردیف لوبیا در سیستم کم‌خاک‌ورزی و کاربرد ۳۰ درصد بقایای گیاهی (۱۸۲۵/۹) کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۳). نسبت‌های کشت ۳:۱ برای ذرت و ۱:۳ برای لوبیا نسبت به دو الگوی دیگر کشت مخلوط، عملکرد بالاتری داشتند. به نظر می‌رسد که در این الگوها، گیاه توانسته است که حداکثر استفاده از منابع را داشته باشد و در نتیجه با افزایش تراکم هر جزء در الگوی کشت، عملکرد دانه روند افزایشی نشان داده است. با توجه به اینکه تاج‌پوشش ذرت، دارای حجم و ارتفاع بیشتری در مقایسه با تاج‌پوشش لوبیا است، بنابراین ذرت، رقیب قوی‌تری در جذب نور و سایر منابع برای لوبیا محسوب می‌شود. چنین به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد لوبیا در کشت خالص نسبت به تیمارهای کشت مخلوط می‌تواند به دلیل عدم رقابت برون گونه‌ای لوبیا در کشت خالص بر سر جذب نور باشد که این امر باعث افزایش جذب نور به وسیله تاج‌پوشش لوبیا و در نتیجه بهبود فتوسنتز و در نهایت افزایش عملکرد اقتصادی لوبیا شده باشد (Fatemi Devin et al., 2020).

داشت، به‌طوری‌که مقدار آن در این الگو برابر با ۱/۷۱ به دست آمد و کمترین مقدار در نسبت کشت ۱ ردیف لوبیا : ۳ ردیف ذرت (۱/۶۰) مشاهده شد (شکل ۱). مقادیر نسبت برابری زمین کل بزرگ‌تر از یک در تمامی الگوهای کشت (۱/۶۰، ۱/۶۴ و ۱/۷۱) بدان معنی است که کشت خالص هر جزء نیاز به ۶۰، ۶۴ و ۷۱ درصد زمین بیشتری نسبت به کشت مخلوط دارد تا عملکردی برابر آن را تولید کند و این نتایج بیانگر کارایی بیشتر استفاده از زمین در سیستم‌های کشت مخلوط است. نتایج مشابهی در سیستم کشت مخلوط ذرت و لوبیا توسط سایر محققان گزارش شده است (Koocheki et al., 2014; Asadi et al., 2017; Esfahani, Amir Shekari, Zand, & Fotovkiyan, 2017; Fatemi Devin et al., 2020). ویژگی‌های ساختاری و زیست‌شناسی متفاوت بین بقولات و غلات در کشت مخلوط مانند تفاوت در عمق ریشه‌دهی، گسترش شعاعی و تراکم ریشه، شکل تاج‌پوشش گیاهان و تثبیت زیستی نیتروژن از عوامل تأثیرگذار بر رقابت بین گیاهان در کشت مخلوط بر سر جذب آب و عناصر غذایی هستند که موجب بروز روابط همزیستی دوجانبه مثبت بین گیاهان می‌شود، در نتیجه کارایی استفاده از زمین در سیستم کشت مخلوط افزایش می‌یابد (Fan et al., 2016; Javanmard, Amani Machiani, & Mousavi, 2018). پژوهشگران در بررسی کشت مخلوط، بیشترین نسبت برابری زمین را در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ ذرت: لوبیا گزارش کردند و علت آن را به تراکم مطلوب گیاهی در این تیمار و استفاده بهتر از منابع محیطی نسبت دادند (Asadi et al., 2017).

Nasiri Mahalati, Deihimfard, Mirzaei Talarposhti, & Kheirkhah, 2014)، بالاترین عملکرد در تیمارهای کشت مخلوط مربوط به الگوهای افزایشی کشت مخلوط بود (جدول ۴). از این‌رو اظهار داشتند که هر چه تراکم یک جزء در کشت مخلوط افزایش یافته، عملکرد آن جزء نیز بالاتر رفته است. محققان افزایش تجمع ماده خشک در کشت مخلوط را به افزایش کارایی مصرف نور از طریق افزایش تراکم گیاه و شاخص سطح برگ کافی برای دریافت نور در مرحله پر شدن دانه، بهبود ظرفیت گونه‌ها و اثر مکملی آن‌ها در افزایش جذب و مصرف منابع و افزایش فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت زیستی نسبت داده‌اند (Jahansooz, Yunusa, Coventry, Palmer, & Eamus, 2007; Koocheki, Nassiri Mahallati, Mondani, Feizi, & Amirmoradi, 2009; Asadi et al., 2017).

نسبت برابری زمین

نسبت برابری جزء و کل دو گیاه تحت تأثیر بقایای گیاهی، الگوهای کشت و برهم‌کنش خاک‌ورزی × بقایای گیاهی تفاوت معنی‌داری داشتند ($P \leq 0.05$)، اما در خصوص سایر اثرات، برهم‌کنش بقایای گیاهی × الگوهای کشت و سال × خاک‌ورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت بر نسبت برابری زمین جزئی لوبیا و نسبت برابری زمین کل معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$) (جدول ۵). نتایج نشان داد که نسبت برابری زمین کل در تمامی الگوهای کشت بزرگ‌تر از یک بود که بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. در بین الگوهای مختلف، نسبت ۲ ردیف ذرت : ۲ ردیف لوبیا بیشترین نسبت برابری زمین را در مقایسه با سایر نسبت‌های کشت مخلوط

جدول ۴- مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت بر عملکرد دانه لوبیا

Table 4- Mean comparisons of the effects of tillage levels, crop residues and planting patterns on bean grain yield

سیستم خاک‌ورزی Tillage systems	الگوهای کشت Planting patterns	درصد بقایای گیاهی Crop residues (%)		
		30	60	90
کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	لوبیا خالص	2418.11 ^{ed*}	2933.91 ^a	2758.42 ^b
	Bean sole cropping			
	2C:2B	2043.25 ^{k-m}	2451.08 ^{de}	2374.14 ^{e-f}
	3C:1B	1825.9 ⁿ	2195.14 ^{h-j}	2353.23 ^{ef}
بی‌خاک‌ورزی No tillage	1C:3B	2215.50 ^{g-j}	2253.33 ^{f-i}	2339.79 ^{e-g}
	لوبیا خالص	2499.22 ^{cd}	2820.75 ^{ab}	2582.68 ^c
	Bean sole cropping			
	2C:2B	2116.42 ^{j-l}	2428.42 ^{ed}	2318.16 ^{e-h}
	3C:1B	1862.40 ⁿ	1998.61 ^m	1966.33 ^{mn}
	1C:3B	2149.42 ^{i-k}	2448.04 ^{ed}	2177.98 ^{ij}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

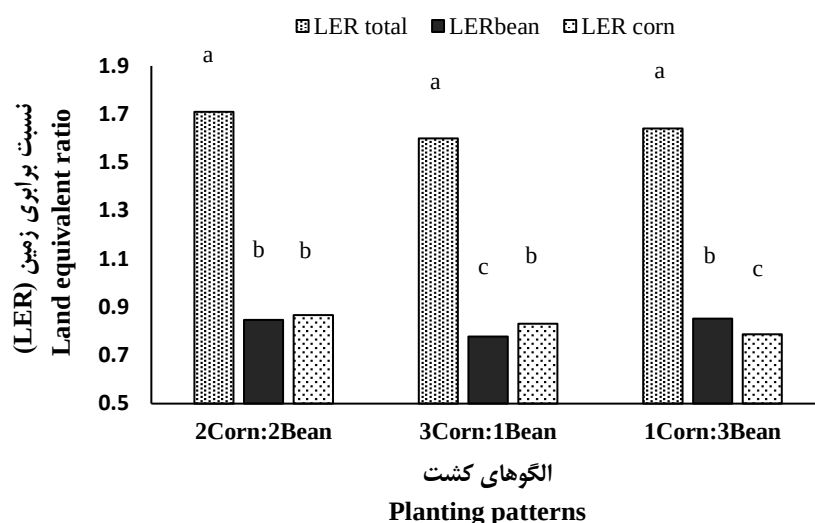
* Means in each column follow by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب نسبت برابری زمین جزء و کل ذرت و لوبیا تحت تأثیر سیستمهای خاکورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت
 Table 5- Combined analysis of variance (mean square) of the partial and total land equivalent ratio of corn and beans affected by tillage systems, crop residues and planting patterns

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نسبت برابری زمین لوبیا LER _{Corn}	نسبت برابری زمین کل LER _{Bean}	نسبت برابری زمین کل LER _{Total}
سال (Y) Year (Y)	1	0.0074 ^{ns}	0.161*	0.098*
بلوک (سال) Block (year)	4	0.0034	0.0036	0.0069
سطوح خاکورزی (T) Tillage levels (T)	1	0.0030 ^{ns}	0.0128 ^{ns}	0.0033 ^{ns}
سال × خاکورزی Y × T	1	0.114 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.135*
خطای اصلی Main error	4	0.00052	0.0044	0.0024
بقایای گیاهی (R) Crop residues (R)	2	0.0352*	0.0149*	0.0532*
سال × بقایای گیاهی Y × R	2	0.0016 ^{ns}	0.0017 ^{ns}	0.00005 ^{ns}
خاکورزی × بقایای گیاهی T × R	2	0.029*	0.0148*	0.0311*
سال × خاکورزی × بقایای گیاهی Y × T × R	2	0.049*	0.0051*	0.0793*
خطای فرعی Sub error	16	0.0079	0.0038	0.0051
الگوهای کشت (P) Planting patterns (P)	2	0.057*	0.063*	0.105*
سال × الگوهای کشت Y × P	2	0.0094 ^{ns}	0.0195*	0.046*
خاکورزی × الگوهای کشت T × P	2	0.0097 ^{ns}	0.0016 ^{ns}	0.0073 ^{ns}
سال × خاکورزی × الگوهای کشت Y × T × P	2	0.0016 ^{ns}	0.0022 ^{ns}	0.0002 ^{ns}
بقایای گیاهی × الگوهای کشت R × P	4	0.0017 ^{ns}	0.0182*	0.024*
سال × بقایای گیاهی × الگوهای کشت Y × R × P	4	0.0080 ^{ns}	0.0047*	0.016*
خاکورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت T × R × P	4	0.0032 ^{ns}	0.0012 ^{ns}	0.0051 ^{ns}
سال × خاکورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت Y × T × R × P	4	0.00069 ^{ns}	0.0085*	0.0116*
خطای فرعی-فرعی Sub-sub error	48	0.0013	0.0003	0.0011
ضریب تغییرات CV%	-	4.5	3.1	3.1

ns و *: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

ns and *: Non-significant and significant at 5% of probability level, respectively.



شکل ۱- نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط ذرت و لوبیا
Figure 1- Land equivalent ratio for different intercropping patterns of corn and beans

شاخص‌های رقابتی

ضریب ازدحام نسبی، قدرت رقابت یک گونه را نسبت به گونه دیگر نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که مقدار این ضریب برای ذرت در تمامی الگوهای کشت به‌استثنای ۱ ردیف ذرت: ۳ ردیف لوبیا بیشتر از ضریب ازدحام نسبی لوبیا بود. حداکثر مقدار ضریب ازدحام نسبی کل در الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا (۴۰/۷۸) به دست آمد (جدول ۶). در مجموع، به نظر می‌رسد که کاهش نسبت دو گیاه به یک ردیف در الگوی کشت موجب کاهش ضریب ازدحام نسبی شده است. به نظر می‌رسد که سهم ذرت در افزایش ضریب ازدحام نسبی کل بیشتر از لوبیا باشد که می‌توان آن را به تیپ رشدی متفاوت دو گیاه نسبت داد. هر چه مقدار K بزرگ‌تر باشد، بدان معنی است که هر دو جزء در کشت مخلوط اثرات رقابتی کمتری بر یکدیگر دارند و در نتیجه کارایی کشت مخلوط افزایش خواهد یافت (Koocheki et al., 2014). در پژوهشی روی کشت مخلوط ذرت و سویا مشخص شد که ذرت در مخلوط با سویا جزء غالب بود و حداکثر ضریب ازدحام نسبی در الگوی ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد سویا مشاهده شد و با کاهش تراکم ذرت، مقدار این شاخص کمتر و اثر رقابتی ذرت بر سویا نیز کاهش یافت (Rahimi Darabad, Barmaki, Seyed Sharifi, 2015). هدف از کشت مخلوط، پهنه‌سازی استفاده از فضا، زمان و منابع در بالا و پایین خاک از طریق به حداکثر رساندن اثرات مثبت و به حداقل رساندن اثرات منفی رقابت می‌باشد. موفقیت این سیستم در گرو انتخاب گیاهان اصلی و همراه سازگار و الگوی کشت مناسب است (Mushagalusa, Ledent, & Draye, 2008). شاخص درجه تهاجم بیانگر اختلاف عملکرد نسبی دو گونه می‌باشد و این شاخص در حالت کلی شدت رقابت را به‌صورت

کمی نشان می‌دهد. نتایج حاصل از محاسبه این شاخص نشان داد که در نسبت‌های مختلف کشت، ذرت گیاه غالب بود (جدول ۶). بر همین اساس، بیشترین مقدار این شاخص مربوط به الگوی کشت ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا (۱/۷۳) بود. مقادیر مثبت شاخص درجه تهاجم برای گیاه ذرت بیانگر برتری رقابتی این گیاه نسبت به لوبیا بود. غالبیت غلات نسبت به بقولات به رشد سریع‌تر و توسعه بهتر سیستم ریشه نسبت داده می‌شود (Pellicano, Romeo, Pristeri, Preiti, & Monti, 2015). در مجموع، با توجه به نتایج این دو شاخص می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که در کشت مخلوط، گیاه برخوردار از مقدار K کمتر و مقدار A منفی‌تر، به‌عنوان گیاه مغلوب و گیاه دیگر به‌عنوان جزء غالب محسوب می‌شود (Willey, 1979; Agegnehu, Ghizaw, & Sinebo, 2006). کشت گیاهان در مجاورت یکدیگر، انتخاب گونه‌های گیاهی با قدرت رقابت بالا، تنظیم فاصله ردیف‌های کشت و تراکم مناسب از عوامل افزایش‌دهنده توان رقابتی گیاهان زراعی هستند (Blackshaw, Donovan, Harker, Clayton, & Stougaard, 2006). در ارزیابی توانایی رقابتی گیاهان در کشت مخلوط، شاخص رقابت در مقایسه با شاخص‌های ضریب ازدحام نسبی و درجه تهاجم معیار مطلوب‌تری است (Yilmaz, Ozel, Atak, & Eraymanm, 2015). بررسی نسبت رقابتی ذرت و لوبیا نشان داد که مقادیر این شاخص در تمامی نسبت‌های کشت برای گیاه ذرت بیشتر از لوبیا بود. بیشترین مقدار شاخص برای ذرت در نسبت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا (۲/۷۹) به دست آمد. مقادیر شاخص رقابت کوچک‌تر از یک برای یک جزء در مخلوط بیانگر اثرات رقابتی کمتر است و به‌عنوان گیاه همراه مغلوب در کشت مخلوط محسوب می‌شود. مطابق نتایج جدول ۶ مقدار شاخص رقابت برای لوبیا کمتر از یک

است و به عنوان گیاه همراه مطلوب در مخلوط با ذرت، توانایی رقابتی بسیار کمتری دارد. براساس نتایج این تحقیق، ایده آل ترین شرایط در کشت مخلوط ذرت و لوبیا نسبت ۱ ردیف ذرت: ۳ ردیف لوبیا بود که دو گیاه اثرات رقابتی یکسان بر یکدیگر داشته و تکمیل کننده آشیان اکولوژیک یکدیگر در الگوی کشت مخلوط هستند. تاج پوشش ذرت دارای حجم و ارتفاع بیشتری در مقایسه با تاج پوشش لوبیا می باشد، بنابراین ذرت رقیب قوی تری در جذب نور و سایر منابع نسبت به لوبیا به شمار می رود (Asadi et al., 2017). در همین زمینه، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) در کشت مخلوط ذرت-لوبیا نتایج مشابهی گزارش کردند. نتایج حاصل از محاسبه شاخص های غالبیت، ضریب ازدحام نسبی و رقابت در کشت مخلوط خلر و جو نشان داد که علامت چیرگی برای جو و خلر به ترتیب مثبت و منفی

بود. در تمامی الگوها، ضریب نسبی تراکم و شاخص رقابتی جو بیشتر از خلر و بالاتر از یک بود که بیانگر برتری عملکرد جو نسبت به خلر در کشت مخلوط بود. از همین رو چنین استنباط کردند که چنانچه رقابت برون گونه ای مساوی و یا کمتر از رقابت درون گونه ای باشد، نه تنها گیاهان با یکدیگر رقابت نمی کنند، بلکه مکمل یکدیگر نیز خواهند بود (Haghaninia, Javanmard, & Mollaaliabasiyan, 2018). به عبارت دیگر، اختلاف بین گونه ها در نحوه استفاده از منابع منجر به کاهش رقابت بین گونه ای نسبت به رقابت درون گونه ای می گردد و در این شرایط بین گیاهان در آشیان اکولوژیکی یکسان از نظر عوامل محیطی و زمان رقابتی وجود ندارد (Mushagalusa et al., 2008).

جدول ۶- شاخص های ضریب ازدحام نسبی، درجه تهاجم و رقابت در الگوهای مختلف کشت مخلوط ذرت-لوبیا

Table 6- Indices of relative crowding coefficient, aggressivity, and competition in different intercropping patterns of corn and beans

الگوهای کشت Planting patterns	ضریب ازدحام نسبی Relative crowding coefficient			شاخص درجه تهاجم Aggressivity		شاخص رقابت Competition ratio	
	ذرت Corn	لوبیا Bean	کل Total	ذرت Corn	لوبیا Bean	ذرت Corn	لوبیا Bean
	Corn	Bean	Total	Corn	Bean	Corn	Bean
2C:2B	7.01b	5.89b	40.78a	0.43b	-0.43b	1.13b	0.40c
3C:1B	13.12a	2.55c	29.93b	1.73a	-1.73c	2.79a	0.36c
1C:3B	2.21c	11.69a	25.14c	0.67a	-0.67c	0.99b	0.97b

(Cicer arietinum L.) بیان نمودند که نتایج این شاخص در تمامی الگوهای کشت مخلوط مثبت بود و بیشترین میزان شاخص بهره وری مربوط به الگوی کشت ۷۵ درصد جو + ۲۵ درصد نخود بود (Javanmard et al., 2018). بیشترین میزان سودمندی کشت مخلوط مربوط به نسبت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا (۵۸۵۹/۴۲) و حداقل سودمندی در نسبت ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا (۲۷۳۳/۴۶) مشاهده شد (جدول ۷). برخی از محققان علت بالا رفتن شاخص سودمندی مخلوط را استفاده بهتر از منابع موجود مانند نور، آب و مواد غذایی عنوان کرده اند (Lithourgidis et al., 2011; Rezaei, 2015). عدم سودمندی در نسبت کشت ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا می تواند به دلیل اختلاف قیمت هر جزء در سیستم باشد. این اختلاف قیمت باعث می شود تا اجزاء کشت مخلوط قادر به جبران آن نباشند. محققان عدم سودمندی اقتصادی در سیستم کشت مخلوط پنبه با لوبیا چشم بلبلی و سورگوم را به اختلاف قیمت اجزای مخلوط نسبت دادند (Aasim, Umer, & Karim, 2008). ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط ذرت و لوبیا از طریق شاخص مزیت مالی نشان داد که به استثنای الگوی ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا، سایر الگوهای کشت مخلوط نسبت به تک کشتی از لحاظ اقتصادی سودمند می باشند و الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف

شاخص های اقتصادی

شاخص بهره وری نظام کشت یکی از شاخص های ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط است که داده های آن با استاندارد کردن محصول ثانویه بر مبنای محصول اصلی به دست می آید (Agegnehu et al., 2006). این شاخص قابلیت تولید و کارایی سیستم کشت مخلوط را نمایان می سازد. مقادیر شاخص های بهره وری سیستم (SPI)، سودمندی اقتصادی کشت مخلوط (IA) و مزیت مالی (MAI) در هریک از تیمارهای کشت مخلوط به تفکیک در جدول ۷ ارائه شده است. مثبت بودن مقادیر این شاخص ها گویای سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط ذرت با لوبیا و استفاده بهتر از منابع در دسترس توسط این دو گیاه در مقایسه با کشت خالص آن ها می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، بالاترین میزان شاخص بهره وری سیستم در الگوی کاشت ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا (۲۹۶۱/۱۷) مشاهده شد. در مجموع، مقدار این شاخص در تمام نسبت های کشت مخلوط مثبت بود که نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط است. بررسی روند نتایج نشان دهنده نقش مؤثر ذرت در افزایش بهره وری سیستم است، به نحوی که با افزایش تراکم ذرت بیشترین میزان کارایی براساس شاخص بهره وری سیستم به دست آمد. محققان در ارزیابی شاخص بهره وری سیستم در کشت مخلوط جو و نخود

سایر محققان نیز گزارش شده است (Dhima et al., 2007; Esmaeili et al., 2011). در کشت مخلوط تریتیکاله (*Triticale*) و ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth)، بالاترین مقدار سودمندی مربوط به الگوی ۵۰:۵۰ کشت مخلوط بود که آن را ناشی از تشکیل اشکوب‌های مختلف جهت بهره‌برداری بهتر از منابع محیطی از قبیل نور، آب و عناصر غذایی دانستند (Sadra & Hamzei, 2021). در تأیید نتایج این مطالعه، جوانمرد و همکاران (Javanmard et al., 2018) در بررسی کشت مخلوط نخود و جو گزارش کردند که مقادیر شاخص سودمندی اقتصادی در اکثر الگوهای کشت مخلوط مثبت بود. مثبت بودن این شاخص گویای سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط نخود علوفه‌ای با جو و استفاده بهتر از منابع در دسترس در مقایسه با کشت خالص دو گیاه بود و بیشترین میزان سودمندی اقتصادی (MAI) در تیمار ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو مشاهده شد. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری سیستم و سودمندی اقتصادی در کشت مخلوط خلر و جو بیانگر سودمندی اقتصادی این سیستم کشت بود. بر همین اساس بیان نمودند، تیمارهایی که از نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی بالاتری برخوردارند، میزان بهره‌وری و سودمندی مالی بالاتر و در نتیجه ثبات عملکرد بیشتری داشتند (Haghaninia et al., 2018).

لویا (۵۹۸۸/۶۲) دارای بیشترین مزیت مالی بود (جدول ۷). از آن‌جاکه این شاخص با نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی کل رابطه مستقیمی دارد (Lithourgidis et al., 2011)، بنابراین مزیت مالی در نسبت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لویا را می‌توان به افزایش نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی کل در این تیمار نسبت داد. همچنین مقدار شاخص سودمندی و مزیت مالی در سال دوم آزمایش بیشتر از سال اول بود که می‌تواند ناشی از اثرات مثبت خاک‌ورزی حفاظتی، تجزیه بقایای گیاهی و تثبیت زیستی نیتروژن توسط لویا باشد که اثرات مثبت آن در تغذیه و بهبود رشد گیاهان منجر به افزایش عملکرد و سودمندی اقتصادی گردید. نتایج نشان داد که کاهش نسبت لویا در کشت مخلوط با ذرت از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. لازم به ذکر است که اختلاف در سودمندی سیستم‌های کشت مخلوط از لحاظ اقتصادی می‌تواند ناشی از اختلاف عوامل ساختاری و زیستی گیاهان، نیازهای غذایی متفاوت گونه‌ها، نحوه استفاده آن‌ها از منابع موجود و همچنین غالبیت یک گونه نسبت به دیگری باشد (Dhima, Lithourgidis, Vasilakoglou, & Dordas, 2007). در این تحقیق، نتایج حاصل از شاخص مزیت مالی با نتایج حاصل از نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی مطابقت داشت، به‌طوری‌که نسبت‌هایی که مقدار نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی آن‌ها بیشتر بود از لحاظ اقتصادی نیز سودمند بودند. رابطه نزدیک بین شاخص مزیت مالی با شاخص‌های رقابتی توسط

جدول ۷- تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط ذرت و لویا بر شاخص‌های بهره‌وری سیستم، سودمندی و مزیت مالی

Table 7- The effect of different intercropping patterns of corn and beans on the system productivity, advantage, and monetary advantage

سال Year	شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) System Productivity Index	سودمندی کشت مخلوط (IA) Intercropping Advantage	مزیت مالی (MAI) Monetary Advantage Index
1395-1396	3002.63a	3613.4b	5281.08b
1396-1397	2634.45b	4014.45a	5627.75a
الگوهای کشت Planting patterns			
2C:2B	2775.4b	5859.42a	5988.62a
3C:1B	2961.17a	2733.46c	5083.46c
1C:3B	2719.01c	2848.89b	5291.16b

شاخص درجه تهاجم و افزایش شاخص رقابت بیانگر برتری رقابتی ذرت نسبت به لویا در کشت مخلوط بود. به نظر می‌رسد که غالبیت ذرت به دلیل رشد سریع، سیستم‌ریشه‌ای گسترده و ارتفاع بیشتر بود که منجر به استفاده بهتر از منابع در دسترس گردید. استفاده از گونه‌هایی با قدرت رقابت بالا و طراحی الگوی کشت مناسب از عوامل افزایش‌دهنده توان رقابتی گیاهان در بوم‌نظام‌های زراعی هستند. کشت مخلوط ذرت و لویا سابقه‌ای دیرینه دارد. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل موفقیت این سیستم، کاهش رقابت بین گونه‌ای به دلیل کاشت گونه‌های سازگار (ذرت-لویا) در مجاورت

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بالاترین نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی به الگوی ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لویا تعلق داشت. همچنین با توجه به شاخص‌های سودمندی و مزیت مالی می‌توان اظهار کرد که الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لویا سودمندی بیشتری نسبت به سایر الگوهای کشت مخلوط داشت که با نتایج حاصل از نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی مطابقت داشت. براساس یافته‌های تحقیق حاضر، مقادیر مثبت

یکدیگر می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا علاوه بر ایجاد تنوع و پایداری به واسطه بهره‌گیری حداکثری از پتانسیل زیستی گونه‌ها در افزایش مزیت مالی و کارایی استفاده از زمین‌های کشاورزی به‌طور قابل ملاحظه‌ای مؤثر می‌باشد.

References

1. Aasim, M., Umer, E. M., & Karim, A. (2008). Yield competition indices of intercropping cotton (*Gossypium hirsutum* L.) using different planting patterns. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 14(4), 326-333.
2. Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2006). Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25(3), 202-207. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002>
3. Asadi, G., Khorramdel, S., Shahriary, R., Ranjbar, F., & Aghhavan Shajari, M. (2017). Effect of replacement intercropping ratios of sweet corn with bean varieties on yield and yield components. *Iranian Journal of Pulses Research*, 8(2), 192-204. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/IJPR.V8I2.50084>
4. Behgam, M., Amini, R., & Dabagh Mohammadi Nesab, A. (2018). The effect of integrated weed management methods on yield and yield components of pinto bean. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(4), 175-190. (in Persian with English Abstract)
5. Beillouin, D., Ben-Ari, T., & Makowski, D. (2019). A dataset of meta-analyses on crop diversification at the global scale. *Data in Brief*, 24, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103898>
6. Bergtold, J., & Sailus, M. (2020). *Conservation Tillage Systems in the Southeast*. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE), SARE Handbook Series. by the USDA's National Institute of Food and Agriculture under Award No. 2019-38640-29881. p. 310. <https://doi.org/10.13016/dq71-irmm>
7. Blackshaw, R. E., O'donovan, J. T., Harker, K. N., Clayton, G. W., & Stougaard, R. N. (2006). Reduced herbicide doses in field crops: A review. *Weed Biology and Management*, 6(1), 10-17. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2006.00190.x>
8. Blanco, H., & Lal, R. (2023). Crop residue management. *Soil Conservation and Management*, In book: 185-210. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30341-8_9
9. Brooker, R. W., Hawes, C., Iannetta, P. P., Karley, A. J., Renard, D., & Schmid, B. (2023). Plant diversity and ecological intensification in crop production systems. *Journal of Plant Ecology*, 16(6), 1-15. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtad015>
10. CIMMYT & IITA. (2010). *Maize – Global alliance for improving food security and the livelihoods of the resource-poor in the developing world*. Draft Proposal Submitted by CIMMYT and IITA to the CGIAR Consortium Board. El Batan, Mexico. pp. 91.
11. Claassen, R., Bowman, M., McFadden, J., Smith, D., & Wallander, S. (2018). Tillage intensity and conservation cropping in The United States. United States Department of Agriculture, Economic Research Service, 197, 1-28. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.277566>
12. Crews, T. E., Carton, W., & Olsson, L. (2018). Is the future of agriculture perennial? Imperatives and opportunities to reinvent agriculture by shifting from annual monocultures to perennial polycultures. *Global Sustainability*, 1(11), 1-18. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.11>
13. Dhima, K. V., Lithourgidis, A. A., Vasilakoglou, I. B., & Dordas, C. A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100(2-3), 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008>
14. Diaz, Ch. A. (2023). The sustainable role of agricultural residues in future bioeconomy strategies and its dependency upon carbon returns to arable soils. *Chemical and Process Engineering*, INSA de Toulouse, Ph.D. Thesis, 383 pp.
15. DeWit, C. T. (1960). On competition. *Verslag Landbouwkundige Onderzoek*, 66, 1-28.
16. Doodeman, A., Mirshekari, B., Taheri, M., Farahvash, F., & Moradi, P. (2020). Effects of P organic and chemical fertilizers on yield and productivity indicators in barley and grass pea intercropping under rainfed conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3), 139-149. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.269565.654546>
17. Esfahani, A. R., Amir Shekari, H., Zand, B., & Fotovkiyan, M. H. (2017). Effect of plant density and arrangement on corn (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) row intercropping. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, 14(1), 13-22. (in Persian with English Abstract).
18. Esmaeili, A., Sadeghpour, A., Hosseini, S. M. B., Jahanzad, E., Chaichi, M. R., & Hashemi, M. (2011). Evaluation of seed yield and competition indices for intercropped barley (*Hordeum vulgare*) and annual medic (*Medicago scutellata*). *International Journal of Plant Production*, 5(4), 395-404. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.749>
19. Fan, Z., An, T., Wu, K., Zhou, F., Zi, S., Yang, Y., Xue, G., & Wu, B. (2016). Effects of intercropping of maize and potato on sloping land on the water balance and surface runoff. *Agricultural Water Management*, 166, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.006>

20. FAO. (2022). Statistical Pocketbook. FAOSTAT database. <http://faostat.fao.org>
21. FAO. (2017). The Future of Food and Agriculture, Trends and Challenges. (Food and Agriculture Organization of the United Nations).
22. Fatemi Devin, R., Hosseini, S. B., Moghadam, H., & Motesharezadeh, B. (2020). Effect of organic and bio-fertilizers and additive and replacement intercropping systems on corn (*Zea maize* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yields. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(4), 133-145. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.286433.654634>
23. Gaba, S., Alignier, A., Aviron, S., Barot, S., Blouin, M., Hedde, M., Jabot, F., Vergnes, A., Bonis, A., Bonthoux, S., Bourgeois, B., Bretagnolle, V., Catarino, R., Coux, C., Gardarin, A., Brice Giffard, Gal, A. L., Lecomte, J., Miguet, P., Piutti, S., Rusch, A., Zwicke, M., & Couvet, D. (2018). Ecology for sustainable and multifunctional agriculture. *Sustainable Agriculture Reviews 28: Ecology for Agriculture*, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018 S. Gaba et al. (eds.), Sustainable Agriculture Reviews 28, Ecology for Agriculture 28. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5>
24. Gaudio, N., Escobar-Gutiérrez, A. J., Casadebaig, P., Evers, J. B., Gérard, F., Louarn, G., Colbach, N., Munz, S., Launay, M., Marrou, H., Barillot, R., Hinsinger, P., Bergez, J. E., Combes, D., Durand, J. L., Frak, E., Pagès, L., Pradal, C., Saint-Jean, S., Van Der Werf, W., & Justes, E. (2019). Current knowledge and future research opportunities for modeling annua crop mixtures. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(20), 1-20.
25. Gaudio, N., Violle, C., Gendreau, X., Fort, F., Mahmoud, R., Pelzer, E., Médiène, S., Hauggaard-Nielsen, H., Bedoussac, L., Bonnet, C., Corre-Hellou, G., Couëdel, A., Hinsinger, Ph., Steen Jensen, E., Journet, E. P., Justes, E., Kammoun, B., Litrico, I., Moutier, N., Naudin, Ch., & Casadebaig, P. (2021). Interspecific interactions regulate plant reproductive allometry in cereal-legume intercropping systems. *Journal of Applied Ecology*, 58(11), 2579-2589. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13979>
26. Ghatari, A. S., Roozbahani, A., & Yaghoobi, S. R. (2019). Integration of mechanical and chemical methods in red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) weeds management. *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(39), 58-70. (in Persian with English Abstract)
27. Ghazinejad, M., monjezi, N., Rahnama Ghahfarokhi, A., & Sheikhdavoodi, M. J. (2022). Effect of tillage method and wheat residues on physical productivity of water and corn yield in Dezful city. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(1), 17-32. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43900.2604>
28. Grote, U., Fasse, A., Nguyen, T. T., & Erenstein, O. (2021). Food security and the dynamics of wheat and maize value chains in Africa and Asia. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 1-17. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.617009>
29. Haghania, M., Javanmard, A., & Mollaaliabasiyan, S. (2018). Evaluation of forage yield and quality and advantages of barley (*Hordeum vulgare* L.)- grass pea (*Lathyrus sativus* L.) intercropping using mycorrhiza. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(3), 221-242. (in Persian with English Abstract)
30. Jahansooz, M. R., Yunusa, I. A. M., Coventry, D. R., Palmer, A. R., & Eamus, D. (2007). Radiation- and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. *European Journal of Agronomy*, 26(3), 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.10.008>
31. Javanmard, A., Amani Machiani, M., & Mousavi, S. B. (2018). Evaluation of competition and advantage in barley (*Hordeum vulgare* L.) and forage pea (*Pisum sativum* L.) intercropping under rainfed condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable*, 28(3), 1-17. (in Persian with English Abstract).
32. Jensen, E. S., Carlsson, G., & Hauggaard-Nielsen, H. (2020). Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(5), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>
33. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Deihimfard, R., Mirzaei Talarposhti, R., & Kheirkhah, M. (2014). Evaluating the competitiveness and productivity in a maize-bean intercropping system using some indices. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), 535-542. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.45134>
34. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., & Amirmoradi, S. (2009). Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. *Journal of Agroecology*, 1(1), 13-23. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.2650>
35. Koochekan, P., & Altieri, M. A. (2016). Forgotten agricultural heritage: Reconnecting food systems and sustainable development. *Taylor & Francis*, 296. In book: p. 296. Publication Location London. <https://doi.org/10.4324/9781315470092>
36. Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E., (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
37. Lithourgidis, A. S., Vlachostergios, D. N., Dordas, C. A., & Damalas, C. A. (2011). Dry matter yield, nitrogen

- content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007>
38. Maitra, S., Hossain, A., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., Gitari, H., Brahmachari, K., Shankar, T., Bhadra, P., Palai, J. B., Jena, J., Bhattacharya, U., Duvvada, S K., Lalichetti, S., & Sairam, M. (2021). Intercropping-A low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agronomy*, 11, 343. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020343>
 39. Margenot, A. J., Paul, B. K., Sommer, R. R., Pulleman, M. M., Parikh, S. J., Jackson, L. E., & Fonte, S. J. (2017). Can conservation agriculture improve phosphorus (P) availability in weathered soils? Effects of tillage and residue management on soil P status after 9 years in a Kenyan Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 166, 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.09.003>
 40. Mushagalusa, G. N., Ledent, J. F., & Draye, X. (2008). Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. *Environmental and Experimental Botany*, 64(2), 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.05.008>
 41. Odo, P. E. (1991). Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the Sudan savanna of Nigeria: Land equivalent ratio, grain yield and system productivity index. *Experimental Agriculture*, 27(4), 435-441. <https://doi.org/10.1017/S0014479700019426>
 42. Ogieriakhi, M. O., & Woodward, R. T. (2022). Understanding why farmers adopt soil conservation tillage: A Systematic review. *Soil Security*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100077>
 43. Pellicano, A., Romeo, M., Pristeri, A., Preiti, G., & Monti, M. (2015). Cereal-pea intercrops to improve sustainability in bioethanol production. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 827-835. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0294-1>
 44. Piri, I., Zendehdel, B., & Tavassoli, A. (2017). Study of agronomical and ecological parameters of additive and replacement intercropping systems of corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Journal of Agroecology*, 9(3), 705-721. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.45737>
 45. Rahimi Darabad, G., Barmaki, M., & Seyed Sharifi, R. (2015). Investigation of some growth indices in mixed potato and safflower cultivation. *Applied Agricultural Research*, 27(104), 173-179. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2014.101838>
 46. Rastgoo, M., Asadi, G., Sorkhsaraei, A. D., & Rahimi, S. (2021). Evaluation of competitive indices and cultivation efficiency of cotton-fodder beet intercropping under weed interference conditions. *Journal of Plant Protection*, 35(3), 373-387. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/JPP.2021.32834.0>
 47. Rezaei-Chiyaneh, E., & Gholinezhad, E. (2015). Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology*, 7(3), 381-396. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V7I3.35858>
 48. Rosataei, M., Fallah, S., & Abbasi Surki, A. (2018). Effect of different fertilization systems (chemical, organic and integrated) on competitive and economic indices of fenugreek and black cumin intercropping, *Plant Production Thecnology*, 10(1), 159-174. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22084/ppt.2018.8046.1461>
 49. Sadra, T., & Hamzei, J. (2021). Evaluation of the efficiency of triticale (*Triticosecale Wittmack*) intercropping with winter vetch (*Vicia villosa* L.) by competitive indices under different tillage systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), 1-18. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.41625.2541>
 50. Salehi Sheikhi, M., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A., & Mohamad Eamaeili, M. (2021). Effect of pea cultivar and replacement and additive intercropping ratios of pea and spinach on yield and competition indices. *Journal of Crops Improvement*, 23(4), 952-939. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.302557.2395>
 51. Sorkheh, M., Zaefarian, F., & Gharineh, M. H. (2020). Effect of green manure under different conditions of tillage on weed characteristics and corn (*Zea mays* L.) yield. *Plant Productions*, 43(2), 281-294. (in Persian with English Abstract).
 52. Stevens, A. W. (2018). Review: The economics of soil health. *Food Policy*, 80, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.08.005>
 53. Toker, P., Canci, H., Turhan, I., Isci, A., Scherzinger, M., Kordrostami, M., & Yol, E. (2024). The advantages of intercropping to improve productivity in food and forage production—a review. *Plant Production Science*, 27(3), 155-169. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2372878>
 54. UNFPA. (2023). Peace, dignity and equality on a healthy planet. <https://www.un.org/en/global-issues/population>
 55. Willey, R. W., & Rao, M. R. (1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, 16(2), 117-125. <https://doi.org/10.1017/S0014479700010802>
 56. Willey, R. W. (1979). Intercropping its importance and research needs. Competition and yield advantage. *Field Crop Abstracts*, 32(1), 1-10.
 57. Yali, W. (2022). Review of the genetic variability in maize genotypes (*Zea mays* L.). *Plant*, 10(1), 1-7.

<https://doi.org/10.11648/j.plant.20221001.11>

58. Yilmaz, S., Ozel, A., Atak, M., & Eraymanm, M. (2015). Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(1), 135-143. <https://doi.org/10.3906/tar-1406-155>
59. Zhang, X., Zhu, A., Xin, X., Yang, W., Zhang, J., & Ding, S. (2018). Tillage and residue management for long-term wheat-maize cropping in the North China Plain: I. Crop yield and integrated soil fertility index. *Field Crops Research*, 221, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.025>

Investigating Yield, Yield Components, Morphological Characteristics and Proline of Different Hybrids of Sweet Corn (*Zea mays* var. *Saccharata*) in Different Irrigation Regimes

A. Estakhr¹, S. A. M. Modarres-Sanavy^{1*}, M. AghaAlikhani¹, A. Heidarzadeh¹, A. M. Abedi¹

1- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(*- Corresponding author's Email: modaresa@modares.ac.ir)

Received: 14 September 2024
Revised: 05 April 2025
Accepted: 08 April 2025
Available Online: 13 April 2025

How to cite this article:

Estakhr, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., AghaAlikhani, M., Heidarzadeh, A., & Abedi, A. M. (2025). Investigating yield, yield components, morphological characteristics and proline of different Hybrids of sweet corn (*Zea mays* var. *Saccharata*) in different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 359-374. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.89806.1351>

Introduction

One of the main challenges in achieving sustainable agriculture is maintaining production under environmental stress. Drought, a prominent geographical feature of our country, is an unavoidable and unchangeable phenomenon. At the same time, the consumption of energy, water, and food resources is increasing rapidly, making it essential to develop strategies to mitigate and reduce its adverse impacts. Sweet corn (*Zea mays* var. *Saccharata*), scientifically known as (*Zea mays* var. *Saccharata*), is a genetically modified plant of regular corn. This genetic modification causes the accumulation of sugars and soluble polysaccharides in the endosperm of the seed. This plant has special economic importance because all its parts, including the cob, stem, leaves, wood, and husk, are used. Unlike regular corn, this plant is consumed fresh by humans. The most critical stage in terms of water consumption in sweet corn is the flowering stage, from the appearance of silks to the end of cell division in the growing seed endosperm. Stress occurrence at this stage causes a 14% reduction in grain yield. Meanwhile, stress occurrence in later stages, such as cob elongation and seed maturation, results in a 31% and 21% reduction in grain yield, respectively. The aim of this research is to study the response of different sweet corn cultivars to various irrigation regimes through traits such as seed yield, dry weight of 100 seeds, leaf area index, yield components, and proline content.

Materials and Methods

To compare the response of four foreign hybrids and one domestic hybrid cultivar of sweet corn to different irrigation regimes during flowering, an experiment was conducted in a split-plot design based on randomized complete block design with three replications. In this experiment, the irrigation regimes included: a- stopping irrigation until soil moisture depletion reached 15% of available water and then irrigating to field capacity in the root development zone (control: optimal irrigation), b- stopping irrigation until soil moisture depletion reached 35% of available water in the root development zone (mild water deficit stress), c- stopping irrigation until soil moisture depletion reached 55% of available water and then irrigating to field capacity in the root development zone (moderate water deficit stress), d- stopping irrigation until soil moisture depletion reached 75% of available water and then irrigating to field capacity in the root development zone (severe water deficit stress), applied during the reproductive stage in the main plots and sweet corn cultivars (Merit, Honey, Genesis, Chase, and



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.89806.1351>

Single cross 403) in the sub-plots.

Results and Discussion

The results showed that the optimal irrigation treatment had the highest grain yield with an average of 5159.6 kg ha⁻¹, while severe water stress had the lowest grain yield with an average of 3429.2 kg ha⁻¹, which was 33% less than the best treatment. Among the studied cultivars, the Genesis cultivar had the highest grain yield. The Honey cultivar showed the lowest grain yield among the studied cultivars, which was 20% less than the best cultivar. Severe water deficit stress had the lowest dry weight of 100 grains, which was 20% less than the optimal irrigation conditions. The highest biological yield were obtained under optimal irrigation conditions and the Honey cultivar. The single cross 403 had the lowest biological yield under severe water deficit stress conditions.

Conclusion

The study demonstrated that optimal irrigation significantly enhanced sweet corn yield, leaf area index, and biological yield, while severe water stress substantially reduced these parameters. Among the hybrids, Genesis outperformed others in grain yield, making it the most suitable choice under water-limited conditions. Conversely, the Honey hybrid exhibited the highest proline concentration, indicating better stress tolerance. Overall, the Genesis hybrid is recommended for cultivation in drought-prone areas due to its superior yield.

Keywords: Biological yield, Grain yield, Harvest index, Leaf area index

بررسی عملکرد، اجزای عملکرد، خصوصیات مورفولوژیک و پرولین هیبریدهای مختلف ذرت شیرین (*Zea mays* var. *saccharata*) در رژیم‌های متفاوت آبیاری

عاطفه استخر^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۱*}، مجید آقاعلیخانی^۱، علی حیدرزاده^۱، امیر محمد عابدی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹

چکیده

به منظور مقایسه عملکرد پنج هیبرید ذرت شیرین (*Zea mays* var. *saccharata*) نسبت به رژیم‌های مختلف آبیاری در زمان گل‌دهی، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. در این آزمایش، عامل اصلی رژیم‌های آبیاری (شاهد، کم آبیاری ملایم، کم آبیاری متوسط، کم آبیاری شدید) و عامل فرعی هیبریدهای ذرت شیرین (مریت، هانی، جنسیس و چیس، و دورگ داخلی دانه طلایی (هیبرید Single Cross 403)) بودند. نتایج نشان داد که تیمار آبیاری مطلوب دارای بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۵۱۵۹/۶ کیلوگرم در هکتار و تنش شدید کم آبی دارای کمترین عملکرد دانه با میانگین ۳۴۲۹/۲ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به آبیاری مطلوب ۳۳ درصد کمتر بود، در بین ارقام مورد مطالعه، هیبرید جنسیس دارای بیشترین عملکرد دانه بود. هیبرید هانی کمترین عملکرد دانه را در بین ارقام مورد مطالعه نشان داد که نسبت به هیبرید جنسیس ۲۰ درصد کمتر بود. کم آبیاری شدید دارای کمترین وزن خشک ۱۰۰ دانه بود که نسبت به شرایط مطلوب آبیاری ۲۰ درصد کمتر بود. بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری مطلوب و کمترین شاخص سطح برگ در شرایط تنش کم آبی شدید در هیبرید دورگ داخلی مشاهده شد. در بین ارقام مورد مطالعه، هیبرید هانی بیشترین غلظت پرولین را دارا بود، اگرچه با ارقام جنسیس، چیس و مریت تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری مطلوب و هیبرید هانی به دست آمد، این در حالی است که هیبرید دورگ داخلی در شرایط تنش شدید آبی، کمترین عملکرد بیولوژیک را دارا بود. بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری مطلوب و کمترین آن در شرایط تنش کم آبی شدید و در هیبرید دورگ داخلی دیده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، پیشنهاد می‌شود که در شرایط کم آبی، هیبرید جنسیس مورد کشت قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه

مقدمه

انرژی، آب و مواد غذایی به طور روزافزونی افزایش می‌یابد، از این رو باید در صدد مقابله و کاهش خسارت آن بود. گیاهان سازوکارهای خاصی برای مقابله با تنش خشکی دارند، که یکی از آن‌ها تنظیم اسمزی است. گیاه به منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله کربوهیدرات محلول و پرولین، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد. تنظیم اسمزی از طریق تجمع مواد محلول درون سلول‌ها منجر به حفظ تورژسانس و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل پایین آب می‌شود. از این رو تنظیم اسمزی به توسعه سلولی و رشد گیاه در تنش آبی کمک می‌کند. لوله شدن برگ در غلات، سازوکاری برای کاهش سطح دریافت‌کننده تابش و کاهش میزان تفرق است که در واکنش به خشکی ایجاد می‌شود. هر چه شدت تنش بیشتر باشد، درجه لوله شدن برگ بیشتر می‌شود. پرولین آزاد، تحت تنش‌های غیرزیستی از جمله خشکی، شوری، گرما و غیره

بخش عمده‌ای از ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک در بر گرفته است و قسمت عمده‌ای از محصولات زراعی تولیدی کشور که سهمی حدود ۷۰ درصد دارند، در مناطق نیمه‌خشک تولید می‌شود (Banayan Aval, 2019). یکی از چالش‌های اصلی در راه رسیدن به تولید پایدار محصولات کشاورزی تنش‌های زیست‌محیطی می‌باشد. خشکی از ویژگی‌های بارز جغرافیای کشور است و از این پدیده طبیعی و غیرقابل تغییر، گریزی نیست و از طرفی، مصرف منابع

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(Email: modaresa@modares.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.89806.1351>

افزایش می‌یابد و در این شرایط به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی در گیاهان عمل می‌کند (Maghsoudi, Emam, Niazi, Pessarakli, Arvin, 2018). پرولین، سنتزکننده‌های پروتئین را تثبیت کرده یا تغییری در تنظیم آنزیم‌های اصلی در شرایط مبارزه با تنش خشکی ایجاد می‌کند (Tahaei, Nasari, Soleymani, Ghooshchi, Oveysi, 2022).

میزان آب مورد نیاز گیاه ذرت (*Zea mays*) در طول فصل رشد به آب‌وهوای منطقه، نوع هیبرید و طول فصل رشد بستگی دارد. مطالعات نشان می‌دهند که کمبود آب در گیاهان یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد محصول می‌باشد. پژوهشگران بر اهمیت تأمین آب کافی در مرحله رشد رویشی ذرت تأکید کرده‌اند. به اعتقاد برخی از محققان کمبود آب در مرحله رشد رویشی تأثیر کمتری بر عملکرد نهایی دارد (Mi et al., 2018). در ذرت شیرین به‌طور طبیعی میزان آب مورد استفاده نسبت به ارقام دیررس کمتر است؛ زیرا اغلب ارقام ذرت شیرین زودرس بوده و در مرحله شیرینی شدن یا حداکثر ابتدای خمیری شدن دانه‌ها باید برداشت شوند (Khavari Khorasani, 2020). شاخص سطح برگ گیاه یک عامل اساسی و تعیین‌کننده برای دریافت نور خورشید، تبادل انرژی و آب و به‌دنبال آن فتوسنتز است، بنابراین اندازه‌گیری آن برای درک اثر متقابل بین رشد گیاه و محیط پیرامون ضروری است (Zhang, Hansen, Trout, Nielsen, Paustian, 2018). تنش خشکی تأثیر مستقیمی بر کاهش شاخص کلروفیل برگ گیاه دارد. علاوه بر اثر روی قطر ساقه، پرشدن دانه و وزن دانه‌ها، در نهایت بر عملکرد دانه اثر منفی می‌گذارد. همچنین کاهش تولیدات فتوسنتزی در مرحله رشد زایشی موجب کاهش طول و قطر بلال می‌گردد (Khavari Khorasani, 2020). ذرت شیرین با نام علمی (*Zea mays* var. *Saccharata*) یک

گیاه تغییریافته ژنتیکی از ذرت معمولی است که این تغییر ژنتیکی باعث تجمع قندها و پلی‌ساکاریدهای محلول در آندوسپرم دانه می‌گردد (AghaAlikhani & Mohammadi, 2018). این گیاه دارای اهمیت اقتصادی ویژه‌ای است؛ زیرا تمامی بخش‌های آن اعم از بلال، ساقه، برگ، چوب و پوست بلال مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ و برخلاف ذرت معمولی، این گیاه به‌صورت تازه‌خوری به مصرف انسان می‌رسد. بحرانی‌ترین مرحله از نظر مصرف آب در ذرت شیرین، مرحله گل‌دهی بین ظهور ابریشم‌ها تا پایان تقسیم سلول‌های آندوسپرم دانه در حال رشد می‌باشد. در این مرحله، ذرت بیشترین نیاز آبی را دارد. وقوع تنش در این مرحله موجب افت عملکرد دانه به میزان ۶۰ درصد می‌شود. این در حالی است که بروز تنش در مراحل بعدی یعنی طویل شدن بلال و رسیدن دانه‌ها نیز به ترتیب ۳۲ و ۱۲ درصد کاهش عملکرد دانه را به دنبال خواهد داشت (AghaAlikhani & Mohammadi, 2018). هدف از انجام این پژوهش، مطالعه نحوه پاسخ‌های ارقام گیاه ذرت شیرین به رژیم‌های مختلف آبیاری از طریق اندازه‌گیری صفات عملکرد دانه، وزن خشک ۱۰۰ دانه، شاخص سطح برگ، اجزای عملکرد و میزان پرولین بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، واقع در کیلومتر ۱۷ اتوبان تهران-کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه و عرض شمالی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. اطلاعات هواشناسی منطقه آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک مزرعه آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil of the experimental field

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	بافت Texture	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	کربن آلی Organic C	مواد خشی‌شونده TNV*
			(ppm)			(%)	
0-30	0.41	Sandy loam	399	33	0.21	2.1	13
30 - 60	0.41	Sandy loam	447	20	0.18	0.76	10

* TNV: Total Neutralizing Value

ظرفیت مزرعه در منطقه توسعه ریشه (شاهد: آبیاری مطلوب)، ب- قطع آبیاری تا تخلیه رطوبت خاک به‌میزان ۳۵ درصد آب قابل استفاده در منطقه توسعه ریشه (کم‌آبیاری ملایم)، ج- قطع آبیاری تا تخلیه رطوبت خاک به‌میزان ۵۵ درصد آب قابل استفاده و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه در منطقه توسعه ریشه (کم‌آبیاری متوسط)، د- قطع آبیاری تا تخلیه رطوبت خاک به‌میزان ۷۵ درصد آب

به‌منظور مقایسه واکنش چهار هیبرید خارجی و یک هیبرید دورگ داخلی ذرت شیرین به رژیم‌های مختلف آبیاری در زمان گل‌دهی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش، رژیم‌های آبیاری شامل: الف- قطع آبیاری تا تخلیه رطوبت خاک به‌میزان ۱۵ درصد آب قابل استفاده و سپس آبیاری تا حد

قابل استفاده و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه در منطقه توسعه ریشه (کم آبیاری شدید)، در مرحله زایشی مرحله ظهور گل آذین BBCH-60 در کرت‌های اصلی و ارقام ذرت شیرین در کرت‌های فرعی اعمال شد.

عملیات آماده‌سازی زمین به‌وسیله شخم، دیسک و ایجاد جوی و پشته به‌وسیله فارور انجام شد. در ابتدا، یک شخم به‌منظور از بین بردن علف‌های هرز در پاییز (۱۵ آبان ماه)، سپس شخم دوم (۱۵ خرداد) به‌منظور آماده‌سازی نهایی زمین برای کشت در بهار، به‌وسیله گاواهن برگردان‌دار انجام گرفت. تسطیح زمین به‌وسیله ماله و بعد از آن فارو برای ایجاد جوی و پشته انجام شد. در هر تکرار، چهار کرت اصلی به‌فاصله ۱۲۰ سانتی‌متر از هم و در هر کرت اصلی، پنج کرت فرعی ایجاد شد. هر کرت فرعی شامل چهار ردیف کشت به‌طول دو متر و به‌فاصله ۶۰ سانتی‌متر بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف‌های کشت، ۱۸ سانتی‌متر و تراکم کشت ۹۲۵۰۰ بوته در هکتار در نظر گرفته شد. با توجه به آزمایش خاک (جدول ۱) و غنی بودن خاک مزرعه از فسفر و پتاسیم، نیازی به کودپاشی زمین در زمان تهیه بستر نبود. کود نیتروژنی به‌میزان ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار به فرم اوره به‌صورت سرک در سه تقسیط هنگام کاشت، در زمانی که ارتفاع بوته‌ها به ۳۰ سانتی‌متر و ۹۰ سانتی‌متر رسید، مصرف شد. آبیاری کرت‌ها تا قبل از اعمال تنش و برای استقرار گیاه و مطابق معمول منطقه، با فواصل دو روز یک‌بار به‌صورت قطره‌ای انجام گرفت. مبارزه با علف‌های هرز نیز به‌صورت وجین دستی در سه مرحله (مرحله سبز شدن BBCH-09، مرحله طویل شدن ساقه BBCH-30 و مرحله ظهور گل آذین BBCH-50) طی طول دوره رشد انجام شد. تنش کم‌آبی در مرحله زایشی از مرحله شروع گل‌دهی تا آخر فصل رشد اعمال گردید.

میزان پتانسیل رطوبتی خاک با توجه به درصد رطوبت حجمی (اعداد به‌دست‌آمده از TDR) در زمان تنش با استفاده از دستگاه Time-Domain Reflectometry (TDR) یا مدل Trime-FM محاسبه شد. برای کالیبره کردن دستگاه TDR، قبل از کار گذاشتن لوله‌های TDR، مزرعه آبیاری شد (Rughani, Imam Jomeh, & Kamali, 2012). این رطوبت‌سنج‌ها در یک نقطه برای هر کرت در نظر گرفته شدند. در هر نقطه یک رطوبت‌سنج در عمق ۵۰ سانتی‌متری نصب شد. برای لوله‌های TDR ابتدا به‌وسیله آگر، حفره‌هایی با ابعاد متناسب با اندازه لوله‌ها در زمین حفر و بعد از قرار دادن لوله‌ها در عمق‌های مشخص، نسبت به پر کردن و متراکم کردن خاک حفره‌ها تا حصول تراکم زمین در حالت اولیه اقدام شد. در این مرحله برای ارزیابی دقت حسگرها، اقدام به نمونه‌برداری از خاک و تعیین رطوبت آن شد. بافت خاک مزرعه لومی-شنی بود (جدول ۱). نمونه خاک از عمق معادل طول میله (۵۰ سانتی‌متر) هر یک از حسگرها با استفاده از مته خاک صورت گرفت و رطوبت با روش توزین اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری ۱۵ بار انجام شد. چگالی ظاهری هر یک از نمونه‌های خاک، بعد از پایان این مرحله، هر یک با سه تکرار از روش Sand bottle و در همان عمق اندازه‌گیری شد تا برای تبدیل رطوبت وزنی به رطوبت حجمی مورد استفاده قرار گیرد. در آزمایشگاه، میزان رطوبت وزنی، درصد رطوبت حجمی (حاصل‌ضرب درصد رطوبت وزنی در وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) اندازه‌گیری و درصد آب قابل استفاده (D) بر اساس رابطه ۱ (Martin et al., 1990) تعیین و سپس با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) درصد تخلیه آب قابل استفاده محاسبه شد.

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی منطقه آزمایش

Table 2- Meteorological information of the experimental area

متغیر Parameter	خرداد May	تیر June	مرداد July	شهریور August
میانگین دمای بیشینه Average maximum temperature (°C)	35.31	36.56	35.14	31.87
میانگین دمای کمینه Average minimum temperature (°C)	22.08	24.32	23.67	21.41
بارش Total precipitation (mm)	0.00	15.00	0.40	0.00
میانگین ماهانه رطوبت نسبی Mean monthly relative humidity (%)	18.76	21.07	20.48	22.01
تعداد ساعات آفتابی Total sunny hours	387.80	364.90	375.60	330.90
مقدار تشعشع در ماه Amount of total radiation in the month (cal cm ⁻² min ⁻¹)	115089.00	108341.00	103173.00	90264.00
میانگین دما Mean temperature (°C)	29.33	31.02	29.75	26.37

جدول ۳- خصوصیات هیبریدهای مورد استفاده در آزمایش

Table 3- Characteristics of the hybrids used in the experiment

ارقام Hybrids	گروه رسیدگی Maturity group	دوره رسیدگی Processing period	مشخصات Characteristics
Merit	میانرس Medium- maturing	70-80	این گیاه ۱/۲ بلال در هر بوته تشکیل می‌دهد به رنگ زرد براق می‌باشد. بلال بسیار سنگین و سیلندری دارد که به طول ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. This plant produces an average of 1.2 ears per stalk, each exhibiting a glossy yellow hue. The ears are very heavy and cylindrical, measuring 25 to 30 centimeters in length.
Honey	دیررس Medium- maturing	75-85	ارتفاع گیاه ۲۰۰ سانتی‌متر، وزن میوه ۳۱۰ گرم، طول میوه ۲۰ تا ۲۲ سانتی‌متر و رنگ میوه زرد پررنگ The plant reaches a height of 200 centimeters. The fruit weighs approximately 310 grams, with a length ranging from 20 to 22 centimeters, and features a deep yellow color.
Genesis	میانرس Medium- maturing	70-80	طول میوه ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر و رنگ میوه زرد پررنگ The fruit measures between 20 and 25 centimeters in length and displays a vibrant deep yellow color.
Chase	میانرس Medium- maturing	70-75	بلال بسیار سنگین و سیلندری به طول ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر میانگین تولید ۱/۵ الی ۱/۷ بلال در هر بوته به رنگ زرد بسیار براق The ears are very heavy and cylindrical, measuring 20 to 25 centimeters in length. On average, the plant produces between 1.5 and 1.7 ears per stalk, exhibiting a highly glossy yellow coloration.
Single cross 403	زودرس Early- maturing	65-75	دارای درصد بالای فلاونوئیدها و پروتئین، دانه‌های بزرگ و بلال طولانی It contains a high percentage of flavonoids and protein, features large kernels, and produces long ears.

شامل تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن تر و خشک بلال (شامل تمام قسمت‌های بلال، رشته‌های ابریشمی، برگ بلال، چوب بلال، دم چوب بلال، بدون دانه است)، وزن تر و خشک دانه‌های بلال، وزن تر و وزن خشک کل بوته، وزن خشک ۱۰۰ دانه و وزن هر بلال از هر ۰/۶۴۸ مترمربع، شش بوته برداشت شد و صفات وزنی مورد نظر به وسیله ترازو توزین و به مدت ۷۲ ساعت در آون قرار داده شده، سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. به منظور اندازه‌گیری طول عقیمی در مراحل انتهایی رشد، پس از اینکه دانه‌ها به طور کامل تشکیل شدند و بلال‌ها به مرحله رسیدگی نهایی رسیدند، تعداد شش بوته به صورت تصادفی انتخاب شده و طول قسمت بدون دانه به وسیله خط‌کش اندازه‌گیری گردید. همچنین، با تقسیم کردن عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک، مقدار شاخص برداشت محاسبه شد. غلظت پروتئین برحسب میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ از پنجمین برگ از بالا نمونه برداری و با استفاده از منحنی استاندارد تعیین و به صورت میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید (Bates, Waldren, & Teare, 1973).

پس از جمع‌آوری داده‌ها از نرمال بودن باقی‌مانده‌ها اطمینان حاصل شد، تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴، با استفاده از رویه GLM انجام گردید. مقایسه میانگین اثرهای اصلی تیمارهای آزمایشی و در صورت معنی‌دار شدن اثرات متقابل با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح

$$D(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{FC_i - \theta_i}{FC_i - W_p} \times 100 \quad (1)$$

$$D = 100 - \text{تخلیه آب قابل استفاده} (\%) \quad (2)$$

که در آن، n: تعداد نمونه خاک گرفته شده از عمق مؤثر توسعه ریشه، FC_i : رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه (پتانسیل رطوبتی معادل ۱۶ درصد وزنی و ۲۲/۵۶ درصد حجمی قرائت شده توسط دستگاه TDR در نمونه λ_m ، θ_i : رطوبت خاک در نمونه λ_m و W_p : رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم (پتانسیل رطوبتی معادل ۶/۷۸ درصد وزنی و ۹/۵۶ درصد حجمی قرائت شده توسط دستگاه TDR می‌باشد). از مقایسه رطوبت‌های اندازه‌گیری شده به وسیله حسگرها با روش نمونه‌برداری و توزین، اعتبارسنجی صورت گرفت (Vanclouster, Viane, Diels, & Christiaens, 1994).

به منظور بررسی صفات مورفولوژیک، تعداد کل برگ‌ها و شاخص سطح برگ، شش بوته به طور تصادفی انتخاب و میانگین صفات مورد نظر در انتهای مرحله زایشی BBCH-70 اندازه‌گیری شد، سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج مدل (DELTA- T DEVICES) ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی صفات تجمع مواد خشک، شش بوته به طور تصادفی انتخاب شد و میانگین صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد؛ برای توزین از ترازوی با دقت ۰/۱ گرم استفاده گردید؛ همچنین پس از اندازه‌گیری وزن تر اندام‌های گیاهی، به مدت ۷۲ ساعت در آون قرار داده شده، سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. به منظور اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد

معنی‌داری پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل دوگانه رژیم‌های آبیاری $\times$ هیبرید برای صفت شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین شاخص سطح برگ (۶/۲۷) در تیمار آبیاری مطلوب و کمترین شاخص سطح برگ (۱/۷۹) در شرایط تنش کم‌آبی شدید در رقم دورگ داخلی مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که رقم Single cross 403 در شرایط آبیاری مناسب (شاهد) بهترین رشد را داشته، اما تحت تنش شدید آبی بیشترین افت شاخص سطح برگ را تجربه کرده است. در شرایط آبیاری شاهد (کنترل)، هیبرید Single cross 403 با مقدار ۶/۲۷ در شرایط کم‌آبیاری ملایم، هیبرید Single cross 403 با مقدار ۴/۸۲ در شرایط کم‌آبیاری متوسط، هیبرید Merit با مقدار ۳/۹۴ و در نهایت در شرایط کم‌آبیاری شدید، هیبرید Merit با مقدار ۳/۷۹ بیشترین مقدار LAI را داشته است. به‌طور کلی، در سطوح مختلف تنش آبی، هیبرید Single cross 403 در شرایط شاهد و کم‌آبیاری ملایم، بالاترین شاخص سطح برگ را داشته، اما با افزایش شدت تنش، هیبرید Merit بیشترین مقدار LAI را داشت (جدول ۵). شاخص سطح برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد دانه در ردیف ($r=0.70^{**}$)، تعداد ردیف در بلال ($r=0.60^{**}$) و وزن ۱۰۰ دانه ($r=0.56^{**}$) داشت. از سوی دیگر با شاخص برداشت ($r=-0.43^{**}$) رابطه معنی‌دار و منفی از خود نشان داد (جدول ۹). تنش کم‌آبی با برهم زدن تعادل آبی گیاه و کاهش تقسیم و رشد سلولی اندام‌های مختلف موجب کاهش سطح برگ و میزان فتوسنتز شد (Khalily, Moghaddam, Kanouni, & Asheri, 2010). تنش خشکی در طول دوره رشد گیاه، کاهش شاخص سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ را موجب می‌شود و نتیجه آن کاهش عرضه مواد پرورده و تأثیر منفی آن بر رشد خواهد بود (Mojadam, 2009). هیبرید Single cross 403 هیبریدی دیپرس‌تر است و در شرایط مطلوب آبی، فرصت بیشتری برای رشد رویشی و گسترش سطح برگ داشته است. ارقامی مانند Merit در تنش‌های متوسط و شدید، بیشترین LAI را نشان دادند. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که این هیبرید در برابر تنش آبی سازگاری بیشتری دارد یا طول دوره رشد متوسطی دارد.

تعداد دانه در ردیف

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رژیم‌های آبیاری در هیبرید برای صفت تعداد دانه در ردیف در سطح پنج درصد

معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین مقدار در شرایط آبیاری کامل (شاهد)، هیبرید Honey با ۳۴ دانه در ردیف و کمترین مقدار در شرایط کم‌آبیاری شدید، هیبرید Single cross 403 با ۱۷ دانه در ردیف مشاهده شد. در شرایط آبیاری کامل (شاهد) هیبرید Honey بالاترین تعداد دانه در ردیف را به خود اختصاص داد. به‌طور کلی، با افزایش شدت تنش، تعداد دانه در ردیف کاهش یافت. در کم‌آبیاری متوسط و شدید، هیبرید Single cross 403 بیشترین افت تعداد دانه را داشت، از طرفی هیبرید Merit در تنش‌های متوسط و شدید تعداد دانه بیشتری نسبت به برخی دیگر از ارقام حفظ کرد که ممکن است نشان‌دهنده سازگاری بهتر و دوره رشد متعادل‌تر آن باشد (جدول ۵). جدول ضرایب همبستگی صفات ذرت شیرین مشخص کرد که تعداد دانه در ردیف همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص برداشت ($r=0.70^{**}$)، وزن تر بلال ($r=0.76^{**}$)، وزن خشک بلال ($r=0.65^{**}$)، وزن ۱۰۰ دانه ($r=0.74^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0.54^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0.79^{**}$) داشت و از سوی دیگر، با طول عقیقه ($r=-0.50^{**}$) رابطه معنی‌دار و منفی از خود نشان داد. به نظر می‌رسد که کاهش تعداد دانه در گیاه در صورت ایجاد تنش کم‌آبی را می‌توان به افت فتوسنتز به‌دلیل کمبود رطوبت و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به دانه‌های تشکیل‌شده و در حال رشد گیاه و در نتیجه عدم تشکیل دانه‌ها و در نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر تعداد دانه در گیاه نسبت داد. گزارش شده است که وقوع تنش رطوبتی در طی مرحله پر شدن دانه موجب کاهش تعداد دانه می‌شود (Catville, Rizza, Badeck, Mazzucotelli, & Mastrangelo, 2008). تنش کم‌آبی طی مرحله گل‌دهی و اوایل نمو دانه، تعداد دانه در بلال ذرت را کاهش می‌دهد. تعداد نهایی دانه در بلال در موقع گرده‌افشانی تعیین می‌شود. تأخیر در ظهور کاکل و یا سقط جنین در اثر کمبود و ناکافی بودن مواد فتوسنتزی برای رشد همه سلول‌های جنینی اثر منفی بر تعداد دانه در بلال دارد (Shamohammadi, Zare, Ordokhani, Aref, & Sharafzaeh, 2024).

تعداد ردیف در بلال

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و هیبرید برای صفت تعداد ردیف در بلال در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). آبیاری مطلوب بیشترین تعداد ردیف دانه را داشت. تنش کم‌آبی باعث کاهش تعداد ردیف دانه شد، به‌طوری‌که تنش شدید کم‌آبی کمترین تعداد ردیف دانه را داشت و نسبت به تیمار آبیاری مطلوب ۱۷ درصد کمتر بود (جدول ۶).

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات ارقام ذرت شیرین تحت اثر رژیم‌های آبیاری
Table 4- Analysis of variance results of traits of sweet corn cultivars under the effect of irrigation regimes

Table 4- Analysis of variance results of traits of sweet corn hybrids under the effect of irrigation regimes													
منابع تغییرات S.O.V		df	شاخص سطح برگ LAI	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row	تعداد ردیف در پلاک Number of rows per plot	طول عقیقه Length of sterility	میانگین مربعات Means of squares						
							وزن تر پلاک Fresh weight of ear	وزن خشک پلاک Dry weight of ear	وزن ۱۰۰ دانه Weight of 100 grain	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	پروترین Proline	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication		2	0.31ns	1.95ns	12.01 ns	0.76ns	3283149.1 ns	128476.8 ns	4.00 ns	629451.42 ns	919145.6ns	4.51 ns	0.864ns
رژیم آبیاری Irrigation regime (Ir)		3	11.47**	358.53**	17.08*	10.28**	70517488.0**	35668628.6**	34.37*	8293213.90**	111138165.6**	11.47 **	0.812 ns
خطای کرت اصلی Main plot error		6	0.13	8.35	2.41	0.66	1600447.0	84070.1	4.49	47175.67	806216.8	0.38	0.176 ns
هیبرید Hybrid (C)		4	6.31**	82.20**	8.80*	3.04**	106753820.8**	83335009.4**	0.93 ns	1628205.98**	83378252.5**	16.51 **	7.31**
رژیم آبیاری* هیبرید Ir × C		12	1.04**	23.85*	1.81ns	1.10 ns	5271217.06**	4358737.2**	1.77 ns	318225.88 ns	5645789.0*	3.25 ns	0.271 ns
خطای کرت فرعی Sub-plot error		32	0.13	11.10	2.75	0.66	1644416.8	101979.8	5.15	225981.06	1849364.8	2.94	0.242
خطای عدم تقارن CV (%)		-	8.92	12.34	12.12	20	15.70	6.66	14.97	11.58	9.74	12.29	15.94

***، * و ns به ترتیب به معنای وجود اختلاف معنی دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار است.
***, * and ns: mean the existence of a significant difference at the level of 1%, 5% and Non-significant difference, respectively.

نظر نیاز به آب جزء مراحل بحرانی بوده و در صورت تأمین نشدن آب کافی در این مراحل، با افت معنی‌دار تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف و تعداد دانه در بلال همراه خواهد بود (Ding, He, Tang, 2019). معنی‌دار شدن اثر آبیاری بر تعداد ردیف و دانه در ردیف نشانگر آن است که فتوسنتز، و به‌طور کلی تولید ماده خشک به‌وسیله گیاه، وابستگی جدانشدنی با میزان آب قابل دسترس دارد و با افزایش سطح آبیاری، وزن خشک نیز افزایش می‌یابد (Nakhjavani Moghaddam, Najafi, Sadrghaen, & Farhadi, 2011).

در بین ارقام مورد مطالعه، هیبرید دورگ داخلی دارای بیشترین تعداد ردیف دانه در بلال بود که با هیبریدهای چیس و مریت تفاوت آماری معنی‌داری نداشت، اگرچه بین سایر ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. (جدول ۷). جدول همبستگی مشخص کرد که تعداد ردیف در بلال همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص سطح برگ ($r=0.60^{***}$)، وزن ۱۰۰ دانه ($r=0.45^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0.54^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0.79^{***}$) داشت و از سوی دیگر، با طول عقیقه ($r=-0.63^{***}$) و پرولین ($r=-0.52^{**}$) رابطه معنی‌دار و منفی از خود نشان داد (جدول ۹). مراحل گل‌دهی و تشکیل دانه در ذرت از

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات ذرت شیرین تحت اثرات متقابل هیبرید و رژیم‌های آبیاری

Table 5- Mean comparing of sweet corn traits under the interaction effect of irrigation regimes and hybrids

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	ارقام Hybrids	شاخص سطح برگ Leaf area index	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row	وزن تر بلال Fresh weight of ear (kg ha ⁻¹)
شاهد Control	Merit	5.33 b*	32.3 ab	11014 cd
	Honey	5.26 b	34.00 a	13550 ab
	Genesis	3.85 e-g	32.00 ab	9457 ef
	Chase	4.34 de	34.30 a	15497 a
	Single cross 403	6.27 a	34.30 a	5632 i
کم‌آبی ملایم Mild water deficit stress	Merit	5.14 bc	29.60 a-d	8650 e-g
	Honey	5.23 b	33.00 a	12353 bc
	Genesis	3.33 i	25.00 d-g	7117 gh
	Chase	3.97 ef	29.00 a	10617 c-e
	Single cross 403	4.82 b-d	22.60 a-d	3433 jk
کم‌آبی متوسط Moderate water deficit stress	Merit	3.94 ef	27.00 b-f	7555 f-h
	Honey	4.60 cd	31.30 a-c	8550 e-g
	Genesis	2.77 i	32.00 e-g	7330 f-h
	Chase	3.39 f-h	26.00 c-fg	10270 c-e
	Single cross 403	3.69 fg	17.60 hi	2660 jk
کم‌آبی شدید Severe water deficit stress	Merit	3.79 e-g	24.00 d-g	4720 ij
	Honey	4.32 de	20.60 g-i	5877 hi
	Genesis	2.11 j	23.60 e-g	7527 f-h
	Chase	3.09 hi	22.60 f-h	9100 d-g
	Single cross 403	1.79 j	17.00 i	2386 k

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند.

* The means with same letters in each column do not have a significant difference in the probability level 5% error in the LSD test.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری بر صفات مختلف ذرت شیرین

Table 6- Mean comparing of sweet corn traits under the main effect of irrigation regimes

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	تعداد ردیف در بلال Number of rows per ear	طول عقیقه Length of sterility (cm)	وزن ۱۰۰ دانه weight of 100 grain (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)
شاهد Control	14.86 A*	3.03 c	17.21 a	5159.6 a
کم‌آبی ملایم Mild water deficit stress	14.06 ab	3.84 b	15.14 b	3990.8 b
کم‌آبی متوسط Moderate water deficit stress	13.46 bc	4.39 ab	14.64 b	3828.0 b
کم‌آبی شدید Severe water deficit stress	12.33 c	4.98 a	13.61b	3429.2 b

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند.

* Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات ذرت شیرین تحت اثر اصلی ارقام ذرت شیرین

Table 7- Mean comparing of sweet corn traits under the main effect of sweet corn cultivars

ارقام Cultivares	تعداد ردیف در بلال Number of rows per ear	طول عقیمی Length of sterility (cm)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	پرولین Proline (μmol g ⁻¹ FW)	شاخص برداشت Harvast index (%)
مریت Merit	13.91 ab*	3.73 bc	3797.1 c	13.86 a	27.7 b
هانی Honey	12.75 b	4.34 ab	3686.8 c	15.11 a	22.1 c
جنسیس Genesis	12.91b	4.81 a	4606 a	14.26 a	40.4 a
چیس Chase	14.00 ab	3.79 bc	4218.9 ab	14.49 a	26.4 b
سینگل کراس ۴۰۳ Single cross 403	14.83 a	3.62 c	4200.6 b	12.01 b	37.7 a

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند.

* Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level

طول عقیمی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و هیبرید برای صفت تعداد ردیف در بلال در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). بیشترین طول عقیمی در کم‌آبیاری شدید رخ داد که با کم‌آبیاری متوسط در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶)، نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که در مورد صفت طول عقیمی، هیبرید جنسیس بیشترین طول عقیمی را به خود اختصاص داد. در صورتی که هیبرید دورگ داخلی کمترین طول عقیمی را در بین سایر ارقام داشت (جدول ۷). جدول ضرایب همبستگی صفات ذرت شیرین مشخص کرد که طول عقیمی همبستگی مثبت و معنی‌داری با پرولین ($r=0.49^*$) دارد و از سوی دیگر، با شاخص سطح برگ ($r=-0.53^*$) تعداد دانه در بلال ($r=-0.50^*$)، تعداد ردیف در بلال ($r=-0.63^{**}$)، عملکرد دانه ($r=-0.43^*$) و عملکرد بیولوژیک ($r=-0.49^*$) رابطه معنی‌دار و منفی از خود نشان داد. به‌طور کلی، دریافت نکردن مواد فتوسنتزی کافی در اثر تنش باعث عقیمی گل‌ها و کاهش رطوبت دانه‌های گرده می‌شود. گزارش شده است که دوره کوتاه‌مدت تنش در مراحل گل‌دهی سبب عقیمی، افت اجزاء عملکرد و کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Sinaki, Heravan, Rad, Noormohammadi, & Zarei, 2007). تعداد دانه در بلال و گیاه در اثر کاهش سطح آبیاری به‌دلیل نقصان در باروری و عدم تشکیل سلول تخم کاهش می‌یابد. در واقع، تنش کم‌آبی در زمان کاکل‌دهی می‌تواند به خروج کالاه‌ها از غلاف بلال صدمه بزند و باعث خشکی آن‌ها شود و تعداد بذر تشکیل شده در بلال را کاهش دهد (Koocheki & Sarmadnia, 2005). همچنین کمبود آب از طریق کاهش دسترسی بلال به مواد پرورده باعث کاهش میزان تشکیل دانه می‌شود (Rafiee, Karimi, Nurmohamadi, &

(Nadian, 2009). با افزایش فاصله بین ظهور رشته‌های ابریشمی و ظهور تاسل، تحت تأثیر تنش کم‌آبی از میزان عملکرد دانه قابل کنسرو ذرت کاسته می‌شود و با افزایش میزان تنش، این میزان (ASI) افزایش می‌یابد (Schwartz et al., 2022).

وزن تر و خشک بلال

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از آن بود که وزن تر و خشک بلال (شامل تمام قسمت‌های بلال اعم از رشته‌های ابریشمی، برگ بلال، چوب بلال، دم چوب بلال، به‌غیر از دانه) هر دو تحت تأثیر اثر متقابل رژیم آبیاری و هیبرید در سطح یک درصد قرار گرفتند (جدول ۴). بیشترین وزن تر در شرایط آبیاری مطلوب و در هیبرید چیس (۱۵۴۹۰ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین وزن خشک در هیبرید هانی (۹۹۶۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۵ و ۸). در شرایط آبیاری مطلوب، هیبرید Chase با ۱۵۴۹۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین وزن تر بلال را ثبت کرد، هر دو صفت در شرایط تنش کم‌آبی کاهش یافتند، به‌گونه‌ای که هیبرید دورگ داخلی در شرایط آبیاری شدید دارای کمترین وزن تر (۲۳۸۰ کیلوگرم در هکتار) و خشک بلال (۴۹۰ کیلوگرم در هکتار) بود. در کم‌آبیاری ملایم و متوسط به‌ترتیب هیبرید Honey با ۱۲۵۳۳ کیلوگرم در هکتار و هیبرید Chase با ۱۰۲۷۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین وزن تر بلال را ثبت کردند (جدول ۴ و ۷). جدول ضرایب همبستگی صفات (جدول ۹) مشخص کرد که وزن تر بلال همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد دانه در ردیف ($r=0.76^{**}$)، وزن خشک بلال ($r=0.91^{**}$)، وزن ۱۰۰ دانه ($r=0.60^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0.85^{**}$) داشت و از سوی دیگر، با شاخص سطح برگ ($r=-0.53^*$)، تعداد دانه در بلال ($r=-0.50^*$)، تعداد ردیف در بلال ($r=-0.63^{**}$)، عملکرد دانه

(Abedi, Modarres-Sanavy, & Heidarzadeh, 2024). مطالعات نشان می‌دهد که واکنش ذرت به کم‌آبی بسته به مرحله رشدی که تنش آبی اتفاق می‌افتد، متفاوت است. به‌طور کلی، تنش آبی در مراحل اولیه رشد ممکن است منجر به کاهش رشد رویشی و کاهش تعداد بلال‌ها شود، درحالی‌که تنش آبی در مراحل پایانی می‌تواند باعث کاهش اندازه و وزن دانه‌ها و در نتیجه کاهش وزن کلی بلال شود (Daryanto, Wang, & Jacinthe, 2016). کم‌آبی در مراحل حساس رشد ذرت، مانند تشکیل و پر شدن دانه‌ها، اثرات منفی برجسته‌تری دارد. تنش آبی در مرحله پر شدن دانه باعث کاهش تعداد دانه‌ها و در نتیجه کاهش وزن بلال می‌شود. کم‌آبی در این مراحل می‌تواند منجر به مرگ سلول‌های تخمک و جنین‌های تازه تشکیل شده شود، که به‌طور مستقیم بر وزن نهایی بلال تأثیر می‌گذارد (Shamohammadi et al., 2024).

($r=-0.43^*$) و عملکرد بیولوژیک ($r=-0.49^*$) رابطه معنی‌دار و منفی از خود نشان داد و از سوی دیگر نیز با شاخص برداشت (-0.53^*) رابطه معنی‌دار و منفی از خود نشان داد. علاوه‌بر این خشک بلال همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد دانه در ردیف ($r=0.68^{**}$)، وزن تر بلال ($r=0.91^{**}$)، وزن ۱۰۰ دانه ($r=0.47^*$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0.88^{**}$) داشت و از طرفی، با شاخص برداشت ($r=-0.61^*$) همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. نتایج نشان داد که کم‌آبی موجب کاهش در اندازه و وزن بلال‌های ذرت می‌شود. این کاهش عمدتاً ناشی از کاهش میزان جذب آب و مواد مغذی توسط گیاه و کاهش فتوسنتز است (Kamara, Menkir, Badu-
(Apraku, & Ibikunle, 2003). در شرایط کم‌آبی، منافذ روزنه‌ای گیاه تقریباً بسته می‌شود تا از تعرق آب جلوگیری کند، اما این عمل منجر به کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید بلال می‌شود

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات ذرت شیرین تحت اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و هیبرید

Table 8- Mean comparing of sweet corn traits under the interaction effect of irrigation regimes and cultivars

رژیم‌های آبیاری	ارقام	وزن خشک بلال	عملکرد بیولوژیک
Irrigation regimes	Cultivares	Dw of ear (kg ha ⁻¹)	Biological yield (kg ha ⁻¹)
شاهد Control	Merit	5727.33 f	17955 b
	Honey	9968.4 a	22214 a
	Genesis	5267.8 fg	13910 de
	Chase	8910 b	18311 b
	Single cross 403	1876.1 kl	13209 d-f
کم‌آبی ملایم Mild water deficit stress	Merit	3605.5 l	13840 de
	Honey	8833 b	18955 b
	Genesis	4816.3 g	11840 e-h
	Chase	813505 c	16749 bc
	Single cross 403	1550 l	11885 bc
کم‌آبی متوسط Moderate water deficit stress	Merit	3055.6 j	12877de
	Honey	7635.6 cd	16933 b
	Genesis	4161.6 g	11116 e-h
	Chase	7146.7 d	15055 bc
	Single cross 403	1625.6 l	11300 e-h
کم‌آبی شدید Severe water deficit stress	Merit	996.7 m	10202 h-j
	Honey	2247.8 k	10872 g-j
	Genesis	3326.7 ij	13798 ij
	Chase	6474.4 e	13798 de
	Single cross 403	490 m	8537 j

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند.

* The means with same letters in each column from, do not have a significant difference in the probability level 5% in the LSD test.

وزن ۱۰۰ دانه

همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص سطح برگ ($r=0.56^*$)، تعداد دانه در ردیف ($r=0.74^{**}$)، تعداد ردیف در بلال ($r=0.45^*$)، وزن تر بلال ($r=0.60^{**}$)، وزن خشک بلال ($r=0.47^*$)، عملکرد دانه ($r=0.72^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0.62^{**}$) داشت. وزن هزار دانه مستقیماً تحت تأثیر جریان مواد فتوسنتزی بعد از گرده‌افشانی است. این مواد می‌توانند از فتوسنتز جاری گیاه و یا انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده در ساقه‌ها، برگ‌ها و یا کیسول‌ها تأمین شوند (Ahmadi & Bahrani, 2009). کاهش حجم آبیاری از طریق کوتاه کردن دوره

جدول تجزیه واریانس برای صفت وزن ۱۰۰ دانه نشان داد که فقط اثر اصلی رژیم‌های آبیاری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴)، به‌طوری‌که با اعمال تنش کم‌آبی از وزن ۱۰۰ دانه کاسته شد. اگرچه بین تیمارهای تنش کم‌آبی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما تنش شدید کم‌آبی دارای کمترین وزن ۱۰۰ دانه بود که نسبت به شرایط مطلوب آبیاری ۲۰ درصد کمتر بود (جدول ۶). جدول ضرایب همبستگی صفات (جدول ۹) مشخص کرد که وزن ۱۰۰ دانه

پُر شدن دانه باعث کاهش وزن هزار دانه می‌گردد (Nakhjavani Moghaddam et al., 2010). همچنین عدم تأثیرپذیری وزن ۱۰۰ دانه تحت تأثیر هیبرید می‌تواند به این دلیل باشد که این صفت در تمام ارقام یکسان بوده و تفاوت ژنتیکی در بین ارقام وجود نداشته است.

عملکرد دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری و هیبرید برای صفت عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). تیمار آبیاری مطلوب دارای بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۵۱۵۹/۶ و تنش شدید کم‌آبی دارای کمترین عملکرد دانه با میانگین ۳۴۲۹/۲ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به تیمار برتر ۳۳ درصد کمتر بود، اگرچه تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد دانه شد، اما بین سطوح تنش کم‌آبی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). در بین ارقام مورد مطالعه، هیبرید جنسیس دارای بیشترین عملکرد دانه بود. هیبرید هانی کمترین عملکرد دانه را در بین ارقام مورد مطالعه نشان داد که نسبت به هیبرید برتر ۲۰ درصد کمتر بود (جدول ۷). مراحل گل‌دهی و تشکیل دانه در ذرت از نظر نیاز به آب از جمله مراحل بحرانی بوده و در صورت تأمین نشدن آب کافی و دریافت نکردن مواد فتوسنتزی کافی در اثر تنش موجب عقیم شدن گل‌ها و کاهش رطوبت دانه‌های گرده می‌شود. گزارش شده است که دوره کوتاه‌مدت تنش در مراحل گل‌دهی سبب افت اجزای عملکرد و کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Ding et al., 2019). کاهش فتوسنتز، کاهش تولید ماده خشک و رشد را در پی دارد. گزارش شده است که وقوع تنش رطوبتی در طی مرحله پُر شدن دانه موجب کاهش تعداد دانه گردیده است (Catville et al., 2008). جدول ضرایب همبستگی صفات ذرت شیرین (جدول ۹) مشخص کرد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد دانه در ردیف ($r=0/54^*$)، تعداد ردیف در بلال ($r=0/54^*$) و وزن ۱۰۰ دانه ($r=0/61^{**}$) دارد. از سوی دیگر، عملکرد دانه با طول عقیمی ($r=-0/43^*$) رابطه معنی‌دار و منفی نشان داد.

عملکرد بیولوژیک

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل دوگانه رژیم‌های آبیاری $\times$ هیبرید برای صفت عملکرد بیولوژیک در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین عملکرد بیولوژیک در همه تیمارها متعلق به هیبرید Honey بود که نشان‌دهنده رشد رویشی قوی و ظرفیت بالای تولید زیست‌توده در این هیبرید است. کمترین عملکرد بیولوژیک در اکثر تیمارها متعلق به هیبرید Single cross 403 بود که افت ۶۰ درصدی را نشان داد، این هیبرید حساسیت بیشتری به تنش‌های آبی داشت و رشد رویشی آن کاهش

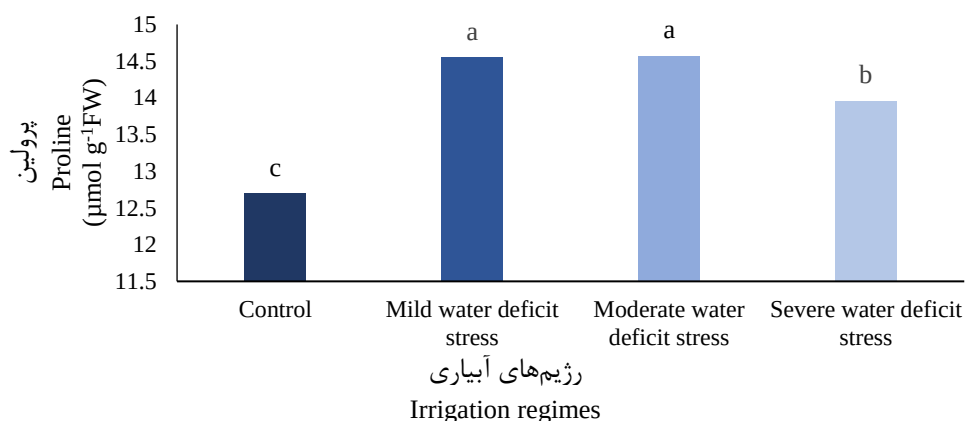
یافت. در کم‌آبیاری شدید، ارقام Genesis و Chase عملکرد بیولوژیک بهتری نسبت به سایرین داشتند که نشان‌دهنده توانایی بیشتر این دو هیبرید در تحمل تنش آبی است. بنابراین، برای شرایط تنش آبی، هیبرید Honey در صورت تأمین آب کافی و هیبرید Chase یا Genesis در شرایط کم‌آبی گزینه‌های مناسب‌تری برای حفظ عملکرد بیولوژیک هستند (جدول ۸). جدول ضرایب همبستگی صفات (جدول ۹) مشخص کرد که عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد دانه در ردیف ($r=0/79^{**}$)، وزن تر بلال ($r=0/85^{**}$)، وزن خشک بلال ($r=0/88^{**}$) و وزن ۱۰۰ دانه ($r=0/61^{**}$) داشت و از طرفی، با طول عقیمی ($r=-0/49^{**}$) همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. در شرایط تنش، ارقام مقاوم به خشکی دارای عملکرد بیولوژیک بالاتری نسبت به ارقام حساس می‌باشند. عملکرد بیولوژیک، ملاک مهمی در گزینش ارقام و تعیین کارایی گیاهان است و به‌عنوان عملکرد منظور می‌گردد. این ویژگی نشان می‌دهد که گیاهان با توانایی تولید عملکرد بیولوژیک بالا توانایی مقاومت در برابر تنش کم‌آبی را دارند. به بیان دیگر می‌توان گفت که عملکرد بیولوژیک عاملی مفید در افزایش عملکرد اقتصادی بوده و همبستگی بالایی با آن دارد (Papari & Bahrani, 2005). از دلایل مهم کاهش عملکرد بیولوژیک در مواجهه با تنش خشکی، مختل شدن فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه است. به بیان بهتر، تنش خشکی به‌واسطه تأثیر منفی بر شاخص سطح برگ، ارتفاع، صفات رویشی و اجزاء عملکرد موجب افت عملکرد کاه و عملکرد بیولوژیک خواهد شد (Rezaei-Sukht-Abnadani, Charati Araei, Akbari Nodehi, & Ramazani, 2008).

پرویلین

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که غلظت پرویلین تحت تأثیر اثر اصلی رژیم‌های آبیاری و هیبرید در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). کمترین مقدار پرویلین در آبیاری مطلوب با ۱۲/۷۰ میکرومول در هر گرم وزن تازه به دست آمد، از طرفی بیشترین مقدار پرویلین در کم‌آبیاری متوسط با افزایش ۱۶/۱ درصدی (۱۴/۵۷) میکرومول در هر گرم وزن تازه برگ) مشاهده شد. با افزایش تخلیه رطوبت خاک تا ۷۵ درصد آب قابل استفاده (کم‌آبیاری شدید) از میزان سنتز پرویلین به‌دلیل رسیدن به حد آستانه فیزیولوژیکی گیاه، کاسته شد (شکل ۱). در بین ارقام مورد مطالعه، هیبرید هانی بیشترین غلظت پرویلین را دارا بود، اگرچه با ارقام جنسیس، چیس و مریت تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۷). جدول ضرایب همبستگی صفات (جدول ۹) مشخص کرد که پرویلین همبستگی مثبت و معنی‌داری با طول عقیمی ($r=0/49^*$) دارد و از طرفی با تعداد دانه در بلال ($r=-0/52^*$) و عملکرد بیولوژیک ($r=-0/69^{**}$) همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. تجمع پرویلین عمومی‌ترین واکنش گیاه به تنش‌های محیطی،

(Abaspour, & Forghani, 2022). همچنین در پژوهش دیگری مشاهده شد که تنش خشکی در مرحله رشد رویشی باعث افزایش پرولین نسبت به محیط بدون تنش نشد که احتمالاً به دلیل تحمل ذرت به تنش در مرحله رشد رویشی و یا کاهش پرولین در مرحله زایشی پس از افزایش موقتی آن در مرحله رشد رویشی بوده است (Mahrokh, Nabipour, Roshanfekr-Dezfouli, & Choukan, 2016).

به‌ویژه در پتانسیل‌های پایین آب می‌باشد. گیاهان تحت تنش با افزایش پرولین، عملکرد سازشی خود را از طریق حفظ فشار تورگر، حمایت از ماکرومولکول‌ها و غشاهای سلولی اعمال می‌کنند که در هیبرید متحمل، این سازگاری بارزتر است. با این حال کاهش بیش از حد پتانسیل آبی محیط، اثر بازدارنده بر بیوسنتز پرولین اعمال می‌کند. بنابراین، سنتز پرولین کاهش یافته، ولی با این حال مقدار پرولین در ارقام متحمل بیش از سایر ارقام است (Salehi-Eskandari,



شکل ۱- اثر اصلی رژیم‌های آبیاری بر محتوی پرولین برگ ذرت شیرین (آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد)
 Figure 1- Main effect of irrigation regimes on proline content of sweet corn leaf (LSD test at the 5% significance level.)

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین صفات ذرت شیرین
 Table 9- Correlation coefficients between sweet corn traits

صفات Triats	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
شاخص سطح برگ LAI (1)	1.00									
تعداد دانه در ردیف Number of grain in the row (2)	0.70**	1.00								
تعداد ردیف در بلال Number of rows in ear (3)	0.60**	0.37	1.00							
طول عقیمی Length of sterility (4)	-0.53*	-0.50*	-0.63**	1.00						
وزن تر بلال Fw of ear (5)	0.32	0.76**	0.09	-0.30	1.00					
وزن خشک بلال Dw of ear (6)	0.25	0.65**	-0.00	-0.22	0.91**	1.00				
وزن ۱۰۰ دانه weight of 100 grain (7)	0.56*	0.74**	0.45*	-0.68	0.60**	0.47*	1.00			
عملکرد دانه Grain yield (8)	0.26	0.54*	0.54*	-0.43*	0.41	0.30	0.72**	1.00		
عملکرد بیولوژیک Biological yield (9)	0.61	0.79**	0.27	-0.49*	0.85**	0.88**	0.61**	0.37	1.00	
پرولین Proline (10)	-0.14	0.00	-0.52*	0.49*	0.26	0.35	-0.23	-0.30	0.11	1.00
شاخص برداشت Harvast index (11)	-0.48*	-0.40	0.02	0.24	-0.53*	-0.61**	-0.11	0.36	-0.69**	-0.31

ns, * و **: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد را نشان می‌دهند.

* and **: indicate significance at 5% and 1% levels, respectively, and n.s of non-significance.

شاخص برداشت

نتیجه گیری

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که شاخص برداشت تنها تحت تأثیر اثر هیبرید در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین شاخص برداشت در هیبرید جنسیس حاصل شد که با هیبرید سینگل کراس ۴۰۳ از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. از طرفی کمترین شاخص برداشت مربوط به هیبرید Honey با ۲۲/۱ درصد می باشد. جدول همبستگی نشان داد که شاخص برداشت همبستگی منفی و معنی داری با شاخص سطح برگ ($r = -0.48^*$)، وزن تر بلال ($r = -0.53^*$)، وزن خشک بلال ($r = -0.61^*$) و عملکرد بیولوژیک ($r = -0.69^{***}$) داشت (جدول ۹). تحقیقات نشان داده است که تنش ملایم و کوتاه مدت تأثیر چندانی بر شاخص برداشت ندارد، به این دلیل که تنش های خفیف تأثیر کمی بر کاهش سطح برگ هیبریدهای پربار دارند و تأثیر چندانی بر تولید ماده خشک این هیبریدها ندارند (Kalamian, Modares-Sanavi, & Sepehri, 2005; Hante & Aminiyan, 2017). ارقام دربرس ذرت نسبت به ارقام زودرس به دلیل بیشتر بودن طول دوره رشد و افزایش انتقال مواد قوتوسنتزی بیشتر به دانه و بلال، شاخص برداشت بیشتری دارند (Dadresi, Aboutalebian, & Seyed, 2015; Nakhjavanimoghadam, Dehghanisanij, Akbari, & Sadreghaem, 2010).

به طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی از آبیاری مطلوب به تنش شدید آبی، اکثر صفات مورد بررسی کاهش یافتند. بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک و عملکرد علوفه خشک در شرایط آبیاری مطلوب و هیبرید هانی به دست آمد، این در حالی است که هیبرید دورگ داخلی در شرایط تنش شدید آبی، کمترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد علوفه را دارا بود. در شرایط تنش کم آبی شدید، ارقام جنسیس و چیس عملکرد بیولوژیک مطلوبی تولید کردند. بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری مطلوب و کمترین آن در شرایط تنش کم آبی شدید و در هیبرید دورگ داخلی دیده شد. این مطالعه نشان داد که طول دوره رسیدگی تأثیر متفاوتی بر صفات مختلف دارد که این امر عمدتاً ناشی از تعامل پیچیده بین ژنوتیپ و محیط ($G \times E$) به ویژه در صفات مرتبط با عملکرد است. یافته ها همسو با مطالعات پیشین در حوزه اصلاح نباتات تأکید می کنند که افزایش طول دوره رسیدگی لزوماً منجر به بهبود عملکرد نهایی نمی شود، بلکه تأثیر آن به ساختار ژنومی گیاه و شرایط محیطی وابسته است. این نتایج بر ضرورت در نظر گرفتن همزمان عوامل ژنتیکی و اکوفیزیولوژیکی در برنامه های به نژادی برای دستیابی به بهینه سازی عملکرد تأکید دارد. در نهایت، با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهاد می شود که در شرایط کم آبی دوره زایشی، ارقام چیس و جنسیس مورد کشت قرار گیرد.

References

1. Abedi, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Heidarzadeh, A. (2024). Study of yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* L.) under water deficit stress conditions with the application of zeolite and wood vinegar. *Plant Productions*, 48(1), 43-50. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46482.2155>
2. AghaAlikhani, M., & Mohammadi, Kh. (2018). *Sweet corn Agronomic & Genetic Approaches*. Tarbiat Modares University Press, Tehran, Iran. 408 pp. (in Persian).
3. Ahmadi, M., & Bahrani, M. J. (2009). Effect of different nitrogen levels on yield and yield components and oil rate of sesame cultivars in Bushehr region. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 13(48), 123-131. (In Persian with English abstract).
4. Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
5. Catville, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., & Mastrangelo, A. M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105(1-2), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.07.004>
6. Dadresi, V., Aboutalebian, M. A., & Seyed, M. (2015). Effect of on-farm seed priming on yield and yield components of two maize cultivars. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(16), 153-162.
7. Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. (2016). Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS ONE*, 11(5), e0156362. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156362>
8. Ding, S., He, F., Tang, W., Du, H., & Wang, H. (2019). Identification of maize CC-type glutaredoxins that are associated with response to drought stress. *Genes*, 10(8), 610. <https://doi.org/10.3390/genes10080610>
9. Dourandish, A., Soleymani Nejad, S., Sabouhi Sabouni, M., & Banayan Aval, M. (2019). The effects of climate change on cropping pattern (Case study: Mashhad plain). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 50(2), 249-263. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2019.237998.668461>
10. Hante, H., & Aminiyan, M. M. (2017). The response of late-maturing corn hybrids to the application of potassium sulfate under deficit irrigation conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(2), 283-302.

11. Kalamian, S., Modares-Sanavi, A. M., & Sepehri, A. (2005). Effect of water deficit at vegetative and reproductive growth stage in leafy and commercial hybrids of maize. *Agricultural Research Water, Soil, and Plant*, 5(1), 38-53.
12. Kamara, A. Y., Menkir, A., Badu-Apraku, B., & Ibikunle, O. (2003). The influence of drought stress on growth, yield and yield components of selected maize genotypes. *The Journal of Agricultural Science*, 141(1), 43-50. <https://doi.org/10.1017/S0021859603003423>
13. Khalily, M., Moghaddam, M., Kanouni, H., & Asheri, E. (2010). Dissection of drought stress as a grain production constraint of maize in Iran. *Asian Journal of Crop Science*, 2(2), 60-69. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2010.60.69>
14. Khavari Khorasani, S. (2020). Practical guide to sweet corn production. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Press. 78 pp.
15. Koocheki, A., & Sarmadnia, G. H. (2005). *Physiology of crop plants*. Ferdowsi University of Mashhad Press.
16. Maghsoudi, K., Emam, Y., Niazi, A., Pessarakli, M., & Arvin, M. J. (2018). P5CS expression level and proline accumulation in the sensitive and tolerant wheat cultivars under control and drought stress conditions in the presence/absence of silicon and salicylic acid. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 461-471. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1506516>
17. Mahrokh, A., Nabipour, M., Roshanfekar-Dezfouli, H., & Choukan, R. (2016). The effect of foliar application of auxin and cytokinin hormones on the photosynthetic pigments and proline content of single-cross 704 corn leaves under drought stress. *Plant Process and Function*, 5(16), 165-179.
18. Martin, G. A., Viskochil, D., Bollag, G., McCabe, P. C., Crosier, W. J., Haubruck, H., Conroy, L., Clark, R., O'Connell, P., Cawthon, R. M., Innis, M. A., & McCormick, F. (1990). The GAP-related domain of the neurofibromatosis type 1 gene product interacts with ras p21. *Cell*, 63(4), 843-849. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(90\)90150-D](https://doi.org/10.1016/0092-8674(90)90150-D)
19. Mi, N., Cai, F., Zhang, Y., Ji, R., Zhang, S., & Wang, Y. (2018). Differential responses of maize yield to drought at vegetative and reproductive stages. *Plant, Soil and Environment*, 64(6), 260-267. <https://doi.org/10.17221/141/2018-PSE>
20. Mojadam, M. (2009). Effect of water stress and management of using nitrogen on distribution of dry matter and some characteristics in maize hybrid cv. KSC 704. *Environmental Stress in Crop Sciences*, 1(2), 123-136.
21. Nakhjavani Moghaddam, M. M., Dehghanisani, H., Akbari, M., & Sadreghaem, S. H. (2010). The effects of deficit irrigation on water use efficiency of new early maize variety (CN.KSC.302) using sprinkler system. *Journal of Water and Soil*, 24(6), 1237-1244. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.7509>
22. Nakhjavani-Moghaddam, M. M., Najafi, E., Sadrghaem, S. H., & Farhadi, E. (2011). Effect of different levels of irrigation and plant density on grain yield and yield components and water use efficiency in maize cv. KSC 302. *Seed and Plant Production Journal*, 27(1), 73-90.
23. Papari Moghaddam Fard, A., & Bahrani, M. J. (2005). Effect of nitrogen fertilizer rates and plant density on some agronomic characteristics, seed yield, oil and protein percentage in two sesame cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 36(1), 129-135.
24. Rafiee, M., Karimi, M., Nurmohamadi, G. H., & Nadian, H. (2009). Effects of drought stress and phosphorus and zinc levels on some morphological and physiological traits of maize. *Physiology of Crop Science*, 1(1), 1-9.
25. Rezaei-Sukht-Abnadani, R., Charati Araei, A., Akbari Nodehi, D., & Ramazani, M. (2008). Effect of irrigation and different nitrogen levels on silage dry yield and water use efficiency in Maize cv. KSC 704 in Mazandaran province. *Results of Modern Agriculture*, 3(2), 122-135.
26. Rughani, M., Imam Jomeh, S. R., & Kamali, K. (2012). Possibility of designing TDR sensors and evaluating their performance in soil moisture measurement. *Journal of Water and Soil Engineering of Iran*, 5(17), 53-62.
27. Salehi-Eskandari, B., Abaspour, J., & Forghani, A. H. (2022). The effect of drought stress on seed germination chlorophyll, proline and antioxidant enzyme activity in two cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(1), 93-104. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.3712.1895>
28. Schwartz, R. C., Bell, J. M., Baumhardt, R. L., Colaizzi, P. D., Hiltbrunner, B. A., Witt, T. W., & Brauer, D. K. (2022). Response of maize hybrids under limited irrigation capacities: Yield and yield components. *Agronomy Journal*, 114(2), 1338-1352. <https://doi.org/10.1002/agj2.21013>
29. Shamohammadi, N., Zare, M., Ordokhani, K., Aref, F., & Sharafzaeh, S. (2024). Grain corn yield under the influence of water deficit stress, biological and chemical fertilizers. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(1), 23-36. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.352991.654966>
30. Sinaki, J. M., Heravan, E. M., Rad, A. S., Noormohammadi, G. H., & Zarei, G. H. (2007). The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 4(4), 417-422.
31. Tahaei, S. A. R., Nasari, M., Soleymani, A., Ghooshchi, F., & Oveysi, M. (2022). Effects of growth regulators and proline amino acid on yield and yield components of single cross 704 maize under drought stress conditions in

-
- Isfahan province. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(3), 657-668. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.3988.1948>
32. Vanclooster, M., Viaene, P., Diels, J., & Christiaens, K. (1994). *WAVE: A mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment*. Institute for Land and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven.
 33. Zhang, Y., Hansen, N., Trout, T., Nielsen, D., & Paustian, K. (2018). Modeling deficit irrigation of maize with the DayCent model. *Agronomy Journal*, 110(5), 1754-1764. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.10.0585>

Contents

Research Articles

- The Effects of Nan Silicon and Vermicompost on Contents of Photosynthetic Pigments, Compatible Osmolytes and the Contribution of Dry Matter Remobilization in Grain Yield of Rye (*Secale cereal* L.) under Water Limitation Conditions** 241
Z. Mohammadzadeh, R. Seyed Sharifi
- Simulation of Irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L. Pishtaz cultivar) Yield using DSSAT Model and AgMERRA Data in Khorasan Razavi Province** 257
S. Kamali, N. Ghahreman, M. Bannayan Aval
- The Effect of Combined Use of Nitrogen Fertilizer and Seaweed on Yield Components and Grain Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) Variety Hashemi** 271
S. L. Tahae Roudsari, M. Ashouri, N. Mohammadian Roshan, S. M. Sadeghi
- Evaluation of Water and Nitrogen Use Efficiency of Dryland Barley (*Hordeum vulgare*) Genotypes** 285
V. Feiziasl
- Effect of Applying Different Levels of Humic Acid and Salicylic Acid on Yield and Quality of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Seed** 303
F. Mozafari, Gh. Heidari, Sh. Khalesro
- Estimation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Yield Gap and Determining the Contribution of Water and Nitrogen Across Khorasan Razavi Province using Modeling Approach** 321
M. Jahan, M. Noori, H. R. Khazaei, M. Nassiri-Mahallati, K. Shojaei-Nofarast, M. H. Fallah
- Evaluation of the Competitive Indices and Economical Advantage of Corn (*Zea mays* L.)- Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Intercropping under the influence of Tillage Levels, Crop Residues, and Planting Patterns** 341
F. Akbari, M. Dahmardeh, A. Morshedi, A. Ghanbari, S. Khorramdel
- Investigating Yield, Yield Components, Morphological Characteristics and Proline of Different Hybrids of Sweet Corn (*Zea mays* var. *Saccharata*) in Different Irrigation Regimes** 359
A. Estakhr, S. A. M. Modarres-Sanavy, M. AghaAlikhani, A. Heidarzadeh, A. M. Abedi

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 23

No. 3

2025

Publisher	Ferdowsi University of Mashhad
Managing	P. Rezvani Moghaddam (Agroecology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Editor- in-chief	H.R. Khazaei (Crop Physiology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

AghaAlikhani, M.	Department of Cultivation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Ehsanzadeh, P.	Department of Agronomy & Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
Emam, Y.	Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran
Bagheri, A.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Behdani, M.A.	Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
Banayan Awal, M.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Jami Alahmadi, M.	Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
Raei, Y.	Department of Plant Eco physiology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
Rahimian-Mashhadi, H.	Department of Agriculture, Tehran University, Iran
Zamani, Gh.R.	Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
Zare- Feizabadi, A.	Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province, Iran
Shahriari-Ahmadi, F.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Kafi, M.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Nezami, A.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Khazaei, H.R.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Eyshi Rezaei, E.	Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research: Müncheberg, Brandenburg, Germany
Lashakri, A.	Crop modeling
Bazrgar, A.B.	John Innes Centre, Norwich Research Park, Norwich, UK
	School of Environmental Sciences, University of Guelph, Canada

Address: Iranian Journal of Field Crops Research Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture
Mashhad, Iran

P.O. Box: 91775-1163

Email: cesc@um.ac.ir

Web Site: <https://jcesc.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol.23 No.3

2025

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Research Articles

The Effects of Nan Silicon and Vermicompost on Contents of Photosynthetic Pigments, Compatible Osmolytes and the Contribution of Dry Matter Remobilization in Grain Yield of Rye (*Secale cereal* L.) under Water Limitation Conditions 241
Z. Mohammadzadeh, R. Seyed Sharifi

Simulation of Irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L. Pishtaz cultivar) Yield using DSSAT Model and AgMERRA Data in Khorasan Razavi Province..... 257
S. Kamali, N. Ghahreman, M. Bannayan Aval

The Effect of Combined Use of Nitrogen Fertilizer and Seaweed on Yield Components and Grain Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) Variety Hashemi 271
S. L. Tahae Roudsari, M. Ashouri, N. Mohammadian Roshan, S. M. Sadeghi

Evaluation of Water and Nitrogen Use Efficiency of Dryland Barley (*Hordeum vulgare*) Genotypes..... 285
V. Feiziasl

Effect of Applying Different Levels of Humic Acid and Salicylic Acid on Yield and Quality of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Seed..... 303
F. Mozafari, Gh. Heidari, Sh. Khalesro

Estimation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Yield Gap and Determining the Contribution of Water and Nitrogen Across Khorasan Razavi Province using Modeling Approach 321
M. Jahan, M. Noori, H. R. Khazaei, M. Nassiri-Mahallati, K. Shojaei-Nofarast, M. H. Fallah

Evaluation of the Competitive Indices and Economical Advantage of Corn (*Zea mays* L.)- Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Intercropping under the influence of Tillage Levels, Crop Residues, and Planting Patterns 341
F. Akbari, M. Dahmardeh, A. Morshedi, A. Ghanbari, S. Khorramdel

Investigating Yield, Yield Components, Morphological Characteristics and Proline of Different Hybrids of Sweet Corn (*Zea mays* var. *Saccharata*) in Different Irrigation Regimes 359
A. Estakhr, S. A. M. Modarres-Sanavy, M. AghaAlikhani, A. Heidarzadeh, A. M. Abedi