



نشریه علمی پژوهشهای زراعی ایران

جلد ۲۴ شماره ۱

سال ۱۴۰۵

(شماره پیاپی: ۸۱)

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

- بررسی اثر تیمارهای آبیاری و تغذیه کود دامی بر خصوصیات ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد آویشن
شیرازی (Zataria multiflora Bioss.) در اقلیم مشهد..... ۳
مصطفی شمشادی، مهدی پارسا، پرویز رضوانی مقدم، سرور خرم دل
- بررسی اثر کاربرد کود دامی و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه (Nigella sativa)..... ۲۳
ایوب رستمی مامو، فرزاد متدنی
- اثر گیاه پوششی و فاصله ردیف کاشت روی برخی از خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد باقلا (Vicia faba L.) -
رقم مهتا..... ۳۷
سمیه ایری، آسیه سیاهمرگویی، جاوید قرخلو، فاطمه شیخ، ابراهیم زینلی، فرشید قادری فر
- تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی - زمانی عملکرد گندم (Triticum aestivum L.) آبی و دیم در استان خراسان رضوی ۶۱
مهدی سلطانی، محسن جهان، فاطمه یعقوبی
- اثر محلول‌پاشی برگ‌گی گلیسین و متانول بر عملکرد و برخی صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژی ذرت علوفه‌ای
(Zea mays L.) در سه تاریخ کاشت ۸۱
مهدی رضائی، فرزاد پاک‌نژاد، محمد رضا اردکانی، داود حبیبی، محمد نبی ایلکایی
- ارزیابی تأثیر کود آلی و زئولیت بر برخی صفات کمی و کیفی جو دیم (Hordeum vulgare L.) ۹۵
امیر اکبری، علی خورگامی، مسعود رفیعی، رضا میردريکوند
- بهینه‌سازی تاریخ کاشت و تراکم گیاهی به منظور بهبود صفات زایشی و عملکرد گیاه دارویی - صنعتی نیل
(Indigofera tinctoria L.) در شهرستان شوشتر..... ۱۱۷
محمد رضا زرگران خوزانی، محمدحسین قرینه، احمد کوچک زاده، امین لطفی جلال آبادی
- تأثیر کود پتاسیم سولفات و تراکم علف‌هرز خار مریم (Silybum marianum L.) بر عملکرد گلرنگ
(Carthamus tinctorius L.) ۱۳۵
مسلم مصطفائی، مجید جامی الاحمدی، سید وحید اسلامی، محمدحسن سیاری زهان

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 ۱۴۰۵

شماره ۱

جلد ۲۴

دانشگاه فردوسی مشهد

صاحب امتیاز:

پرویز رضوانی مقدم

مدیر مسئول:

حمیدرضا خزاعی

سر دبیر:

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 لابنیتز (زالف)، آلمان

اعظم لشکری

مرکز جان اینس، نورویچ، انگلیس

امیربهبزاد 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)، (AGRIS)، (EBSCO)، (CIVILICA)، (GoogleScholar)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

مقالات پژوهشی

- ۳ بررسی اثر تیمارهای آبیاری و تغذیه کود دامی بر خصوصیات ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Bioss.) در اقلیم مشهد
مصطفی شمشادی، مهدی پارسا، پرویز رضوانی مقدم، سرور خرم دل
- ۲۳ بررسی اثر کاربرد کود دامی و کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه (*Nigella sativa*)
ایوب رستمی مامو، فرزاد مندنی
- ۳۷ اثر گیاه پوششی و فاصله ردیف کاشت روی برخی از خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد باقلا (*Vicia faba* L.) - رقم مهتا
سمیه ایری، آسیه سیاهمرگویی، جاوید قرخلو، فاطمه شیخ، ابراهیم زینلی، فرشید قادری‌فر
- ۶۱ تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی - زمانی عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی و دیم در استان خراسان رضوی
مهدی سلطانی، محسن جهان، فاطمه یعقوبی
- ۸۱ اثر محلول‌پاشی برگی گلیسین و متانول بر عملکرد و برخی صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژی ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در سه تاریخ کاشت
مهدی رمضانی، فرزاد پاک‌نژاد، محمد رضا اردکانی، داود حبیبی، محمد نبی ایلکایی
- ۹۵ ارزیابی تأثیر کود آلی و ژئولیت بر برخی صفات کتی و کیفی جو دیم (*Hordeum vulgare* L.)
امیر اکبری، علی خورگامی، مسعود رفیعی، رضا میردریگوند
- ۱۱۷ بهینه‌سازی تاریخ کاشت و تراکم گیاهی به‌منظور بهبود صفات زایشی و عملکرد گیاه دارویی - صنعتی نیل (*Indigofera tinctoria* L.) در شهرستان شوشتر
محمد رضا زرگران خوزانی، محمدحسین قرینه، احمد کوچک زاده، امین لطفی جلال آبادی
- ۱۳۵ تأثیر کود پتاسیم سولفات و تراکم علف‌هرز خار مریم (*Silybum marianum* L.) بر عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)
مسلم مصطفائی، مجید جامی الاحمدی، سید وحید اسلامی، محمدحسن سیاری زهان



The Impact of Irrigation and Cow Manure on Morphological Characteristics, Yield, and Components of Shirazi thyme (*Zataria multiflora* Bioss.) in Mashhad

M. Shemshadi¹, M. Parsa^{1*}, P. Rezvani Moghaddam¹, S. Khorramdel¹

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

(*- Corresponding author's Email: parsa@um.ac.ir)

Received: 02 July 2024

Revised: 12 October 2024

Accepted: 06 November 2024

Available Online: 11 March
2025

How to cite this article:

Shemshadi, M., Parsa, M., Rezvani Moghaddam, P., & Khorramdel, S. (2025). The Impact of Irrigation and Cow Manure on Morphological Characteristics, Yield, and Components of Shirazi thyme (*Zataria multiflora* Bioss.) in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(2), 1-20. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88747.1337>

Introduction

Competition for water resources is a critical challenge globally and in Iran, exacerbated by climate change threats. Medicinal plants, such as *Zataria multiflora* (Shirazi thyme), represent vast divine potential and, with proper planning, can play a special role in the non-oil economy. This species, native to rocky habitats, possesses limited global distribution and significant antibacterial, antifungal, and therapeutic properties, including proven anti-stress effects. Meanwhile, the application of cow manure as a biological fertilizer enhances soil porosity and organic matter. This improvement leads to better soil fertility, physical and chemical properties, and water retention capacity, thereby facilitating root expansion and the absorption of water and nutrients. Consequently, this results in improved growth and yield. The objective of this study was to investigate the effects of irrigation levels and cow manure on the growth and canopy production of Shirazi thyme under field conditions in Mashhad.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the research fields of Ferdowsi University of Mashhad during the 2020-2021 growing season. A factorial experiment was designed within a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The treatments included three irrigation levels (3000, 2100, and 3900 cubic meters per hectare) and four cow manure levels (41.76, 52.2, 62.64 tons per hectare, and a control with no manure). Key morphological traits and yield components were measured, including plant height, leaf area index (LAI), and biomass.

Results and Discussion

Reducing irrigation volume had a negative impact on the morphological characteristics of Shirazi thyme, such that the number of lateral branches, plant and stem height, leaf area index, major and minor diameters, weight (plant, leaf, stem, and flower), and total yield decreased. One of the probable effects of drought stress on plant dry weight can be attributed to the reduction in leaf area due to physiological factors occurring within the plant. In this experiment, the treatment of 2,100 cubic meters per hectare reduced leaf area by 47% compared to the treatment of 3,000 cubic meters per hectare. In this regard, it is likely that the reduction in photosynthesizing surface area and the consequent decrease in photosynthates led to a reduction in leaf weight. Furthermore, with the reduced allocation of photosynthates to the stem—which serves as the structural support for the aerial parts of the plant—its weight also decreased, consequently leading to a reduction in plant height. As a result, aerial



Authors retain the copyright. 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/).

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88747.1337>

growth was restricted, the canopy diameter and number of lateral branches diminished, and the plant ultimately suffered from growth retardation and a reduction in dry weight. Cow manure application notably enhanced the lower canopy diameter and the wet and dry weight of flowers. For example, the irrigation treatment at a rate of 3,900 cubic meters per hectare yielded the highest flower dry weight compared to other levels of manure application at 12 grams per square meter; this amount represented a 100% increase compared to the control. No significant interaction between irrigation and manure treatments was observed on most traits, suggesting independent effects of each factor.

Conclusion

Both irrigation and cow manure significantly impact the growth and yield of Shirazi thyme. Adequate irrigation is essential for maintaining high biomass and essential oil production, while cow manure improves soil fertility and plant health. These findings highlight the importance of integrated water and nutrient management for optimizing medicinal plant cultivation in arid regions. For farmers in similar climatic conditions, a balanced approach to irrigation and organic fertilization is recommended to maximize yield and maintain soil health. Future research should explore the long-term effects of these practices on soil properties and plant health, contributing to more sustainable and productive agricultural systems.

Keywords: Irrigation management, Leaf area index (LAI), Medicinal plants, Morphological traits, Vegetative growth

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۱-۲۰

بررسی اثر تیمارهای آبیاری و تغذیه کود دامی بر خصوصیات ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Bioss.) در اقلیم مشهد

مصطفی شمشادی^۱، مهدی پارسا^{۱*}، پرویز رضوانی مقدم^۱، سرور خرم دل^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶

چکیده

آویشن شیرازی با نام علمی (*Zataria multiflora* Bioss.) گونه‌ای دارویی است که از پراکندگی محدود در جهان برخوردار می‌باشد. با توجه به شرایط سخت رشدی و تولید آن در شکاف و دامنه‌های سنگلاخی به نظر می‌رسد که این گیاه متحمل و سازگار با شرایط سخت و پرتنش از جمله تنش خشکی باشد. از آنجاکه بحران آب در ایران بسیار جدی است و تهدیدکننده بسیاری از گیاهان زراعی است، لذا در این شرایط کاشت آویشن شیرازی به عنوان یک گیاه دارویی اقتصادی و چندساله که در معرض آسیب برداشت بی‌رویه نیز قرار دارد، می‌تواند راهکاری امیدبخش باشد. در این ارتباط، این آزمایش با هدف بررسی اثر آبیاری و کود دامی بر رشد و عملکرد گیاه آویشن شیرازی در مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۴۰۰ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح مختلف کود دامی شامل ۴۱، ۵۲، ۶۲ تن در هکتار و شاهد (بدون کود) و همچنین سطوح آبیاری شامل ۲۱۰۰، ۳۰۰۰ و ۳۹۰۰ مترمکعب در هکتار بودند، یافته‌های تجزیه آماری نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار آبیاری بر صفات ریخت‌شناختی این گیاه بودند، با کاهش حجم آبیاری شاخص سطح برگ (۴۷ درصد)، ارتفاع ساقه و بوته (۲۶ درصد)، قطر بزرگ و کوچک، تعداد شاخه جانبی، وزن (بوته، برگ، ساقه و گل) و همچنین عملکرد کل (۴۱ درصد) کاهش پیدا کرد، کود دامی نیز روی صفات قطر بزرگ پایین بوته و وزن گل تأثیرگذار بود و با افزایش کود افزایش یافت. براساس نتایج کلی، حجم آبیاری پایین باعث ایجاد محدودیت، عقب‌ماندگی، کاهش رشد و در نهایت کاهش وزن خشک می‌شود، لذا حجم‌های بالاتر آبیاری برای بهبود رشد توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رشد رویشی گیاه، شاخص سطح برگ، صفات مورفولوژیکی، گیاهان دارویی، مدیریت آبیاری

مقدمه

در این میان، خاورمیانه در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده و منابع آب محدودی دارد. ایران نیز با داشتن یک سوم متوسط بارندگی جهان، از این قاعده مستثنی نبوده و در اثر تغییر اقلیم دچار خشکسالی شده است (Khosravi, Akbarpor, Bahmaniar, & Andi, 2023; Miri Shahidi, Siouki, & Rouhian, 2022). کاهش نزولات جوی، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و گرم شدن روز افزون کره خاکی، موجب کاهش بسیار شدید منابع آب زیرزمینی و فرونشست دشت‌ها در اغلب مناطق کشور شده است (Saatsaz, 2020). با توجه به این، نه آب را می‌توان به هر مقدار مصرف کرد و نه هر زراعتی را برای تهیه غذا انجام داد، گیاهان دارویی برخلاف گیاهان زراعی رایج، در طول تاریخ تکاملی خود، سازگاری‌های لازم را با تنش آب و دیگر نهادهای کشاورزی پیدا کرده‌اند (Koocheki & Khajah-Hosseini, 2017).

گیاهان دارویی از منابع بالقوه و عظیم الهی می‌باشد که با

در حال حاضر، کشاورزی تکیه‌گاه حیات اقتصادی و امنیت غذایی جهان است (Pawlak & Kołodziejczak, 2020). بحران آب یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های جهان امروز می‌باشد (Rosa, Chiarelli, 2020). کم‌آبی، عملکرد گیاهان زراعی را در ۲۵ درصد از زمین‌های زراعی جهان کاهش می‌دهد (Fakhri, Sayfzadeh, Sarajooghi, Valadabadi, & Masouleh, 2023). یکی از چالش‌های مهم در جهان و ایران، رقابت برای دسترسی به منابع آب می‌باشد و در این بین، تغییر اقلیم از جمله چالش‌هایی است که آینده جهان را با تهدید مواجه نموده است.

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

(*) - نویسنده مسئول: Email: parsa@um.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88747.1337>

پارگی، درد مفاصل، سردرد و اسهال استفاده می‌شود و همچنین اثر ضداسترس این گیاه در موش نیز به اثبات رسیده است (Meamari, Yavari, & Bikdeloo, 2020; Safaai et al., 2023; Sasanihoma et al., 2012; Yavari, Nazeri, Sefidkon, & Hassani, 2010).

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی زیستی می‌باشد که می‌تواند رشد، عملکرد و محصول دهی گیاهان را محدود کند (Ashrafi et al., 2022; Babaee, Dehaghi, Sanavi, & Jabbari, 2010). در مجموع، تنش خشکی از طریق کاهش تورژانس سلولی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سطح برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش سنتز آب‌گیری کلروپلاست و دیگر بخش‌های پروتوپلاسم، کاهش سنتز کلروفیل و پروتئین سبب تقلیل فرآیند فتوسنتز و مواد فتوسنتزی می‌گردد که نتیجه تأثیر نهایی آن سبب کاهش ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد گل‌ها، محتوای رطوبت نسبی، شاخص پایداری غشاء، کمیت و کیفیت عملکرد می‌شود (Moshrefi-Araghi et al., 2023). در کشاورزی اکولوژیک، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها کمتر استفاده می‌شوند، در نتیجه گیاهان تولیدی برای انسان و محیط زیست سالم‌تر هستند (da Cunha Honorato et al., 2024). مصرف فشرده و شدید کودهای شیمیایی باعث تخریب و تأثیر بر جانداران (ارگانیسم‌های) غیرهدف، تغییر یافتن نظام‌های زیستی و تأثیر گذاشتن بر ریزجانداران خاک می‌شود (Rahimi et al., 2023). کودهای آلی منبعی از مواد آلی در دسترس طبیعی هستند که مقدار متوسطی از عناصر غذایی مهم و ضروری برای تغذیه گیاهان را دارند (Vaičiulytė, Ložienė, & Sivicka, 2022). کودهای دامی (به‌عنوان کودی آلی) باعث افزایش درصد خلل‌وفرج خاک از طریق افزایش مواد آلی خاک می‌شوند، که این امر سبب افزایش حاصلخیزی و باروری خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش قدرت نگهداری آب توسط خاک و در نهایت رشد، توسعه و گسترش بیشتر ریشه گیاه در خاک شده و جذب آب و مواد غذایی در گیاهان را بهبود می‌بخشد که این موضوع در نهایت باعث بهبود وضعیت رشدی و عملکردی گیاهان می‌شود (Askary, Behdani, Parsa, Ahmadi, & Mahmoodi, 2019; Walia et al., 2023).

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر مقدار آبیاری و کود دامی بر رشد و تولید شاخساره و عملکرد گیاه آویشن شیرازی در شرایط اقلیمی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

برای تعیین اثرات سطوح آبیاری و تغذیه کود دامی بر خصوصیات رشدی و ریخت‌شناختی گیاه آویشن شیرازی، آزمایشی در سال زراعی

توجهات خاص و برنامه‌ریزی صحیح می‌تواند در موارد دارویی و درمانی و صنایع دیگر، به‌ویژه در زمینه اقتصاد بدون اتکا به نفت از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (Mohammadi, Karim, Dahmardeh, & Ghasemi, 2021). امروزه، مشخص شدن عوارض جانبی داروهای شیمیایی و عوارض کم داروهای گیاهی و بی‌ضرر بودن آن‌ها موجب ترغیب و توجه به کشت این گیاهان در کشورهای توسعه‌یافته شده است (Riaz et al., 2021). همچنین مشکلاتی مانند چرای بی‌رویه دام و بهره‌برداری بی‌رویه گیاهان دارویی در عرصه‌های طبیعی سبب تبدیل آن‌ها به دیم‌زارهای کم بازده و بایر می‌شود. در پاسخ به این چالش، کشت گیاهان دارویی چندساله می‌تواند مناسب‌تر از گیاهان یک‌ساله باشد، چرا که با ایجاد پوشش دائمی بر سطح خاک در جلوگیری از تبخیر آب، سیلاب، فرسایش و افزایش ماده آلی خاک و ذخیره آب بیشتر بر اثر نیاز به شخم کمتر در عرصه‌های شیب‌دار و غیره، می‌تواند تحولی در حفظ و احیای نظام‌های زراعی ایجاد کند (Chubeigi, 2013; Khairi & Tori, 2014; Lebaschi, Ashoorabadi, Tafti, & Asadi-Sanam, 2018).

آویشن گیاه دارویی چندساله می‌باشد. نام آویشن به گروهی از گیاهان تیره نعناعیان (Lamiaceae) که به سه جنس *Thymus*، *Zataria* و *Ziziphora* تعلق دارند، اطلاق می‌شود (Pourhosseini et al., 2020). آویشن شیرازی با نام علمی *Zataria multiflora* Bioss. گونه‌ای دارویی در شکاف صخره‌ها و دامنه‌های سنگلاخی است که از پراکندگی محدود در جهان برخوردار بوده و رویش آن منحصراً در ایران، افغانستان و پاکستان می‌باشد (Safaai, Ashoorabadi, & Aminazarm, 2023). اندام‌های دارویی این گیاه شامل برگ‌ها و گل‌های آن بوده که مهم‌ترین ترکیبات اسانس آن شامل تیمول و کارواکرول است که به‌ترتیب از ۳ تا ۶۰ درصد اسانس و ۱۵ تا ۵۰ درصد از اسانس را تشکیل می‌دهند، ترکیبات دیگر شامل لینالول، سیمین، تیمین و آلفا پینن هستند (Ahadi, Aliahmadi, & Mirjalili, 2020). آویشن شیرازی از گیاهان دولپه و دگرگشن است که ظاهری بوته‌ای یا درختچه‌ای کوچک به ارتفاع ۲۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متر، ساقه‌های متعدد و محکم به رنگ خاکستری گاه‌آ متماایل به سفید و گاه‌آ کرکدار، برگ‌های کوچک در قاعده قلبی شکل در انتها مدور، گل‌های کوچک و ریز، مجتمع در گرزن‌های کوچک به‌صورت سنبله انتهایی و میوه آن فندقه می‌باشد (Naseri, Ahmadipour, & Meteor, 2023; Sasanihoma, Gholami, & Sarikhani, 2012; Sefidkan & Naderi, 2021). آویشن شیرازی دارای خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی بوده و برای درمان آسم و سرفه‌های ناشی از سرماخوردگی و برونشیت و گلودرد، اختلالات دستگاه گوارش، ضدعفونی‌کننده معده و مجاری ادراری، تب، درد زودرس زایمان، قاعده‌آور و تسکین‌دهنده دردهای قاعدگی، افسردگی،

سطح کود دامی شامل ۴۱/۷۶ تن در هکتار (M_1)، ۵۲/۲ تن در هکتار (M_2)، ۶۲/۶۴ تن در هکتار (M_3) و شاهد بدون اضافه کردن کود دامی (M_0) بودند.

قبل از آماده‌سازی زمین برای کشت، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری زمین محل آزمایش به‌روش سیستماتیک قطری به‌وسیله اوگر جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد (جدول ۱).

۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا صورت گرفت. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد و تیمارهای آن شامل:

سه سطح آبیاری شامل ۲۱۰۰ مترمکعب در هکتار (W_1)، ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار (W_2) و ۳۹۰۰ مترمکعب در هکتار (W_3) و چهار

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

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

ویژگی	واحد	مقدار	ویژگی	واحد	مقدار
Characteristics	Unit	Amount	Characteristics	Unit	Amount
شن	%	33	اشباع خاک	%	32.636
Sand	%	33	SP	%	32.636
سیلت	%	49	مواد خنثی‌شونده - آهک	%	13.635
Silt	%	49	TNV	%	13.635
رس	%	18	نیتروژن کل	mg kg ⁻¹	0.078
Clay	%	18	Total N	mg kg ⁻¹	0.078
کربن آلی	%	0.857	فسفر قابل جذب	mg kg ⁻¹	13.80
Organic C	%	0.857	Available P	mg kg ⁻¹	13.80
قابلیت هدایت الکتریکی	dS m ⁻¹	2.795	پتاسیم قابل جذب	mg kg ⁻¹	230
EC	dS m ⁻¹	2.795	Available K	mg kg ⁻¹	230
شاخص واکنش	---	7.17	بافت	---	لوم سیلتی
pH	---	7.17	Texture	---	Silty loam

SP و TNV به ترتیب معادل: Saturation Percentage و Total Neutralizing Value می‌باشند.

SP and TNV are equivalent to Saturation Percentage and Total Neutralizing Value, respectively.

خرداد ماه صورت گرفت و یک هفته بعد از آن نیز گیاهان خشک‌شده واکاری شدند. تیمارهای آبیاری بعد از استقرار کامل گیاهان در مزرعه به‌وسیله کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۰۱ لیتر و با استفاده از شیرهای کنترل برای هر کرت توسط سیستم آبیاری قطره‌ای اعمال شدند. در طول فصل رشد گیاه، مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و به دفعات زیاد و به‌میزان هر ۱۰ روز یک‌بار انجام شد. صفات ریخت‌شناختی شامل تعداد شاخه جانبی، ارتفاع بوته، ارتفاع ساقه، سطح برگ، قطر بزرگ و کوچک بالا و پایین تاج‌پوشش، وزن تر برگ، گل و ساقه و وزن آون خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از رسیدن بوته‌ها به مرحله اوایل گل‌دهی (باز شدن ۱۰ درصد از گل‌ها) نمونه‌گیری برای تعیین اجزای عملکرد به‌روش سیستماتیک تصادفی و با حذف دو ردیف کناری به‌عنوان اثرهای حاشیه‌ای در هر کرت صورت گرفت.

در این آزمایش، هر بلوک شامل ۱۲ کرت و هر کرت شامل شش خط کشت بود که فاصله بین ردیف‌ها ۵۵ سانتی‌متر و فاصله‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، همچنین فاصله بین هر کرت برای عدم اثرگذاری تیمارهای آبیاری بر کرت مجاور یک متر و فاصله بین بلوک‌ها از هم دو متر در نظر گرفته شد. بذور این گیاه از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شد و نشاهای آن در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تولید گردید. تیمارهای کود دامی پس از آماده‌سازی زمین به‌صورت نواری با فاصله چهار سانتی‌متر از نشاء در طرفین محل کشت نشاء در عمق ۱۰ سانتی‌متری کاشته شدند. همچنین از شش قسمت از توده کود دامی مورد استفاده که از نوع کود گاوی پوسیده بود، نمونه‌برداری انجام شد و برای انجام آنالیز فیزیکی و شیمیایی از مخلوط یک کیلویی آن استفاده گردید (جدول ۲).

کشت نشاء به‌دلیل مصونیت از خطر تگرگ‌زدگی در اواسط

جدول ۲- تجزیه فیزیکی و شیمیایی کود دامی مورد استفاده
Table 2- Physical and chemical analysis of cow manure

ویژگی Characteristics							
ماده آلی Organic material (%)	کربن آلی Organic C (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	شاخص واکنش pH	پتاسیم محلول Soluble K ₂ O (%)	فسفر کل Total P ₂ O ₅ (%)	فسفر محلول Soluble P ₂ O ₅ (%)	نیترژن کل Total N (%)
35.150	20.420	11.46	7.40	2.109	2.000	1.250	2.100
مقدار Amount							

ثبت شدند و سپس با توجه به هدف کار، و با استفاده از الگوریتم نویسی در نرم افزار Matlab R 2019 داده ها مرتب شدند و همچنین تست نرمال بودن داده ها انجام شد. سپس توسط نرم افزار SAS Pro 17.0.0 تجزیه و تحلیل داده ها براساس طرح آماری مورد استفاده انجام شد، بدین منظور، ابتدا تجزیه واریانس و سپس مقایسات میانگین به روش حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت. رسم نمودارها و گرفتن خروجی نیز توسط نرم افزارهای Excel و همچنین Matlab انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اعمال دو تیمار آبیاری و کود دامی روی برخی صفات اندازه گیری شده اثر معنی داری داشتند، ولی در مقابل، اثر متقابل این دو تیمار بر هیچ یک از صفات مورد مطالعه در هیچ سطحی معنی دار نشد. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که اثر ساده تیمار آبیاری بر همه صفات آزمایشی در سطح یک درصد معنی دار شد که این یافته نشان دهنده تأثیر بسیار زیاد آبیاری بر صفات ریخت شناختی این گیاه در سال اول رشدی می باشد و در ادامه اثر ساده تیمار کود دامی فقط بر صفات قطر بزرگ پایین بوته و وزن تر و آون خشک گل در سطوح مختلف آماری معنی دار گردید (جدول ۳ و ۴).

شاخص سطح برگ

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده ها نشان داد که تأثیر ساده آبیاری بر شاخص سطح برگ معنی دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۳). کمترین مقدار این صفت (0.34) در تیمار W_1 مشاهده شد و این تیمار نسبت به تیمار W_2 دچار کاهش ۴۷ درصدی شده است. شاخص سطح برگ در تیمارهای W_2 و W_3 در یک سطح می باشد و از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند (شکل ۱).

قبل از بریدن گیاهان، ارتفاع بوته و ساقه توسط متر به ترتیب به صورت اندازه گیری از طوقه تا محلی که حداکثر شاخه ها وجود دارند (ارتفاع بوته) و اندازه گیری طول بلندترین شاخه گیاه (ارتفاع ساقه) انجام شد. برای اندازه گیری قطر تاج پوشش، ابتدا قطر بزرگ و کوچک بالای سطح تاج پوشش با متر و خط کش اندازه گیری و پس از آن، همین کار برای اندازه قطر کوچک و بزرگ پایین تاج پوشش از ارتفاع پنج سانتی متری بالای طوقه انجام شد. سپس گیاهان برای ادامه اندازه گیری ها از ارتفاع هفت سانتی متری برش داده شدند و بعد از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا وزن تر بوته با ترازویی با دقت (0.001) گرم ثبت شد، و بعد از آن، برگ، گل و ساقه به دقت از هم جدا شدند و وزن آن ها با ترازو ثبت شد، بلافاصله سطح برگ های جدا شده توسط دستگاه LI-3100C Area Meter ساخت کشور آمریکا، اندازه گیری شد و سپس به صورت جدا در پاکت های کاغذی قرار داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و مجدداً با ترازوی دیجیتال با دقت (0.001) گرم وزن آون خشک آن ها برآورد گردید. برای عملکرد کل نیز نصف بوته های هر کرت از ارتفاع هفت سانتی متری برداشت شدند و در انبار در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت یک هفته خشک گردیدند، سپس وزن آن با ترازوی دیجیتال با دقت (0.001) گرم ثبت شد، در ادامه وزن آون خشک آن ها نیز مطابق روش قبلی اندازه گیری گردید. وزن آون خشک بوته از طریق حاصل جمع وزن آون خشک برگ، گل و ساقه محاسبه شد و همچنین شاخص سطح برگ با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$LAI \text{ (Leaf area index) شاخص سطح برگ} \\ LAI = \frac{LA \text{ (cm}^2\text{)}}{GA \text{ (cm}^2\text{)}} \quad (1)$$

که در آن، LA: مساحت برگ و GA: مساحت زمین سایه انداز می باشد.

در نهایت، کلیه داده های حاصل از آزمایش در نرم افزار Excel

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری و کود دامی بر شاخص‌های رشد بوته آویشن شیرازی
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of irrigation and manure on growth parameters of *Zataria multiflora* Bioss.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of lateral branches	شاخص سطح برگ Leaf area index	ارتفاع بوته Bush height	قطر کوچک بالا Small top diameter	قطر بزرگ بالا Large top diameter	ارتفاع ساقه Stem height	قطر کوچک پایین Small bottom diameter	قطر بزرگ پایین Large bottom diameter
بلوک Block	2	13.85 [*]	0.045 ^{ns}	22.7 ^{ns}	32.63 ^{ns}	34.98 ^{ns}	46.2 ^{ns}	1.51 ^{ns}	0.57 ^{ns}
آبیاری Irrigation	2	132.42 ^{**}	0.342 ^{**}	300 ^{**}	612.23 ^{**}	233.21 ^{**}	571 ^{**}	6.35 [*]	8.50 ^{**}
کود دامی Manure	3	2.78 ^{ns}	0.03 ^{ns}	26.2 ^{ns}	20.75 ^{ns}	10.81 ^{ns}	29.4 ^{ns}	4.23 ^{ns}	3.57 [*]
اثر متقابل I × M	6	3.09 ^{ns}	0.012 ^{ns}	20.2 ^{ns}	18.43 ^{ns}	22.35 ^{ns}	23.7 ^{ns}	1.34 ^{ns}	0.71 ^{ns}
باقی‌مانده Residual	22	3.19	0.02	22.92	25.49	18.15	35.50	1.78	1.14
ضریب تغییرات C.V. \$ (%)		19.1	26.8	12.3	16.9	18.7	13.2	13.7	10.5

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار، \$: ضریب تغییرات.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively, ns: not significant, \$: coefficient of variation.

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری و کود دامی بر وزن بوته آویشن شیرازی
Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of irrigation and manure on plant weight of *Zataria multiflora* Bioss.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر بوته Plant fresh weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن تر ساقه Stem fresh weight	وزن تر گل Flower fresh weight	وزن هوا خشک برگ Leaf air dry weight	وزن آون خشک بوته Plant oven dry weight	وزن آون خشک برگ Leaf oven dry weight
بلوک Block	2	38947 ^{ns}	9408 ^{ns}	3596 ^{ns}	14.32 ^{ns}	930.89 [*]	2981 ^{ns}	779.52 [*]
آبیاری Irrigation	2	309896 ^{**}	48595 ^{**}	66420 ^{**}	114.2 ^{**}	5348.84 ^{**}	30935 ^{**}	4609 ^{**}
کود دامی Manure	3	34943 ^{ns}	5594 ^{ns}	3706 ^{ns}	43.27 [*]	539.02 ^{ns}	2825 ^{ns}	477.31 ^{ns}
اثر متقابل I × M	6	5619 ^{ns}	865 ^{ns}	1816 ^{ns}	73.06 ^{ns}	207.04 ^{ns}	1259 ^{ns}	180.95 ^{ns}
باقی‌مانده Residual	22	15371	2738	1765	14.14	230.22	978	196.39
ضریب تغییرات C.V. \$ (%)		27.9	25.7	23.7	26.8	19.7	20.1	19.6

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار، \$: ضریب تغییرات.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively, ns: not significant, \$: coefficient of variation.

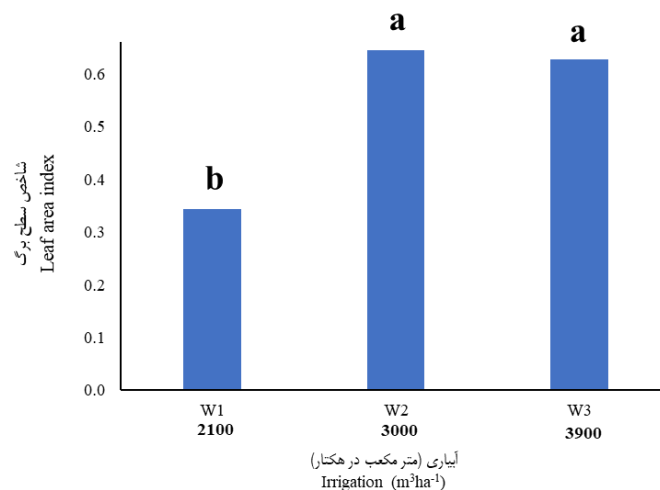
جدول ۴- ادامه جدول، نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری و کود دامی بر وزن بوته آویشن شیرازی

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of irrigation and manure on plant weight of *Zataria multiflora* Boiss.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن آون خشک ساقه Stem oven dry weight	وزن آون خشک گل Flower oven dry weight	عملکرد کل (هوا خشک) Total yield (air dry)	عملکرد کل (آون خشک) Total yield (oven dry)
بلوک Block	2	697.43 ^{ns}	1.897 ^{ns}	4254.75 [*]	3745.25 [*]
آبیاری Irrigation	2	9534.23 ^{**}	137.14 ^{**}	17496.10 ^{**}	15430.55 ^{**}
کود دامی Manure	3	957.58 ^{ns}	85.319 ^{**}	992.79 ^{ns}	880.22 ^{ns}
اثر متقابل I × M	6	565.63 ^{ns}	79.811 ^{ns}	2034.68 ^{ns}	1785.30 ^{ns}
باقی مانده Residual	22	403	5.423	844.73	743.91
ضریب تغییرات (%) C.V. \$ (%)		26.3	30.0	19.8	19.8

* و **: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی دار، \$: ضریب تغییرات.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively, ns: not significant, \$: coefficient of variation.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر شاخص سطح برگ آویشن شیرازی

Figure 1- Mean comparison for the effect of irrigation on leaf area index of *Zataria multiflora* Boiss.

نورانی خورشید شده و در نتیجه، سنتز مواد فتوسنتزی را افزایش می دهد (Liu et al., 2021). با بررسی نتایج حاصل از این آزمایش مشاهده شد که با کاهش مقدار آبیاری از ۳۰۰۰ به ۲۱۰۰ مترمکعب، شاخص سطح برگ نیز کاهش یافت. پژوهش حاضر با نتایج حاصل از

شاخص سطح برگ در جذب و دریافت تشعشعات خورشیدی بسیار پراهمیت است و بالا بودن این شاخص در بهبود رشد و افزایش عملکرد محصول مؤثر می باشد؛ افزایش شاخص سطح برگ، افزایش تراکم تاج پوشش را به دنبال دارد که موجب استفاده بهینه تر از انرژی

که به دلیل استفاده از کود دامی، میزان شاخص سطح برگ افزایش پیدا کرد که این امر می‌تواند به خاطر نقش کود دامی در بهبود خصوصیات خاک و متعاقب آن تقویت سیستم ریشه‌ای گیاه و جذب آب بیشتر نسبت به شرایط عدم کاربرد کود توسط گیاه باشد که منجر به تقلیل اثرات تنش در گیاه شده و همچنین ظرفیت جذب آب را بالا می‌برد و محیط مناسبی را برای گسترش سیستم ریشه‌ای فراهم می‌کند (Askary et al., 2019).

ارتفاع ساقه - ارتفاع بوته

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها در اثر ساده آبیاری بر ارتفاع بوته نشان داد که تیمار W_1 موجب کاهش ارتفاع بوته شده است، به طوری که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۴۲ سانتی‌متر در تیمار آبیاری W_3 و کمترین آن با میانگین ۳۳ سانتی‌متر در تیمار آبیاری W_1 بود، همچنین در تیمار W_1 نسبت به تیمار W_3 به دلیل کاهش حجم آبیاری، ارتفاع بوته ۲۱ درصد کاهش یافت (شکل ۲). همچنین نتایج نشان داد که ارتفاع ساقه در تمام سطوح تیمار آبیاری نسبت به ارتفاع بوته بیشتر است و ساقه‌ها از طول بلندتری نسبت به متوسط بوته برخوردار بودند، علاوه بر این کمترین ارتفاع ساقه با میانگین ۳۷ سانتی‌متر مربوط به تیمار آبیاری W_1 و بیشترین ارتفاع ساقه مربوط به تیمار W_3 با مقدار میانگین ۵۰ سانتی‌متر بود، در این مورد ارتفاع ساقه در تیمار W_1 نسبت به تیمار W_3 به دلیل کاهش حجم آبیاری ۲۶ درصد کاهش داشت (شکل ۲).

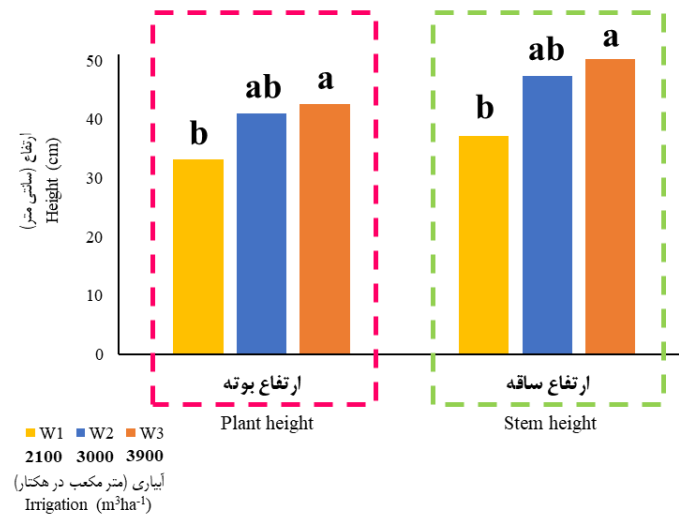
یافته‌های حاصل از آزمایش حاضر نشان داد که با کاهش سطوح آبیاری از ۳۹۰۰ به ۲۱۰۰ مترمکعب، از ارتفاع بوته و ساقه کاسته شده، به طوری که بین تیمارها اختلاف ۲۱ درصدی مشاهده گردید، همچنین در این آزمایش مشخص شد که در تمام سطوح آبیاری، طول ارتفاع ساقه از ارتفاع بوته بیشتر می‌باشد. با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که نتایج آزمایش حاضر با بسیاری از آزمایش‌های مشابه مطابقت داشته و با کاهش سطوح آبیاری از ۳۹۰۰ به ۲۱۰۰ مترمکعب، ارتفاع بوته نیز کاهش می‌یابد. در این رابطه، سپه‌وند و همکاران (Sepahvand, Jafari, Sefidkon, & Kalatejari, 2021) گزارش کردند که در گیاه آویشن دناپی، ارتفاع بوته با کاهش آبیاری روندی کاهشی داشت، به طوری که در سطح تنش آبی شدید، کاهش ۱۵ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری کامل نشان داد. همچنین نادری و همکاران (Naderi, Afranjeh, & Shabani, 2022) در آزمایشی روی آویشن شیرازی بیان کردند که با افزایش تنش خشکی از شاهد به تنش شدید، ارتفاع بوته کاهش یافت و بیشترین ارتفاع بوته را ۳۸ سانتی‌متر و مربوط به آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) اعلام کردند و کمترین آن ۲۰ سانتی‌متر و مربوط به تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بود، علاوه بر این

پژوهش‌های متعددی در این زمینه مطابقت دارد. برگ یکی از اصلی‌ترین اندام‌های گیاه دارویی آویشن شیرازی می‌باشد که از نقطه نظر تولید اسانس دارای اهمیت اقتصادی زیادی بوده که در این باره سطح برگ این گیاه دارای کرک‌های ترش‌حی می‌باشد و سنتز اسانس را بر عهده دارد؛ ریزش برگ تحت شرایط خشکی یا تولید سطح برگ کمتر از حد معمول یکی از واکنش‌های سازگاری متداول برای زنده ماندن گیاهان در این شرایط است (Abbasi, Houshmand, & Ahmadi, 2024). در این رابطه، کوچکی و همکاران (Koocheki, Nassiri, Mahallati, & Azizi, 2006) اظهار کردند که با کاهش آبیاری سطح برگ در بوته کاهش یافت، آن‌ها بیان داشتند که گیاه در مواجهه با کمبود آبیاری، برای حفظ رطوبت و کاهش تعرق، سطح برگ خود را کاهش داده و این پدیده همراه با افزایش ضخامت برگ می‌باشد. همچنین کاظم پور و همکاران (Kazempour, Sharghi, Sanavi, Zahedi, & Kon, 2023) در آزمایشی مشابه بیان کردند که با کاهش آبیاری، سطح برگ آویشن روندی کاهشی داشت و علت آن را این‌طور بیان کردند که نامناسب بودن تورژسانس سلولی سبب کاهش تقسیم سلولی شده و بسته شدن روزنه‌ها یا کاهش هدایت روزنه‌ای سبب تقلیل فتوسنتز و کاهش رشد گیاه می‌شود که این موارد از جمله عوامل کاهنده سطح برگ در گیاه آویشن هستند. به طور کلی، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش و مطالعات سایر پژوهشگران بر این موضوع به نظر می‌رسد که تنش آب علاوه بر افت گسترش، تأخیر در نمو و کاهش رشد برگ قادر است که به وسیله مرگ برگ و ریزش آن‌ها در طول مراحل مختلف رشدی بر شاخص سطح برگ تأثیرگذار باشد. به طور کلی کمبود آب از طریق کوچک کردن سطح برگ، بستن روزنه‌ها، کم کردن هدایت روزنه‌ای، کاهش در فرایندهای وابسته به کلروپلاست از کارآیی فتوسنتز می‌کاهد و همچنین با تقلیل سنتز کلروفیل موجب کاهش در فرایند فتوسنتز می‌گردد که در نهایت، این امر سبب کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی شده و با تخصیص مواد فتوسنتزی کمتری به برگ باعث کاهش رشد و نمو برگ شده و در نهایت سطح برگ کوچک می‌شود؛ همچنین کمبود آب می‌تواند به طور مستقیم بر فرایندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز تأثیر گذاشته و به طور غیرمستقیم نیز ورود دی اکسید کربن از طریق روزنه‌ها به داخل برگ‌ها را که به دلیل شرایط تنش آبی بسته شده‌اند را کاهش می‌دهد (Babae, et al., 2010).

علاوه بر این در آزمایش حاضر، افزایش سطوح کود دامی نسبت به شاهد به طور معنی‌داری تفاوتی در سطح برگ گیاه ایجاد نکرد، که در پژوهشی که توسط عسکری و همکاران (Askary et al., 2019) صورت پذیرفت، نتایجی مخالف با نتایج این آزمایش داشتند. این محققان بیان کردند که با افزایش سطوح کود دامی، سطح برگ نیز بیشتر گردید، آن‌ها دلیل کاهش شاخص سطح برگ در آخر فصل رشد را به پیری، زرد شدن و ریزش برگ‌ها نسبت داده و بیان داشتند

گزارش کردند.

اشرفزاده و همکاران (Ashrafzadeh, Morshidi, Dashtabi, & Mohseni, 2021) نیز نتایج مشابهی را بر روی آویشن شیرازی



شکل ۲- اثر آبیاری بر ارتفاع بوته و ارتفاع ساقه آویشن شیرازی

Figure 2- Effect of irrigation on plant height and stem height of *Zataria multiflora* Boiss.

در آزمایش حاضر، کاربرد سطوح مختلف کود دامی به طور معنی داری اختلافی در ارتفاع بوته و ساقه ایجاد نکرد که این موضوع با نتایج حاصل از آزمایش توتونی و همکاران (Tutoni, Mousavi, & Mitra, 2021) در تضاد است، آن‌ها بیان کردند که ارتفاع بوته آویشن باغی با کاربرد کود دامی افزایش پیدا کرد، به طوری که بیشترین ارتفاع در کاربرد ۳۰ درصد حجمی کود دامی به میزان ۳۶ سانتی متر مشاهده گردید که این باعث افزایش ۲۱ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد.

تعداد شاخه جانبی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر ساده تیمار آبیاری بر تعداد شاخه‌های جانبی گیاه نشان داد که اعمال تیمار W_1 و کاهش میزان آبیاری نسبت به دو تیمار دیگر باعث کاهش تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه شد، به طوری که میزان شاخه جانبی در تیمار W_1 نسبت به W_2 دچار کاهشی ۴۵ درصدی شده است و در بین سطوح آبیاری آزمایش، تیمار W_1 دارای کمترین میزان شاخه جانبی به میزان پنج جفت شاخه می‌باشد، و در مقابل با افزایش آبیاری از سطح تیمار W_1 ، تولید شاخه‌های جانبی در گیاه بیشتر شده و به میزان ۱۰-۱۲ جفت شاخه رسیده است (شکل ۳).

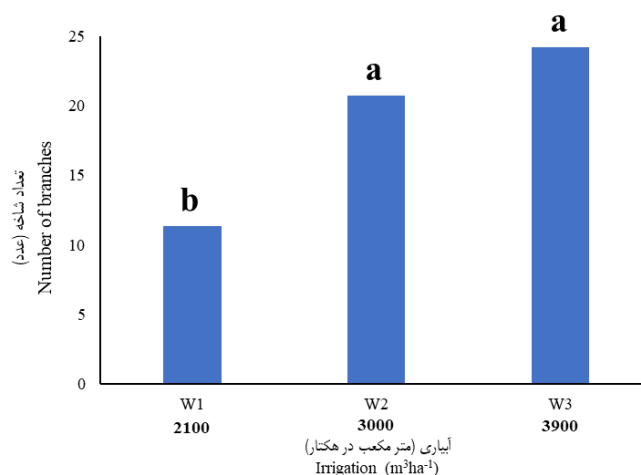
نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که با کاهش سطوح آبیاری از تعداد شاخه‌های جانبی آویشن شیرازی نیز کاسته شد، به طوری که اختلاف ۴۵ درصدی بین تیمارها مشاهده گردید، کاهش تعداد شاخه‌های جانبی بر اثر خشکی در آزمایش‌های زیادی روی گونه‌های

ماچیانی و همکاران (Machiani, Javanmard, Ostadi, & Morshedloo, 2021) نیز بیان داشتند که بر اثر

افزایش سطح تنش خشکی از ارتفاع بوته آویشن باغی کاسته شده است، کمبود آب از طرفی با کاهش مقدار جذب مواد غذایی و از طرف دیگر با تحت تأثیر قرار دادن سازوکارهای مختلف از قبیل کاهش غلظت کلروفیل، سرعت فتوسنتز و کارایی آن منجر به کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Akhzari & Kavian, 2021).

با توجه به یافته‌های حاضر و همچنین کاهش سطح برگ، به نظر می‌رسد که کاهش ارتفاع گیاه را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه کمبود آب و کاهش سنتز مواد فتوسنتزی برای ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه (Luo et al., 2023) به‌خاطر بسته شدن روزنه‌ها، اختلال در ساختار غشاء تیلاکوئید و فعالیت آنزیم روبیسکو، کاهش ذخیره و انتقال مواد فتوسنتزی دانست. کاهش ارتفاع گیاه در هر ساقه دلیلی است برای اینکه تنش خشکی باعث کاهش تقسیم سلولی گردیده و انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه را کاهش داده است، در نتیجه طولیل شدن این سلول‌ها متوقف می‌شود و به گونه‌ای رشد رویشی گیاه کاهش پیدا می‌کند. از آنجاکه بخش هوایی گیاه دارای حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی می‌باشد، محدودیت‌های نموی در اثر کمبود رطوبت خاک در این بخش زودتر اتفاق می‌افتد. هر گونه کمبود آب موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش توسعه و تقسیم سلولی به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها می‌شود، به همین خاطر اولین اثر قابل مشاهده کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا کوچک‌تر شدن اندازه برگ‌ها تشخیص داد (Abdi, Asghari, Abolhassani, Amerian, & Bodi, 2022).

متعددی از آویشن گزارش شده است که یافته‌های آزمایش حاضر نیز همسو با آن‌ها می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر تعداد شاخه جانبی آویشن شیرازی

Figure 3- Mean comparisons for the effect of irrigation on the number of lateral branches of *Zataria multiflora* Boiss.

به‌طوری‌که مقدار آن‌ها به‌ترتیب ۲۵۸، ۱۳۰، ۹۱ و ۱۰ گرم بر مترمربع شده است، همچنین در این مورد تیمار W_1 نسبت به تیمار W_2 در صفات وزن تر کل، برگ، ساقه و گل به‌ترتیب دچار ۵۱، ۴۶، ۵۸ و ۴۱ درصد کاهش وزنی در مترمربع شده است، که این نمایانگر اهمیت آب در وزن تر این گیاه می‌باشد. همچنین مقادیر وزنی تیمارهای W_2 و W_3 از نظر آماری در صفات وزن تر کل، برگ، ساقه و گل تفاوت معنی‌داری نداشته و مشابه بودند، که می‌توان موضوع را این‌طور بیان کرد که با مصرف آب کمتر در تیمار W_2 نسبت به W_3 می‌توان به عملکرد بوته مشابه در مترمربع رسید (شکل ۴).

همچنین در اثر کود دامی بر وزن تر گل نیز مشاهده شد که با مصرف بیشتر کود دامی در هکتار در همه سطوح کودی مورد استفاده، وزن تر گل نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که وزن تر گل در تیمارهای M_2 و M_3 نسبت به شاهد ۴۵ درصد افزایش یافت که نشان‌دهنده اهمیت مصرف کود دامی در تشکیل گل و افزایش وزن تر آن می‌باشد (شکل ۵).

وزن آون خشک کل بوته، برگ، ساقه و گل

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمار آبیاری در این بخش مشابه نتایج حاصل از صفات وزن تر این گیاه بود و تیمار W_1 نسبت به سایر تیمارهای آبیاری دارای کمترین مقادیر وزنی بودند (شکل ۶).

همچنین درصد رطوبت موجود در گیاه تازه‌برداشت‌شده نسبت به وزن آون خشک این گیاه برای کل بوته در تیمارهای آبیاری W_2 و W_1 به‌ترتیب معادل ۶۵، ۶۲ و ۶۵ درصد می‌باشد، در برگ به‌ترتیب معادل ۶۴، ۶۲ و ۶۶ درصد، در ساقه به‌ترتیب معادل ۵۹، ۵۱، ۵۶ درصد و در گل به‌ترتیب معادل ۳۹، ۶۳ و ۳۶ درصد رطوبت

در این خصوص، شرفی و همکاران (Ala Sharafi, Changizi, Rafiee, Gomarian, & Khagani, 2019) گزارش کردند که تعداد شاخه‌های جانبی در آویشن باغی با افزایش تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و از میانگین ۱۳ شاخه در شرایط نرمال به ۱۱ شاخه در تنش شدید خشکی (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) رسید. همچنین عسکری و همکاران (Askary, Parsa, Behdani, Jami, Al-Ahmadi, & Mahmoodi, 2023) گزارش کردند که با کاهش میزان رطوبت خاک از ۱۰۰ به ۳۳ درصد ظرفیت زراعی، تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه به‌میزان ۹/۵ درصد کاهش یافت. شرفی و همکاران (Sharafi, Changizi, Rafiee, Gomarian, & Khagani, 2021) نیز گزارش کردند که بالاترین تعداد شاخه فرعی به‌میزان ۱۲ شاخه مربوط به شاهد بود و با اعمال تنش خشکی تعداد شاخه جانبی نسبت به شاهد کاهش یافت، به نظر می‌رسد که با کاهش ارتفاع ساقه و همچنین کاهش سطح برگ، میزان مواد فتوسنتزی نیز در گیاه کاهش پیدا کرده و به‌تبع آن مواد فتوسنتزی کمتری برای پر شاخه و برگ‌تر شدن گیاه هزینه شده است، در این صورت گسترش شاخه‌های جانبی در گیاه کاهش پیدا کرده است، بدین ترتیب می‌توان کاهش تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه را در شرایط خشکی احتمالاً به‌عنوان نوعی سازوکار سازگاری دانست.

وزن تر و خشک گیاه (برگ، ساقه، گل و بوته)

وزن تر کل بوته، برگ، ساقه و گل

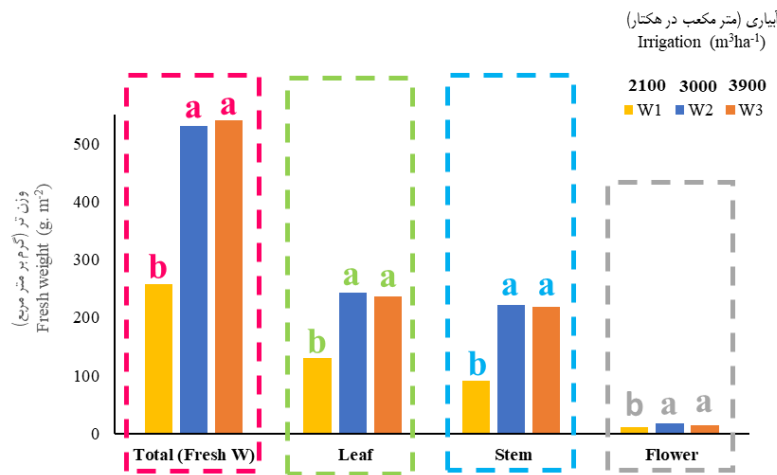
نتایج حاصل از این آزمایش در اثر تیمار آبیاری بر صفات وزن تر (کل بوته، وزن تر برگ، ساقه و گل) نشان داد که تیمار W_1 در بین سایر سطوح آبیاری و در صفات مذکور دارای کمترین مقادیر می‌باشد،

طول دوره رشد و راندمان استفاده از نور تحت تأثیر شرایط محیطی و ساختار تاج پوشش است. با کاهش رشد سلول در اثر کمبود آب، اندازه اندام‌های هوایی گیاه محدود شده و همین مورد موجب کاهش وزن ماده خشک تولیدی در گیاه می‌شود. همچنین در شرایط کمبود آب، توسعه و رشد برگ‌ها محدود شده و با کاهش سطح برگ، جذب نور توسط گیاه کاهش پیدا می‌کند، افزون بر این موارد، کارایی مصرف نور نیز کاهش یافته و در نهایت میزان فتوسنتز کل در گیاه کاهش پیدا می‌کند، در شرایط کمبود آب بدیهی است که فرآورده‌های فتوسنتزی با محدودیت مواجه شده، رشد گیاه کم شده و در نهایت وزن ماده خشک گیاه کاهش می‌یابد (Zhao et al., 2020).

می‌باشد، که خشبی بودن گیاه آویشن شیرازی را نسبت به سایر گیاهان نمایش می‌دهد.

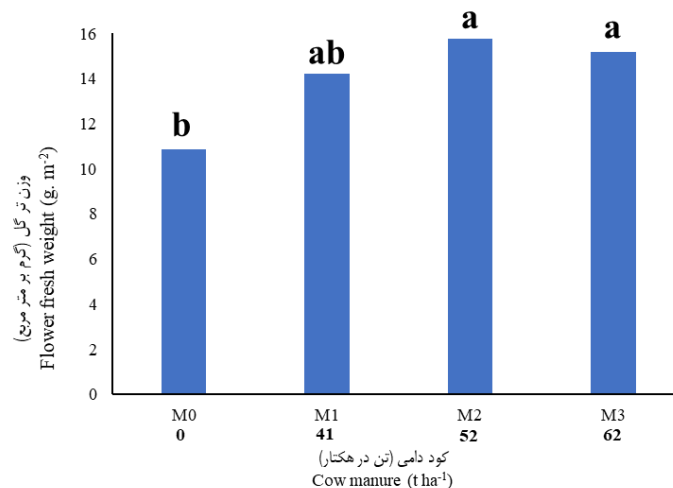
همچنین در اثر ساده تیمار کود دامی بر وزن خشک گل، تیمار M₃ بیشترین وزن خشک گل را نسبت به سایر سطوح کود دامی با مقدار ۱۲ گرم در مترمربع دارا بود که این مقدار نسبت به شاهد ۱۰۰ درصد افزایشی بوده و با استفاده از این مقدار کود دامی، وزن خشک گل نسبت به شاهد دو برابر شده است (شکل ۷).

در مجموع، وزن خشک گیاه، نمایانگر توانایی و قدرت گیاه در تولید و ذخیره مواد پرورده ساخته شده در طول فصل رشد می‌باشد و ماده خشک تولیدی در گیاه نیز به عنوان تابعی از نور جذب شده در



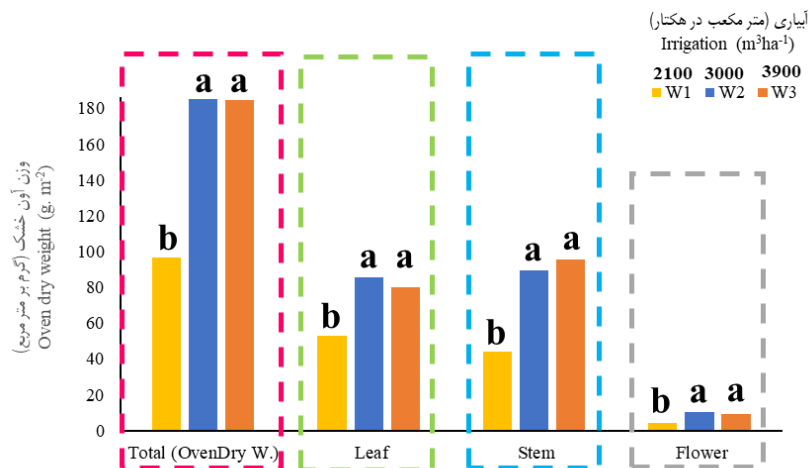
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر وزن تر برگ، ساقه، گل و کل شاخساره آویشن شیرازی

Figure 4- Mean comparisons for the effect of irrigation on total fresh weight, leaf, stem and flower of *Zataria multiflora* Boiss.



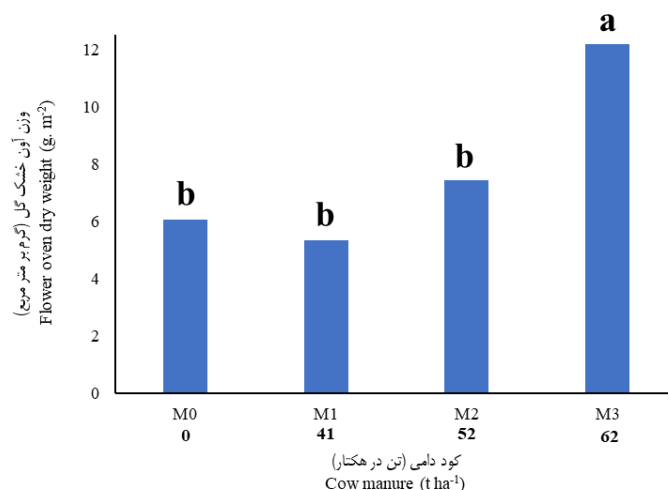
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر کود دامی بر وزن تر گل آویشن شیرازی

Figure 5- Mean comparisons for the effect of cow manure on flower fresh weight of *Zataria multiflora* Boiss.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر وزن آون خشک کل، برگ، ساقه و گل آویشن شیرازی

Figure 6- Mean comparisons for the effect of irrigation on total dry weight of leaf, stem and flower of *Zataria multiflora* Boiss.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر کود دامی بر وزن آون خشک گل آویشن شیرازی

Figure 7- Mean comparisons for the effect of cow manure on flower dry weight of *Zataria multiflora* Boiss.

ساقه را ۳۸ و ۵۱ درصد کاهش داد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. همچنین پارسا و همکاران (Parsa, Behdani, Askari, Jami, & Mahmoudi, 2020) بیان کردند که در شرایط تنش خشکی، تلفات برگ و در نتیجه درصد برگ‌های خشک افزایش و درصد برگ‌های باقی‌مانده روی گیاه آویشن دناپی نسبت به حالت شاهد کاهش یافت، در نتیجه با کاهش تعداد برگ، نسبت وزن برگ خشک به ساقه کاهش یافت. همچنین در آزمایشی که توسط نگاری و همکاران (Negari et al., 2023) صورت گرفت، افزایش وزن ساقه در رطوبت بیشتر مشاهده گردید، به نظر می‌رسد که رطوبت بیشتر باعث تحریک ساقه‌ها برای بزرگ‌تر و قوی‌تر شدن آن‌ها می‌شود، که این واکنش می‌تواند نوعی عمل خود-تنظیمی در گیاه برای تحمل کردن برگ و گل بیشتر و همچنین ذخیره مواد غذایی برای زمستان-

طبق نتایج آزمایش حاضر با کاهش سطوح آبیاری وزن تر و خشک بوته و سایر اجزای عملکرد گیاه از جمله وزن برگ، ساقه و گل نیز کاهش پیدا کرد، که نتایج حاصل از این آزمایش با بسیاری از محققان دیگر همسو بود و آن‌ها نیز به نتایج مشابه رسیده بودند. در این رابطه، کاظم‌پور و همکاران (Kazempour et al., 2023) بیان کردند که با کاهش آبیاری، وزن تر و خشک برگ نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داشت، و این موضوع ممکن است به کاهش تورژسانس سلولی نسبت داده شود که به‌نوبه خود باعث کاهش طول و توسعه سلولی می‌شود. همچنین نگاری و همکاران (Negari, Al-Ahmadi, & Zamani, 2023) گزارش دادند که سطح تأمین رطوبت در ۶۰ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به ۹۰ درصد، عملکرد برگ در آویشن باغی را به‌ترتیب ۲۰ و ۳۸ درصد و عملکرد

همچنین وزن برگ، ساقه و گل را نسبت به شاهد افزایش داد (Tutoni et al., 2021; Parsa et al., 2020). در آزمایش حاضر، مشخص شد که با افزایش مقدار کود مورد استفاده وزن گل نیز نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، که این یافته با نتایج آزمایشات متعدد و مشابهی مطابقت دارد، افزایش عملکرد گل در نتیجه استفاده از کود دامی را می‌توان به افزایش عناصر غذایی خاک و فراهم آوردن قابلیت جذب آن‌ها توسط گیاه مرتبط دانست (Parsa, Behdani, Askari, Jami, & Mahmoudi, 2020).

قطر بوته

قطر بزرگ و کوچک بالای بوته

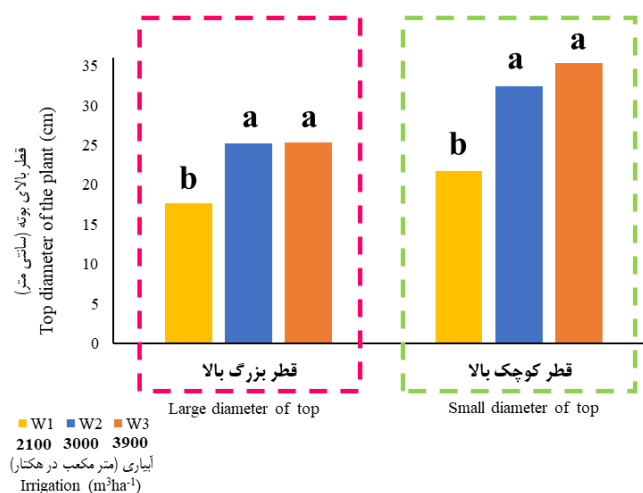
در شکل ۸ مشاهده می‌شود که تیمار W_1 آبیاری موجب شد تا قطر بزرگ و همچنین قطر کوچک بالای بوته به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا کند و کمترین قطر را در بین سطوح آبیاری با مقادیر ۲۱ و ۱۷ سانتی‌متر به‌ترتیب برای قطر بزرگ و قطر کوچک داشته باشد. در این میان، قطر بزرگ و کوچک بالای بوته در تیمار W_1 نسبت به تیمار W_2 به‌ترتیب ۳۲ و ۳۰ درصد کاهش یافت. همچنین تیمارهای W_2 و W_3 چه در قطر بزرگ بالا و چه در قطر کوچک بالای بوته از نظر آماری مقادیر یکسانی داشتند. درصد تغییرات قطر کوچک بالا نسبت به قطر بزرگ بالا در حدود ۱۸-۲۸ درصد در سطوح مختلف آبیاری مشاهده شد. به نظر می‌رسد که بالای بوته به‌خاطر شرایط محیطی و سایر موارد به‌صورت شعاعی رشد نکرده است و رشدش به یک سمت منحرف و نامتقارن شده است و این موضوع شاید به‌خاطر فضای کم بوته‌ها روی ردیف بر اثر رشد بالای بوته و اشغال فضای روی ردیف توسط شاخه‌ها باشد، در ضمن کمترین درصد تغییرات قطر کوچک نسبت به قطر بزرگ در بالای بوته مربوط به تیمار W_1 می‌باشد. این بوته‌ها به‌خاطر اینکه تنش رطوبتی به آن‌ها وارد شده و رشدشان کمتر بوده، کوچک‌تر مانده‌اند و در روی ردیف فضای بیشتری در اختیار داشته‌اند، و به این خاطر احتمالاً شعاعی‌تر و متقارن‌تر رشد کرده‌اند.

قطر بزرگ و کوچک پایین بوته

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها در اثر ساده تیمار آبیاری نشان داد که تیمار W_1 دارای کمترین قطر بزرگ و کوچک پایین بوته به‌ترتیب با مقادیر ۹/۲ و ۹ سانتی‌متر است و همچنین مقادیر قطر بزرگ و کوچک پایین بوته برای تیمارهای W_2 و W_3 از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت و مقدار آن به‌طور متوسط در حدود ۱۰ سانتی‌متر بود. با بررسی درصد تغییرات مشاهده شد که در هر دو مورد، قطر بزرگ و کوچک پایین بوته در تیمار W_1 نسبت به تیمار W_2 به‌مقدار ۱۳ درصد کاهش یافت.

گذرانی در گیاه باشد. برگ آویشن‌ها علاوه‌بر اینکه محل مهم واکنش‌های بیوشیمیایی کربن‌گیری، فتوسنتز، تولید و ذخیره مواد غذایی و اکسیژن و همچنین تبخیر، تعریق و تعرق است، مهم‌ترین محل تشکیل غدد اسانس است. ساقه گیاه نیز پل ارتباطی اندام هوایی و زیرزمینی، ذخیره‌گاه مواد غذایی و محل نگهداری برگ، گل و میوه است. علاوه‌بر این در پژوهش‌های صورت‌گرفته مشخص شد که با افزایش سطح تنش کم‌آبی از عملکرد سرشاخه‌های گلدار نیز کاسته شد (Goshasbi, Heidari, Sabbagh, & Makarian, 2020; Goshasbi, Heidari, Sbbagh, & Makarian, 2021). متعاقب آن، عملکرد گل در دو گونه مختلف آویشن کاهش پیدا کرد (Parsa, Behdani, Askari, Jami, & Mahmoudi, 2020). تحت شرایط تنش خشکی، سطح برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش پیدا کردند و باعث کاهش انتقال این مواد به‌سمت گل‌ها شده که در نهایت باعث کاهش عملکرد خشک گل می‌گردد (Parsa, Behdani, Askari, Jami, & Mahmoudi, 2020). از آنجاکه اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی دارند و محدودیت نمود گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد، به همین دلیل در مرحله زایشی، گیاه حساسیت خاصی نسبت به تنش آب دارد. تنش خشکی از ظهور سلول‌های بنیادی گل جلوگیری می‌کند (Abdi, Asghari, Abolhassani, Amerian, & Bodi, 2022). در شرایط کمبود آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی و سطح برگ کاهش پیدا می‌کند و به‌تبع آن مواد فتوسنتزی کاهش یافته و این مواد، کمتر به‌سمت گل‌ها منتقل می‌شود که در نهایت سبب کاهش عملکرد ماده خشک گل می‌شود (Shojaei, Salehi Shanjani, Zarghami, Jafari, & Nurmohammadi, 2021). در تحقیقی روی آویشن باغی مشخص گردید که افزایش تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار وزن تر بوته شد (Farag, Abdelbar, & Shehata, 2019)، همچنین در تحقیقی دیگر، اعمال تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک بوته گردید (Tutoni et al., 2021). عباس‌زاده و همکاران (Abbaszadeh, Layeghhaghighi, Azimi, & Hadi, 2020) بیان کردند که با افزایش تنش خشکی، وزن تر و خشک بوته نسبت به شاهد کاهش نشان داد. این کاهش احتمالاً می‌تواند یا بر اثر کاهش میزان کلروفیل II و بازدهی فتوسنتز بوده و یا تحت تأثیر تخصیص بیشتر زیست‌توده تولیدی گیاه به‌سمت ریشه‌ها باشد.

در آزمایش حاضر، تأثیر معنی‌دار کود دامی فقط بر وزن گل ($P \leq 0.01$) مشاهده شد و بر سایر صفات بی‌معنی بود و در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. در این باره، نتایج آزمایش بیستگانی و همکاران (Bistgani et al., 2018) نیز با تحقیق حاضر مطابق بود و بیان داشتند که کود دامی هیچ تأثیر مثبتی بر زیست‌توده و عملکرد اسانس گیاه آویشن باغی نداشت. از طرفی، در تعدادی از پژوهش‌های صورت‌گرفته، مصرف کود دامی، وزن خشک بوته آویشن باغی و

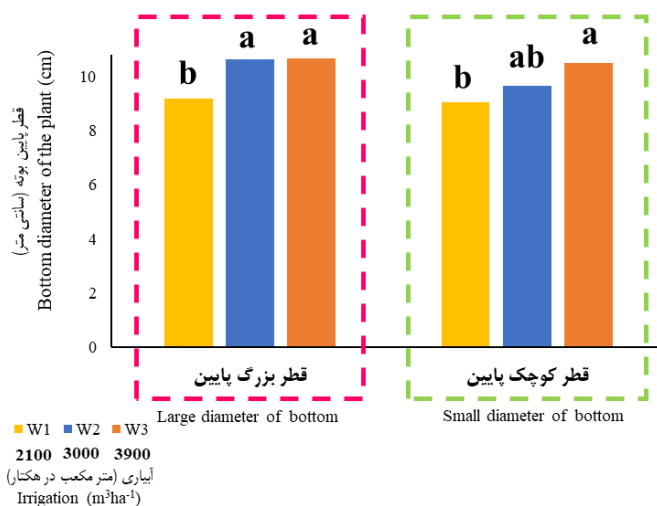


شکل ۸- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر قطر بزرگ و کوچک بالای بوته آویشن شیرازی

Figure 8- Mean comparisons for the effect of irrigation treatment on the large and small diameter of the top of the plant of *Zataria multiflora* Boiss.

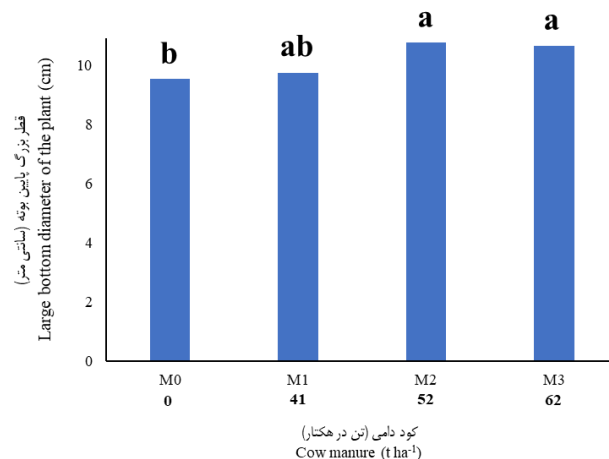
در قسمت بالای آن شده است، ولی در پایین آن، بوته‌ها به صورت متقارن رشد خود را شروع کرده‌اند (شکل ۹).
بررسی اثر کود دامی نشان داد که با افزایش استفاده از کود دامی، میزان قطر بزرگ پایین بوته نیز افزایش یافت، به طوری که بیشترین قطر بزرگ پایین بوته مربوط به تیمارهای M_2 و M_3 با مقادیر $10/7$ و $10/6$ سانتی‌متر و کمترین میزان آن مربوط به شاهد (با مقدار $9/5$ سانتی‌متر) بود، علاوه بر این مقدار قطر بزرگ پایین بوته در تیمار M_2 نسبت به شاهد 13 درصد افزایش یافت (شکل ۱۰).

همچنین با بررسی درصد تغییرات قطر کوچک پایین بوته نسبت به قطر بزرگ پایین آن مشاهده شد که مقدار آن در حدود یک درصد در سطوح مختلف آبیاری می‌باشد که روشن‌گر این است که در این آزمایش، بوته‌های آویشن شیرازی تا ارتفاع پنج سانتی‌متری از سطح طوقه به صورت شعاعی و متقارن رشد کرده‌اند، ولی پس از آن به دلیل کمبود فضای رشدی بر روی ردیف دچار انحراف رشدی شده‌اند و باعث شده تا شاخه‌های این گیاه به سمتی که فضای رشدی کافی در اختیار دارند، کشیده شوند که این مورد سبب نامتقارن شدن رشد بوته



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر قطر بزرگ و کوچک پایین بوته آویشن شیرازی

Figure 9- Mean comparisons for the effect of irrigation treatment on the large and small diameter of the bottom of the plant of *Zataria multiflora* Boiss.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر کود دامی بر قطر بزرگ پایین بوته آویشن شیرازی

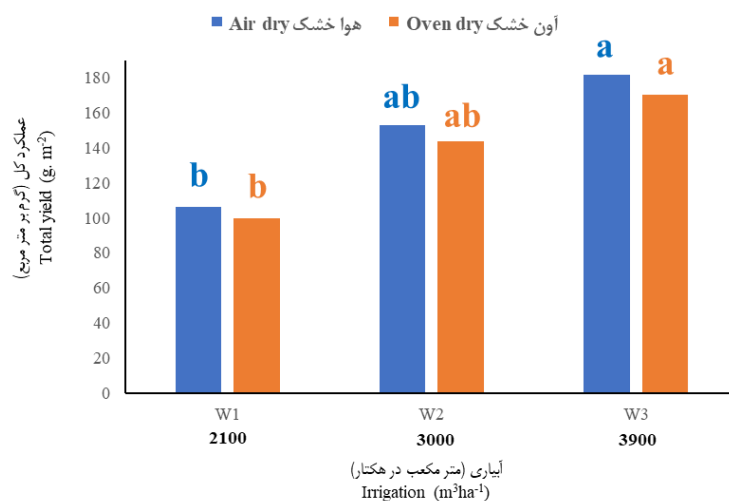
Figure 10- Mean comparisons for the effect of cow manure on the large diameter of the bottom of the plant of *Zataria multiflora* Boiss.

گل آذین نیز افزایش می‌یابد.

عملکرد کل

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر آبیاری بر عملکرد کل آون خشک نشان داد که کمترین عملکرد کل مربوط به تیمار آبیاری W₁ با مقدار ۹۹ گرم بر مترمربع است و بیشترین آن مربوط به تیمار آبیاری W₃ با مقدار ۱۷۰ گرم بر مترمربع می‌باشد. همچنین عملکرد کل در تیمار W₁ نسبت به تیمار W₃ به‌خاطر کاهش مقدار آبیاری به‌مقدار ۴۱ درصد کاهش یافت که این مقدار کاهش نشان‌دهنده تحمل پایین آویشن شیرازی نسبت به تنش‌های رطوبتی بوده که به‌تبع آن کاهش در زیست‌توده و عملکرد کل را موجب می‌شود (شکل ۱۱).

در آزمایش حاضر با کاهش سطوح آبیاری از قطر تاج‌پوشش کاسته شد که با نتایج ماچیان و همکاران (Machiani et al., 2021) مطابقت دارد، کاهش قطر تاج‌پوشش با افزایش تنش خشکی را می‌توان به توسعه و گسترش کمتر سلول‌ها در نتیجه کمبود رطوبت و به‌تبع آن جذب کمتر عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه نسبت داد. در این باره، رضائی و همکاران (Razaei, Safarnejad, Arab, Alamdari, & Dalir, 2016) نیز دریافتند که بین بزرگ‌ترین قطر تاج‌پوشش، کوچک‌ترین قطر تاج‌پوشش و سطح تاج‌پوشش و ارتفاع ساقه، و همچنین با تعداد ساقه در بوته و وزن تر و خشک بوته نیز همبستگی بالایی وجود دارد. با افزایش تعداد ساقه در بوته، مساحت و قطر بزرگ و کوچک بوته نیز افزایش می‌یابد، که منجر به افزایش عملکرد وزن تر و وزن خشک می‌شود. با افزایش ارتفاع ساقه، طول



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر عملکرد کل (هو خشک و آون خشک) آویشن شیرازی

Figure 11- Mean comparisons for the effect of irrigation on total yield (air dry and oven dry) of *Zataria multiflora* Boiss.

که کاهش حجم آبیاری تأثیر منفی بر خصوصیات ریخت‌شناختی گیاه آویشن شیرازی داشت، به‌طوری‌که تعداد شاخه جانبی، ارتفاع ساقه و بوته، شاخص سطح برگ، قطر بزرگ و کوچک، وزن (بوته، برگ، ساقه و گل) و همچنین عملکرد کل کاهش پیدا کرد، احتمالاً یکی از تأثیرات تنش خشکی بر وزن خشک گیاه را می‌توان مربوط به کاهش سطح برگ به دلیل عوامل فیزیولوژیکی حادث‌شده در گیاه دانست، در این آزمایش تیمار W_1 نسبت به W_2 ، سطح برگ را به مقدار ۴۷ درصد کاهش داد، در این رابطه احتمال می‌رود که کاهش سطح فتوسنتزکننده و در نتیجه کاهش مواد فتوسنتزی سبب گردید تا وزن برگ کاهش یابد و با تخصیص کمتر مواد فتوسنتزی به ساقه به‌عنوان نگهدارنده بخش‌های هوایی گیاه، وزن آن نیز کاهش یافته و به‌تبع آن از ارتفاع بوته نیز کاسته شود و در نتیجه رشد هوایی گیاه محدود شده، از قطر تاج‌پوشش و تعداد شاخه‌های جانبی کاسته می‌شود و به‌دنبال آن گیاه دچار عقب‌ماندگی و کاهش وزن خشک می‌گردد. کود دامی نیز بر صفات قطر بزرگ پایین بوته و وزن گل تأثیرگذار بود و با افزایش کود این صفات بیشتر شدند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از جناب آقای محمدتقی شمشادی بابت حمایت و پشتیبانی و سرکار خانم دکتر مهوش مجدی بابت راهنمایی و کمک‌هایشان در طول پروژه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

در پژوهش حاضر با کاهش مقدار آبیاری از عملکرد کل گیاه آویشن شیرازی کاسته شد، این یافته با نتایج آزمایش رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2023) روی آویشن باغی مشابه بود، آن‌ها بیان کردند که رشد سلولی مهم‌ترین فرآیند کلیدی است که به‌وسیله کمبود آب تحت تأثیر قرار گرفته و این مورد ناشی از فشار آماس پایین می‌باشد، زمانی که سطح برگ کاهش می‌یابد، گنجایش پذیرش نور نیز کاهش می‌یابد، که متعاقباً ظرفیت فتوسنتزی کل را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، تنش خشکی منجر به ایجاد روزهایی با دهانه کوچک‌تر شده، که سبب کاهش معنی‌دار سرعت تبادل دی‌اکسید کربن می‌شود، چنین کاهشی در نهایت منجر به فتوسنتز پایین‌تر شده و در نتیجه رشد، عملکرد و کارایی گیاه را کاهش می‌دهد. علاوه بر این نتایج حاضر نشان داد که سطوح کود دامی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند که با نتایج آزمایش پارسا و همکاران (Parsa, Behdani, Askari, Jami, & Mahmoudi, 2020) مغایرت داشت، در بررسی آن‌ها کاربرد کود دامی، میزان وزن خشک کل را نسبت به شرایط عدم استفاده از کود دامی در دو گونه آویشن دناوی و باغی افزایش داد که بیانگر اثرات مثبت کود دامی بر صفات رویشی و در نهایت وزن خشک کل بوده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های حاصل از این آزمایش می‌توان بیان داشت

References

- Abbasi, S., Houshmand, S., & Ahmadi, T. (2024). Volatile compositions and glandular trichomes of *Zataria multiflora* in different phenological stages under normal and drought stress conditions. *BMC Plant Biology*, 24(1), 483. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05196-0>
- Abbaszadeh, B., Layeghhaghighi, M., Azimi, R., & Hadi, N. (2020). Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 144, 111893. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111893>
- Abdi, L., Asghari, H. R., Abolhassani, M. T., Amerian, M. R., & Bodi, H. N. (2022). Effect of salicylic acid on growth and phytochemical characteristics of *Thymus daenensis* under drought irrigation. *Journal of Plant Process and Function*, 48(11), 195-210. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1610-fa.html>
- Ahadi, H., Aliahmadi, A., & Mirjalili, M. H. (2020). Chemical composition and antibacterial activity of the carvacrol-rich essential oils of *Zataria multiflora* Boiss. (Lamiaceae) from southern natural habitats of Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(4), 779-787. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1824688>
- Akhzari, D., & Kaviani, H. (2021). Effect of drought stress on morphophysiological traits of *Thymus vulgaris* L. in a field experiment, Borujerd, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 11(4), 470-479.
- Alla Sharafi, G., Changizi, M., Rafiee, M., Gomarian, M., & Khagani, S. (2019). Investigating the effect of drought stress and vermicompost biofertilizer on morphological and biochemical characteristics of *Thymus vulgaris* L. *Archives of Pharmacy Practice*, 10(3), 137-145.
- Ashrafi, M., Azimi-Moqadam, M. R., MohseniFard, E., Shekari, F., Jafary, H., Moradi, P., & Mastinu, A. (2022). Physiological and molecular aspects of two *Thymus* species differently sensitive to drought stress. *BioTech*, 11(8), 1-12. <https://doi.org/10.3390/biotech11020008>
- Ashrafzadeh, M. K., Morshidi, S., Dashtabi, M., & Mohseni, M. (2021). *The effect of Acosorb superabsorbent*

- polymer and irrigation on the performance of Shirazi thyme medicinal plant*. The 12th National Conference. Sustainable Agriculture and Natural Resources, Iran. (in Persian). <https://civilica.com/doc/1762255>
9. Askary, M., Behdani, M. A., Parsa, S., Ahmadi, M., & Mahmoodi, S. (2019). Effects of water stress and application of manure on growth indices and accumulation of dry matter of *Thymus vulgaris* and *Thymus daenensis*. *Journal of Agroecology*, 11(2), 703-721. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.63227>
 10. Askary, M., Parsa, S., Behdani, M. A., Jami Al-Ahmadi, M., & Mahmoodi, S. (2023). Evaluation of quantitative yield of two Thyme species affected as different levels of drought stress and the manure application. *Journal of Medicinal Plants and By-Product*, 12(1), 11-27.
 11. Babaei, K., Dehaghi, M. A., Sanavi, S. A. M. M., & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, proline content and thymol percentage of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 240-251. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939>
 12. Bistgani, Z. E., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A. G., Hashemi, M., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2018). Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, aroma profile, and antioxidant properties of *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 12(1), 434-440. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.048>
 13. Chubeigi, N. (2013). *A review of the morphological effects of drought stress on medicinal plants*. First National Conference on Water Crisis. Azad University of Khorasgan, Isfahan, Iran. (in Persian). <https://civilica.com/doc/215317>
 14. da Cunha Honorato, A., de Assis, R. M. A., Maciel, J. F. A., Nohara, G. A., de Carvalho, A. A., Pinto, J. E. B. P., & Bertolucci, S. K. V. (2024). Fertilization with different manure sources and doses provides quantitative-qualitative gains in the production of *Thymus vulgaris* L. *South African Journal of Botany*, 16(4), 345-355. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.11.052>
 15. Fakhri, K., Sayfzadeh, S., Sarajooghi, M., Valadabadi, S. A., & Masouleh, I. H. (2023). Effect of biochar, planting pattern and irrigation methods on yield and yield components of essential oil and nutrient content of Thyme (*Thymus vulagris*). *Agricultural Knowledge Journal*, 33(2), 73-84. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2022.49278.2782>
 16. Farag, R., Abdelbar, O., & Shehata, S. (2019). Impact of drought stress on some growth, biochemical and anatomical parameters of *Thymus vulgaris* L. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 27(1), 37-50.
 17. Goshasbi, F., Heidari, M., Sabbagh, S. K., & Makarian, H. (2020). Effect of irrigation interval, bio and non-biofertilizers on yield components and some of biochemical compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3(1), 51-68. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22070/hpn.2020.5084.1070>
 18. Goshasbi, F., Heidari, M., Sbbagh, S. K., & Makarian, H. (2021). Effect of water deficit stress and bio and non-bio-fertilizers on flowering branches yield, photosynthetic pigments and concentration of macro elements in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(2), 157-172. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.293187.654660>
 19. Kazempour, A., Sharghi, Y., Sanavi, S. A. M. M., Zahedi, H., & Kon, A. F. S. (2023). Effect of amino acid foliar application on morphophysiological characteristics and thyme essential oil under different irrigation regimes. *Operation and Function of Plants*, 53(12), 71-90. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1708-fa.html>
 20. Khairi, A., & Tori, A. (2014). *Introducing the most important medicinal plants that can be cultivated in dry and wet conditions*. First National Conference on Medicinal Plants, Traditional Medicine and Organic Agriculture. University of Hamedan, Hamedan, Iran. (in Persian). <https://civilica.com/doc/330045>
 21. Khosravi, S., Akbarpor, V., Bahmaniar, M., & Andi, S. (2023). The effect of zinc sulfate on some morphological traits of Shirazi thyme (*Zataria Multiflora* boiss.) under drought stress conditions. *Medicinal and Aromatic Plants*, 3(1), 29-36. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1804649>
 22. Koocheki, A., & Khajah-Hosseini, M. (2017). Low water agriculture in Iran: Strategies and applications, Iran. (in Persian with English abstract). <https://profdoc.um.ac.ir/book-abstract-224131.html>
 23. Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M., & Azizi, G. (2006). The effects of water stress and defoliation on some of quantitative traits of *Zataria multiflora*, *Ziziphora clinopodioides*, *Thymus vulgaris* and *Teucrium polium*. *Iranian Agricultural Research Journal*, 2(1), 89-106. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v2i1.1167>
 24. Lebaschi, M. H., Ashoorabadi, E. S., Tafti, M. M., & Asadi-Sanam, S. (2018). Effect of plant density on quality and quantity yield of *Thymus vulgaris* in dry farming conditions in seven provinces of Iran. *Journal of Agricultural Crops Production*, 20(1), 113-126. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2018.226925.1663>
 25. Liu, F., Song, Q., Zhao, J., Mao, L., Bu, H., Hu, Y., & Zhu, X. G. (2021). Canopy occupation volume as an indicator of canopy photosynthetic capacity. *New Phytologist*, 232(2), 941-956.

- <https://doi.org/10.1111/nph.17611>
26. Luo, Q., Xie, H., Chen, Z., Ma, Y., Yang, H., Yang, B., & Ma, Y. (2023). Morphology, photosynthetic physiology and biochemistry of nine herbaceous plants under water stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1147208. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1147208>
 27. Machiani, M. A., Javanmard, A., Ostadi, A., Morshedloo, M. R., & Chabokpour, J. (2021). Effects of harvest time and mycorrhiza fungus application on quantitative and qualitative yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil at different irrigation levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(6), 1022-1037. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.351323.2835>
 28. Meamari, S., Yavari, A., & Bikdeloo, M. (2020). Investigation of chemical diversity of essential oil of natural populations of *Zataria multiflora* Boiss. in Hormozgan province. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(3), 669-677. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.306929.1826>
 29. Miri, Z., Shahidi, A., Siouki, A. K., & Rouhian, M. H. (2022). The effect of irrigation cycle on yield and yield components of *Zataria multiflora* (Case study: Aliabad Fars). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 16(4), 751-761. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1534294>
 30. Mohammadi, M., Karim, M. H., Dahmardeh, M., & Ghasemi, A. (2021). The prospect of investment in medicinal plants at Sistan region. *Journal of Medicinal Plants and By-Product*, 10(2), 127-132. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2021.342441.1195>
 31. Moshrefi-Araghi, A., Nemati, H., Azizi, M., Hadian, J., Moshtaghi, N., & Shoor, M. (2023). Screening of distributed horsemint (*Mentha longifolia* L.) accessions for agricultural drought tolerance based on biological responses. *Acta Physiologiae Plantarum*, 4(5), 130-154. <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03605-9>
 32. Naderi, R., Afranjeh, E., & Shabani, M. (2022). *Effects of application of superabsorbent on physiological responses of German chamomile under water deficit irrigation*. 17th Iranian Soil Science Congress: Soil Perspectives in the New Century of Iran. University of Tehran, Karaj, Iran. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1312580>
 33. Naseri, H., Ahmadipour, S., & Meteor, G. N. (2023). *The effect of using some biofertilizers and iron chelate on quantitative and qualitative traits of Shirazi thyme (Zataria multiflora L.)*. The 5th National Conference on Sustainable Development in Agricultural Natural Resources and Environment of Iran. University of Tehran, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1693535>
 34. Negari, A. K., Al-Ahmadi, M. J., & Zamani, G. (2023). The study of responses of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) to the elicitors of coronatine, methyl jasmonate and cyclodextrin in different levels of supplying moisture under farm conditions. *Environmental Stresses In Crop Sciences*, 16(2), 467-485. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2023.4746.2064>
 35. Parsa, S., Behdani, M. A., Askari, M., Jami, M., & Mahmoudi, S. (2020). Investigating the performance and components of biomass performance and some physiological traits of two species of thyme (*Thymus daenensis* & *Thymus vulgaris*) under drought stress conditions and fertilizer application. *Environmental Stresses In Crop Sciences*, 11(1), 47-63. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2017.161.1041>
 36. Pawlak, K., & Kołodziejczak, M. (2020). The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: Considerations in the context of the problem of sustainable food production. *Sustainability*, 12(13), 5488. <https://doi.org/10.3390/su12135488>
 37. Pourhosseini, S. H., Mirjalili, M. H., Ghasemi, M., Ahadi, H., Esmaeili, H., & Ghorbanpour, M. (2020). Diversity of phytochemical components and biological activities in *Zataria multiflora* Boiss. (Lamiaceae) populations. *South African Journal of Botany*, 135, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.024>
 38. Rahimi, A., Gitari, H., Lyons, G., Heydarzadeh, S., Tunçtürk, M., & Tunçtürk, R. (2023). Effects of Vermicompost, compost and animal manure on vegetative growth, physiological and antioxidant activity characteristics of *Thymus vulgaris* L. under water stress. *Journal of Agricultural Sciences*, 33(1), 40-53. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1124458>
 39. Razaei, M., Safarnejad, A., Arab, M., Alamdari, S. B. L., & Dalir, M. (2016). Investigation of Morphologic Variation and Essence Value in several thyme native species (*Thymus* sp) of Iran. *Journal of Horticultural Science*, 30(3), 383-394. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v30i3.30435>
 40. Riaz, U., Iqbal, S., Sohail, M. I., Samreen, T., Ashraf, M., Akmal, F., & Khan, N. I. (2021). A comprehensive review on emerging importance and economical potential of medicinal and aromatic plants (MAPs) in current scenario. *Pakistan Journal*, 34(2), 381-392. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.2.381.392>
 41. Rosa, L., Chiarelli, D. D., Rulli, M. C., Dell'Angelo, J., & D'Odorico, P. (2020). Global agricultural economic water scarcity. *Science Advances*, 6(18), eaaz6031.
 42. Saatsaz, M. (2020). A historical investigation on water resources management in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 22(3), 1749-1785. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-00307-y>
 43. Safaii, L., Ashoorabadi, E. S., & Aminazarm, D. (2023). The study of three populations of *Zataria multiflora* L. using agronomical and phytochemical traits in Isfahan. *Agricultural Knowledge Journal*, 33(3), 173-184. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2022.49287.2784>

44. Sasanihoma, R., Gholami, M., & Sarikhani, H. (2012). Effect of LED light on plant growth and essential oil quality of *Zataria multiflora* in in vitro condition. Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (in Persian).
45. Sefidkan, F., & Naderi, M. (2021). Investigation of constituent compounds of Shirazi thyme essential oil, *Zataria multiflora* Boiss. *Research of Medicinal and Aromatic Plants of Iran*, 3(2), 92-102. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.351323.2835>
46. Sepahvand, A., Jafari, A., Sefidkon, F., & Kalatejari, S. (2021). Effects of water stress on seedling growth and physiological traits in four thyme species. *Journal of Rangeland Science*, 11(1), 1-14. <https://www.sid.ir/files/1004020210101.pdf>
47. Sharafi, G., Changizi, M., Rafiee, M., Gomarian, M., & Khagani, S. (2021). Effect of drought stress and vermicompost biofertilizer on morphophysiological traits of *Thymus vulgaris* L. *Journal of Plant Process and Function*, 44(10), 147-159. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1458-fa.html>
48. Shojaei, A., Salehi Shanjani, P., Zarghami, R., Jafari, A. A., & Nurmohammadi, G. (2021). Effect of water deficit on grain yield and yield components ispaghula (*Plantago ovata* Forssk.). *Journal of Medicinal plants and By-Products*, 10(2), 193-198. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2020.352135.1269>
49. Tutoni, M., Mousavi, M., & Mitra, R. (2021). *The effect of organic fertilizer on the morphological and physiological characteristics of thyme under drought stress conditions*. The 12th International Conference on Agriculture, Environment, Urban and Rural Development. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1692335>
50. Vaičiulytė, V., Ložienė, K., & Sivická, I. (2022). Effect of Organic matter fertilizers on the composition of volatiles, morphometrical and anatomical parameters of essential oil-bearing *Thymus* × *Citriodorus* cultivated in an open field conditions. *Horticulturae*, 8(1), 917-934. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100917>
51. Walia, S., Kumar, V., Kalra, V. P., Kaur, T., Alfagham, A. T., AL-Humaid, L. A., Alamri, S., Kumar Gupta, R., & Haider, F. U. (2023). Effects of organic manures and bio-fertilizer on yield, oil content, and soil health of japanese mentha (*Mentha arvensis* L.). *Environmental Sciences*, 9(2), 417-435. <https://doi.org/10.20944/preprints202308.0721.v1>
52. Yavari, A. R., Nazeri, V., Sefidkon, F., & Hassani, M. E. (2010). Evaluation of some ecological factors, morphological traits and essential oil productivity of *Thymus migricus* Klokov & Desj.-Shost. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 227-238. (in Persian with English abstract). <https://www.sid.ir/paper/105570/fa>
53. Zhao, W., Liu, L., Shen, Q., Yang, J., Han, X., Tian, F., & Wu, J. (2020). Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. *Water*, 12(8), 2127. <https://doi.org/10.3390/w12082127>

Study of Manure Application and Irrigation Interruption Impacts on Yield and Yield Components of Black Cumin (*Nigella sativa*)

A. Rostami Mamo¹, F. Mondani^{1*}

1- Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran

(* - Corresponding author's Email: f.mondani@razi.ac.ir)

Received: 06 January 2025

Revised: 09 April 2025

Accepted: 12 April 2025

Available Online: 13 April 2025

How to cite this article:

Rostami Mamo, A., & Mondani, F. (2026). Study of manure application and irrigation interruption Impacts on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(1), 21-33. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.91527.1376>

Introduction

Water is one of the most important environmental factors that has a significant impact on the growth and development as well as the accumulation of active ingredients in medicinal plants. Low amounts of water during plant growth stages can cause irreparable damage to the growth and development as well as the active ingredients in plants. Irrigation interruption is a desirable solution for crop production under water shortage conditions. In principle, plants selected for irrigation interruption should be resistant to water shortage stress and its effects on growth and yield at different growth stages should be carefully examined. Soil nutrient management is of particular importance in the production of medicinal plants. On the other hand, moisture deficiency stress, as the most important factor limiting production, leads to a decrease in plant yield. Therefore, this study aimed to investigate the effect of animal manure on grain yield, grain components, and essential oil yield of black cumin (*Nigella sativa*) under irrigation interruption conditions.

Material and Methods

The experiment was conducted as a split-plot arrangement within a randomized complete block design (RCBD) with three replications at the Research Farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, in 2022. The treatments included fully rotted sheep manure (0, 10, 20, and 30 t ha⁻¹) as the main plot and irrigation interruption (complete irrigation, interruption of irrigation from flowering stage, interruption of irrigation from grain filling stage) as the subplot. The final harvest was carried out at physiological maturity based on the observation of external symptoms, which included yellowing of the plants and lower leaves, browning of the follicles, and blackening of the grains (due to moisture loss). The measured traits included plant height, number of main branches, number of follicles, number of grains per follicle, 1000-grain weight, total dry weight yield, grain yield, essential oil percentage, essential oil yield, and harvest index. In order to data analyze, the SAS statistical software version 9.1 was used. First, the normality of the data was confirmed, the variance analysis of the data was performed using the GLM procedure, and then the least significant difference test was used to compare the means.

Results and Discussion

The interaction of manure application and irrigation interruption on yield and grain yield components was significant. The highest 1000-grain weight (1.69 g), total dry weight yield (251.5 g m⁻²), grain yield (108.7 g m⁻²), and grain essential oil yield (18.7 g m⁻²) and the lowest 1000-grain weight (1.39 g), total dry weight yield (125.3 g m⁻²), grain yield (44.3 g m⁻²), and grain essential oil yield (8.2 g m⁻²) were observed in the treatment of 30 ton ha⁻¹ of manure and complete irrigation, and the treatment of no manure application and interruption of



Authors retain the copyright. 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/).

[doi: https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.91527.1376](https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.91527.1376)

irrigation from the flowering growth stage, respectively. The results suggest that higher rates of manure application and irrigation enhanced black cumin grain yield by improving yield components, including the number of grains per follicle and 1000-grain weight. Grain yield was positively and significantly correlated with total dry matter yield, harvest index, number of follicles m^{-2} , number of grains per follicle, and 1000-grain weight.

Conclusion

In general, the results showed that in order to achieve maximum grain yield and grain essential oil yield, the treatment of 30 ton ha^{-1} of manure and complete irrigation was better. However, under the application of 30 t ha^{-1} of manure, no significant difference was observed between irrigation interruption at the grain-filling stage and full irrigation. Therefore, irrigation can be terminated at the grain-filling stage without reducing grain or essential oil yield, thereby decreasing overall water consumption in the field.

Keywords: 1000-grain weight, Essential oil, Number of follicles, Sheep manure

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۲۱-۳۳

بررسی اثر کاربرد کود دامی و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه دانه (*Nigella sativa*)

ایوب رستمی مامو^۱، فرزاد مندنی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر کود دامی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و همچنین عملکرد اسانس سیاه دانه (*Nigella sativa*) در شرایط قطع آبیاری انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه رازی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. کود دامی (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) به عنوان عامل کرت اصلی و قطع آبیاری (آبیاری متداول، قطع آبیاری از مرحله گل دهی و قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه) به عنوان عامل کرت فرعی بود. ویژگی های اندازه گیری شده شامل ارتفاع بوته، شاخه اصلی، تعداد فولیکول، تعداد دانه در فولیکول، وزن هزار دانه، عملکرد وزن خشک کل، عملکرد دانه، درصد اسانس، عملکرد اسانس و شاخص برداشت بود. نتایج نشان داد که کود دامی و قطع آبیاری بر ویژگی های مورد ارزیابی تأثیرگذار بودند. بیشترین وزن هزار دانه (۱/۶۹ گرم)، عملکرد وزن خشک کل (۲۵۱/۵ گرم در مترمربع)، عملکرد دانه (۱۰۸/۷ گرم در مترمربع) و عملکرد اسانس دانه (۱۸/۷ گرم در مترمربع) و کمترین وزن هزار دانه (۱/۳۹ گرم)، عملکرد وزن خشک کل (۱۲۵/۳ گرم در مترمربع)، عملکرد دانه (۴۴/۳ گرم در مترمربع) و عملکرد اسانس دانه (۸/۲ گرم در مترمربع) به ترتیب در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل و تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از گل دهی مشاهده شد. نتایج نشان داد که در شرایط کاربرد ۳۰ تن کود دامی، بین قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه با آبیاری کامل اختلافی نبود و می توان به جای آبیاری کامل، آبیاری را از مرحله پر شدن دانه قطع نمود.

واژه های کلیدی: اسانس، تعداد فولیکول، کود گوسفندی، وزن هزار دانه

مقدمه

آب یکی از مهم ترین عوامل محیطی است که تأثیر مهمی بر رشدونمو و نیز تجمع مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد. مقادیر کم آب در مراحل رشد گیاه می تواند خسارات جبران ناپذیری بر رشدونمو و نیز مواد مؤثره دارویی گیاهان وارد نماید (Omidbeigi, 2008). کم آبیاری یک راهکار مطلوب برای تولید محصول در شرایط کمبود آب است. اصولاً گیاهانی که برای کم آبیاری گزینش می شوند، باید مقاوم به تنش کمبود آب بوده و اثرات آن بر رشد و عملکرد در مراحل مختلف رشد به دقت بررسی گردد (Göksoy et al., 2004). آب صرفه جویی شده در شرایط کم آبیاری برای افزایش سطح زیرکشت و مصارف دیگر استفاده یا ذخیره می گردد. در نتیجه، کاهش عملکرد ناشی از کم آبیاری می تواند با سود به دست آمده از کاهش آب مصرفی

جبران شود (Fereres & Soriano, 2007).

سیاه دانه (*Nigella sativa*) به عنوان گیاه دارویی در تغذیه انسان استفاده می گردد و به طور طبیعی در نقاط مختلف ایران رشد کرده و در بعضی نقاط نیز به صورت گسترده مورد کشت و کار قرار می گیرد. در مطالعه ای که به منظور بررسی اثر فواصل آبیاری و تراکم بوته در واحد سطح بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه دانه تحت شرایط اقلیمی مشهد انجام شده بود، گزارش گردید که بیشترین عملکرد دانه در فاصله آبیاری یک هفته و کمترین آن در فاصله آبیاری سه هفته گزارش شد (Norouz-Pour & Rezvani-Moghaddam, 2005). گزارش شده است که با توجه به اینکه سیاه دانه گیاهی رشد محدود است، تنش خشکی باعث کوتاه شدن طول دوره رویشی و رسیدن سریع تر گیاه به مرحله زایشی شده و این امر کاهش شاخه-دهی فرعی و تعداد کپسول در بوته را به دنبال داشته است (Heidari & Jahantighi, 2012). کریمی (Karimi, 2012) نیز گزارش کرد که کمبود آب در مراحل رویشی و زایشی باعث کاهش تعداد گل در بوته سیاه دانه گردید. علت کاهش این گونه بیان شده است که سیاه-

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(*) نویسنده مسئول: Email: f.mondani@razi.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.91527.1376>

دانه برای تولید گل، به رشد رویشی مناسب و تولید اندام‌های تشکیل‌دهنده آن در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی احتیاج دارد. کاهش ترکیبات فتوسنتزی به علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال مواد آسمیلاتی به سمت اندام‌های زایشی در شرایط کمبود آب باعث کاهش تعداد گل در بوته سیاه‌دانه گردید. همچنین اظهار شد که تنش خشکی باعث کاهش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، سیاه‌دانه گردید.

مرادی و همکاران (Moradi et al., 2018) گزارش کردند که با افزایش میزان کم آبیاری از ۹۰ به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اسانس، درصد روغن، عملکرد روغن، شاخص برداشت، درصد اسانس و تعداد دانه در کپسول سیاه‌دانه کاهشی معنی‌دار نشان دادند. در بررسی دیگری مشخص گردید که کم آبیاری رزماری (*Salvia rosmarinus*) باعث کاهش ۵/۳ درصدی وزن خشک اندام هوایی، ۹/۸ درصدی ارتفاع بوته و ۸/۹ درصدی تعداد شاخه زایا گردید (Asadi et al., 2018). تأثیر برهم‌کنش قطع آبیاری و کود بر عملکرد دانه، عملکرد اسانس و رنگیزه‌های فتوسنتزی سیاه‌دانه نیز معنی‌دار گزارش شده است (Bamshad et al., 2020). عناصر غذایی در تولید گیاهان دارویی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند، زیرا عناصر غذایی با تأثیری که بر رشد رویشی و زایشی

گیاهان دارند، نسبت اندام زایشی به رویشی گیاهان را تغییر داده و بدین ترتیب بر کیفیت محصول تأثیر می‌گذارند (Azizi, 2000). مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه با استفاده از کود آلی و دامی، علاوه بر حفظ محیط زیست، کاهش فرسایش خاک و حفظ تنوع زیستی، با اجتناب از کاربرد غیرضروری و بی‌رویه عناصر غذایی، هزینه‌ها را کاهش داده و کارایی نهاده‌هایی همچون آب را افزایش می‌دهد (Nassiri-Mahallati et al., 2001). بنابراین، هدف از انجام این مطالعه، انتخاب بهترین تیمار کاربرد کود دامی و مدیریت آب آبیاری برای دسترسی به عملکرد مطلوب دانه و اسانس سیاه‌دانه تحت شرایط اقلیمی کرمانشاه بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی (طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۰ متر) دانشگاه رازی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. منطقه مورد ارزیابی دارای اقلیم معتدل، متوسط دمای ۱۳/۴ و میانگین بارندگی سالیانه ۴۵۵ میلی‌متر است (جدول ۱). قبل از شروع آزمایش، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری انجام گرفت (جدول ۲).

جدول ۱- درجه حرارت متوسط و میزان بارندگی طی دوره اجرای آزمایش در سال ۱۴۰۱
Table 1- Average temperature and precipitation during the experiment period in 1401

ماه	بارندگی	درجه حرارت متوسط
Month	Precipitation (mm)	Average temperature (°C)
فروردین	10.4	14.6
March		
اردیبهشت	81.5	17.5
April		
خرداد	0	25.9
May		
تیر	0	29.9
June		

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر
Table 2- Physical and chemical properties of experiment soil at a depth of 0-30 cm

بافت	رس	سیلت	شن	نیترژن	ماده آلی	کربن آلی	اسیدیته	هدایت الکتریکی
Texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	N (%)	Organic matter (%)	Organic carbon (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)
Clay-silt	41.8	42.0	16.2	0.16	1.86	1.66	7.63	0.314

اصلی و قطع آبیاری (آبیاری متداول، قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی (بیش از پنجاه درصد کرت‌ها به گل بروند) و قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه (بیش از پنجاه درصد دانه‌ها پر شوند) به عنوان عامل کرت

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار ۱۴۰۱ انجام گرفت. کود گوسفندی کاملاً پوسیده (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) به عنوان عامل کرت

اندازه‌گیری میزان اسانس دانه

۱۰۰ گرم دانه تولید از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و در دستگاه کلونجر (Clevenger, 1928) با استفاده از روش تقطیر با آب، میزان اسانس آن اندازه‌گیری گردید. بدین منظور، ابتدا هر نمونه کاملاً آسیاب شده و سپس درون بالن یک لیتری ریخته شد و ۷۵۰ میلی‌لیتر آب به آن اضافه گردید. سپس به مدت چهار ساعت در دستگاه کلونجر قرار داده شد و پس از رطوبت‌زدایی آن توسط سولفات سدیم با استفاده از روش گوتتر (Guenther, 1961) درصد اسانس مشخص شد. عملکرد اسانس در مترمربع نیز از طریق ضرب کردن عملکرد دانه در درصد اسانس محاسبه گردید. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد، به این صورت که ابتدا از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل گردید، تجزیه واریانس داده‌ها توسط رویه GLM انجام و سپس از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. رسم نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تیمارها نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح یک درصد و قطع آبیاری در سطح پنج درصد بر ارتفاع بوته سیاه دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). صرف نظر از تیمار قطع آبیاری، با افزایش میزان مصرف کود دامی در تیمار ۳۰ تن در هکتار در مقایسه با عدم مصرف کود ارتفاع بوته حدود ۳۰ درصد بهبود یافت (جدول ۴).

همچنین ارتفاع بوته سیاه دانه در شرایط آبیاری کامل در مقایسه با قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی حدود هشت درصد افزایش یافت (جدول ۵)، با این‌وجود برهم‌کنش کاربرد کود دامی و تیمار آبیاری بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش کاربرد کود دامی و آب آبیاری از طریق بهبود ویژگی‌های رشدی سیاه‌دانه منجر به افزایش تجمع ماده خشک کل و در نتیجه اختصاص بیشتر ترکیبات فتوسنتزی به شاخه‌ها گردید که این موضوع سبب بهبود ارتفاع بوته گردید. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که افزایش میزان آب آبیاری منجر به افزایش ارتفاع بوته سیاه‌دانه شد (Norouz- Pour & Rezvani-Moghaddam, 2005). همچنین گزارش شد که تلفیق کودهای زیستی با کود شیمیایی در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی باعث افزایش ارتفاع بوته سیاه‌دانه گردید (Arvand & Sohrabi, 2022). آن‌ها همچنین اظهار داشتند که ارتفاع بوته سیاه‌دانه از طریق افزایش میزان آب مصرفی بهبود یافت.

فرعی بود. جهت آماده‌سازی زمین مزرعه برای کشت، ابتدا با تراکتور و گاوآهن برگردان‌دار زمین شخم زده شد و سپس برای خرد کردن کلوخه‌ها و تسطیح سطح خاک از دیسک استفاده گردید. کاشت در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۵ انجام شد. ابعاد هر کرت فرعی ۳×۳ متر بود، به این صورت که هر کرت فرعی دارای ۱۲ ردیف کاشت بود. فاصله بذرها روی ردیف‌های کاشت چهار سانتی‌متری از یکدیگر در نظر گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از نفوذ عناصر غذایی و آب در بین کرت‌ها، فاصله کرت‌های اصلی از یکدیگر ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی نیز ۲ متر در نظر گرفته شد. میزان بذر مصرفی یک کیلوگرم در هکتار بود. بذر (توده محلی) نیز از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. تراکم نهایی مزرعه ۱۰۰ بوته در مترمربع بود. کشت به‌صورت دستی انجام و پس از ایجاد شیارهایی با بیل و شن کش به عمق دو تا سه سانتی‌متر بر روی هر ردیف، بذر به‌صورت خطی، داخل هر شیار ریخته شد و روی آن با خاک و ماسه بادی پوشانده شد، سپس در مرحله نمو چهاربرگی جهت رسیدن به تراکم مد نظر، بوته‌های اضافی تنک گردید. آبیاری در ابتدا به‌صورت تحت فشار با روش بارانی ثابت هر هفته یک بار انجام شد و سپس در زمان اعمال تیمارهای آبیاری از روش غرقابی استفاده گردید. مهار علف‌های هرز مزرعه به‌صورت دستی در طول فصل رشد انجام گرفت.

برداشت نهایی گیاهان در زمان رسیدگی فیزیولوژیک براساس مشاهده علائم ظاهری که شامل زرد شدن بوته‌ها و برگ‌های پایینی، قهوه‌ای شدن رنگ فولیکول‌ها، سیاه رنگ شدن دانه‌ها (به‌دلیل از دست دادن رطوبت) انجام گرفت. تاریخ برداشت نهایی ۱۵ تیر ماه بود. جهت برداشت نهایی، یک مترمربع از هر کرت فرعی با رعایت اصول حاشیه به‌صورت کف‌بر برداشت شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک کل، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون خشک و سپس با ترازو توزین شدند. پس از جدا کردن دانه‌ها از بوته‌ها، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری گردید. ارتفاع بوته در مرحله گل‌دهی توسط خط‌کش از سطح خاک اندازه‌گیری شد. به‌منظور شمارش تعداد شاخه اصلی گیاه ۲۰ بوته به‌صورت کاملاً تصادفی از هر کرت فرعی انتخاب و شمارش‌ها صورت گرفت. برای تعیین تعداد فولیکول در مترمربع، ۲۰ بوته از هر کرت برداشت و تعداد فولیکول در بوته اندازه‌گیری شد. جهت تعیین تعداد دانه در فولیکول نیز ۲۰ بوته از هر کرت فرعی انتخاب و شمارش‌ها انجام گردید. وزن هزار دانه در هنگام رسیدگی کامل و از دانه‌های حاصل از برداشت نهایی به‌صورت ۱۰ نمونه ۱۰۰ دانه‌ای از هر کرت اندازه‌گیری و وزن هزار دانه بر اساس میانگین این نمونه‌ها تعیین شد (Vafaahd et al., 2024).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات کمی و کیفی سیاه‌دانه تحت تأثیر سطوح مختلف مصرف کود دامی و قطع آبیاری
Table 3- Analysis of variance of quantitative and qualitative traits of black cumin under the influence of different levels of manure application and irrigation interruption

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares									
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه اصلی در مترمربع Number of main branches per m ²	تعداد فولیکول در مترمربع Number of follicles per m ²	تعداد دانه در فولیکول Number of grains per follicles	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد وزن خشک کل Total dry weight yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد اسانس Essential oil percent	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Block (B)	2	103.8**	25905*	172379**	103.5**	0.2685**	4283.2**	450.5**	63.5**	0.0220 ^{ns}	2312.0**
کود دامی Manure (M)	3	277.3**	224169**	198023**	309.7**	0.1695**	13445.4**	5668.4**	268.7**	0.0518*	13881.2**
خطای کرت اصلی (بلوک × کود دامی) M × B	6	1.8 ^{ns}	22178**	7338 ^{ns}	8.1*	0.0006**	44.8**	83.1*	10.2 ^{ns}	0.0223*	638.3**
قطع آبیاری Irrigation interruption (I)	2	35.1*	13559 ^{ns}	16582 ^{ns}	10.1 ^{ns}	0.0054**	4500.5**	279.0**	28.3*	0.0001 ^{ns}	924.8**
کود دامی × قطع آبیاری I × M	6	7.7 ^{ns}	1621 ^{ns}	3362 ^{ns}	0.6 ^{ns}	0.0085**	26.8**	18.1*	2.9 ^{ns}	0.0021 ^{ns}	59.8*
خطای کرت فرعی Error	16	5.6	5176	5505	2.8	0.0001	3.8	21.2	5.8	0.0071	46.0
ضریب تغییرات CV (%)		15.6	6.6	11.9	41.4	9.9	9.3	8.2	9.38	9.6	12.3

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
ns, * and **: non-significant, significant at the probability level of $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively.

جدول ۴- اثر سطوح مختلف کاربرد کود دامی بر ویژگی‌های کمی و کیفی سیاه‌دانه
Table 4- Effect of different levels of manure application on quantitative and qualitative characteristics of black cumin

مصرف کود دامی Application of manure (t ha ⁻¹)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه اصلی در مترمربع Number of main branches per m ²	تعداد فولیکول در مترمربع Number of follicles per m ²	تعداد دانه در فولیکول Number of grains per follicles	درصد اسانس Essential oil percent	شاخص برداشت Harvest index (%)
30	46.9	1287.2	1408.4	44.9	1.69	44.8
20	41.5	1149.3	1327.5	40.9	1.66	43.6
10	37.9	1049.5	1260.9	35.7	1.79	36.8
0	33.8	913.7	1161.2	31.6	1.82	33.3
LSD 0.05	1.6	171.8	98.8	3.3	0.01	3.7

تعداد شاخه اصلی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح یک درصد بر تعداد شاخه اصلی در مترمربع معنی‌دار بود، این در حالی بود که اثر تیمار قطع آبیاری و برهم‌کنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف کود دامی از صفر به ۳۰ تن در هکتار، تعداد شاخه اصلی در مترمربع با حدود ۳۰ درصد افزایش از ۹۱۳/۷ به ۱۲۸۷/۲ بهبود یافت (جدول ۴).

کاربرد کود دامی ممکن است از طریق بهبود شاخص سطح برگ و جذب تشعشع در مراحل اولیه رشد سیاه‌دانه منجر به تولید بیشتر ترکیبات فتوسنتزی شده باشد که این امر افزایش تعداد شاخه اصلی را در پی داشت. همچنین با توجه به اینکه شاخه اصلی گیاه در مراحل اولیه رشد شکل می‌گیرد، دور از ذهن نبود که تیمارهای آبیاری تأثیری بر این صفت نداشته باشد. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که مدیریت میزان مصرف کود باعث بهبود تعداد شاخه در گیاه سیاه‌دانه شد (Rezvani-Moghaddam et al., 2016).

جدول ۵- اثر سطوح مختلف قطع آبیاری بر ویژگی‌های کمی و کیفی سیاه دانه

Table 5- Effect of different levels of irrigation interruption on quantitative and qualitative characteristics of black cumin

قطع آبیاری Irrigation interruption	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه اصلی در مترمربع Number of main branches per m ²	تعداد فولیکول در مترمربع Number of follicles per m ²	تعداد دانه در فولیکول Number of grains per follicles	درصد اسانس Essential oil percent	شاخص برداشت Harvest index (%)
آبیاری کامل Complete irrigation	41.7	1119.7	1289.6	39.3	1.74	40.9
قطع آبیاری از پر شدن دانه Interruption of irrigation at grain-filling stage	40.0	1118.9	1282.1	37.8	1.74	40.1
قطع آبیاری از گل دهی Interruption of irrigation at flowering stage	38.3	1061.1	1221.8	37.5	1.74	37.9
LSD 0.05	2.1	62.3	69.2	2.7	0.07	0.8

اثر معنی داری داشت. افزایش تعداد کپسول در بوته کتجد از طریق افزایش میزان کاربرد کود دامی در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شده است (Jalilian et al., 2021).

تعداد دانه در فولیکول

نتایج تجزیه واریانس همچنین نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح یک درصد بر تعداد دانه در فولیکول معنی دار بود، این در حالی بود که اثر تیمار قطع آبیاری و برهم کنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف کود دامی از صفر به ۳۰ تن در هکتار، تعداد دانه در فولیکول با حدود ۲۹ درصد افزایش از ۳۱/۶ به ۴۴/۹ بهبود یافت (جدول ۴). تعداد دانه در فولیکول از اجزای مهم تعیین کننده عملکرد گیاه است که از مرحله گل دهی به بعد به علت لقاح گلچه‌ها شکل می گیرد. به نظر می رسد که افزایش میزان کاربرد کود دامی در مراحل اولیه رشد از تأثیر بر سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک کل باعث قوی تر شدن دانه‌های گرده و فرآیند لقاح گردید که این عامل باعث افزایش تعداد دانه در فولیکول سیاه دانه شد. هرچند انتظار می رفت که بهبود شرایط رطوبتی نیز منجر به افزایش تعداد دانه‌ها شود، اما به نظر می رسد که با توجه به این نکته که تیمارهای کم آبیاری از مرحله گل دهی یعنی همان ایامی که تعداد دانه‌ها در حال شکل گیری بودند، اعمال گردید، ولی ممکن است به علت جذب رطوبت توسط گیاه از آب ذخیره شده در خاک، کم آبیاری تأثیری بر این صفت بر جای نگذاشت. سعیدنژاد و رضوانی مقدم (Saeid Nejad & Rezvani, 2010) نیز نشان دادند که کودهای دامی با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک باعث رشد بهتر ریشه و به دنبال آن افزایش رشد گیاه شد. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که کود گاوی باعث افزایش تعداد دانه سیاه دانه گردید (Sohrabi Renani, 2013).

سهرابی رنانی (Sohrabi Renani, 2013) نیز نشان داد که کود گاوی بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی سیاه دانه اثر معنی داری داشت. جلیلیان و همکاران (Jalilian et al., 2021) نیز در تحقیقی دیگر گزارش کردند که کود دامی باعث افزایش معنی دار تعداد شاخه‌های فرعی در بوته کتجد (*Sesamum indicum*) گردید. باین حال مرادی و همکاران (Moradi et al., 2018) نشان دادند که با افزایش میزان کم آبیاری از ۹۰ به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی سیاه دانه کاهش معنی داری نشان دادند.

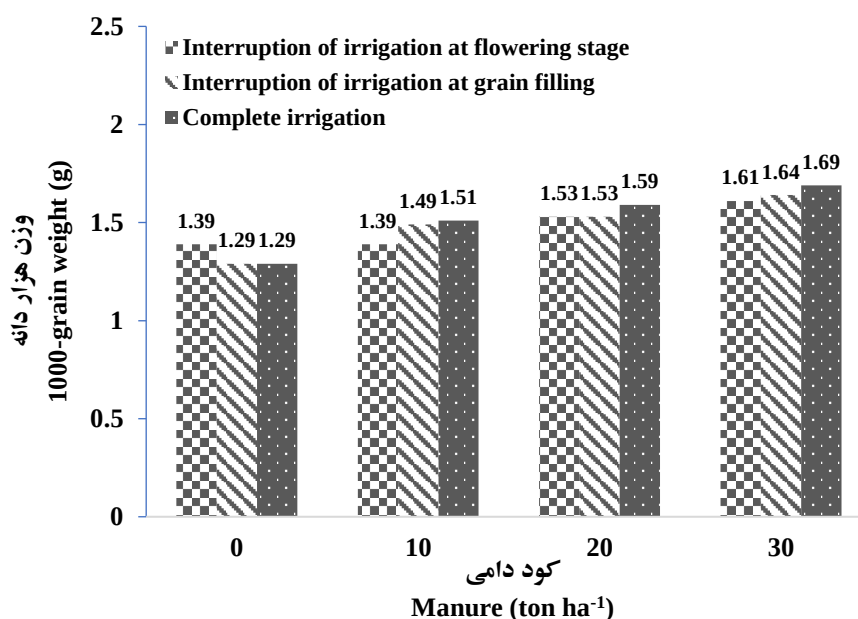
تعداد فولیکول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح یک درصد بر تعداد فولیکول در مترمربع معنی دار بود، این در حالی بود که اثر تیمار قطع آبیاری و برهم کنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف کود دامی از صفر به ۳۰ تن در هکتار، تعداد فولیکول در مترمربع با حدود ۳۰ درصد افزایش از ۹۱۳/۷ به ۱۲۸۷/۲ بهبود یافت (جدول ۴). از آنجایی که فولیکول‌های گیاه در مرحله گل دهی شکل می گیرند و در این تحقیق تیمارهای آبیاری از این مرحله به بعد اعمال شده بود، بنابراین تنش کمبود رطوبت تأثیری بر تعداد فولیکول‌ها نداشت. اما به نظر می رسد که به علت ایجاد شرایط بهتر برای گیاه در مراحل اولیه رشد، نمود، کاربرد کود دامی توانست منجر به افزایش تعداد فولیکول‌ها شود. در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که تلفیق کودهای آلی با یکدیگر در مقایسه با کود شیمیایی منجر به افزایش تعداد فولیکول در بوته سیاه دانه شد (Rezvani-Moghaddam et al., 2016). آن‌ها همچنین اظهار داشتند که تعداد فولیکول در بوته با افزایش میزان کاربرد کودهای آلی بهبود یافت. سهرابی رنانی (Sohrabi Renani, 2013) گزارش کرد که کود گاوی بر تعداد فولیکول در بوته سیاه دانه

روستایی و همکاران (Rostaie *et al.*, 2015) نیز دریافتند که کود دامی باعث افزایش تعداد دانه در فولیکول سیاه‌دانه شد.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه سیاه دانه تحت تأثیر کاربرد کود دامی، قطع آبیاری و برهم‌کنش آن‌ها در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳).



شکل ۱- تأثیر کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر وزن هزار دانه سیاه‌دانه

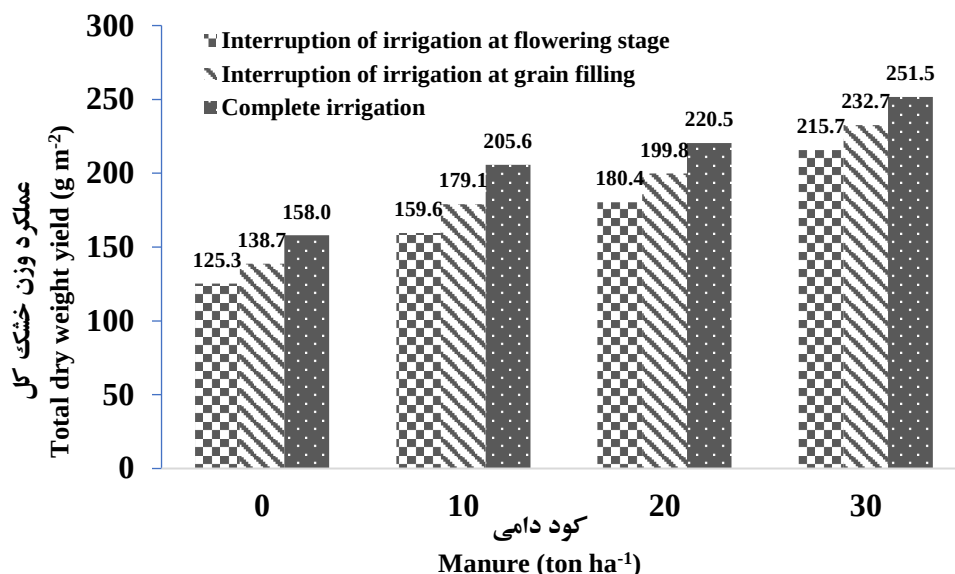
Figure 1- The effect of manure application and irrigation interruption on the 1000-seed weight of black cumin (LSD) = 0.03

وزن هزار دانه سیاه‌دانه تحت تأثیر تیمارهای تلفیق کودهای آلی بهبود یافت (Arvand & Sohrabi, 2022).

عملکرد وزن خشک کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد وزن خشک کل دانه سیاه دانه تحت تأثیر کاربرد کود دامی، قطع آبیاری و برهم‌کنش آن‌ها در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین عملکرد وزن خشک کل (۲۵۱/۵ گرم در مترمربع) در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل و کمترین آن (۱۲۵/۳ گرم در مترمربع) در تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به دست آمد (شکل ۲). عملکرد وزن خشک کل در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی حدود ۵۰ درصد افزایش یافت (شکل ۲).

به نظر می‌رسد که افزایش میزان کود دامی و آب آبیاری در تیمار ۳۰ تن کود دامی در هکتار و آبیاری کامل باعث بهبود وزن خشک کل گردید که این موضوع افزایش ترکیبات فتوسنتزی را در پی داشت و در نتیجه باعث بهبود وزن هزار دانه سیاه‌دانه شد. وزن هزار دانه از اجزای عملکردی می‌باشد که در انتهای دوره رشد گیاه تعیین می‌گردد، بنابراین دور از ذهن نبود که آب آبیاری و مصرف کود بیشتر، بتواند تأثیر معنی‌داری بر این صفت بگذارد. علاوه بر این همان‌گونه که نتایج نشان داد، تعداد دانه در فولیکول که دارای یک همبستگی منفی با وزن هزار دانه بود (جدول ۶)، در این مطالعه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار نگرفت و می‌توان نتیجه گرفت که در زمان شکل‌گیری اجزای عملکرد دانه به‌علت بی‌تغییر ماندن تعداد دانه‌ها، وزن هزار دانه افزایش بیشتری از خود نشان داده است. حیدری و جهان‌تیغی (Heidari & Jahantighi, 2012) با بررسی اثر تنش خشکی و کود نیتروژن بر گیاه سیاه‌دانه بیان کردند که وزن هزار دانه کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار داشت. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که



شکل ۲- تأثیر کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر عملکرد وزن خشک کل سیاه دانه
 Figure 2- The effect of manure application and irrigation interruption on total dry weight yield of black cumin (LSD) = 0.03

دامی و آبیاری کامل در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گل دهی حدود ۵۹ درصد افزایش یافت (شکل ۳). به نظر می رسد که مصرف مقادیر بیشتر کود دامی و همچنین آب آبیاری از طریق بهبود اجزای عملکرد نظیر تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه باعث افزایش عملکرد دانه سیاه دانه شد. در مطالعه ای دیگر نیز مشخص شد که با افزایش میزان آب آبیاری از ۲۵ به ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و عملکرد دانه سیاه دانه افزایش معنی داری نشان دادند (Moradi et al., 2018). لطیفی و همکاران (Latifi et al., 2020) دریافتند که در شرایط کم آبی، جذب عناصر غذایی و رشد برگ ها و در نتیجه سطح برگ کاهش می یابد که این موضوع سبب کاهش جذب نور و کاهش ظرفیت فتوسنتزی شد و در نهایت عملکرد گیاه یافت. در بررسی دیگری، کاربرد کودهای آلی منجر به افزایش عملکرد دانه سیاه دانه شد (Arvand & Sohrabi, 2022).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح یک درصد بر شاخص برداشت معنی دار بود، این در حالی بود که اثر تیمار قطع آبیاری و برهم کنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف کود دامی از صفر به ۳۰ تن در هکتار، شاخص برداشت با حدود ۲۶ درصد افزایش از ۳۳/۳ به ۴۴/۸ درصد بهبود یافت (جدول ۴). افزایش شاخص برداشت سیاه دانه همزمان با کاربرد کودهای آلی توسط

به نظر می رسد که افزایش میزان کود دامی و آب آبیاری در تیمار ۳۰ تن کود دامی در هکتار و آبیاری کامل از طریق بهبود شاخص سطح برگ و جذب تشعشع منجر به بالا رفتن سرعت رشد محصول و سبب افزایش عملکرد وزن خشک کل سیاه دانه شد. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani-Moghaddam et al., 2016) نیز با بررسی مدیریت کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه دانه گزارش کردند که کود گاوی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. حیدری و رضاپور (Heidari & Rezapour, 2011) نشان دادند که با کاهش رطوبت خاک، عملکرد اندام های هوایی کاهش یافت. کریمی (Karimi, 2012) نیز گزارش کرد که کمبود آب در مراحل رویشی و زایشی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک سیاه دانه شد. کیخایی و گنجی خرم دل (Keykhaei & Ganjikhorrandel, 2016) نیز نشان دادند که در شرایط تنش کم آبی، عملکرد وزن خشک کل گندم کاهش یافت.

عملکرد دانه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده ها مشخص گردید که اثر کاربرد کود دامی و قطع آبیاری و رقم در سطح یک درصد و برهم کنش آن ها در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه (۱۰۸/۲ گرم در مترمربع) در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل و کمترین آن (۴۴/۳ گرم در مترمربع) در تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گل دهی به دست آمد (شکل ۳). عملکرد دانه در تیمار ۳۰ تن کود

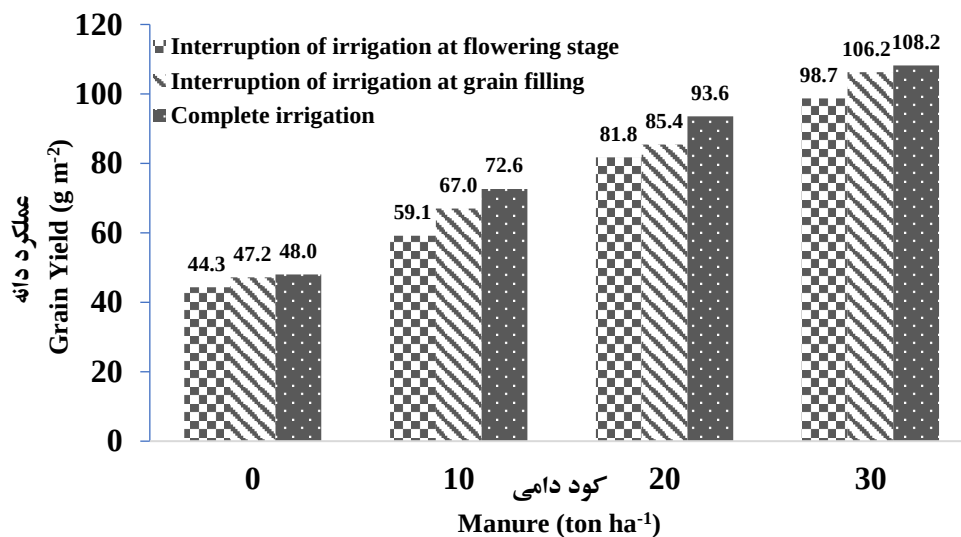
محققان دیگر نیز گزارش شده است (Arvand & Sohrabi, 2022). نوروزپور و رضوانی مقدم (Norouz-Pour & Rezvani, 2005) نیز گزارش کردند که دور آبیاری تأثیری بر شاخص برداشت سیاه‌دانه نداشت.

درصد اسانس دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح پنج درصد بر درصد اسانس معنی‌دار بود، این در حالی بود که اثر تیمار قطع آبیاری و برهم‌کنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف کود دامی از صفر به ۳۰ تن در هکتار، درصد اسانس با حدود ۷ درصد کاهش از ۱/۸۹ به ۱/۶۹ تغییر یافت، هرچند بین تیمار مصرف ۳۰ تن کود دامی با ۲۰ تن کود دامی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). در تحقیقی دیگر، تأثیر نوع کود بر درصد اسانس سیاه‌دانه معنی‌دار بود (Vafaahd et al., 2024). ملکی و همکاران (Maleki et al., 2023) نیز دریافتند که تلفیق کودهای آلی و شیمیایی منجر به تغییر درصد اسانس سیاه‌دانه شد.

عملکرد اسانس دانه

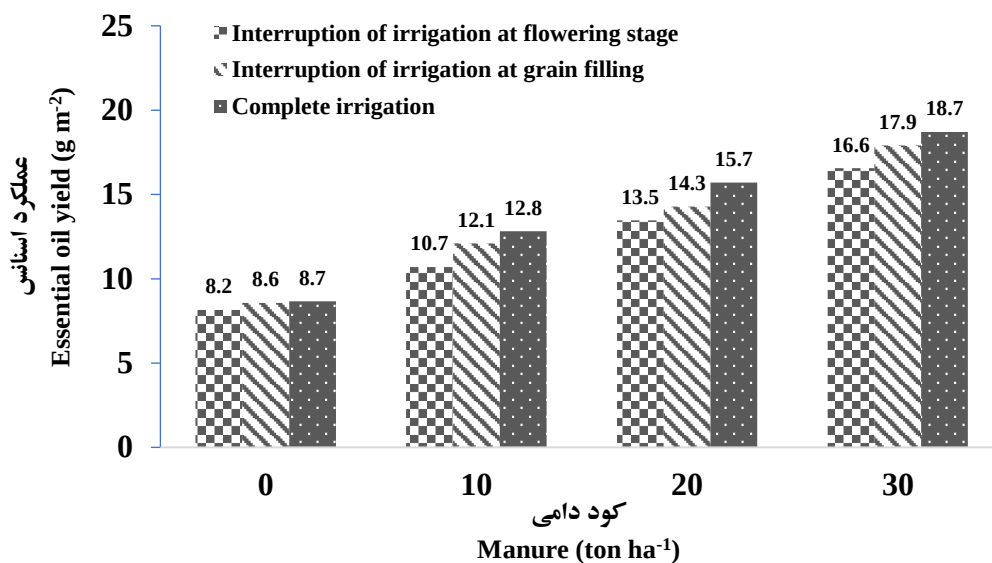
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد اسانس دانه سیاه‌دانه



شکل ۳- تأثیر کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر عملکرد دانه سیاه‌دانه

Figure 3- The effect of manure application and irrigation interruption on grain yield of black cumin (LSD) = 8.01

تحت تأثیر کاربرد کود دامی، قطع آبیاری و برهم‌کنش آن‌ها در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین عملکرد اسانس دانه (۱۸/۷ گرم در مترمربع) در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل و کمترین آن (۸/۲ گرم در مترمربع) در تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به دست آمد (شکل ۴). عملکرد اسانس دانه در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی حدود ۵۶ درصد افزایش یافت (شکل ۴). عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد اسانس دانه به دست آمد. بنابراین با توجه به تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر عملکرد دانه، علی‌رغم عدم معنی‌دار شدن این اثر بر درصد اسانس، عملکرد اسانس دانه سیاه‌دانه معنی‌دار گردید. بر این اساس می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که نقش عملکرد دانه در شکل‌گیری عملکرد اسانس بیشتر از درصد اسانس بود. تأثیر مجزای افزایش عملکرد اسانس دانه در شرایط کاربرد کود دامی و رژیم‌های رطوبتی مختلف (میزان آب آبیاری و دور آبیاری) توسط برخی محققان دیگر نیز گزارش شده است (Arvand & Sohrabi, 2022; Barkhori Mehani et al., 2021). وفاعهد و همکاران (Vafaahd et al., 2024) دریافتند که نوع کود تأثیر معنی‌داری بر عملکرد اسانس سیاه‌دانه داشت.



شکل ۴- تأثیر کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر عملکرد اسانس دانه سیاه دانه

Figure 4- The effect of manure application and irrigation interruption on the essential oil yield of black cumin (LSD) = 0.03

فولیکول و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی دار داشت (جدول ۶). بیشترین همبستگی عملکرد دانه با عملکرد ماده خشک کل (۰/۹۳**) و کمترین آن با وزن هزار دانه (۰/۸۷*) مشاهده گردید.

همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد

محاسبه و بررسی ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد سیاه دانه نشان داد که عملکرد دانه با عملکرد ماده خشک کل، شاخص برداشت، تعداد فولیکول در مترمربع، تعداد دانه در

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد سیاه دانه تحت سطوح مختلف کود دامی و قطع آبیاری

Table 6- Correlation coefficients between yield and yield components traits of black cumin under different levels of manure and irrigation interruption

صفات Traits	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
عملکرد دانه (1) Grain yield (g m ⁻²)	1					
عملکرد وزن خشک کل (2) Total dry weight yield (g m ⁻²)	0.92*	1				
شاخص برداشت (3) Harvest index (%)	0.89**	0.50 ^{ns}	1			
تعداد فولیکول در مترمربع (4) Number of follicles per m ²	0.82**	0.43 ^{ns}	0.83**	1		
تعداد دانه در فولیکول (5) Number of grains per follicles	0.91*	0.11 ^{ns}	0.61**	0.45 ^{ns}	1	
وزن هزار دانه (6) 1000-grain weight (g)	0.78*	0.88**	0.71*	-0.42*	-0.57*	1

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

ns, * and **: non-significant, significant at the probability level of $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively.

فولیکول در بوته و وزن هزار دانه گزارش کردند.

نتیجه گیری

به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که جهت حصول حداکثر عملکرد دانه و عملکرد اسانس دانه، تیمار کاربرد ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل بهتر بود، با این حال بررسی بیشتر نتایج مشخص کرد که در شرایط کاربرد ۳۰ تن کود دامی بین قطع آبیاری از مرحله نموی پر شدن دانه با آبیاری کامل اختلاف معنی داری وجود نداشت. بنابراین در شرایط محدودیت منابع آب آبیاری، می توان به جای آبیاری کامل مزرعه، بدون افت عملکرد دانه و اسانس، آبیاری را از مرحله پر شدن دانه قطع نمود که به این طریق بدون کاهش معنی دار در عملکرد و اجزای آن، در میزان آب مصرفی در مزرعه صرفه جویی می شود.

به نظر می رسد که با افزایش مصرف کود دامی و آب آبیاری، شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت که این موضوع منجر به افزایش جذب تشعشع و بهبود عملکرد وزن خشک کل شد، در نتیجه تخصیص بیشتر مواد (شاخص برداشت بالاتر) به سمت اندام های ذخیره ای گیاه، باعث بالا رفتن عملکرد دانه سیاه دانه شد. نتایج این بررسی همچنین نشان داد که بین وزن هزار دانه با تعداد فولیکول در مترمربع و تعداد دانه در فولیکول همبستگی منفی و معنی دار وجود داشت. این نتیجه دور از ذهن نبود، زیرا هرچه تعداد دانه ها بیشتر شود، وزن تک دانه کاهش می یابد. همبستگی مثبت و معنی دار بین عملکرد دانه با تعداد شاخه و تعداد فولیکول در بوته در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Norouz-Pour & Rezvani, 2005; Moghaddam, 2005). رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani, 2016; Moghaddam et al., 2016) نیز همبستگی مثبت و معنی داری را بین عملکرد دانه سیاه دانه با صفات تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد

References

- Arvand, M., & Sohrabi, Y. (2022). Effect of combining biological and chemical fertilizers on yield and quality of black cumin grain under different irrigation levels. *Plant Process and Function*, 11(50), 8. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1804-fa.html>
- Asadi, R., Hassan Pour, F., Mehrabani, M., Baghizadeh, A., & Karandish, F. (2018). Investigation the effect of deficit irrigation on root distribution and vegetative growth of *Rosmarinus Officinalis* L. *Water and Irrigation Management*, 8(2), 289-301. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jwim.2019.271640.650>
- Azizi, M. (2000). *Studying the effect of deficit irrigation and biofertilizers on the growth and yield of black seed*. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract).
- Bamshad, R., Ramroudi, M., & Asgharipour, M. R. (2020). Evaluation of yield and quality traits of black cumin (*Nigella sativa* L.) affected by fertilizer and irrigation. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(2), 307-317. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.272371.1570>
- Barkhori Mehani, F., Kheiry, A., Soleimani, A., Sani Khani, M., & Arghavani, M. (2021). Study of some morphophysiological characteristics in endemic population of *Nigella sativa* under water deficits stress in Zanjan climate conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), 213-226. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43976.2610>
- Clevenger, J. F. (1928) Apparatus for volatile oil determination, description of new type. *The Journal of the American Pharmaceutical Association*, 17, 345-349. <https://doi.org/10.1002/jps.3080170407>
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147-159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
- Göksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M., & Dağüstü, N. (2004). Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*, 87(2-3), 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.004>
- Guenther, E. (1961). *The Essential Oils*. D. Van Nostrand Company Inc, New York.
- Heidari, M., & Rezapour, A. R. (2011). Effect of water stress and sulfur fertilizer on grain yield, chlorophyll and nutrient status of black cumin (*Nigella Sativa* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 1(1), 81-90. (in Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1390.1.1.7.0>
- Heidari, M., & Jahantighi, H. (2012). Effect of water stress and amount of nitrogen fertilizer on grain yield, yield components, essential oils and thymoquinone content in black cumin (*Nigella sativa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 5(1), 23-40. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2012.112>
- Jalilian, S., Mondani, F., Fatemi Ghomeshe, A., & Bagheri, A. (2021). Effect of farmyard manure and green manure application on yield, yield components and grain oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.) under organic conditions. *Applied Field Crops Research*, 33(4), 62-83. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2021.341662.1451>
- Karimi, F. (2012). *Studying the effect of deficit irrigation and biofertilizers on the growth and yield of black seed*. M.Sc. Thesis, Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (in

- Persian with English abstract).
14. Keykhah, F., & Ganjikhorrandel, N. (2016). Effect of deficit irrigation in corrugation and border methods on yield and water use efficiency of wheat cv. Hamoon. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(1), 1-11. (in Persian with English abstract).
15. Latifi, M., Hassani, S. B., Hassani, R., Nasiri Almanghadim, N., Jafari, S., & Bernard, F. (2020). Trend of polyamine changes in the early stages of maize (*Zea mays* L.) growth under cadmium stress. *Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(4), 220-230. (in Persian with English abstract).
16. Maleki, J., Sharifi Ashoorabadi, E., Mirza, M., Heydari Sharif Abad, H., & Lebaschy, M. (2023). Effects of plant nutrition on economic yield and essential oil composition of *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 39(1), 38-54. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.355278.3030>
17. Moradi, R., Poorghasemian, N., & Naghizadeh, M. (2018). Effect of different deficit irrigation levels and nutritional recourses on some quantitative and qualitative characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.) in Bardsir climate. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1), 35-46. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22077/escs.2017.347.1066>
18. Nassiri-Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani-Moghaddam, P., & Beheshti, A. (2001). *Agroecology*. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. pp 470. (in Persian).
19. Norouz-Pour, G., & Rezvani-Moghaddam, P. (2005). Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(2), 305-315. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v3i2.1313>
20. Omidbeigi, R. (2008). *Production and Processing of Medicinal Plants*. (3th Ed.). Astan Quds Razavi Publications. Mashhad, Iran. p. 81-93. (in Persian)
21. Rezvani-Moghaddam, P., Seyyedi, S. M., & Azad, M. (2016). The effect of different fertilizer management on yield and yield components of black seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology*, 8(4), 598-611. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v8i4.51327>
22. Rostaie, M., Falah, S., & Souraki, A. (2015). Effect of fertilizer sources on growth, yield and yield components of fenugreek intercropped with black cumin. *Journal of Crop Production*, 7(4), 222-197. (in Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1393.7.4.11.0>
23. Saeid Nejad, A. H., & Rezvani-Moghaddam, P. (2010). Evaluation of biofertilizer and chemical fertilizer application on morphological traits, yield, yield components and essential oil percent in cumin (*Cuminum cyminum*). *The Journal of Horticultural Sciences*, 24(1), 38-44. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1389i1.3643>
24. Sohrabi Renani, R. (2013). *Studying the effect of organic, biological and chemical fertilizers on yield, grain yield components and black seed oil yield*. M.Sc. Thesis, Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
25. Vafaahd, F., Kholesro, S., Zareei, S., & Heidari, G. (2024). Response of black cumin (*Nigella sativa* L.) to digested fertilizer and humic acid in the sustainable agricultural system. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33(4), 99-112. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22034/saps.2022.51374.2867>



The Effect of Cover Crop and Row Spacing on Some Soil Properties, Yield and Yield Components of Faba Bean (*Vicia faba* L. Mehta Cultivar)

S. Iri ¹, A. Siahmarguee ^{1*}, J. Gherekhloo ¹, F. Sheikh ², E. Zeinali ¹, F. Ghaderi-Far ¹

1- Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2- Department of Horticulture and Agronomy, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

(*- Corresponding author's Email: siahmarguee@gau.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 20 January 2025
Revised: 20 April 2025
Accepted: 03 May 2025
Available Online: 14 May 2025

Iri, S., Siahmarguee, A., Gherekhloo, J., Sheikh, F., Zeinali, E., & Ghaderi-Far, F. (2026). The effect of cover crop and row spacing on some soil properties, yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L. Mehta cultivar). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(1), 35-57. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.91742.1378>

Introduction

Golestan province is one of the main areas of faba bean (*Vicia faba* L.) production in Iran. Expanding faba bean cultivation in rotation with wheat, rapeseed, and other cold-tolerant plants, due to the valuable characteristics of this plant, can improve the sustainability of cropping systems and bring other important benefits. Weeds are considered a major problem in faba bean production and cause significant losses in grain and green pod yields. Cultivation of cover crops along with modification of agricultural practices, especially planting arrangements, can be a suitable solution for controlling weeds.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of cover crop and row spacing on some soil properties, yield, and yield components of faba bean, a field experiment was conducted as a factorial in a randomized complete block design with three replications in two crop years 2021-22 and 2022-23 at the research farm of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. The first factor of the experiment included the use of cover crops at the levels of 1- rye (*Secale Cereal* L.), 2- parsley (*Petroselinum crispum* L.), 3- berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.), 4- hairy vetch (*Vicia villosa* L.), 5- no cover crop with the use of haloxyfop R-methyl ester + bentazone herbicides, 6- no cover crop in conditions of weeding of weeds, and 7- no cover crop in conditions of no weeding of weeds. The second factor was the distance between faba bean rows at three levels (37.5, 50, and 62.5 cm). Cover crops were planted simultaneously with faba beans and rolled 100 days later. In the second year of the experiment and at the end of the faba bean growth period, soil sampling was performed to determine the soil organic matter content and microbial respiration.

Result and Discussion

Before rolling, the highest and lowest leaf area (and dry weight) among the different cover crops were observed in rye and parsley. In the study of the dry weight of weeds 52 days after rolling the cover crops, it was indicated that the residues of rye and parsley had better potential for controlling weeds in both crop years than the residues of hairy vetch and berseem clover. The lowest number of pods per plant was recorded at a row spacing of 37.5 cm. Among the treatments, the highest number of pods per plant was observed in the no-cover crop treatment under weeding conditions, as well as in the rye and parsley cover crop treatments. In contrast, the lowest number of pods per faba bean plant was recorded in the no-cover crop treatment under no-weeding



Authors retain the copyright. 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/).

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.91742.1378>

conditions and in the hairy vetch cover crop treatment. Row spacing and cover crop treatments had no significant effect on the number of seeds per faba bean pod. With increasing row spacing, the weight of one hundred faba beans increased. The highest weight of faba bean pods was observed in the control treatments without cover crop under weeding conditions and with parsley cover crop planting, respectively, with 121.61 and 120.47 g. The highest biological yield was observed in the parsley cover crop (and residue) treatment at 9313 kg ha⁻¹, which was not far from the control treatments without cover crop in weeding conditions (9279 kg ha⁻¹) and rye cover crop (8364 kg ha⁻¹). The highest grain yield was observed in the row spacing of 37.5 cm and the lowest in the row spacing of 62.5 cm. The lowest grain yield after the cover crop treatment in the no-weeding condition was observed in the hairy vetch treatment. The highest organic carbon and soil microbial respiration was observed in the cover crop treatment in the no-weeding condition and the lowest in the cover crop treatments in the weeding condition. Among the treatments of undercover crops, the highest amount of organic carbon and soil microbial respiration was observed in the hairy vetch treatment and the lowest in rye.

Conclusion

In general, the results of this study showed that the use of different cover crops can have different effects on weed populations, soil properties, and crop yield. Based on the results of this study, to achieve the desired yield of faba bean-Mehta variety, it is recommended to plant parsley at a row spacing of 37.5 cm.

Keyword: Herbicide, Leguminaceae, Microbial respiration, Organic carbon of soil, Parsley

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۵۷-۳۵

اثر گیاه پوششی و فاصله ردیف کاشت روی برخی از خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد باقلا (*Vicia faba* L.) - رقم مهتا

سمیه ایری^۱، آسیه سیاهمرگویی^{۱*}، جاوید قرخلو^۱، فاطمه شیخ^۲، ابراهیم زینلی^۱، فرشید قادری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳

چکیده

به منظور بررسی اثر گیاه پوششی و فاصله ردیف روی برخی از خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد باقلا (*Vicia faba* L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. عامل اول شامل کاربرد گیاه پوششی در هفت سطح (چاودار (*Secale Cereal* L.)، جعفری (*Petroselinum crispum* L.)، شبدر برسيم (*Trifolium alexandrinum* L.)، ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.)، بدون گیاه پوششی همراه با مصرف علف‌کش‌های هالوکسی‌فوپ‌آر متیل استر + بنتازون، بدون گیاه پوششی در شرایط وجین کامل علف‌های هرز و بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز) و عامل دوم شامل فاصله بین ردیف باقلا در سه سطح (۳۷/۵، ۵۰ و ۶۲/۵ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بقایای دو گیاه چاودار و جعفری از پتانسیل مناسب‌تری در مهار علف‌های هرز برخوردار بودند. بیشترین عملکرد دانه در فاصله ردیف ۳۷/۵ سانتی‌متر و کمترین آن در فاصله ردیف ۶۲/۵ سانتی‌متر مشاهده شد. کمترین عملکرد دانه بعد از تیمار بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز در تیمار ماشک گل‌خوشه‌ای به دست آمد. بیشترین کربن آلی و تنفس میکروبی خاک نیز در تیمار بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز و کمترین آن در تیمارهای بدون گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز مشاهده شد. براساس نتایج این تحقیق، جهت دستیابی به عملکرد مطلوب باقلا -رقم مهتا، کاشت گیاه جعفری در بین فواصل ردیف کاشت ۳۷/۵ سانتی‌متر توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنفس میکروبی، جعفری، خانواده نخود، علف‌کش، کربن آلی خاک

مقدمه

امروزه حبوبات به دلیل داشتن پروتئین بالا و اسیدآمینه‌های ضروری، مورد توجه زیادی در جهان قرار گرفته‌اند (Lishan et al., 2022). باقلا (*Vicia faba* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات و از قدیمی‌ترین حبوبات برای مصرف انسان به عنوان منبع پروتئین محسوب می‌شود (Alharbi & Adhikar, 2020). این گیاه به طور گسترده‌ای به عنوان منبع پروتئین در تغذیه انسان و دام به صورت تازه

و خشک مصرف می‌شود (Lishan et al., 2022). این محصول حاوی مقدار زیادی پروتئین، کربوهیدرات، ویتامین‌های گروه B و مواد معدنی است که محتوای پروتئین آن ۳۱/۸۳-۲۹/۵۷ درصد، کربوهیدرات ۵۴/۶۰-۵۲/۹۶ درصد، خاکستر ۳/۳۷-۳/۴۷ درصد، چربی ۰/۲۴-۰/۸۱ درصد و فیبر آن ۱۱-۱۰/۸۸ درصد گزارش شده است (Kumar et al., 2019; Raiger et al., 2021). به دلیل توانایی این گیاه در تثبیت نیتروژن، نقش اساسی در تناوب زراعی ایفا می‌کند و همچنین می‌تواند سطح قابل توجهی از نیتروژن را از هوای خاک با استفاده از رابطه همزیستی با باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium leguminosarum* L.) تأمین کند (Gezahegn & Tesfaye, 2017). همچنین باقلا نقش اساسی در افزایش حاصلخیزی خاک دارد و با افزودن حدود ۳۰-۲۰ درصد نیتروژن پس از برداشت، به افزایش عملکرد محصول بعدی کمک می‌کند (El-Metwally et al., 2017).

۱- گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Siahmarguee@gau.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.91742.1378>

که ممکن است موجب خوابیدن، نفوذ نور کمتر در تاج پوشش گیاهی، کاهش بازده فتوسنتزی و کاهش شدید محصول شود (Masa et al., 2017; Tamrat et al., 2019; Gezahegn & Tesfaye, 2017). محققان مختلف گزارش نمودند که تنظیم فواصل ردیف‌ها به‌طور قابل توجهی بر بروز آلودگی توسط علف‌های هرز و به‌تبع آن عملکرد گیاهان زراعی تأثیر می‌گذارد (Gezahegn & Tesfaye, 2017; Kebede et al., 2015; El-Gedwy et al., 2020). در این راستا، نتایج تحقیقات انجام‌شده روی باقلا-رقم برکت (Baei et al., 2022) و سویا (*Glycine max* L.) (Rich & Renner, 2007) نشان داد که با افزایش فواصل بین ردیف، تراکم علف هرز افزایش یافت. دارامولا و همکاران (Daramola et al., 2020) نیز دریافتند که استفاده از فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر در مقایسه با ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر باعث کاهش تراکم و زیست‌توده گونه‌های علف‌های هرز از جمله *Panicum maximum*, *Digitaria horizontalis* و *Cynodon dactylon* گردید.

کشت گیاهان پوششی بین محصولات زراعی یکی از قدیمی‌ترین شیوه‌های کشاورزی است که در حال حاضر در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است (Romdhane et al., 2019). این گیاهان جزء مهمی از توسعه کشاورزی پایدار هستند که موجب افزایش فعالیت ریزجانداران، تنوع و فراوانی آن‌ها شده و سلامت خاک را بهبود می‌بخشند (Koudahe et al., 2022). گیاهان پوششی فواید مختلفی از جمله حفظ مواد مغذی و آب، افزایش چرخه مواد غذایی و بهبود کیفیت خاک، کاهش خطر فرسایش، مدیریت آفات و همچنین مهار علف‌های هرز را به همراه دارند (Nielsen et al., 2020). سلیم و همکاران (Saleem et al., 2020) بیان نمودند که رشد ریشه گیاهان پوششی مزایایی برای خاک از جمله افزایش محتوای کربن آلی خاک، مواد مغذی موجود و همچنین کاهش تراکم خاک را فراهم می‌کند. نتایج پژوهش شارما و همکاران (Sharma et al., 2018) نشان داد که گیاهان پوششی به کاهش تبخیر آب و در نتیجه حفظ رطوبت خاک برای محصول کمک می‌کنند. نوریس و کنگروس (Norris & Congreves, 2018) گزارش نمودند که گیاهان پوششی موجب سلامت خاک (چرخه مواد مغذی، پایداری خاکدانه‌ها و غیره) در سراسر مناطق آب‌وهوایی می‌شوند. دابنی و همکاران (Dabney et al., 2010) بیان نمودند که گیاهان پوششی، منبع قابل توجهی از مواد آلی را به خاک اضافه می‌کنند که با توجه به گونه‌های خاص آن، با کاهش نسبت کربن به نیتروژن خاک، هدررفت نیتروژن را نیز کاهش می‌دهند. همچنین گیاهان پوششی از طریق توانایی آن‌ها در جداسازی و تثبیت کربن اتمسفر، نیتروژن و کاهش تلفات کربن دی‌اکسید و نیتروژن اکسید جو، به کاهش اثرات تغییرات آب‌وهوایی و گرم شدن کره زمین کمک می‌کنند (De Laune et al., 2019). رانکوت و همکاران (Rankoth et al., 2019)، اثرات گیاه پوششی را

این محصول، چهارمین محصول مهم حبوبات در جهان، براساس سطح زیرکشت است (Jungers et al., 2019). براساس آمار سازمان خواروبار جهانی در سال ۲۰۲۱، سطح زیرکشت این محصول در جهان تقریباً ۲/۵ میلیون هکتار بوده و مجموع تولید آن نیز بالغ بر ۴/۵ میلیون تن با میانگین تولید دانه ۱/۸ تن در هکتار بوده است (FAO, 2020). تولیدکنندگان عمده باقلا در جهان شامل چین (۱/۶۵ میلیون تن)، اتیوپی (۰/۶۱ میلیون تن)، فرانسه (۰/۴۴ میلیون تن)، مصر (۰/۲۹ میلیون تن) و استرالیا (۰/۱۹ میلیون تن) می‌باشند (Khazaei et al., 2021; O'Donovan & Dunne, 2021). در همین سال، سطح زیرکشت این محصول در ایران تقریباً ۱۵۰۰۰۰ هکتار بوده که از این سطح ۳۰۰۰۰۰ تن دانه خشک با میانگین تولید ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمده است (FAO, 2020). مناطق عمده کشت این محصول در ایران شامل گرگان، خوزستان، لرستان، هرمزگان و گیلان می‌باشد (Musavi Fakhr et al., 2020).

عوامل متعددی مانند کیفیت خاک، تراکم، زمان کاشت، شیوه‌های مدیریت مزرعه و آفات و بیماری‌ها بر بهره‌وری باقلا تأثیر می‌گذارند (Lishan et al., 2022). رقابت با علف‌های هرز برای نیازهای اصلی رشد از جمله آب، مواد مغذی، نور و فضا به‌ویژه در مراحل اولیه رشد یکی از مهم‌ترین مشکلات باقلا است که موجب کاهش بهره‌وری و کاهش کیفیت محصول می‌شود (Jihad & Mohammed, 2023). علاوه بر این، علف‌های هرز به دلیل داشتن مواد آلوپاتیک از رشد محصول جلوگیری نموده و کاهش ۷۵ درصدی عملکرد را به همراه دارند (Daba & Sharma, 2018). بنابراین مهار علف‌های هرز در زمان بحرانی پس از کاشت ضرورت پیدا می‌کند. استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی در مهار علف‌های هرز به دلیل کارایی و سرعت اثر بالای آن‌ها بسیار مطلوب است؛ اما استفاده مداوم از علف‌کش‌های شیمیایی منجر به ایجاد مقاومت علف‌های هرز، کاهش کارایی و همچنین آسیب‌های زیست‌محیطی و بهداشتی آن و افزایش هزینه‌های تولید می‌شود (Jihad & Mohammed, 2023). بنابراین استفاده از روش مدیریت اکولوژیک برپایه مدیریت تلفیقی علف‌های هرز، از جمله آرایش مناسب کاشت و استفاده از گیاهان پوششی حائز اهمیت می‌باشد.

گزارش شده است که جمعیت گیاهی مناسب با تنظیم مناسب فاصله بین ردیف‌ها و روی ردیف‌ها، نقش کلیدی در افزایش تولید باقلا دارد (Karkanis et al., 2019). نقش اصلی آرایش کشت از طریق تنظیم فاصله بین ردیف‌ها، توزیع و پراکندگی مناسب انرژی نوری در بین گیاهان است که باعث بهبود عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی می‌شود (Masa et al., 2017). در واقع، گیاهانی که در فاصله ردیف‌های زیاد رشد می‌کنند، نمی‌توانند به‌طور مؤثر از نور، آب و منابع غذایی استفاده کنند. بالین‌حال، محصولاتی که در فاصله ردیف‌های کم رشد می‌کنند، با رقابت شدید بین گونه‌ای مواجه هستند

اجزای عملکرد پنبه می‌شود. نتایج پژوهش بلانکو-کانکونی و همکاران (Blanco-Canqui et al., 2015)، چو و همکاران (Chu et al., 2017) و مپوتیا و همکاران (Mbuthia et al., 2015) نیز حاکی از افزایش عملکرد محصول با استفاده از گیاهان پوششی بود. با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی بوجودآمده در اثر مصرف بی‌رویه آفت‌کش‌ها و لزوم به‌کارگیری روش‌های اکولوژیک در مدیریت علف‌های هرز و بهبود حاصلخیزی خاک، این تحقیق در طی دو سال با هدف بررسی اثر انواع گیاهان پوششی و بقایای آن‌ها در تلفیق با فواصل ردیف کاشت مختلف، بر مهار علف‌های هرز، خصوصیات خاک و عملکرد باقلا رقم مهتا طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان واقع در عرض جغرافیایی ۳۶/۸۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴/۲۷ درجه شرقی اجرا شد. قبل از شروع آزمایش، جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه‌ای مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه و پس از اختلاط، مورد آزمون قرار گرفت. نتایج حاصل از وضعیت خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

بر زیست‌توده میکروبی خاک در یک تناوب ذرت (*Zea mays* L.)-سویا اندازه‌گیری نمودند و دریافتند که در صورت استفاده از گیاهان پوششی، زیست‌توده میکروبی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. گیاهان پوششی از طریق سازوکارهای تداخلی رقابت در جذب منابع و همچنین آللوپاتی، علف‌های هرز را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند و جوانه‌زنی و توسعه علف‌های هرز را به تأخیر می‌اندازند و موجب کاهش زیست‌توده علف‌های هرز می‌شوند (Weisberger et al., 2019). کاهش زیست‌توده می‌تواند حساسیت علف‌های هرز به علف‌کش‌ها را افزایش دهد (Wallace et al., 2019). نتایج مطالعه اسمیت و همکاران (Smith et al., 2020) نشان داد که گیاهان پوششی نازک برگ به‌طور قابل توجهی زیست‌توده علف‌های هرز را (۶۸ درصد) کاهش دادند. گیاهان پوششی علاوه‌بر مهار علف‌های هرز، آفات، نماتدها و بیماری‌گرهای مختلف خاک را کاهش می‌دهند و کیفیت خاک را بهبود می‌بخشند و از این‌رو موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد محصولات می‌شوند (Kocira et al., 2020). در تحقیق برینارد و همکاران (Brainard et al., 2005) نشان داده شد که کشت انواع مختلفی از گیاهان پوششی (چاودار، شبدر و ماشک گل‌خوشه‌ای) همراه با استفاده از کود نیتروژن در ذرت موجب حصول حداکثر عملکرد ذرت در مقایسه با استفاده از کود نیتروژن به‌تنهایی شده است. نتایج ایری و همکاران (Iri et al., 2020) نشان داد که کشت گیاه پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در بقایای دو گیاه پوششی شبدر برسیم و ماشک گل‌خوشه‌ای موجب بهبود عملکرد و

جدول ۱- برخی از خصوصیات خاک و گیاه پوششی مورد استفاده در این آزمایش

Table 1- Some properties of soil and cover crops that used in this experiment

خصوصیات خاک Soil properties					
بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (%)	فسفر Phosphorus (%)
Silty clay loam	6.8	0.6	0.098	164	5.6
خصوصیات گیاهان پوششی Properties of cover crops					
گیاهان پوششی Cover crops	نام علمی Scientific name	خانواده Family	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	بذر توصیه‌شده Seed recommended (kg ha ⁻¹)	
چاودار Rye	<i>Secale Cereal</i> L.	Poaceae	20-55	110-200	
جعفری Parsley	<i>Petroselinum crispum</i> L.	Apiaceae	3.30	5-8	
ماشک گل‌خوشه‌ای Hairy vetch	<i>Vicia villosa</i> L.	Fabaceae	25.00	65	
شبدر برسیم Berseem clover	<i>Trifolium alexandrinum</i> L.	Fabaceae	1.50	3.5-4.5	

دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به آزمایشگاه منتقل شدند.

همچنین برای تعیین خصوصیات خاک در سال دوم آزمایش (۱۴۰۱-۱۴۰۲) در انتهای فصل رشد باقلا، در هر تیمار آزمایشی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر خاک نمونه‌برداری شد و جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک از جمله میزان کربن آلی (Nelson & Sommers, 1982) و تنفس میکروبی (Dilly et al., 2011) به آزمایشگاه گروه خاک‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل گردید.

جهت تعیین تنفس میکروبی، ۵۰ گرم خاک درون یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و ظرفیت آب در آن به ۵۵ درصد ظرفیت زراعی رسانده شد. سپس لوله آزمایشی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید (NaOH) نیم مولار درون این ارلن مایر قرار داده شد و درب آن توسط پارافیلیم مسدود گردید تا از ورود هوا ممانعت به عمل آید. ارلن‌ها به مدت شش روز در دمای ۲۵-۲۸ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور نگهداری شد. طی این مدت، کربن دی‌اکسید (CO₂) تولیدشده توسط فعالیت میکروب‌ها از خاک تصعید شده و با سدیم هیدروکسید موجود در لوله آزمایش ترکیب و تولید آب می‌کند. پس از خروج ارلن‌ها از انکوباتور، سدیم هیدروکسید باقی‌مانده را درون یک بشر ریخته و به آن یک میلی‌لیتر باریم کلرید (BaCl₂) ۰/۱ مولار اضافه شد. سپس با چند قطره فنیل فتالین و اسیدکلریدریک (HCl) ۰/۳ نرمال، تیتراژ گردید (Dilly et al., 2011). در این آزمایش، رنگ محلول از ارغوانی به شیری تغییر پیدا نمود. در نهایت، با استفاده از رابطه (۱)، مقدار CO₂ تولیدشده محاسبه و عدد حاصل بر وزن خاک و تعداد روز قرارگرفته در انکوباتور تقسیم شد. در این آزمایش، میلی گرم CO₂ تولیدشده بر گرم خاک در روز به دست آمد (Nelson & Sommers, 1982).

$$\text{mg CO}_2 = (V_1 - V_2) \times N \times E \quad (1)$$

که در آن، V₁: حجم اسیدکلریدریک مصرفی برای شاهد (بدون خاک)، V₂: حجم اسیدکلریدریک مصرفی برای نمونه خاک، N: نرمالیه و E: وزن اکسی‌والان CO₂ که معادل ۲۲ است.

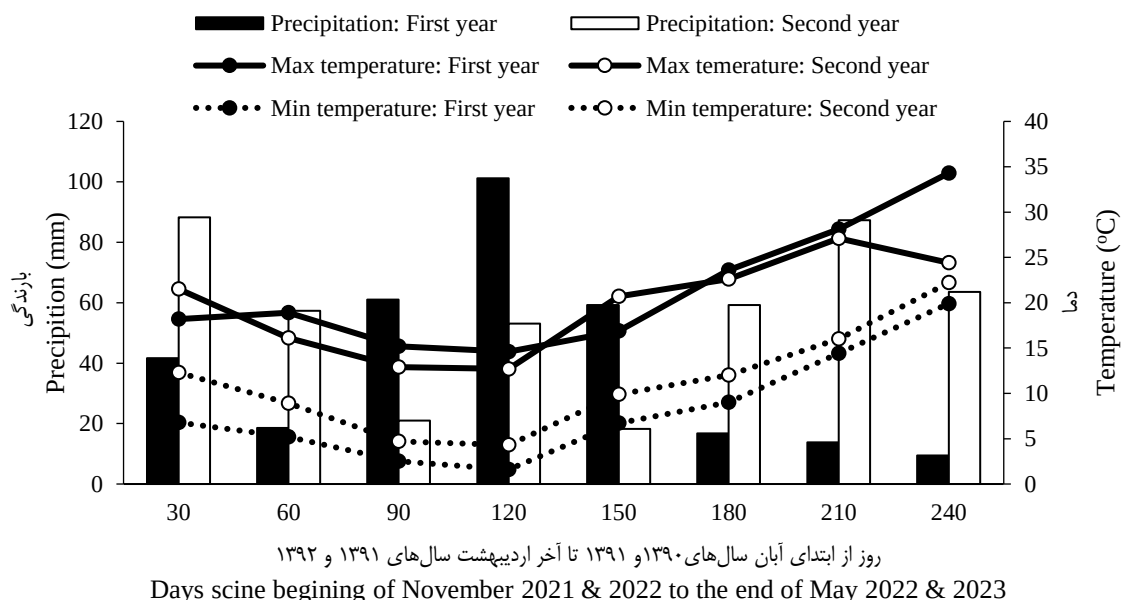
جهت آنالیز داده‌های عملکرد و اجزای عملکرد باقلا از رویه Proc Mixed در برنامه آماری SAS 9 استفاده شد. لازم به توضیح است که در این روش، اثر سال تصادفی در نظر گرفته شد (Soltani & Torabi, 2014). جهت مقایسه میانگین داده‌ها نیز از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. در نهایت، برای رسم نمودارهای مربوطه از نرم‌افزار Sigma plot14 و Excel 2016 استفاده گردید.

عملیات آماده‌سازی بستر از جمله شخم، دیسک و تسطیح، در مهرماه سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ صورت گرفت. با توجه به نتایج آزمون خاک، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم سولفات و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (اوره) جهت تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه در زمان کاشت مورد استفاده قرار گرفت. عامل اول آزمایش شامل کاربرد گیاه پوششی در سطوح ۱- چاودار (*Secale cereal* L.)، ۲- جعفری (*Petroselinum crispum* L.)، ۳- شبدر برسيم (*Trifolium alexandrinum* L.)، ۴- ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.)، ۵- بدون گیاه پوششی همراه با مصرف علف‌کش‌های هالوکسی‌فوپ‌آر متیل استر (سوپرگلانت ۱۰/۸ درصد) + بنتازون (بازاگران ۴۸ درصد SL)، ۶- بدون گیاه پوششی در شرایط وجین کامل علف‌های هرز و ۷- بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز بود. عامل دوم نیز فاصله بین ردیف باقلا در سه سطح ۳۷/۵، ۵۰ و ۶۲/۵ سانتی‌متر به ترتیب با تراکم معادل ۲۲/۲، ۱۶/۶۶ و ۱۳/۳۳ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. ابعاد کرت‌های آزمایش ۵×۴ متر بود. فاصله کرت‌ها از هم نیم متر و فاصله تکرارها یک متر در نظر گرفته شد. در این پژوهش از بذر باقلا-رقم مهتا که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی واقع در شهرستان گرگان تهیه شده بود، استفاده گردید و این بذور در ۱۲ آبان سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به‌صورت دستی با فاصله روی ردیف ۱۲ سانتی‌متر کشت شدند. بذر گیاهان پوششی نیز در دو برابر تراکم‌های توصیه‌شده (جدول ۱)، همزمان با کاشت باقلا، در فواصل بین ردیف‌ها به‌صورت دست‌پاش و به‌شکل یکنواخت کشت گردید (Khojamli et al., 2019). به‌دلیل مناسب بودن رطوبت خاک در زمان کاشت، آبیاری انجام نشد. در این پژوهش، در زمان کاشت گیاهان پوششی، هیچ کودی مورد استفاده قرار نگرفت (Brust et al., 2014). جهت توقف رشد گیاهان پوششی، ۱۰۰ روز پس از کاشت گیاهان پوششی (۲۲ بهمن ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) همه گیاهان پوششی در یک یا دو مرحله غلتک زده شدند (Aghpour et al., 2019). همچنین در کرت‌های تحت تیمار علف‌کش، سم‌پاشی در تاریخ ۱۵ بهمن ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ مصادف با ۹۳ روز پس از کاشت باقلا، اعمال گردید (در این زمان، باقلا در مرحله چهار تا پنج برگگی قرار داشت). سم‌پاش مورد استفاده از نوع پشته‌ای ۲۰ لیتری با نازل مخروطی بود. سم‌پاشی در ساعت ۹ صبح با فشار ۰/۲ تا ۰/۳ مگاپاسکال انجام شد. جهت تعیین سطح برگ و زیست‌توده گیاهان پوششی قبل از غلتک زدن آن‌ها، نمونه‌برداری از گیاهان پوششی مختلف در دو کوادرات به ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر انجام شد. همزمان تعداد علف‌های هرز موجود در هر کوادرات نیز شمارش و بعد از کف‌بر شدن، جهت تعیین وزن خشک به آزمایشگاه منتقل گردید. برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد باقلا در مرحله رسیدگی دانه بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای، از هر واحد آزمایشی یک مترمربع انتخاب و جهت تعیین تعداد غلاف در بوته، تعداد

نتایج و بحث

در سال اول آزمایش، دمای حداقل، حداکثر و میزان بارندگی ماهانه در طول فصل رشد (از آبان ماه ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ (زمان کاشت باقلا و گیاه پوششی) تا خردادماه ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ (زمان برداشت باقلا) به ترتیب در محدوده ۱۹/۹-۱/۶ درجه سانتی گراد، ۳۴/۳-۱۴/۶ درجه

سانتی گراد و ۱۰/۲-۹/۴ میلی متر در نوسان بود. دمای حداقل، حداکثر و میزان بارندگی در طی این دوره برای سال دوم آزمایش به ترتیب ۲۳/۲-۴/۲۲ درجه سانتی گراد، ۲۷/۱-۱۲/۷ درجه سانتی گراد و ۸۸/۳-۱۸/۲ میلی متر ثبت شد (شکل ۱).



شکل ۱- تغییرات دما (حداقل و حداکثر دما) و بارندگی شهرستان گرگان از آبان ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ (سال اول) و آبان ۱۳۹۱ تا اردیبهشت ۱۳۹۲ (سال دوم)

Figure 1- Temperature changes (minimum and maximum temperature) and precipitation of Gorgan region from November 2021 to May 2022 (the first year) and November 2022 to May 2023 (the second year)

جعفری مشاهده شد و دو گیاه ماشک گل خوشه‌ای و شبدر برسیم از نظر این خصوصیت مشابه هم بودند (شکل ۳).

در طی دوره آزمایش، هفت گونه علف هرز در کرت‌های آزمایشی مشاهده شد. این گونه‌ها شامل ساق ترشک (*Rumex sp.*)، درمنه (*Artemisia annua*)، علف خونی (*Phalaris sp.*)، سبزاب (*Veronica persica*)، سلمه تره (*Chenopodium album*)، خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) و پیچک بند (*Polygonum convolvulus*) بود. لازم به توضیح است که برای مقایسه توانایی گیاهان پوششی در مهار علف‌های هرز در این بخش (۱۰۰ روز بعد از کاشت باقلا و گیاهان پوششی) فقط در تیمارهای گیاهان پوششی، در آنالیز لحاظ شده است و در ادامه توضیحات تکمیلی در خصوص اثر تیمارهای مختلف (گیاهان پوششی، علف کش و وجین) بر وزن خشک علف‌های هرز، ۱۵۲ روز بعد از کاشت باقلا و گیاهان پوششی در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج تجزیه واریانس، تا قبل

برخی از خصوصیات گیاهان پوششی و جمعیت علف‌های هرز قبل از غلتک زدن آن‌ها

وزن خشک و سطح برگ گیاه پوششی به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد تحت تأثیر نوع گیاه پوششی قرار گرفت. اثر فاصله ردیف و اثر متقابل فاصله ردیف و نوع گیاه پوششی در رابطه با این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین وزن خشک تولیدشده به وسیله گیاهان پوششی قبل از غلتک زدن آن‌ها نشان داد که در هر دو سال آزمایش، گیاه پوششی چاودار بیشترین وزن خشک را به خود اختصاص داد. بعد از این گیاه، ماشک گل خوشه‌ای در رتبه دوم قرار داشت. کمترین میزان وزن خشک نیز در گیاه پوششی جعفری مشاهده شد (شکل ۲). نتایج مقدار شاخص سطح برگ گیاهان پوششی مختلف (تا قبل از غلتک زدن آن‌ها) حاکی از آن بود که گیاه چاودار قادر به تولید سطح برگ بیشتری نسبت به سایر گیاهان پوششی بود. کمترین شاخص سطح برگ نیز در گیاه پوششی

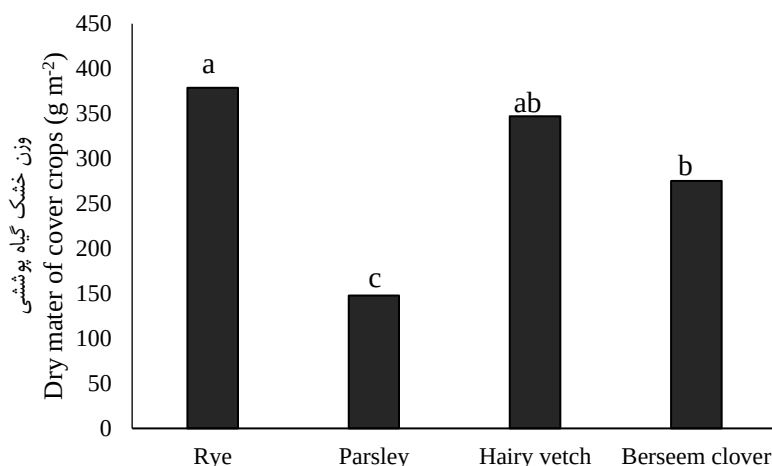
مختلف نشان می‌دهد که توانایی گیاهان پوششی زنده در مهار علف‌های هرز بیشتر از بقایای (مالج) گیاهان پوششی به دلایل مختلف از جمله جذب نور قرمز و کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور و به تبع آن کاهش جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز در خاک (Teasdale & Daughtry, 1993)، استقرار سریع‌تر و در نتیجه رقابت مؤثرتر در جذب نور، آب و مواد غذایی (Reddy & Koger, 2004)، کاهش تولید بذر توسط علف‌های هرز مشروط به تولید وزن خشک مطلوب توسط گیاهان پوششی (Brainard & Bellinder, 2004; Brennan & Smith, 2005)، افزایش احتمال شکار بذر در زیر تاج‌پوشش گیاه پوششی (Davis & Liebman, 2003; Gallandt et al., 2005) می‌باشد.

از غلتک زدن گیاهان پوششی، تفاوت معنی‌داری بین گیاهان پوششی، فاصله بین ردیف و همچنین اثر متقابل گیاه پوششی و فاصله بین ردیف بر روی تراکم و وزن خشک علف‌های هرز مشاهده نشد (جدول ۲). به نظر می‌رسد که هر چهار نوع گیاه پوششی مورد استفاده در این آزمایش علی‌رغم داشتن وزن خشک و سطح برگ متفاوت (شکل‌های ۱ و ۲)، تا زمانی که زنده هستند، می‌توانند در مهار علف‌های هرز موفق عمل نمایند. به‌طور کلی، گیاهان پوششی مختلف به‌واسطه سرعت‌های متفاوت در فرآیند سبز شدن و استقرار، میزان سرعت بسته شدن تاج‌پوشش، تولید میزان مختلف ماده خشک و سطح برگ، توانایی تولید ترکیبات آللوپاتیک و ...، توانایی ایجاد تغییرات مختلفی را در فلور علف‌های هرز دارند (Khojamli et al., 2019; Dhima et al., 2009; Didehbaz Moghanlo et al., 2023).

جدول ۲- تجزیه واریانس گیاه پوششی و فاصله ردیف روی برخی از صفات گیاه پوششی و علف‌های هرز قبل از توقف رشد رویشی آن‌ها (۱۰۰ روز بعد از کاشت گیاه پوششی)

Table 2- Analysis of variance for the effects of cover crops and inter row space on some traits of cover crops and weeds before terminating their vegetative growth (100 days after planting the cover crop)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		ماده خشک گیاه پوششی Dry mater of cover crops	شاخص سطح برگ گیاه پوششی LAI of cover crop	تراکم علف هرز Weed density	ماده خشک علف هرز Dry mater of weeds
گیاه پوششی Cover crop	3	36.52**	10.58*	3.63 ns	2.61 ns
فاصله ردیف Row spacing	2	1.51 ns	1.02 ns	1.45 ns	1.63 ns
گیاه پوششی × فاصله ردیف Cover crop × row spacing	6	3.16 ns	0.60 ns	0.42 ns	0.49 ns

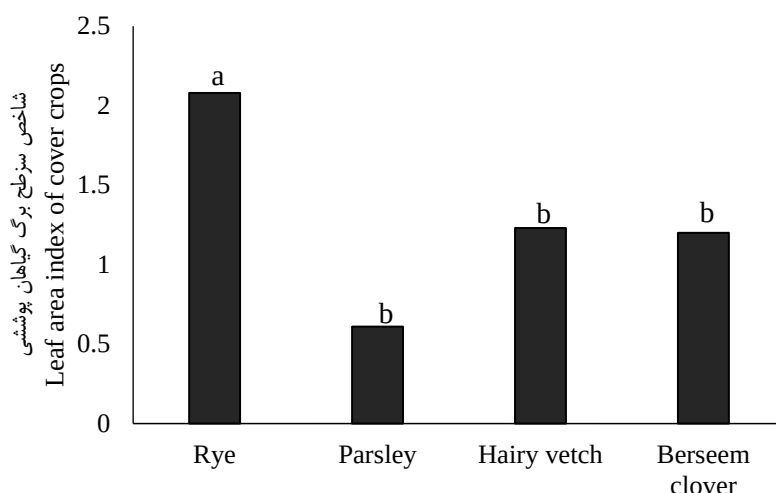


شکل ۲- ماده خشک تولیدشده توسط گیاه پوششی مختلف قبل از غلتک زدن

Figure 2- Dry matter produced by different cover crops before rolling

میانگین‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Means with the same letters are not significantly different at 1% level of probability based on LSD.



شکل ۳- شاخص سطح برگ گیاه پوششی مختلف قبل از غلتک زدن

Figure 3- Leaf area index of different cover crops before rolling

میانگین‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD.

آمبروزیا (*Ambrosia artemisiifolia* L.)، هفت‌بند (*Polygonum aviculare* L.) و قیاق (*Sorghum halepense* (L.) Pers) را در پی داشت. همچنین در آزمایشی، چاودار موجب کاهش زیست‌توده علف‌های هرز به میزان ۷۶ درصد نسبت به شاهد و ۷۱ درصد نسبت به تیمار یولاف زراعی شد که دلیل مهارکنندگی بیشتر چاودار را به بالا بودن خاصیت آللوپاتیک این گیاه نسبت دادند (Sadeghpour et al., 2014).

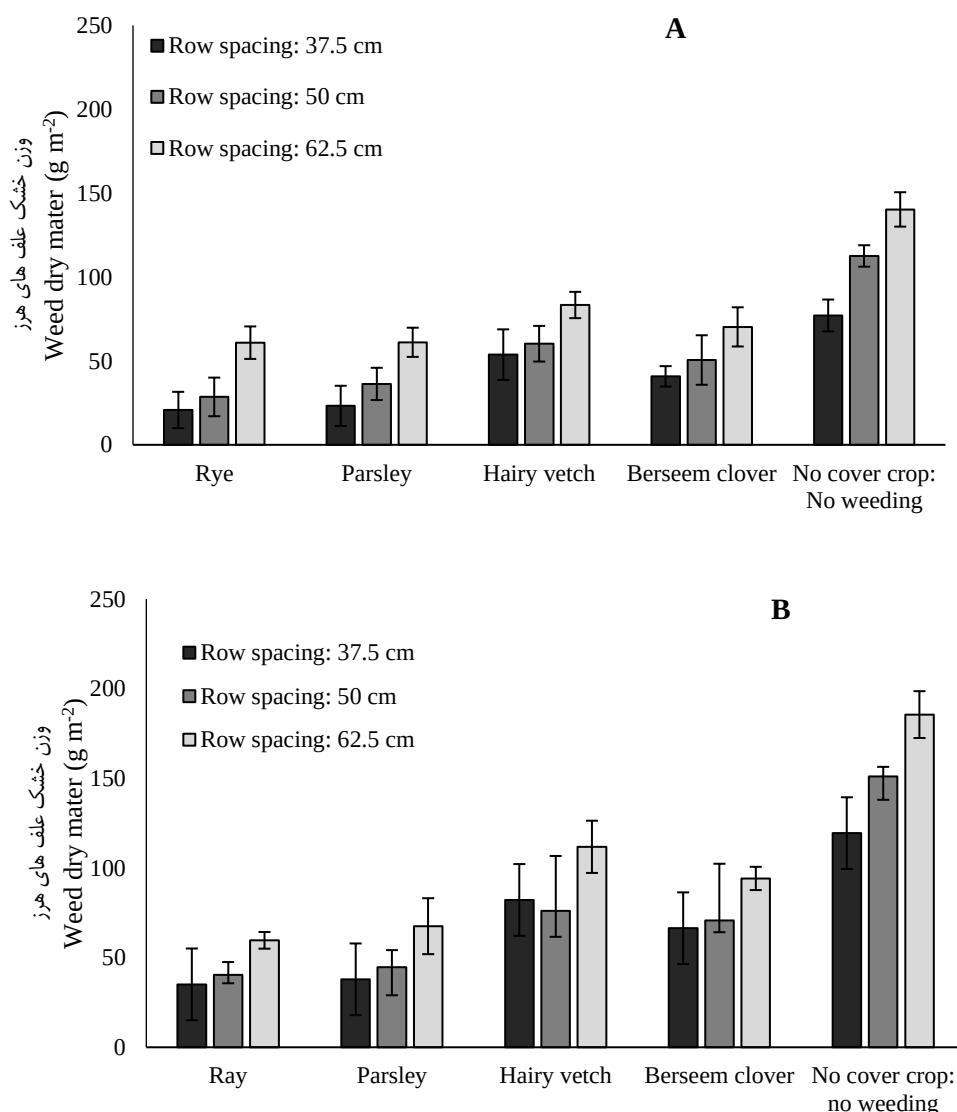
در این مرحله نمونه‌برداری در تیمار استفاده از علف‌کش‌های هالوکسی‌فوپ‌آر متیل استر (سوپرگالانت ۱۰/۸ درصد) + بنتازون (بازاگران ۴۸ درصد SL)، علف‌هرزی مشاهده نشد. در تأیید این نتایج، رحمانیان (Rahmaniyan, 2018) در مطالعه خود به بررسی انواع علف‌کش‌های پیش‌کاشت، پیش‌رویشی و پس‌رویشی در مهار علف‌های هرز باقلا پرداخت و جهت مهار مطلوب علف‌های هرز و همچنین دستیابی به عملکردهای بالای باقلا، تلفیق علف‌کش هالوکسی‌فوپ + بنتازون را توصیه نمود.

تأثیر گیاهان پوششی و فاصله ردیف بر عملکرد و اجزای عملکرد باقلا-رقم مهتا

نتایج تجزیه واریانس اثر فاصله ردیف و نوع گیاه پوششی نشان داد که صفت تعداد غلاف در بوته در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر گیاه پوششی قرار گرفت. فاصله ردیف نیز تعداد غلاف در بوته را در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار داد. اثر متقابل نوع گیاه پوششی و فاصله ردیف نیز بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

تغییرات وزن خشک علف‌های هرز بعد از غلتک زدن گیاهان پوششی

نتایج بررسی وزن خشک علف‌های هرز ۵۲ روز بعد از غلتک زدن گیاهان پوششی و ۱۵۲ روز بعد از کاشت باقلا نشان داد که وزن خشک علف‌های هرز در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول بیشتر بود. همان‌گونه که در نتایج مشاهده می‌شود، طی دو سال آزمایش، با افزایش فاصله ردیف و در نتیجه کاهش تراکم بوته باقلا در مترمربع، وزن خشک علف‌های هرز نیز افزایش یافت. حداکثر وزن خشک علف‌های هرز در تیمار گیاه پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای مشاهده شد. بقایای دو گیاه چاودار و جعفری در مقایسه با بقایای ماشک گل‌خوشه‌ای و شبدر برسیم، از پتانسیل مناسبی در مهار علف‌های هرز در هر دو سال زراعی برخوردار بودند (شکل ۴). توانایی چاودار در مهار مناسب علف‌های هرز ممکن است به تولید ماده خشک زیاد (شکل ۲)، مرتبط باشد؛ اما توانایی گیاه جعفری در مهار علف‌های هرز به این خصوصیت ارتباط ندارد، زیرا با توجه به شکل ۲، این گیاه کمترین ماده خشک را در بین گیاهان پوششی مورد مطالعه تولید کرده است؛ این نتیجه ممکن است که مربوط به دلیل خاصیت آللوپاتیک این گیاه باشد. منابع نشان می‌دهند که هر دو گیاه چاودار و جعفری دارای خاصیت آللوپاتیک هستند (Ahmed et al., 2020; Sadeghpour et al., 2014). نتایج احمد و همکاران (Ahmed et al., 2020) نشان داد که برگ‌های خشک و پودر دانه گیاه جعفری دارای اثر آللوپاتیک بسیار زیادی در مهار رشد علف‌های هرز یک‌ساله بودند. رودینو و همکاران (Rodino et al., 2016) گزارش نمودند که عصاره حاصل از قسمت‌های مختلف گیاه جعفری، مهار جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز



شکل ۴- وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای مختلف گیاه پوششی و فاصله ردیف در ۵۲ روز بعد از غلتک زدن گیاه پوششی در سال‌های اول (A) و دوم (B)

Figure 4- Dry weight of weeds in different cover crop treatments and row spacing 52 days after cover crop roller application in first (A) and second (B) years

* میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار می‌باشند.

* The bars indicate standard Error.

بررسی، بیشترین تعداد غلاف در تیمارهای عدم گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز، مصرف علف‌کش‌های هالوکسی‌فوپ‌آر متیل استر + بنتازون و همچنین گیاهان پوششی چاودار و جعفری مشاهده شد. کمترین تعداد غلاف در بوته باقلا نیز در تیمار عدم کاشت گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز و همچنین تیمار گیاه پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای مشاهده گردید.

در شکل ۵، مقایسه میانگین صفت تعداد غلاف در بوته باقلا تحت تأثیر اثر متقابل گیاه پوششی و فاصله ردیف ارائه داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، در همه تیمارهای مورد بررسی، کمترین تعداد غلاف در بوته در فاصله ردیف ۳۷/۵ سانتی‌متر به دست آمد. در فواصل ردیف ۵۰ و ۶۲/۵ سانتی‌متر به جز تیمار گیاه پوششی چاودار، صفت تعداد غلاف در بوته در سایر تیمارها نسبت به هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. در بین تیمارهای مورد

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر گیاه پوششی و فاصله ردیف بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه باقلا-رقم مهتا
Table 3- Variance analysis of effects cover crops and Inter row space on the yield and yield components of faba bean seed-Mehta cultivar

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
گیاه پوششی Cover crop	6	30.93**	0.88 ^{ns}	21.08 **	137.83 **	6.85*	0.16 ^{ns}
فاصله ردیف Row spacing	2	47.39 **	0.67 ^{ns}	29.33 *	108.35 **	44.41 *	1.78 ^{ns}
گیاه پوششی × فاصله ردیف Cover crop × Row spacing	12	2.16 *	1.21 ^{ns}	1.40 ^{ns}	6.57**	1.83 ^{ns}	2.40 ^{ns}

جذب نهاده‌ها رقابت صورت گرفته است. چنین نتیجه‌ای روی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) - رقم لاکومکا کاشته شده در بین گیاه پوششی جو (*Hordeum vulgare* L.) مشاهده شده است (Khajenabi et al., 2021). کمترین تعداد غلاف باقلا در تیمار بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز دیده شد. در بین تیمارهای مختلف گیاه پوششی، کمترین تعداد غلاف در تیمار ماشک گل خوشه‌ای مشاهده گردید. به نظر می‌رسد که دلیل افت تجمع ماده خشک باقلا در این تیمار، با بروز رقابت بین ماشک گل-خوشه‌ای با باقلا مرتبط باشد.

تعداد دانه در غلاف باقلا تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی فاصله ردیف و گیاهان پوششی قرار نگرفت. تحقیقات نشان داده است که صفت تعداد دانه در غلاف نسبت به سایر صفات مرتبط با اجزای عملکرد، کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار گرفته و بیشتر متأثر از خصوصیات ژنتیکی می‌باشد (Zeinali et al., 2013).

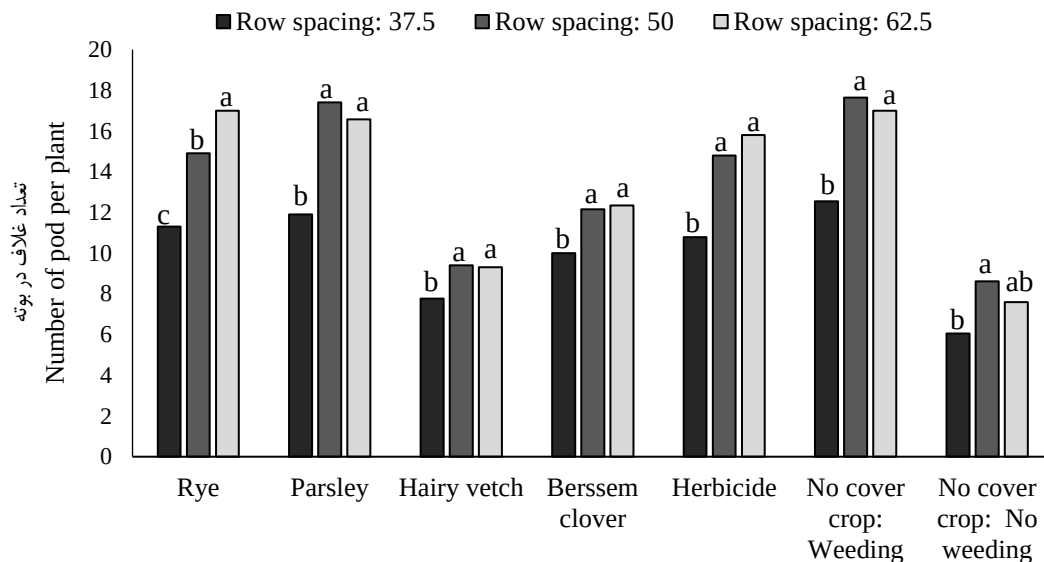
وزن ۱۰۰ دانه باقلا تحت تأثیر گیاه پوششی (در سطح یک درصد) و فاصله ردیف (در سطح پنج درصد) قرار گرفت، ولی اثر متقابل این دو عامل اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۳). بیشترین وزن ۱۰۰ دانه باقلا در تیمارهای شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز و کاشت گیاه پوششی جعفری به ترتیب با ۱۲۱/۶۱ و ۱۲۰/۴۷ گرم مشاهده شد. وزن ۱۰۰ دانه باقلا در تیمار شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز ۷۹/۴ گرم بود که در مقایسه با تیمار عدم کاشت گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز، ۴۲ درصد کاهش یافت (شکل ۶ الف). این امر نشان می‌دهد که این صفت در باقلا به شرایط تداخل علف‌های هرز بسیار حساس می‌باشد. در این مطالعه در بین گیاهان پوششی مختلف،

دلیل کاهش تعداد غلاف در بوته را در فاصله ردیف‌های کمتر، می‌توان به افزایش تعداد بوته در واحد سطح و در نتیجه افزایش رقابت بین گیاهان زراعی برای نور و عناصر غذایی و کاهش اثربخشی فتوسنتز و انتقال فرآورده‌های آن به گل‌های در حال ظهور مرتبط دانست. در تأیید این مطلب، زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2013) ضمن تأکید بر اهمیت صفت تعداد غلاف در بوته، بر تعیین عملکرد نشان دادند که افزایش فاصله بین ردیف باقلا از ۳۰ به ۶۰ سانتی‌متر موجب افزایش تعداد غلاف در بوته شد. این محققان، کاهش تعداد غلاف در فاصله ردیف‌های کمتر را به کاهش تعداد کل گره بارور در بوته و در نتیجه کاهش تعداد شاخه فرعی و همچنین ریزش اندام زایشی به دلیل وجود رقابت بین بوته‌ها جهت دریافت نور نسبت دادند. این نتیجه توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Lishan et al., 2022; Biri et al., 2024; Jihad & Mohammed, 2023; Sadiq & Mohammed, 2022).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که باقلای کاشته در بین گیاه پوششی (و بقایای جعفری و چاودار، پس از شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز، از تعداد غلاف در بوته بیشتری برخوردار بودند (شکل ۵). نکته قابل توجه در شکل مذکور این است که در باقلای کاشته شده با گیاه پوششی چاودار و در فواصل بین ردیف ۳۷/۵ و ۵۰ سانتی‌متر، تعداد غلاف در مقایسه با شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین و همچنین باقلای کاشته شده با گیاه پوششی جعفری کمتر بود، اما در فاصله ردیف ۶۲/۵ سانتی‌متر، نتیجه عکس ملاحظه شد. به نظر می‌رسد که با توجه به تولید ماده خشک و سطح برگ قابل توجه توسط چاودار در فواصل بین ردیف ۳۷/۵ و ۵۰ سانتی‌متر، بین باقلا و چاودار (قبل از غلتک زدن آن) در

علف‌های هرز از پتانسیل مطلوبی (تقریباً مشابه با چاودار) برخوردار بود (شکل ۴)، بیشترین وزن ۱۰۰ دانه را به خود اختصاص داد.

گیاه جعفری که در طول دوره رشد خود، کمترین میزان تولید زیست‌توده و سطح برگ را داشت (شکل ۲ و ۳)؛ ولی از لحاظ مهار



شکل ۵- اثر گیاه پوششی و فاصله بین ردیف کاشت بر تعداد غلاف در بوته باقلا-رقم مهتا

Figure 5- The effects of cover crops and Inter row space on Number of pod per plant in faba bean- Mehta cultivar

میانگین‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD.

و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه می‌شود که این امر می‌تواند باعث کاهش جذب عناصر غذایی و در نتیجه کاهش وزن دانه در شرایط بدون مهار علف‌های هرز شود. بنابراین سرکوب علف‌های هرز توسط گیاهان پوششی می‌تواند وزن دانه را افزایش دهد (Zaefarian, 2009). نتایج دوروتا (Dorota, 2011) نیز نشان داد که وزن هزار دانه جوی بهاره در شرایط کشت گیاهان پوششی افزایش یافت. در نتایج تحقیق عدالت و همکاران (Edalat et al., 2017) نیز گزارش شده است که با کاربرد گیاهان پوششی جو و گندم (*Triticum aestivum* L.)، وزن هزار دانه کلزا (*Brassica napus* L.) افزایش یافت؛ که البته گیاه پوششی جو در مقایسه با گندم نقش بیشتری در افزایش وزن هزار دانه کلزا داشت.

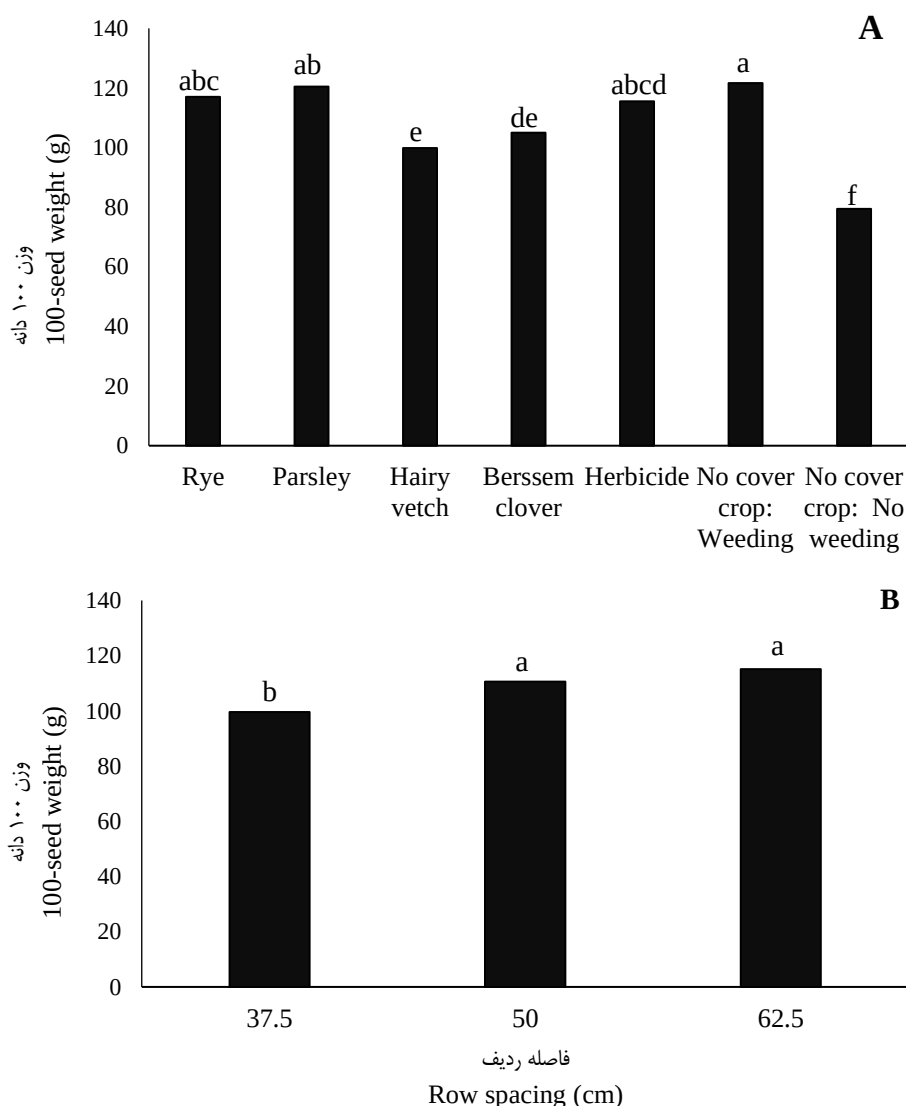
با افزایش فاصله ردیف که نتیجه آن کاهش تراکم بوته در واحد سطح است، وزن ۱۰۰ دانه باقلا افزایش یافت. بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در تیمار فاصله ردیف ۶۲/۵ سانتی‌متر (۱۱۵/۱۱ گرم) مشاهده شد که البته اختلاف معنی‌داری با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر (۱۱۰/۵۶ گرم) نداشت. کمترین وزن ۱۰۰ دانه نیز در فاصله ردیف ۳۷/۵ سانتی‌متر (۹۹/۵۶ گرم) مشاهده شد (شکل ۶ ب). به نظر می‌رسد که با افزایش فاصله ردیف و کاهش تراکم بوته در واحد سطح، منابع رشد کافی در دسترس گیاه قرار گرفته و عرضه مواد جذب‌شده برای ذخیره

به نظر می‌رسد که خاصیت دگرآسیبی این گیاه نقش مؤثری در مهار مطلوب علف‌های هرز و در نتیجه بهبود وزن ۱۰۰ دانه باقلا داشته است. در این رابطه، احمد و همکاران (Ahmed et al., 2024) پتانسیل گیاه جعفری در مهار علف‌های هرز باقلا را به حضور آلوئوسیمیایی‌های طبیعی از جمله محتویات فنل کل و فلاونوئید کل این گیاه مرتبط دانستند.

وزن ۱۰۰ دانه باقلا در تیمارهای گیاهان پوششی چاودار، شبدر برسيم و ماشک گل‌خوشه‌ای به‌ترتیب ۱۱۶/۹۹، ۱۰۵/۰۴ و ۹۹/۸۱ گرم بود که در مقایسه با شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز به‌ترتیب به‌میزان ۴/۶، ۱۶/۶ و ۲۱/۸ درصد کاهش یافت (شکل ۶ الف). همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در تیمارهای گیاهان پوششی شبدر برسيم و ماشک گل‌خوشه‌ای، وزن دانه در مقایسه با تیمار بدون گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز، کاهش قابل توجهی یافته است. این امر می‌تواند ناشی از حضور بیشتر علف‌های هرز در این دو تیمار (شکل ۴) یا بروز رقابت دو گیاه شبدر برسيم و ماشک گل‌خوشه‌ای با بوته‌های باقلا در ابتدای فصل رویش آن‌ها مرتبط باشد. وزن دانه به مقدار کربوهیدرات‌های ذخیره‌شده در شروع پر شدن دانه و همچنین ژنوتیپ گیاه بستگی دارد. به‌طور کلی، رقابت ناشی از حضور علف‌های هرز باعث کاهش توان فتوسنتزی گیاه

همکاران (Lishan et al., 2022) نشان داد که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه باقلا (۹۰ گرم) در فاصله بین ردیف بالاتر (۵۰ سانتی‌متر) و کمترین مقدار (۷۶ گرم) در فاصله بین ردیف کمتر (۳۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. آن‌ها اظهار داشتند که گیاهان در فاصله ردیف زیاد، مواد مغذی، نور و آب بیشتری برای رشد و نمو دریافت می‌کنند که منجر به کارایی بیشتر فتوسنتز و در نتیجه تجمع بیشتر ماده خشک می‌شود که می‌تواند در طول دوره پر شدن دانه به دانه انتقال یابد.

در بذر افزایش می‌یابد، بنابراین این امر موجب افزایش وزن ۱۰۰ دانه می‌شود. پژوهش‌گران مختلف نیز بر تغییر اندازه دانه در نتیجه تغییر تراکم تأکید داشته‌اند. در این راستا، جیهاد و محمد (Jihad & Mohammed, 2023) گزارش نمودند که وزن ۱۰۰ دانه باقلا با کاهش فاصله ردیف کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که در فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر، میانگین وزن ۱۱۳/۹۵ گرم و در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر، وزن ۱۰۰ دانه ۱۰۸/۳۹ گرم مشاهده شد. نتایج لیشان و



شکل ۶- اثر گیاه پوششی و فاصله بین ردیف کاشت بر وزن ۱۰۰ دانه باقلا-رقم مهتا

Figure 6- The effects of cover crops and Inter row space on 100 seed weight in faba bean- Mehta cultivar

میانگین‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد (A) و پنج درصد (B) ندارند.

Means with the same letters are not significantly different at 1% (A) and 5% (B) level of probability based on LSD.

متقابل این دو عامل اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار گیاه پوششی (و بقایای) جعفری

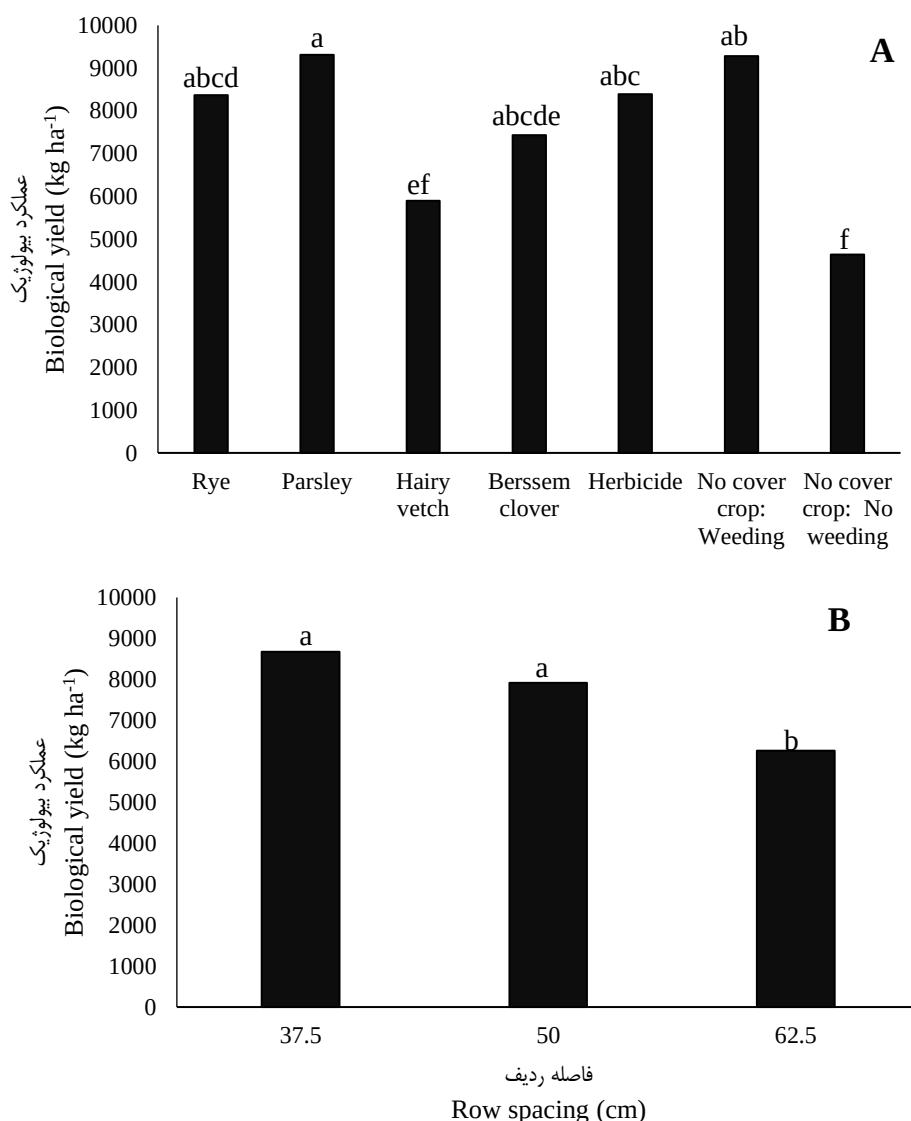
عملکرد بیولوژیک باقلا تحت تأثیر گیاه پوششی (در سطح یک درصد) و فاصله ردیف (در سطح یک درصد) قرار گرفت؛ ولی اثر

به میزان ۹۳۱۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که البته با تیمارهای شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز (۹۲۷۹ کیلوگرم در هکتار) و گیاه پوششی چاودار (۸۳۶۴ کیلوگرم در هکتار) فاصله زیادی نداشت. عملکرد بیولوژیک باقلا رقم مهتا در تیمار بدون گیاه پوششی همراه با مصرف علف‌کش‌های هالوکسی‌فوپ‌آر متیل استر + بنتازون (۸۳۹۱ کیلوگرم در هکتار) نیز قابل توجه بود (شکل ۷ الف). با توجه به اینکه تاکنون علف‌کش اختصاصی برای باقلا در کشور به ثبت نرسیده است؛ در شرایطی که امکان استفاده از گیاهان پوششی و یا سایر راهکارهای اکولوژیک برای مهار علف‌های هرز وجود نداشته باشد، می‌توان جهت جلوگیری از خسارت این گیاهان این دو علف‌کش را به کشاورزان توصیه نمود. کمترین عملکرد بیولوژیک باقلا-رقم مهتا در تیمار شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز مشاهده شد (۴۶۳۹ کیلوگرم در هکتار) که البته با تیمار گیاه پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای (۵۸۹۶ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۷ الف). حمزه‌ئی و بوربور (Hamzei & Borbor, 2014) نیز بیشترین عملکرد بیولوژیک ذرت را در تیمارهای تحت کشت گیاهان پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای و خلر (*Lathyrus sativus* L.) و کمترین میزان این صفت را تحت تیمار عدم کشت گیاهان پوششی گزارش نمودند. در واقع، گیاهان پوششی از طریق سازوکارهای مختلف از جمله رقابت در جذب منابع و بروز اثرات دگرآسیبی، علف‌های هرز را تحت تأثیر منفی خود قرار داده و جوانه‌زنی و توسعه علف‌های هرز را به تأخیر می‌اندازند (Weisberger et al., 2019). گیاهان پوششی علاوه بر مهار علف‌های هرز، آفات، نماتدها و بیمارگرهای مختلف خاک را کاهش می‌دهند و سبب بهبود رطوبت و کیفیت خاک می‌گردند؛ مجموع این عوامل به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد محصولات مختلف منتهی می‌شوند (Kocira et al., 2020).

در این پژوهش، افزایش فاصله ردیف از ۳۷/۵ به ۶۲/۵ سانتی‌متر (یا کاهش تراکم بوته از ۲۲/۲ به ۱۳/۳۳ بوته در مترمربع)، کاهش عملکرد بیولوژیک را به همراه داشت (شکل ۷ ب). نتایج بیری و همکاران (Biri et al., 2024) نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک از فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر (۶/۷۳ تن در هکتار) و به دنبال آن ۴۰ سانتی‌متر حاصل شد و کمترین آن در فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر (۴/۵۵ تن در هکتار) مشاهده گردید. هایل و آیل (Hailu & Ayle, 2019) نیز گزارش نمودند که کاهش فاصله ردیف موجب افزایش تجمع ماده خشک در واحد سطح شده و عملکرد بیولوژیک را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2013) نیز گزارش نمودند که بین فاصله ردیف و عملکرد بیولوژیک رابطه منفی وجود دارد که ناشی از افزایش تعداد بوته در واحد سطح (کاهش فضای در دسترس هر بوته) و در نتیجه بسته شدن سریع تاج‌پوشش با کاهش فاصله ردیف می‌باشد.

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، گیاه پوششی (در سطح یک درصد)، فاصله ردیف (در سطح یک درصد) و همچنین اثر متقابل گیاه پوششی در فاصله ردیف (در سطح یک درصد) اثر معنی‌داری بر صفت عملکرد دانه خشک باقلا داشتند (جدول ۳). روند کلی تغییرات عملکرد دانه خشک باقلا در تیمارهای آزمایش حاکی از کاهش تعداد غلاف در بوته با افزایش تراکم بوته (کاهش فاصله بین ردیف‌ها) بود. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، در همه تیمارهای گیاه پوششی، با افزایش فاصله ردیف، عملکرد دانه خشک باقلا کاهش یافت، به طوری که بیشترین عملکرد دانه در فاصله ردیف‌های ۳۷/۵ سانتی‌متر و کمترین آن در فاصله ردیف ۶۲/۵ سانتی‌متر مشاهده شد. منابع نشان می‌دهد که در تراکم‌های بالاتر، به دلیل افزایش سطح برگ، کارایی مصرف نور و به تبع آن سرعت فتوسنتز و نرخ رشد محصول افزایش می‌یابد؛ اما عملکرد تک بوته به دلیل بروز رقابت بین بوته‌ای در دریافت منابعی مانند عناصر غذایی، آب و تابش خورشیدی، کاهش خواهد یافت (Zhao et al., 2013; Zeinali et al., 2013). در تأیید آن، نتایج تحقیق بیری و همکاران (Biri et al., 2024) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۳۱۴۳ کیلوگرم در هکتار) در فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و پس از آن ۴۰ سانتی‌متر و کمترین آن (۲۱۷۷ کیلوگرم در هکتار) در فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر مشاهده شد. نلیا و همکاران (Nleya et al., 2005) گزارش نمودند که افزایش تراکم بوته باعث کاهش عملکرد تک بوته می‌شود؛ اما در نهایت به دلیل افزایش تعداد بوته، عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در واحد سطح افزایش می‌یابد.

همچنین نتایج نشان داد که عملکرد دانه خشک باقلا در همه تیمارهای مدیریتی (علف‌کش و گیاه پوششی) در مقایسه با شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین بیشتر بود (شکل ۸). که این امر حاکی از توانایی تیمارهای مذکور در بهبود شرایط به نفع باقلا می‌باشد. در پژوهش حاضر، کمترین عملکرد دانه بعد از تیمار بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز در تیمار ماشک گل‌خوشه‌ای مشاهده شد (شکل ۸). همان‌گونه که ذکر شد، در بین تیمارهای مختلف گیاه پوششی، تیمار ماشک گل‌خوشه‌ای، کمترین اثر را در بهبود عملکرد دانه باقلا داشت؛ این در حالی است که براساس نتایج تحقیق ایری و همکاران (Iri et al., 2020) و خوجم‌لی و همکاران (Khojamli et al., 2019)، بهترین گیاهان پوششی در مدیریت علف‌های هرز و بهبود عملکرد پنبه و ذرت، ماشک گل‌خوشه‌ای و شبدر برسیم بودند. احتمالاً تفاوت نتایج این دو تحقیق با تحقیق حاضر به روش از بین بردن گیاه پوششی مرتبط باشد. زیرا در این دو تحقیق برای از بین بردن گیاه پوششی و توقف رشد آن‌ها با هدف جلوگیری از بروز رقابت با گیاه زراعی، از علف‌کش پاراکوات (سه لیتر در هکتار) استفاده شد و نتایج چشمی تحقیق ما حاکی از آن بود که با غلظت زدن، رشد ماشک گل‌خوشه‌ای گیاه پوششی متوقف نمی‌شود.



شکل ۷- اثر گیاه پوششی و فاصله بین ردیف کاشت بر عملکرد بیولوژیک باقلا-رقم مهتا
Figure 7- The effects of cover crops and Inter row space on Biological yield in faba bean- Mehta cultivar

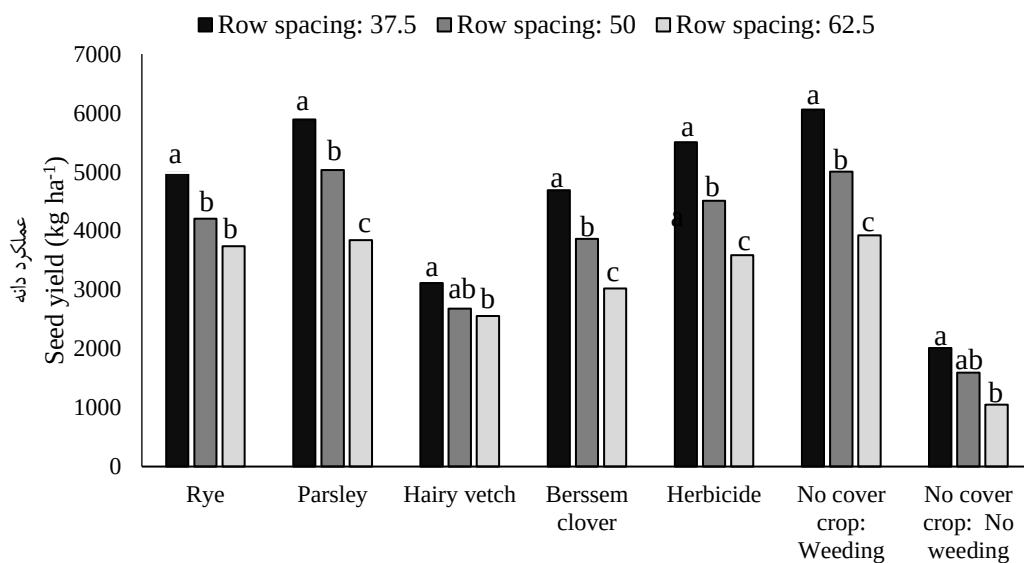
میانگین‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with the same letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD.

رشد یک گونه یا گونه‌های دیگر را در غلظت‌های مختلف تحریک کنند (El-Dabaa et al., 2019). که البته اثبات این مورد نیز به تحقیقات بیشتری نیازمند است. نکته قابل توجه دیگری که در این آزمایش دیده شد، این بود که در تیمار گیاه پوششی چاودار که از لحاظ مهار علف‌های هرز تقریباً مشابه تیمار گیاه جعفری بود، باقلا عملکرد کمتری داشت. این امر می‌تواند ناشی از بروز رقابت این گیاه با باقلا یا وجود اثرات دگرآسیبی این گیاه باشد، که البته لازم است در این خصوص نیز آزمایشات تکمیلی انجام گردد.

افزایش عملکرد دانه باقلا در تیمار گیاه جعفری ممکن است به دلیل مهار مطلوب علف‌های هرز و کاهش رقابت علف‌های هرز با محصول باشد. البته ممکن است که بهبود رشد و عملکرد باقلا در تیمار گیاه جعفری، تنها به ممانعت از رشد علف‌های هرز یا عدم بروز رقابت با گیاه زراعی اصلی مرتبط نباشد؛ بلکه ممکن است به دلیل واکنش ترکیبات آلوشیمیایی در عمل و پاسخ گیاه در برابر آن‌ها باشد (Messiha et al., 2018). زیرا برخی ترکیبات آلوشیمیایی که رشد برخی گونه‌ها را در غلظت‌های معین مهار می‌کنند، ممکن است که

(Rahmaniyan, 2018) در مه‌ار علف‌های هرز باقلا- رقم برکت در استان گلستان نیز به اثبات رسیده است. نکته قابل توجه در شکل ۸ این است که کارایی علف‌کش در بهبود عملکرد باقلا، تقریباً مشابه با کاشت گیاه جعفری در بین فواصل ردیف مختلف باقلا بود. بنابراین برای کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف علف‌کش‌ها به‌خصوص در گیاهی مانند باقلا که مصرف تازه‌خوری آن بسیار متداول است؛ استفاده از گیاه جعفری می‌تواند بسیار مفید باشد.

در این مطالعه، مصرف علف‌کش‌های هالوکسی‌فوپ آر متیل استر + بنتازون توانست مه‌ار مطلوبی از علف‌های هرز و دستیابی به عملکرد مطلوب باقلا را به همراه داشته باشد. بررسی مقایسه گروهی (Orthogonal) تیمارها نیز نشان داد که تیمار علف‌کش‌های هالوکسی‌فوپ آر متیل استر + بنتازون، تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت ($P=0.1345$). از این‌رو به نظر می‌رسد که استفاده از گیاهان پوششی می‌تواند جایگزینی مناسبی برای مه‌ار علف‌های هرز باقلا باشد. کارایی این دو علف‌کش در تحقیق رحمانیان



شکل ۸- اثر گیاه پوششی و فاصله بین ردیف کاشت بر عملکرد دانه باقلا-رقم مه‌تا

Figure 8- The effects of cover crops and Inter row space on seed yield in faba bean- Mehta cultivar

میانگین‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Means with the same letters are not significantly different at 1% level of probability based on LSD.

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) گیاهان پوششی و فاصله ردیف کاشت باقلا روی برخی از خصوصیات خاک
Table 4- Variance analysis (mean of squares) of effects cover crops and Inter row space on some soil properties

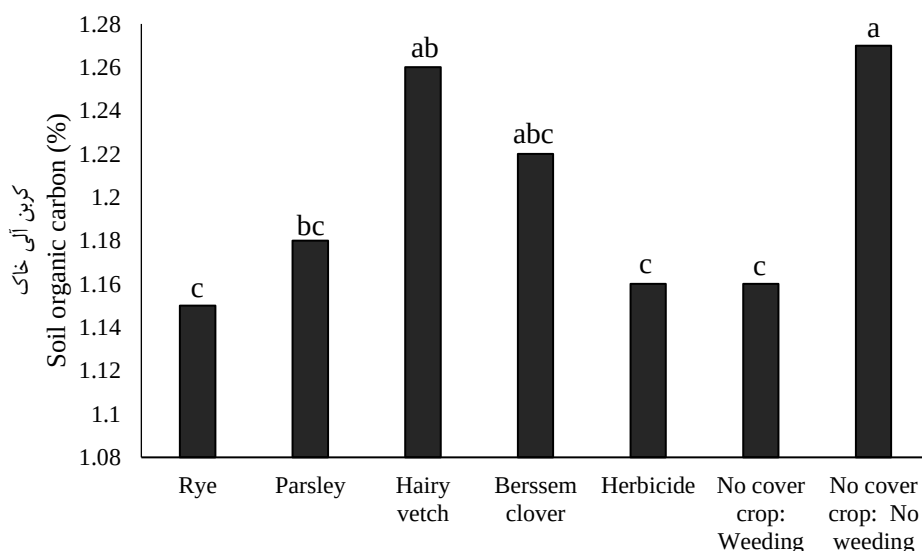
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کربن آلی خاک Soil organic carbon	تنفس میکروبی Microbial respiration
بلوک Replication	2	0.0026 ^{ns}	3.61 ^{ns}
فاصله ردیف Row spacing	2	0.0006 ^{ns}	1.54 ^{ns}
گیاه پوششی Cover crop	6	0.0224 [*]	30.80 ^{**}
گیاه پوششی × فاصله ردیف Row spacing*Cover crop	12	0.0133 ^{ns}	4.60 ^{ns}
خطای آزمایش rrorE	40	0.0070	2.64
ضریب تغییرات VC(%)		7.0	7.3

اثر گیاه پوششی و فاصله ردیف باقلا روی برخی از خصوصیات خاک

گیاه پوششی بر صفات مقدار کربن آلی خاک (در سطح پنج درصد) و تنفس میکروبی خاک (در سطح یک درصد) اثر معنی داری داشت. اما فاصله ردیف و همچنین اثر متقابل فاصله ردیف و گیاه پوششی بر این صفات معنی دار نبود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین کربن آلی خاک در تیمار بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز (۱/۲۷ درصد) و کمترین آن در تیمارهای بدون گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز (۱/۱۶ درصد) و استفاده از علف‌کش‌های هالوکسی‌فوپ‌آر متیل استر + بنتازون (۱/۱۶ درصد) دیده شد. در بین تیمارهای تحت کاشت گیاه پوششی، بیشترین مقدار کربن آلی خاک در تیمار ماشک گل‌خوشه‌ای (۱/۲۶ درصد) مشاهده گردید و شبدر برسیم (۱/۲۲ درصد) و جعفری (۱/۱۸ درصد) در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. در بین چهار گیاه پوششی مورد استفاده در این آزمایش، کمترین مقدار کربن آلی در انتهای فصل رشد باقلا، در تیمار چاودار (۱/۱۵ درصد) دیده شد (شکل ۹). مطالعات نشان داده است که ماشک گل‌خوشه‌ای با آزادسازی اسیدهای آلی در خاک موجب افزایش محتوای ماده آلی خاک می‌شود (Li et al., 2024). مطالعات متعددی گزارش کرده‌اند که بازگرداندن کودهای سبز مانند ماشک گل‌خوشه‌ای به خاک باعث افزایش مواد آلی و ترشح مواد سیمانی

توسط ریزجانداران، بهبود خواص فیزیکی مانند افزایش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش جرم ظاهری و افزایش تنفس، نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب می‌شود (Sultani et al., 2007). در این راستا، احمدنیا و همکاران (Ahmadnia et al., 2020) اظهار داشتند که نسبت کربن به نیتروژن کمتر در گیاهان خانواده بقولات موجب افزایش تجزیه سریع‌تر بقایای گیاهی شده و بدین ترتیب مواد غذایی لازم برای فعالیت ریزجانداران خاک را فراهم نموده و سبب افزایش محتوی مواد آلی خاک می‌گردد. مارتینلو (Martiniello, 2011) گزارش نمود که کشت لگوم‌ها پس از گندم موجب بهبود پایداری محتوی کربن آلی خاک، نیتروژن و نسبت بین کربن به نیتروژن در خاک‌های سطحی می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که علی‌رغم تولید زیست‌توده زیاد توسط چاودار، این تیمار کمترین میزان کربن آلی را دارا بود که احتمالاً این امر می‌تواند به دلیل نسبت کربن به نیتروژن زیاد آن (۸۲:۱) و در نتیجه سرعت تجزیه کندتر آن باشد که میزان کربن آلی کمتر را موجب شده است. نتایج پژوهش کاسپار و جاینس (Kaspar & Jaynes, 2006) نشان داد که چاودار به دلیل نسبت کربن به نیتروژن بیشتر به کندی تجزیه شده و در نتیجه کاهش تجزیه بقایا در چاودار، کاهش غلظت کربن آلی خاک را به همراه داشت و این محققان زیست‌توده تجزیه‌نشده بیشتری را در زمان نمونه‌برداری مشاهده نمودند.



شکل ۹- اثر گیاهان پوششی مختلف بر کربن آلی خاک در انتهای آزمایش سال دوم

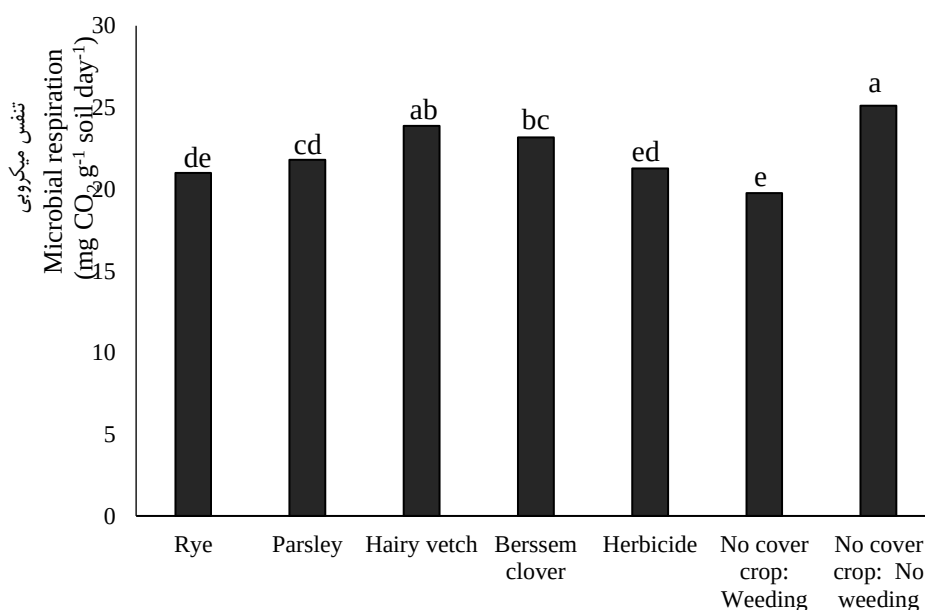
Figure 9- The effects of different cover crops on soil organic carbon at the end of the second experiment

میانگین‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letters are not significantly different at 5% level of probability based on LSD.

می‌شوند (Ghahremani et al., 2021). در بین گیاهان پوششی نیز حداکثر تنفس میکروبی در گیاه ماشک گل خوشه‌ای و حداقل آن در گیاه چاودار مشاهده شد. مطالعات نشان داده‌اند که ماشک گل خوشه‌ای با آزادسازی اسیدهای آلی در خاک موجب کاهش سطح pH در خاک می‌شود. علاوه بر این، آزادسازی اسیدهای آلی موجب تحریک فعالیت جوامع میکروبی خاک و تسریع در تجزیه بقایای گیاهی در خاک سطحی شده و روند کانی‌سازی نیتروژن آلی و آزاد شدن آمونیوم را تسریع می‌کند، در نتیجه محتوای ماده آلی خاک افزایش می‌یابد (Li et al., 2024). به‌طور کلی، ماشک گل خوشه‌ای موجب رشد ریزجاندانان مفید و افزایش مواد آلی از طریق ترشحات ریشه می‌شود (Repullo-Ruibérriz de Torres et al., 2021). نتایج پژوهش مردانی-کورانی و همکاران (Mardani-Korrani et al., 2021) نشان داد که گیاه ماشک گل خوشه‌ای، ال-کاناوانین را از طریق سیستم ریشه آزاد می‌کند. ال-کاناوانین احتمالاً بر تعامل ماشک گل خوشه‌ای با ارگانیسم‌های اطراف در خاک، از جمله بر جمعیت میکروبی خاک از طریق محدود کردن یا تحریک رشد باکتری‌های منتخب تأثیر می‌گذارد.

نتایج مقایسه میانگین تنفس میکروبی خاک در تیمارهای مختلف در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بر این اساس، بیشترین مقدار تنفس میکروبی خاک در شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز (۲۵/۱ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز) و کمترین آن در تیمارهای بدون گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز (۱۹/۸ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز) مشاهده شد. در بین تیمارهای تحت کاشت گیاه پوششی، بیشترین مقدار تنفس میکروبی خاک متعلق به تیمار ماشک گل خوشه‌ای (۲۳/۹ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز) بود و شبدر برسیم (۲۳/۲ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز) و جعفری (۲۱/۸ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز) در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. در بین چهار گیاه پوششی مورد استفاده در این آزمایش، کمترین مقدار کربن آلی در انتهای فصل رشد باقلا، در تیمار چاودار (۲۱/۰ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز) مشاهده گردید (شکل ۹). به‌طور کلی، وجود علف‌های هرز و گیاهان پوششی روی سطح زمین با فراهم نمودن منابع متنوع جهت تغذیه و فعالیت جوامع میکروبی خاک موجب افزایش تنفس میکروبی



شکل ۱۰- اثر گیاهان پوششی مختلف بر تنفس میکروبی خاک در انتهای آزمایش سال دوم

Figure 10- The effects of different cover crops on microbial respiration at the end of the second experiment

میانگین‌هایی با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Means with the same letters are not significantly different at 1% level of probability based on LSD.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش جهت دستیابی به عملکرد اقتصادی

مطلوب در باقلا-رقم مهتا، امکان استفاده از ردیف‌های باریک‌تر (۳۷/۵ سانتی‌متر) کاشت وجود داشته و قابل توصیه می‌باشد. همچنین

کارایی این علف‌کش‌ها در مهار علف‌های هرز و بهبود عملکرد باقلا تقریباً مشابه با کاشت گیاه جعفری در فواصل ردیف کاشت مختلف بود. بنابراین برای کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف علف‌کش‌ها به‌خصوص در گیاهی مانند باقلا که مصرف تازه‌خوری آن بسیار متداول است، استفاده از گیاه جعفری، می‌تواند بسیار مفید باشد. بنابراین برای مدیریت اکولوژیک علف‌های هرز در طی فصل رشد و دستیابی به عملکرد مطلوب باقلا -رقم مهتا، کاشت گیاه جعفری در بین فواصل ردیف کاشت ۳۷/۵ سانتی‌متر توصیه می‌شود.

گیاهان پوششی مختلف، اثرات متفاوتی بر جمعیت علف‌های هرز، خصوصیات خاک و عملکرد اقتصادی گیاهان زراعی داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد که گیاهان پوششی مورد مطالعه با درجات متفاوت موجب افزایش عملکرد دانه خشک باقلا در مقایسه با تیمار بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز شدند. اما در بین آن‌ها، گیاه پوششی جعفری دارای پتانسیل بالاتری نسبت به سایر تیمارها بود. در این مطالعه، مصرف علف‌کش‌های هالوکسی‌فوپ آر متیل استر + بنتازون توانست مهار مطلوبی از علف‌های هرز و همچنین دستیابی به عملکرد مطلوب باقلا داشته باشد. نکته قابل توجه این است که

References

- Ahmadnia, F., Ebadi, A., Hashemi, M., & Ghavidel, A. (2020). Investigating the short time effect of cover crops on biophysical properties of soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(6), 276-290. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22069/JWSC.2019.16172.3145>.
- Ahmed, S. A. A., Messiha, N. K., El-Masry, R. R., & El-Dabaa, M. A. T. (2020). The dual allelopathic capacity of two Brassicaceae plants seed powder in controlling *Orobanche crenata* infesting *Pisum sativum* as well as stimulating its growth and yield. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(17), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-0276-6>
- Ahmed, S. A., El-Dabaa, M. A. T., Messiha, N. K., El-Masry, R. R., & Dawood, M. G. (2024). The allelopathic influence of the seed powder of *Brassica napus* (Canola) in controlling *Orobanche crenata* (broomrape) infesting *Pisum sativum* (Pea) plants. *Journal of Materials and Environmental Science*, 15(3), 464-4.
- Aghpour, M., Siahmarguee, A., Zeinali, E., Gherekhloo, J., & Kazemi, H. (2019). Investigating the efficiency of various cover crops and their elimination methods on weed populations and yield of maize forage (single-cross 444 variety). *Journal of Crop Production*, 13(1), 31-50. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22069/EJCP.2020.16609.2238>.
- Alharbi, N. H., & Adhikari, K. N. (2020). Factors of yield determination in faba bean (*Vicia faba*). *Crop and Pasture Science*, 71, 305-321. <https://doi.org/10.1071/CP19103>.
- Baei, E., Siahmarguee, A., Gherekhloo, J., & Kazemi, H. (2022). Effect of summer cover crops and row spacing on weed management, yield and its components of faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production*, 32(4), 35-50. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.47570.2724>.
- Biri, A., Sefera, G., Feyisa, A., Kinati, N., & Bedada, E. (2024). Effect of nps rates and row spacing on production of faba bean (*Vicia faba* L.) at high-land of north shewa zone of Oromia, Ethiopia. *International Journal of Plant and Soil Science*, 36(6), 62-74. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i64606>
- Blanco-Canqui, H., Shaver, T. M., Lindquist, J. L., Shapiro, C. A., Elmore, R. W., Francis, C. A., & Hergert, G. W. (2015). Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*, 107, 2449e2474. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0086>
- Brainard, D. C., & Bellinder, R. R. (2004). Weed suppression in a broccoli-winter rye intercropping system. *Weed Science*, 52, 281-290. <https://doi.org/10.1614/WS-03-031R>.
- Brainard, D. C., Bellinder, R. R., & DiTommaso, A. (2005). Effects of canopy shade on the morphology, phenology, and seed characteristics of *Powell amaranth* (*Amaranthus powellii*). *Weed Science*, 53(2), 175-186. <https://doi.org/10.1614/WS-04-067R1>
- Brennan, E. B., & Smith, R. F. (2005). Winter cover crop growth and weed suppression on the central coast of California. *Weed Technology*, 19, 1017-1024. <https://doi.org/10.1614/WT-04-246R1.1>
- Brust, J., Claupein, W., & Gerhards, R. (2014). Growth and weed suppression ability of common and new cover crops in Germany. *Crop Protection*, 63, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.04.022>
- Chu, M., Jagadamma, S., Walker, F. R., Eash, N. S., Buschermohle, M. J., & Duncan, L. A. (2017). Effect of multispecies cover crop mixture on soil properties and crop yield. *Agricultural and Environmental Letters*, 2, 170030. <https://doi.org/10.2134/acl2017.09.0030>.
- Daba, N. A., & Sharma, J. (2018). Assessment of integrated weed management practices on weed dynamics, yield components and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in Eastern Ethiopia. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(5), 570-580. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i5.570-580.1773>
- Dabney, S. M., Delgado, J. A., Meisinger, J. J., Schomberg, H. H., Liebig, M. A., & Kaspar, T. (2010). Using cover crops and cropping systems for nitrogen management. In J. A. Delgado and R. F. Follett eds. *Advances in Nitrogen*

- Management for Water Quality. Soil and Water Conservation Society*, Ankeny, p. 231-282.
16. Daramola, O. S., Adeyemi, O. R., Adigun, J. A., & Adejuyigbe, C. (2020). Influence of row spacing and weed control methods on weed population dynamics in soybean (*Glycine max* L.). *International Journal of Pest Management*, 66(4), 289-297. <https://doi.org/10.1080/09670874.2020.1795300>
 17. Davis, A. S., & Liebman, M. (2003). Cropping system effects on giant foxtail demography. I. Green manure and tillage timing. *Weed Science*, 51, 919-929. <https://doi.org/10.1614/P2002-133A>
 18. De Laune, P. D., Mubvumba, P., Lewis, K. L., & Keeling, J. W. (2019). Rye cover crop impacts soil properties in a longterm cotton system. *Soil Science Society of America Journal*, 83, 1451-1458. <https://doi.org/10.2136/sssaj2019.03.0069>
 19. Dhima, K. V., Vasilakoglou, I. B., Gatsis, T. D., PanouPholothou, E., & Eleftherohorinos, I. G. (2009): Effects of aromatic plants incorporated as green manure on weed and maize development. *Field Crops Research*, 110, 235-241. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.09.005>
 20. Didehbaz Moghanlo, G., Tobeh, A., Mohammaddoust Chamanabad, H. R., Moharramnejad, S., & Farzaneh, S. (2023). Effect of row spacing and cover crops on weeds and yield of maize (TWC647). *Sustainable Agriculture and Production Science*, 34(1), 157-169. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22034/saps.2023.54099.2945>
 21. Dilly, O., Nii-Annang, C., Franke, G., Fischer, T., Buegger, F., & Zyakun, A. (2011). Resilience of microbial respiration, respiratory quotient and stable isotope characteristics to soil hydrocarbon addition. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 1808-1811. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.09.026>
 22. Dorota, G. (2011). Yield and yield structure of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) grown in monoculture after different stubble crops. *Acta Agrobotanica*, 64, 91-98. <https://doi.org/10.5586/aa.2011.011>
 23. Edalat, M., Shahrashbi, S., Kazemeini, S. A., & Emam, Y. (2017). Effect of wheat and barley cover crops on weed control, growth and yield of rapeseed under different nitrogen levels. *Journal of Crop Production and Processing*, 6(22), 93-105. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.22.93>
 24. El-Dabaa, M. A. T., Ahmed, S. A. A., Messiha, N. K., & El-Masry, R. R. (2019). The allelopathic efficiency of *Eruca sativa* seed powder in controlling *Orobanche crenata* infected *Vicia faba* cultivar. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(37), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0079-9>
 25. El-Gedwy, E. M., Fadl-Allah, A. M., & Hassanein, A. M. A. (2020). Effect of planting distances and weed control treatments on faba bean yield and associated Weeds. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, 58(1), 1-14.
 26. El-Metwally, I. M., Abido, W. A. E., & Tagour, R. M. H. (2017). Influence of plant population and weed control treatments on associated weeds, growth, yield and quality of faba bean. *Journal of Plant Production, Mansoura University*, 8(10), 983-991.
 27. FAO (Food and Agriculture Organization) (2020). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
 28. Gallandt, E. R., Molloy, T., Lynch, R. P., & Drummond, F. A. (2005). Effect of cover-cropping systems on invertebrate seed predation. *Weed Science*, 53, 69-76. <https://doi.org/10.1614/WS-04-095R>
 29. Gezahegn, A. M., & Tesfaye, K. (2017). Optimum inter and intra row spacing for faba bean production under Fluvisols. *MAYFEB Journal of Agricultural Science*, 4(2017), 10-19.
 30. Ghahremani, S., Ebadi, A., Tobeh, A., Hashemi, M., Sedghi, M., & Gholipuri, A. (2021). Short-term effect of winter cover crops on improvement of some soil properties and potato yield. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, 31(3), 71-83. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.13689>
 31. Hailu, T., & Ayle, S. (2019). Influence of plant spacing and phosphorus rates on yield related traits and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in Duna district Hadiya zone, South Ethiopia. *Journal of Agriculture and Crops*, 5(10), 191-20.
 32. Hamzei, J., & Borbor, A. (2014). Effect of different soil tillage methods and cover crops on yield and yield components of corn and some soil characteristics. *Sustainable Agriculture and Production Science*, 24, 35-47. (In Persian with English Abstract).
 33. Iri, S., Siahmarguee, A., Zainali, E., & Soltani, A. (2020). Effects of different winter cover crops and their residues on weed control and cotton (*Gossypium hirsutum*) yield (Golestan cultivar). *Iranian Journal of Cotton Researchers*, 8(2), 163-180. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijcr.2021.351858.1154>
 34. Jihad, A. J., & Mohammed, Y. A. (2023). Effect of weed control treatments and row spacing on the yield and its components of faba bean and companion weeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1213(2023) 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1213/1/012003>
 35. Jungers, J. M., Kaiser, D. E., Lamb, J. F., Lamb, J. A., Noland, R. L., Samac, D. A., Wells, S., & Sheaffer, C. C. (2019). Potassium fertilization affects alfalfa forage yield, nutritive value, root traits, and persistence. *Agronomy Journal*, 111(6), 2843-2852. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.01.0011>
 36. Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernandez, J. A., Vagen, I. M., Rewald, B., & Savvas, D. (2019). Faba bean cultivation—Revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping system. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1115. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01115>
 37. Kaspar, T., & Jaynes, D. B. (2006). Examining Changes in soil organic carbon with oat and rye cover crops using

- terrain covariates. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1168-1177. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0095>
38. Kebede, M., Sharma, J. J., Tana, T., & Nigatu, L. (2015). Effect of plant spacing and weeding frequency on weed infestation, yield components, and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Eastern Ethiopia. *East African Journal of Sciences*, 9(1), 1-14.
39. Khajenabi, K., Siahmarguee, A., Dadashi, M. R., Alizadeh Dehkordi, P., & Zeinali, E. (2021). Effect of type and planting date of cover crops on weed population structure, morphological characteristics and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agroecology*, 12(4), 741-761. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/jag.v13i2.83169>
40. Khazaei, H., Hawkins, G., & Vandenberg, A. (2021). Historical review of faba bean improvement in western Canada. *Legume Science Canada*, 3(4), e 92. <https://doi.org/10.1002/leg3.92>
41. Khojamli, R., Siahmarguee, A., Zeinali, E., & Soltani, A. (2019). Effect of different winter cover crops on the dynamics of weed populations and corn growth (Single 704). *Journal of Agroecology*, 11(2), 110-132. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.78205>
42. Kocira, A., Staniak, M., Tomaszewska, M., Kornas, R., Cymerman, J., Panasiewicz, K., & Lipińska, H. (2020). Legume cover crops as one of the elements of strategic weed management and soil quality improvement. A review. *Agriculture*, 10, 394. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090394>.
43. Koudahe, K., Allen, S. C., & Djaman, K. (2022). Critical review of the impact of cover crops on soil properties. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2022), 343-354. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.003>
44. Kumar, R., Arya, R. K., Sutalia, J. M., Madan, V. K., & Dahiya, G. S. (2019). *Efforts towards identifying superior nutritional quality genotypes of faba bean by chemical analysis. In proceeding.* First National Conference on 'Neglected and Under Utilized Crop Species for Food, Nutrition, Energy and Environment' held on August 2, 2019 at NIPGR, New Delhi, India, pp. 167.
45. Li, Z., Sun, X., Pan, J., Wang, T., Li, Y., Li, X., & Hou, S. (2024). Combining no-tillage with hairy vetch return improves production and nitrogen utilization in silage maize. *Plants*, 13, 2084. <https://doi.org/10.3390/plants13152084>.
46. Lishan, T., Alemu, W., Wondimu, W., & Mekonnen, G. (2022). Effects of bio-fertiliser and inter-row spacing on yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.) in south western Ethiopia. *Tropical Agriculture*, 99(3), 196-208.
47. Mardani-Korrani, H., Nakayasu, M., Yamazaki, S., Aoki, Y., Kaida, R., Motobayashi, T., Kobayashi, M., Ohkama-Ohtsu, N., Oikawa, Y., Sugiyama, A., & Fujii, Y. (2021). L-Canavanine, a root exudate from hairy vetch (*Vicia villosa*) drastically affecting the soil microbial community and metabolite pathways. *Frontiers Microbiology*, 12, 701796. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.701796>.
48. Martiniello, P. (2011). Cereal-forage rotations effect on biochemical characteristics of topsoil and productivity of the crops in Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*, 35(4), 193-204. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.06.002>
49. Masa, M., Tana, T., & Ahmed, A. (2017). Effect of plant spacing on yield and yield related traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties at areka, southern Ethiopia. *Journal of Plant Biology and Soil Health*, 4(2), 1-13, 2017. <https://doi.org/10.13188/2331-8996.1000020>
50. Mbuthia, L. W., Acosta-Martínez, V., DeBruyn, J., Schaeffer, S., Tyler, D., Odoi, E., & Eash, N. (2015). Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 89, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.016>.
51. Messiha, N. K., El-Dabaa, M. A. T., El-Masry, R. R., & Ahmed, S. A. A. (2018). The allelopathic influence of *Sinapis alba* seed powder (white mustard) on the growth and yield of *Vicia faba* (faba bean) infected with *Orobanche crenata* (broomrape). *Middle East Journal of Applied Sciences*, 8(2), 418-425.
52. Musavi Fakhr, S. K., Fotouhi, F., Khaniani, B. H., Sadeghi, M., & Zadeh, S. A. F. (2020). Effect of planting date and density on yield and yield components of bean genotypes (*Vicia faba* L.). *Legume Research*, 43(5), 672-677.
53. Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). *Total carbon, organic carbon, and organic matter.* In Page, A. L. ed. *Methods of Soil Analysis. part 2. Chemical and Microbiological Properties.* 2nd Ed. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc., Madison. pp. 539-579. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>
54. Nielsen, D. C., Lyon, D. J., Hergert, G. W., Higgins, R. K., Calderon, F. J., & Vigil, M. F. (2020). Cover crop mixtures do not use water differently than single-species plantings. *Agronomy Journal*, 107, 1025-1038. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0504>
55. Nleya, T., Ball, R. A., & Vandenberg, A. (2005). Germination of common bean under constant and alternating cool temperatures. *Canadian Journal of Plant Science*, 85(3), 577-585. <https://doi.org/10.4141/P04-151>
56. Norris, C. E., & Congreves, K. A. (2018). Alternative management practices improve soil health indices in intensive vegetable cropping systems. A review. *Frontier Environment Science*, 6, 1-18.

<https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00050>

57. O'Donovan, T., & Dunne, D. (2021). Establishing high-yielding faba bean. Establishing high-yielding faba bean. Exploiting high yield potential in north-west Europe. Legumes Translated Practice Note, 8. Retrieved from
58. Rahmaniyan, H. (2018). *Study the effect of applying some herbicides on weed control, yield and yield components of faba bean (Vicia faba L.)*. M.Sc. Thesis in Agronomy, Weed Science and Head of Plant Protection. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
59. Raiger, H. L., Yadav, S. K., Arya, R. K., & Phogat, B. S. (2021). Studies on variability and character association for yield and yield related traits in faba bean (*Vicia faba*). *Ekin Journal*, 7(2), 125-130.
60. Rankoth, L. M., Udawatta, R. P., Gantzer, C. J., Jose, S., Veum, K., & Dewanto, H. A. (2019). Cover crops on temporal and spatial variations in soil microbial communities by phospholipid fatty acid profiling. *Agronomy Journal*, 111, 1693-1703. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0789>
61. Reddy, K. N., & Koger, C. H. (2004). Live and killed hairy vetch cover crop effects on weeds and yield in glyphosate-resistant corn. *Weed Technology*, 18, 835-840. <https://doi.org/10.1614/WT-03-228R>
62. Repullo-Ruibérriz de Torres, M. A., Carbonell-Bojollo, R. M., Moreno-García, M., Ordóñez-Fernández, R., & Rodríguez-Lizana, A. (2021). Soil organic matter and nutrient improvement through cover crops in a Mediterranean olive orchard. *Soil and Tillage Research*, 210, 104977. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104977>
63. Rich, A. M., & Renner, K. A. (2007). Row spacing and seeding rate effects on eastern black nightshade (*Solanum ptycanthum*) and Soybean. *Weed Technology*, 21(1), 124-130. <https://doi.org/10.1614/WT-04-220.1>
64. Rodino, S., Butu, M., & Butu, A. (2016). Comparative study on allelopathic potential of *Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss. *Biologie Vegetala*, 62(2), 35-40.
65. Romdhane, S., Spor, A., Busset, H., Falchetto, L., Martin, J., Bizouard, F., Bru, D., Breuil, M. C., Philippot, L., & Cordeau, S. (2019). Cover crop management practices rather than composition of cover crop mixtures affect bacterial communities in no-till agroecosystems. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1618. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01618>
66. Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Lithourgidis, A. S., Hashemi, M., Esmaeili, A., & Hosseini, M. B. (2014). Forage yield and quality of barley-annual medic intercrops in semiarid environments. *Internatinal Journal of Plant Production*, 8, 77-89. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/IJPP.2014.1373>
67. Sadiq, S. M., & Mohammed, A. A. (2022). Response of faba bean to planting distance between plants and spraying with nano and traditional boron. *Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection*, 14(1), 84-93. <https://jmracpc.uobaghdad.edu.iq/index.php/IJMRCP/article/view/281>
68. Saleem, M., Pervaiz, Z. H., Contreras, J., Lindenberger, J. H., Hupp, B. M., Chen, D., Zhang, Q., Wang, C., Iqbal, J., & Twigg, P. (2020). Cover crop diversity improves multiple soil properties via altering root architectural traits. *Rhizosphere*, 16(100248). <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100248>
69. Sharma, P., Singh, A., Kahlon, C. S., Brar, A. S., Grover, K. K., Dia, M., & Steiner, R. L. (2018). The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture: A review paper. *American Journal of Plant Sciences*, 9, 1935. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.99140>
70. Smith, R. G., Warren, N. D., & Cordeau, S. (2020). Are cover crop mixtures better at suppressing weeds than cover crop monocultures? *Weed Science*, 68, 1-33. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.12>
71. Soltani, A., & Torabi, B. (2014). *Design and Analysis of Agricultural Experiments with the SAS Program*. Mashhad University Press, Mashhad, Iran. 440 p. (In Persian)
72. Sultani, M. I., Gill, M. A., Anwar, M. M., & Athar, M. (2007). Evaluation of soil physical properties as influenced by various green manuring legumes and phosphorus fertilization under rain fed conditions. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 109-118. <https://doi.org/10.1007/BF03325968>
73. Tamrat, W., Loha, G., & Habte, A. (2019). Effect of plant density on yield components and yield of faba bean (*Vicia Faba L.*) varieties at wolaita sodo, Southern Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 9(5), 47-55.
74. Teasdale, J. R., & Daughtry, C. S. T. (1993). Weed suppression by live and desiccated hairy vetch. *Weed Science*, 41, 207-212. <https://doi.org/10.1017/S0043174500076074>
75. Wallace, J. M., Curran, W. S., & Mortensen, D. A. (2019). Cover crop effects on horseweed (*Erigeron canadensis*) density and size inequality at the time of herbicide exposure. *Weed Science*, 67(3), 327-338. <https://doi.org/10.1017/wsc.2019.3>
76. Weisberger, D., Nichols, V., & Liebman, M. (2019). Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. *Plos One*, 14(7), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219847>
77. Zafarian, F. (2009). *Ecophysiological response of maize and soybean intercropping to competition of amaranth and datura*. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture, Tarbiat-Modares University, Tehran, Iran. (In Persian).
78. Zeinali, E., Soltani, A., Khadempir, M., Tourani, M., & Sheikh, F. (2013). studying the response of yield components, grain and green pod yield of two faba bean cultivars to inter- row spacing in normal and late seeding dates. *Journal of Crop Improvement*, 15(4), 195-210. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2013.51376>
79. Zhao, D., Shen, J., Lang, K., Liu, Q., & Li, Q. (2013). Effects of irrigation and wide-precision planting on water

use, radiation interception, and seed yield of winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 118, 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.019>



Spatiotemporal Analysis of Irrigated and Dryland Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield Variations in Khorasan Razavi Province

M. Soltani¹, M. Jahan^{1*}, F. Yaghoubi¹

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

(*- Corresponding author's Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)

Received: 02 February 2025

Revised: 16 March 2025

Accepted: 06 April 2025

Available Online: 13 April 2025

How to cite this article:

Soltani, M., Jahan, M., & Yaghoubi, F. (2026). Spatiotemporal analysis of irrigated and dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield variations in Khorasan Razavi province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(1), 59-78. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.91969.1380>

Introduction

Wheat is the most important strategic crop both globally and nationally. It is one of the most critical staple crops in Iran, playing a vital role in food security and economic stability. However, its production is highly sensitive to climatic fluctuations, including temperature changes, precipitation variability, and extreme weather events. In semi-arid and arid regions such as Khorasan Razavi province, where agriculture is heavily dependent on climatic conditions, understanding yield trends and their underlying drivers is crucial for optimizing production and ensuring sustainability. This study aims to analyze the spatiotemporal variations in irrigated and rainfed wheat yield in Khorasan Razavi over an 11-year period (2011–2021) across 29 counties and identify key climatic and management-related factors influencing these changes. The findings provide essential insights into the spatial and temporal patterns of yield fluctuations and help inform adaptive strategies for mitigating agroclimatic risks.

Materials and Methods

This study was conducted in Khorasan Razavi province, located in northeastern Iran, covering 29 counties with diverse climatic and agronomic conditions. The data for this study were obtained from the Agricultural Jihad Organization's website, including annual yield records for irrigated and rainfed wheat. To model the yield trends, polynomial functions were employed. Linear, quadratic, and cubic regression models were applied, and the best-fitting model was selected using the Akaike Information Criterion (AIC). Based on yield trends, counties were classified into four classes: (1) Increasing, where yield has shown a significant and consistent upward trend; (2) Stagnating, where yield has remained relatively stable with no substantial increase or decrease; (3) Never Improved, where no significant improvement in yield was observed throughout the study period; and (4) Collapsed, where a sharp decline in yield occurred. The spatial distribution of yield variations was also analyzed to identify regional patterns.

Results and Discussion

The results of the study showed that in Khorasan Razavi province, the average irrigated wheat yield increased by about 1000 kilograms per hectare (kg ha^{-1}) over an 11-year period. However, this increase was not uniformly distributed across all counties; in half of the counties, an improvement in yield was observed, while in the other half, stagnation or no improvement in yield was observed. Furthermore, only one county experienced a significant decrease in yield. Regarding rainfed wheat, the average yield over the 11-year period increased by about 800 kilograms per hectare (kg ha^{-1}), indicating the product's sensitivity to environmental and management



Authors retain the copyright. 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/).

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.91969.1380>

factors in different regions of the province. Spatial analysis revealed that the pattern of wheat yield changes across the province was heterogeneous; central counties such as Torbat Heydarieh, Fariman, and Nishapur experienced yield improvements, while areas like Khushab and some northern and southern counties faced decreases, stagnation, or no improvement in yield. Temporal variation charts showed that both types of wheat (irrigated and rainfed) were influenced by long-term climatic and management changes. Overall, management practices in the province have led to yield improvements, but in some counties, climatic changes and severe weather fluctuations, especially in the final year of the study, neutralized the positive effects of agricultural management, resulting in stagnation or no improvement in wheat yield. This study investigates the variations in precipitation and temperature over the agricultural years 2011 to 2021, with precipitation ranging from 60 to 430 mm and mean temperature varying between 10°C and 22.5°C. Significant fluctuations in both factors are highlighted, particularly the severe drought in 2020-2021 (the final year of the study), which had a notable impact on agricultural productivity. This suggests that even with improved farming techniques, climate adaptation measures including changes in sowing date, drought-resistant cultivars, soil moisture conservation techniques, and enhanced irrigation systems are necessary to sustain long-term productivity. Also, several counties classified as Collapsed, Stagnating or Never Improved may require additional investment in agricultural extension services, farmer training, and climate-smart agricultural practices to bridge the yield gap.

Conclusion

The results emphasize the need for adaptive management strategies to enhance wheat yield stability in Khorasan Razavi. Although agronomic improvements have led to yield increases in many areas, the effects of climate fluctuations remain a major challenge. Policymakers and agricultural planners should prioritize climate adaptation measures, such as changes in sowing date, improved irrigation techniques, using drought-resistant crop varieties, and precision agriculture, to mitigate climate-related yield losses and ensure sustainable wheat production in the region.

Keywords: Agrometeorology, Agronomical management, Climate variability, Regression models, Temperature

تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی - زمانی عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی و دیم در استان خراسان رضوی

مهدی سلطانی^۱، محسن جهان^{۱*}، فاطمه یعقوبی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۷

چکیده

مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی و تأمین امنیت غذایی، مستلزم درک دقیق روند تغییرات عملکرد محصولات راهبردی کشاورزی است. در این پژوهش، روند تغییرات عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی و دیم در استان خراسان رضوی طی یک دوره ۱۱ ساله (۱۳۹۰-۱۴۰۰) در ۲۹ شهرستان بررسی و عوامل مؤثر بر این تغییرات تحلیل شد. برای مدل‌سازی تغییرات عملکرد از رگرسیون چندجمله‌ای متعامد (خطی، درجه دو و درجه سه) استفاده شد. به منظور انتخاب مدل بهینه، معیار AIC به کار گرفته شد. روند تغییرات عملکرد در شهرستان‌های مختلف به چهار دسته شامل بهبود، رکود، سقوط و عدم بهبود طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که عملکرد گندم آبی در استان طی ۱۱ سال، به‌طور میانگین ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. در نیمی از شهرستان‌ها بهبود، در نیمی دیگر رکود یا عدم بهبود، و در یک شهرستان کاهش عملکرد مشاهده شد. در مورد گندم دیم نیز میانگین عملکرد طی دوره ۱۱ ساله، حدود ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. تحلیل مکانی نشان داد که تغییرات عملکرد گندم در استان ناهمگن است؛ شهرستان‌های مرکزی و غربی شاهد بهبود عملکرد بوده‌اند، درحالی‌که مناطق شمالی و جنوبی عمدتاً رکود یا عدم بهبود عملکرد را تجربه کرده‌اند. نمودارهای تغییرات زمانی نشان داد که هر دو نوع گندم (آبی و دیم) تحت تأثیر تغییرات بلندمدت آب‌وهوایی و مدیریتی قرار گرفته‌اند. به‌طور کلی، مدیریت زراعی، عملکرد را بهبود داده، اما در برخی از مناطق، تغییرات اقلیمی اثرات مثبت آن را خنثی کرده است. این یافته‌ها بر ضرورت توسعه راهبردهای مدیریتی مؤثر شامل تغییر در تاریخ کاشت، بهینه‌سازی روش‌های زراعی، و ارتقاء روش‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی تأکید دارند.

واژه‌های کلیدی: تغییرپذیری اقلیمی، دما، مدل‌های رگرسیونی، مدیریت زراعی، هواشناسی کشاورزی

مقدمه

کاهش یافته است (Brisson et al., 2010; Finger, 2010). مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان که حدود ۴۱ درصد از سطح زمین را پوشش می‌دهند و میزبان بیش از دو میلیارد نفر از جوامع انسانی هستند، به دلیل محدودیت‌های منابع آبی، تبخیر بالا و تنوع اقلیمی بالا، به شدت به تغییرات اقلیمی حساس هستند (FAO, 2021). استان خراسان رضوی که به عنوان منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، با توجه به شرایط خاص اقلیمی، منابع آبی محدود و خاک فرسایش یافته، با چالش‌های بیشتری در مدیریت پایدار کشاورزی مواجه است (Rouhani et al., 2021). مطالعات نشان داده‌اند که حتی تغییرات کوچک در میانگین دما و بارندگی می‌تواند الگوهای کاشت، داشت و برداشت را در این مناطق تغییر داده و موجب کاهش تولیدات کشاورزی و افزایش ناپایداری آن‌ها شود (Lobell et al., 2011). همچنین پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که تا

امنیت غذایی به عنوان یکی از ارکان توسعه پایدار، به تضمین دسترسی پایدار و فراگیر به غذای کافی، سالم و باکیفیت در هر زمان و مکانی وابسته است (Godfray et al., 2010). تغییرات اقلیمی و نوسانات آب‌وهوایی به عنوان تهدیدهای جدی برای امنیت غذایی جهانی، تأثیرات گسترده‌ای بر تولیدات کشاورزی داشته است (IPCC, 2014)، به‌طوری‌که مطالعات اخیر نشان داده‌اند که عملکرد بسیاری از محصولات کشاورزی از جمله گندم (*Triticum aestivum* L.) در بسیاری از مناطق جهان به واسطه تغییرات اقلیمی، دچار رکود شده یا

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

(*) نویسنده مسئول: Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.91969.1380>

(Mobarakeh et al., 2018).

تحلیل داده‌های مکانی-زمانی در مطالعات کشاورزی، ابزاری قدرتمند برای درک الگوهای مکانی و تغییرات زمانی عملکرد محصولات است. این تحلیل‌ها به پژوهشگران کمک می‌کند تا ارتباط بین عوامل محیطی مانند دما، بارش و خاک با عملکرد محصولات کشاورزی را به‌صورت دقیق بررسی کنند (Goodchild et al., 2000). در مطالعات اخیر از تحلیل مکانی-زمانی به‌طور گسترده برای پیش‌بینی عملکرد محصولات، شناسایی مناطق بحرانی و تحلیل تأثیرات تغییرات اقلیمی بر کشاورزی استفاده شده است. این رویکرد به سیاست‌گذاران و مدیران کمک می‌کند تا برنامه‌ریزی‌های بهتری برای مدیریت منابع و توسعه پایدار کشاورزی داشته باشند (Bivand et al., 2008). مطالعات انجام‌شده در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهند که تغییرات مکانی-زمانی عملکرد محصولات کشاورزی به‌شدت وابسته به نوع محصول، شرایط اقلیمی منطقه و فناوری‌های کشاورزی مورد استفاده است. برای مثال، در مناطقی که سیستم‌های آبیاری پیشرفته وجود دارد، اثرات منفی کاهش بارش کمتر مشاهده شده است (Hatfield et al., 2011).

پژوهش حاضر با هدف تحلیل مکانی-زمانی تغییرات عملکرد گندم آبی و دیم در سطح ۲۹ شهرستان استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۱ ساله (۱۳۹۰-۱۴۰۰) انجام گرفت. نتایج این گونه تحلیل، درک بهتر تغییرات عملکرد گندم و ارتباط آن با عوامل محیطی و مدیریتی را ممکن می‌سازد.

مواد و روش‌ها

استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران واقع شده (شکل ۱)، و یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی کشور به شمار می‌رود. این استان با مساحت حدود ۱۱۸۸۵۱ کیلومتر مربع، از شمال با استان خراسان شمالی و ترکمنستان، از شرق با افغانستان، و از جنوب و غرب با استان‌های خراسان جنوبی و سمنان هم‌مرز است. این استان دارای اقلیم متنوعی است که از نیمه‌خشک تا بیابانی متغیر است. این تنوع اقلیمی تأثیر مستقیمی بر عملکرد محصولات کشاورزی به‌ویژه گندم دارد. میانگین دمای استان خراسان رضوی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ برابر با ۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد بوده که نسبت به بلندمدت، ۱/۱ درجه افزایش داشته است. در همین سال زراعی بارش استان بین ۶۶/۸ تا ۲۷۶ میلی‌متر متغیر بوده است، به‌طوری‌که کمترین میزان بارش از شهرستان بردسکن و بیشترین بارندگی از شهرستان درگز گزارش شده است. همچنین میانگین بارش ۱۴۶/۷ بوده، درحالی‌که در بلندمدت، ۲۰۹/۱ میلی‌متر ثبت شده است (KRM0, 2022).

با توجه به اینکه در سال‌های اخیر، برخی از شهرستان‌های استان در تقسیم‌بندی‌های اخیر کشوری، به‌عنوان شهرستان شناخته شده‌اند،

سال ۲۱۰۰ میلادی، مناطق شمال شرقی ایران دچار خشکی بیشتری خواهند شد (Heydari & Taran, 2025). این یافته‌ها، ضرورت اتخاذ اقدامات سازگارکننده با تغییرات اقلیمی در شمال شرقی ایران را برجسته می‌سازند.

گندم به‌عنوان یک محصول کلیدی و مهم، سهم بسزایی در پایداری امنیت غذایی جهان دارد. با افزایش جمعیت و رشد تقاضای جهانی برای مواد غذایی، انتظار می‌رود که تولید این محصول، با تغییرات اقلیمی سازگار شده و بهره‌وری آن افزایش یابد (Tilman et al., 2011). نتایج یک مطالعه نشان داد که هر درجه افزایش دما می‌تواند باعث کاهش قابل توجه عملکرد گندم، به‌ویژه در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیری شود. این اثرات به‌ویژه در مراحل حساس رشد گندم مانند گل‌دهی و پر شدن دانه برجسته‌تر هستند (Lobell et al., 2011). همچنین تغییرات اقلیمی بر بارش‌های فصلی و خشکسالی‌ها تأثیرگذار است و موجب بارش‌های نامنظم و خشکسالی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌شود که در نتیجه می‌توانند عملکرد گندم را به‌ویژه در مراحل رشدی بحرانی، کاهش دهند (Asseng et al., 2015). برخی مطالعات صورت‌گرفته درباره تأثیر تغییرات اقلیمی بر گندم در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک تأکید کرده‌اند که افزایش دما ممکن است منجر به کاهش ۱۰ تا ۵۰ درصدی عملکرد گندم شود (Hussain et al., 2018). این اثرات در محیط‌های خشک به‌دلیل کمبود رطوبت شدیدتر است. به‌عنوان مثال، طی مطالعه‌ای در پاکستان پیش‌بینی شد که افزایش دما تا ۳/۸۴ درجه سانتی‌گراد در نیمه قرن جاری می‌تواند به کاهش ۲۳/۵ درصدی در عملکرد گندم در مناطق نیمه‌خشک منجر شود (Hussain et al., 2021). برخی پژوهش‌ها نشان دادند که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن می‌تواند اثرات منفی دمای بالا را جبران کرده و عملکرد گندم را در شرایط نیمه‌خشک بهبود بخشد (Bouras et al., 20182019). با این حال به نظر می‌رسد که تا سال ۲۰۵۰، افزایش میانگین دمای هوا به‌میزان سه درجه سانتی‌گراد، حتی با در نظر گرفتن تأثیر تعدیل‌کننده غلظت دی‌اکسید کربن، موجب کاهش عملکرد گندم آبی در مناطق مختلف بین ۱۴ تا ۲۱ درصد خواهد شد (Koochaki & Nassiri-Mahallati, 2008).

در سطح منطقه‌ای، مطالعات انجام‌گرفته در استان خراسان رضوی نیز تغییرات اقلیمی را بر عملکرد گندم تأثیرگذار می‌دانند. طی پژوهشی نشان داده شد که نوسانات دما و بارش به‌شدت بر عملکرد گندم دیم در خراسان رضوی تأثیر گذاشت (Farajzadeh-Asl et al., 2009). همچنین در مناطقی مانند تربت حیدریه، افزایش دما و کاهش طول دوره رشد ممکن است به کاهش ۴/۱ درصدی در عملکرد گندم آبی منجر شود، درحالی‌که در برخی دیگر از مناطق، اثرات متقابل این تغییرات همراه با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن ممکن است عملکرد را تا ۱۲/۹ درصد افزایش دهد (Zeinali

ممکن است باعث ایجاد هم‌خطی شدید بین متغیرها شده و در نتیجه منجر به ناپایداری عددی و کاهش دقت برآورد ضرایب شود. بر این اساس، جهت شبیه‌سازی تغییرات عملکرد برای هر شهرستان، از مدل‌های رگرسیونی مبتنی بر توابع چندجمله‌ای خطی ((۱)، درجه دو ((۲) و درجه سه ((۳) استفاده شده است.

$$y = \beta_1 P_1(x) + \beta_0 \quad (1)$$

$$y = \beta_2 P_2(x) + \beta_1 P_1(x) + \beta_0 \quad (2)$$

$$y = \beta_3 P_3(x) + \beta_2 P_2(x) + \beta_1 P_1(x) + \beta_0 \quad (3)$$

که در آن، $P_n(x)$: چندجمله‌ای‌های متعامد تولیدشده از مرتبه n توسط تابع $\text{poly}(x, n)$ در R هستند که براساس متغیر x (سال) تعریف شده‌اند. این چندجمله‌ای‌ها معمولاً براساس توزیع مقیاس‌بندی‌شده داده‌ها تعریف می‌شوند و میانگین صفر و واریانس یک دارند. β_0 : عرض از مبدا و $\beta_1, \beta_2, \beta_3$: ضرایب رگرسیونی هستند که نشان‌دهنده اهمیت روندهای خطی، درجه دو و درجه سه در توصیف و تفسیر تغییرات عملکرد گندم می‌باشند.

برای تحلیل روند تغییرات عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه، مدل‌های مختلف رگرسیونی براساس داده‌های تاریخی عملکرد گندم آبی و دیم انتخاب و براساس ضریب مدل‌ها طبقه‌بندی شدند که شامل بهبود عملکرد^۳، رکود عملکرد^۴، سقوط عملکرد^۵ و عدم بهبود^۶ می‌باشد (Chen, 2018). روش تشخیص نوع روند به‌صورت زیر بوده است:

مدل‌های خطی: اگر ضریب شیب (β_1) مثبت باشد، روند عملکرد بهبود در نظر گرفته شد. اگر این مقدار صفر باشد، روند عملکرد رکود تعریف شد و در صورت منفی بودن، روند عملکرد سقوط بوده است.

مدل‌های درجه دوم: در این مدل‌ها، ضریب درجه دوم (β_2) تعیین‌کننده شکل روند است. اگر β_2 مثبت باشد، منحنی به‌شکل U خواهد بود. در این حالت، روند عملکرد با مقایسه مقدار آن در یک‌سوم پایانی داده‌ها نسبت به یک‌سوم ابتدایی تعیین می‌شود. اگر عملکرد در بخش پایانی افزایش یافته باشد، روند بهبود محسوب می‌شود؛ در غیر این صورت، رکود عملکرد ثبت خواهد شد. اگر β_2 منفی باشد، منحنی به‌شکل $\cap$ است. در این وضعیت، اگر عملکرد در یک‌سوم پایانی کاهش یافته باشد، روند به‌عنوان سقوط عملکرد در نظر گرفته می‌شود؛ اما در صورت عدم کاهش، رکود عملکرد محسوب خواهد شد.

ممکن است دوره مطالعه شامل سال‌هایی باشد که این شهرستان‌ها هنوز بخشی از شهرستان مرجع بوده‌اند. شهرستان‌های جدید شامل زبرخان، ششتمد و گلپهار هستند که به‌ترتیب از شهرستان‌های نیشابور، سبزوار و چناران تفکیک شده‌اند. از این‌رو، برای حفظ یکپارچگی داده‌ها، سطح زیرکشت و تولید گندم آبی و دیم در سال‌های پس از تأسیس این شهرستان‌ها، با داده‌های شهرستان مرجع تجمیع شد تا روند تغییرات در طول دوره مطالعه بدون گسستگی حفظ شود. در نتیجه، عملکرد شهرستان مرجع برای این سال‌ها براساس مجموع سطح زیرکشت و تولید (ادغام‌شده) مجدداً محاسبه شد. در این مطالعه، روند تغییرات عملکرد گندم آبی و دیم در شهرستان‌های استان خراسان رضوی طی دوره ۱۱ ساله (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰)، براساس داده‌های استخراج‌شده از وب‌سایت جهاد کشاورزی استان و سالنامه‌های آماری رسمی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان (۱۹ ایستگاه) طی همین دوره از پایگاه داده سازمان هواشناسی کشور (IRIMO) دریافت شد. با توجه به اینکه برخی از شهرستان‌ها فاقد ایستگاه سینوپتیک بودند، نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به آن‌ها برای تحلیل داده‌ها در نظر گرفته شد. به‌منظور تسهیل در تحلیل، این داده‌ها براساس سال زراعی تجمیع و پردازش شدند.

برای مدل‌سازی روند عملکرد از چندجمله‌ای‌های متعامد به‌عنوان یک روش بهینه برای مدل‌سازی تغییرات زمانی استفاده شد. چندجمله‌ای‌های متعامد، برخلاف چندجمله‌ای‌های معمولی، وابستگی کمتری به ضرایب مدل دارند که این امر باعث پایداری بیشتر مدل، کاهش هم‌خطی^۲ و بهبود دقت پیش‌بینی می‌شود (Draper, 2002; Montgomery et al., 2021). در مطالعات قبلی، استفاده از چندجمله‌ای‌های متعامد در تحلیل روند تغییرات محیطی و کشاورزی موجب کاهش خطای برازش و بهبود تفسیر و تبیین ضرایب شده است (Zhang et al., 2003; Vargas et al., 2015). در این مطالعه، به منظور بررسی روند تغییرات عملکرد گندم آبی و دیم در شهرستان‌های استان خراسان رضوی طی دوره ۱۱ ساله (۱۴۰۰-۱۳۹۰)، از چندجمله‌ای‌های متعامد به‌عنوان یک روش بهینه جهت کاهش هم‌خطی در مدل‌های رگرسیونی استفاده شد. چندجمله‌ای‌های متعامد در این مطالعه با استفاده از تابع poly در نرم‌افزار R محاسبه شدند (Venables & Ripley, 2013; R Core Team, 2025). این تابع، چندجمله‌ای‌هایی را تولید می‌کند که به‌صورت استانداردشده و متعامد هستند و باعث کاهش همبستگی بین متغیرهای توضیحی می‌شوند. ضرایب در تابع poly به‌صورت عددی بهینه‌سازی شده‌اند، درحالی‌که استفاده مستقیم از x, x^2, x^3 در معادلات چندجمله‌ای ساده،

3- Increasing

4- Stagnating

5- Collapsed

6- Never Improved

1- Orthogonal Polynomials

2- Multicollinearity

شد.

ایستگاه (شکل ۲) و نمودار جعبه‌ای تغییرات سالانه در سطح استان براساس داده‌های ایستگاهی (شکل ۳) ارائه شده است. همچنین تغییرپذیری دمای میانگین نیز مشابه بارش، در شکل ۴ و شکل ۵ نمایش داده شده است. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که مقدار بارش در سطح استان در این دوره بین ۶۰ تا ۴۳۰ میلی‌متر متغیر بوده است. در اکثر ایستگاه‌ها، به‌ویژه در نیمه دوم دوره مطالعه، نوسانات بارشی شدیدی مشاهده می‌شود. به‌طور خاص، در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰، افت قابل توجه بارش در بیشتر ایستگاه‌ها رخ داده که منجر به خشکسالی شدید در سطح استان و در نتیجه کاهش تولید و عملکرد بسیاری از محصولات کشاورزی شد.

در خصوص تغییرات دمای میانگین، مقدار آن در سطح استان بین ۱۰ تا ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده است. میانگین دمای استان در برخی سال‌ها نوسانات قابل توجهی داشته است؛ به‌عنوان مثال، در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲، دمای میانگین استان ۲/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به سال قبل افزایش یافت. همچنین در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰، بالاترین مقدار دمای میانگین در سطح استان با حدود ۱۸ درجه سانتی‌گراد ثبت شده که بالاترین مقدار در دوره مطالعه محسوب می‌شود. این افزایش دما، همراه با کاهش بارش، شدت خشکسالی را در سال پایانی مطالعه افزایش داده و تأثیر چشمگیری بر کاهش عملکرد و تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه گندم داشته است.

عملکرد گندم آبی

نتایج حاصل از تحلیل عملکرد گندم آبی در ۲۹ شهرستان استان خراسان رضوی طی بازه زمانی از ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ نشان داد که میانگین عملکرد استان روندی افزایشی داشته و حدود یک تن در هکتار بهبود یافته است (شکل ۶). همچنین میانگین ۱۱ ساله عملکرد گندم آبی در سطح استان طی همین بازه زمانی، ۳۰۹۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. بیشترین عملکرد گندم آبی مربوط به سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ به میزان ۳۸۵۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد آن مربوط به سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ به میزان ۲۳۷۲ کیلوگرم در هکتار بود. بررسی نمودارهای رگرسیونی عملکرد گندم آبی در سطح شهرستان‌ها نشان می‌دهد که حدود نیمی از شهرستان‌های استان (۱۴ شهرستان) روند بهبود عملکرد را شاهد بودند، درحالی‌که پنج شهرستان در وضعیت رکود، نه شهرستان در وضعیت عدم بهبود، و یک شهرستان در شرایط سقوط عملکرد قرار دارند. علاوه‌بر این، تغییرات سالانه عملکرد در شهرستان‌ها از الگوی ثابت و منظمی پیروی نمی‌کند (شکل ۷)، که این امر می‌تواند ناشی از تأثیرات متنوع عوامل محیطی، اقلیمی و مدیریتی باشد.

مدل‌های درجه سوم: در این مدل‌ها، ضریب درجه سوم (β_3)

و الگوی کلی منحنی مورد توجه قرار گرفت. اگر β_3 مثبت باشد، اوج عملکرد در نیمه دوم داده‌ها رخ داده و در صورتی که عملکرد یک‌سوم پایانی بهبود یافته باشد، روند بهبود عملکرد محسوب شد. در غیر این صورت، رکود عملکرد در نظر گرفته شد. اگر β_3 منفی باشد، اوج عملکرد در نیمه اول داده‌ها رخ داده و در صورت کاهش عملکرد در یک‌سوم پایانی، روند سقوط عملکرد ثبت شد؛ در غیر این صورت، رکود عملکرد تعریف شد.

در مواردی که مدل، تنها شامل عرض از مبدأ بود، روند "عدم بهبود" ثبت شد. جهت انتخاب بهترین مدل، از معیار آکاییک^۱ (AIC) استفاده گردید. این معیار برای مدل‌های مختلف آماری از جمله مدل‌های رگرسیونی و مدل‌های پیش‌بینی به کار می‌رود و یکی از ابزارهای قدرتمند در مقایسه بین مدل‌های مختلف (دارای پارامترهای مختلف) و انتخاب مدل بهینه براساس داده‌های موجود محسوب می‌شود. رابطه (۴) نحوه محاسبه این معیار را نشان می‌دهد:

$$AIC = 2k - 2Ln(L) \quad (4)$$

که در آن، k : تعداد پارامترهای مدل و L : حداکثر مقدار تابع درست‌نمایی^۲ است که نشان‌دهنده کیفیت برازش مدل می‌باشد و میزان تطابق مدل با داده‌ها را نشان می‌دهد.

برای مقایسه مدل‌ها، معمولاً AIC مدل‌های مختلف محاسبه می‌شود و مدلی که کمترین مقدار AIC را داشته باشد، انتخاب می‌شود. باین‌حال، اگر اختلاف AIC بین دو مدل کمتر از ۲ باشد، تفاوت معنی‌داری در کیفیت مدل‌ها وجود ندارد و اگر بیشتر از ۱۰ باشد، مدل با AIC کمتر به‌طور معناداری بهتر است (Akaike, 1974). در این مطالعه، مقدار AIC با استفاده از تابع $AIC()$ در نرم‌افزار R محاسبه شد.

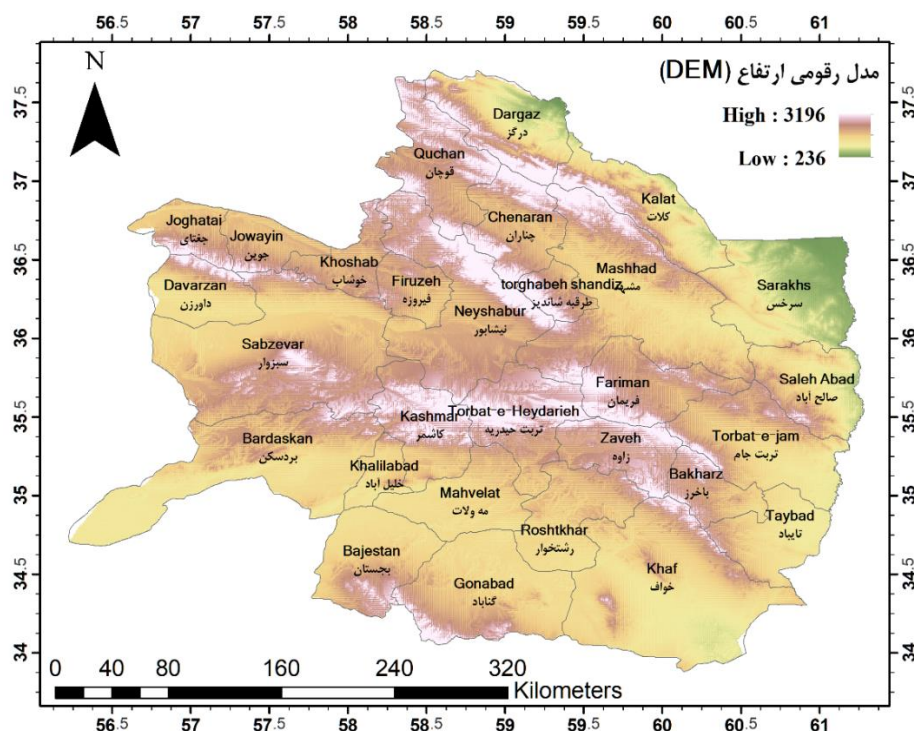
جهت تجزیه و تحلیل‌های آماری و فضایی در این پژوهش، از نرم‌افزار R برای تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی، و از نرم‌افزار ArcGIS برای تحلیل‌های مکانی و نمایش الگوهای مکانی (جغرافیایی) استفاده گردید.

نتایج و بحث

تغییرات بارش و دما

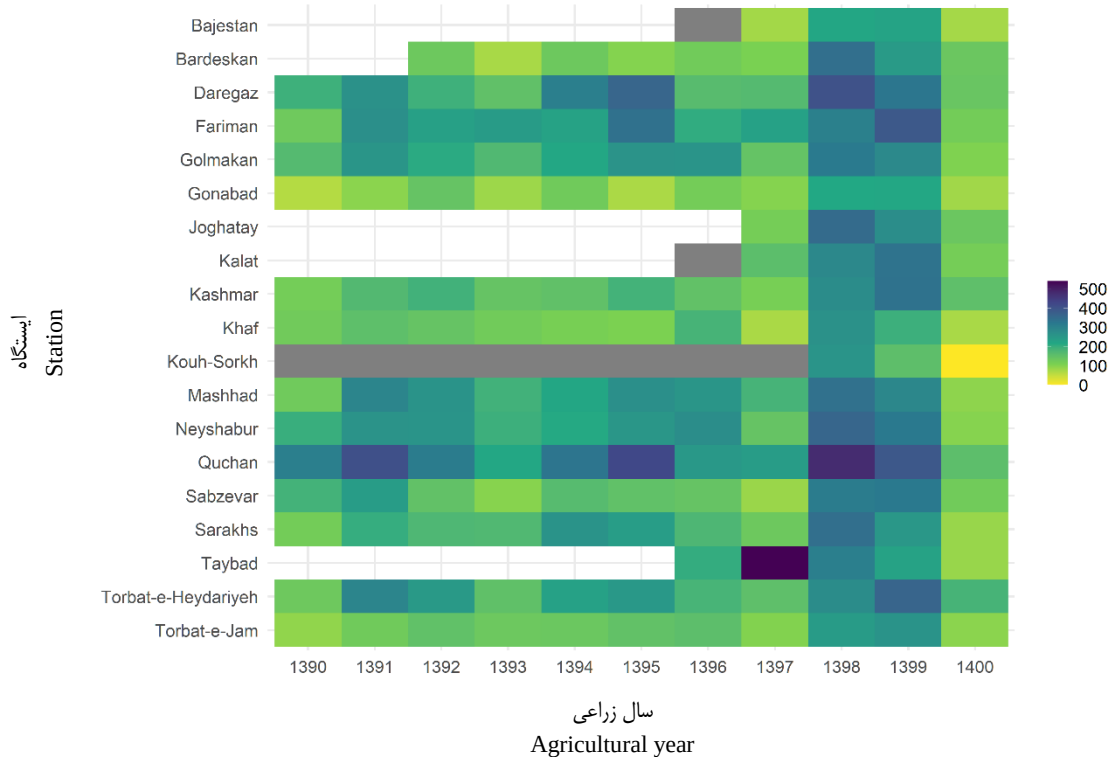
تغییرات بارش در بازه زمانی مطالعه (سال‌های زراعی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) شامل نقشه حرارتی تغییرات بارش سالانه به‌تفکیک هر

1- Akaike Information Criterion
2- Maximum Likelihood



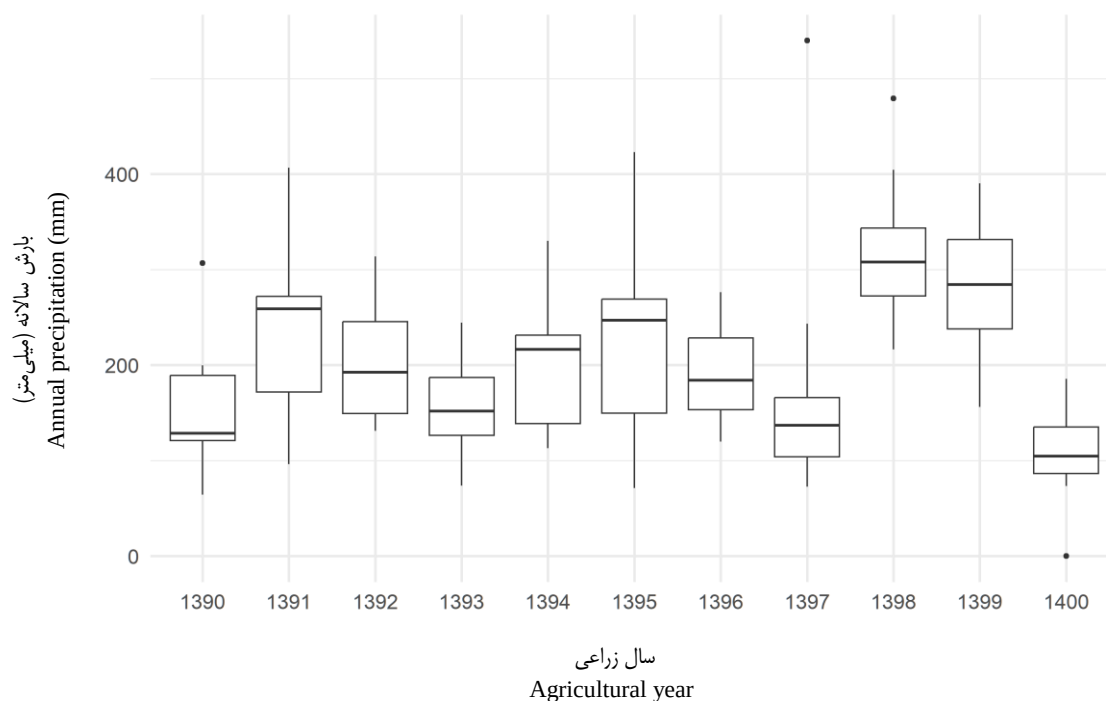
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های استان خراسان رضوی به همراه مدل رقومی ارتفاع

Figure 1- Geographical position of counties of Khorasan Razavi province with Digital Elevation Model (DEM)

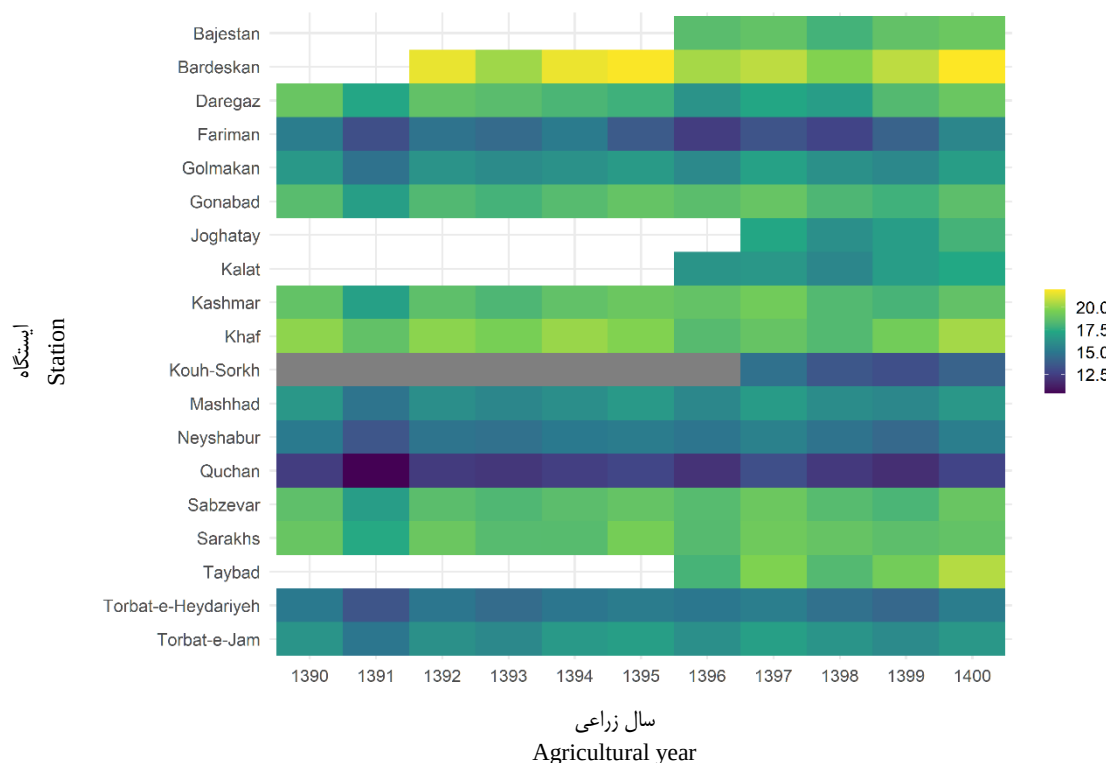


شکل ۲- نقشه حرارتی تغییرات بارش سالانه برای ایستگاه‌های سینوپتیک در استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

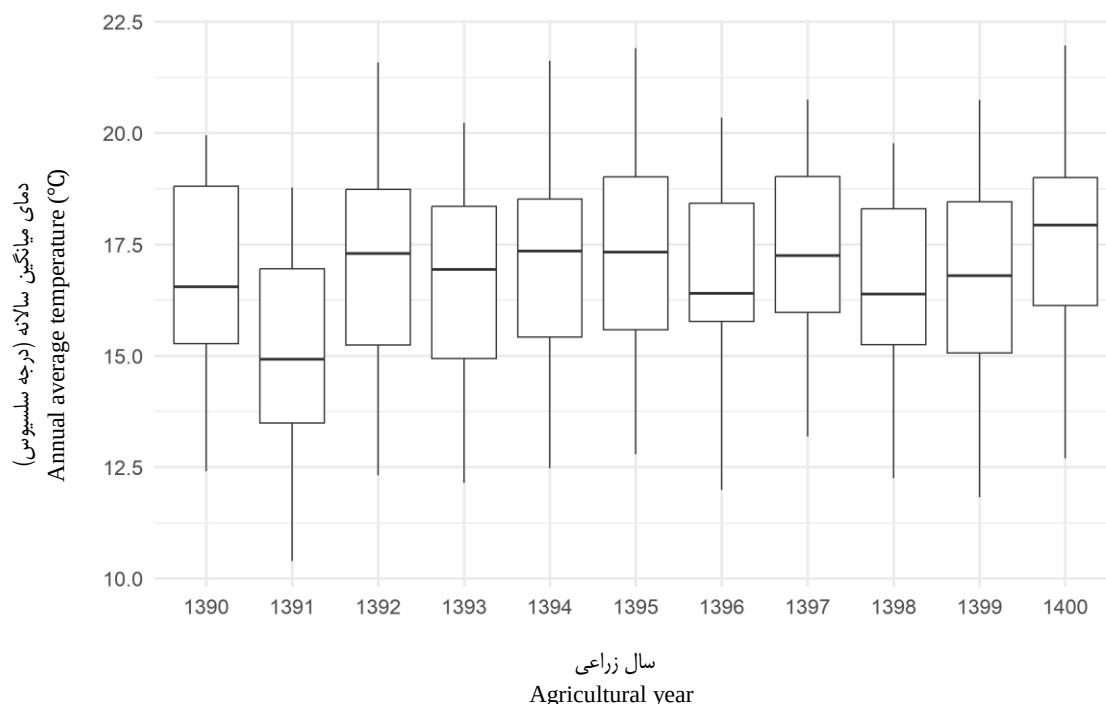
Figure 2- The heatmap of annual precipitation variations across synoptic stations in Khorasan Razavi during 2011-2021



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای بارش سالانه ایستگاه‌های مختلف در استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰
Figure 3-Box plot of annual precipitation across synoptic stations in Khorasan Razavi province 2011–2021



شکل ۴- نقشه حرارتی تغییرات دمای میانگین سالانه برای ایستگاه‌های سینوپتیک در استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰
Figure 4- The heatmap of annual average temperature variations across synoptic stations in Khorasan Razavi during 2011–2021



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای دماهای میانگین سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک در استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

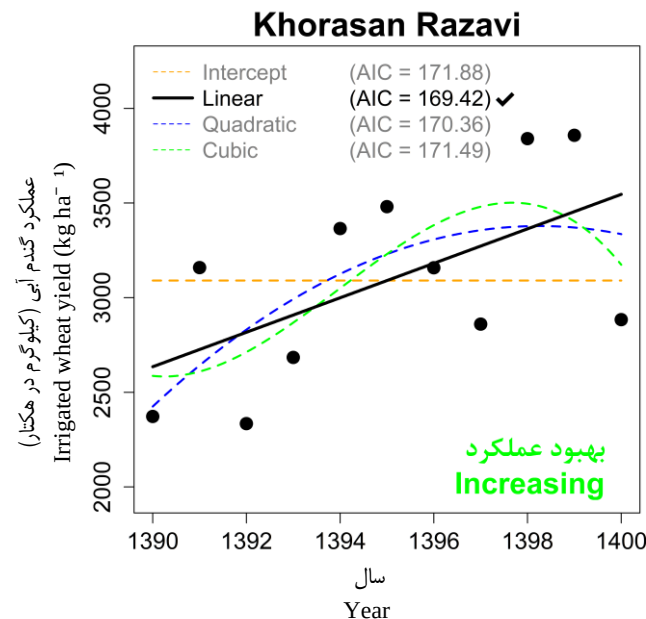
Figure 5- Box plot of the annual average temperatures across synoptic stations in Khorasan Razavi province during 2011–2021

(et al., 2011). این موضوع نشان می‌دهد که الگو یا مدل تغییرات عملکرد در بسیاری از شهرستان‌ها تفاوت چندانی نداشته و بنابراین تفاوت بین مدل‌های ساده و پیچیده در توضیح این روندها اندک است. در چنین شرایطی، به منظور حفظ دقت و سادگی تحلیل، در تمام موارد، کمترین مقدار AIC به عنوان معیار انتخاب مدل بهینه در نظر گرفته شد.

نمودارهای زمانی عملکرد نشان داد که شهرستان‌های رشتخوار و تربت حیدریه با حدود ۲ تن افزایش (به ترتیب از ۲/۱ به ۴/۱ تن در هکتار و از ۳/۱ به ۵/۱ تن در هکتار) در طول بازه زمانی مطالعه، بیشترین بهبود عملکرد را داشتند. همچنین شهرستان تربت حیدریه، بیشترین عملکرد (۵/۱ تن در هکتار) را در بین سایر شهرستان‌ها در سال انتهایی مطالعه به خود اختصاص داد. از سوی دیگر، شهرستان خوشاب با حدود ۲ تن در هکتار کاهش در طول بازه زمانی مطالعه، بیشترین سقوط عملکرد را در مقایسه با دیگر مناطق شاهد بود؛ به طوری که عملکرد از ۲/۷ تن در هکتار به حدود ۰/۷ تن در هکتار کاهش یافت. شهرستان‌هایی که بهبود عملکرد را شاهد بودند شامل بردسکن، داورزن، فریمان، جغتای، جوین، مشهد، نیشابور، رشتخوار، سبزوار، سرخس، تایباد، تربت حیدریه، تربت جام و زاوه بودند. نکته قابل توجه در مورد تمامی این شهرستان‌ها این است که مدل انتخاب شده برای تحلیل روند عملکرد در همه آن‌ها مدل خطی بود، که نشان‌دهنده شیب ثابت بهبود عملکرد در این مناطق است.

در بسیاری از شهرستان‌ها، نقش مدیریت زراعی و سیاست‌های حمایتی در تعیین روند کلی عملکرد گندم برجسته است. تقریباً نیمی از شهرستان‌ها در طول دوره مطالعه، بهبود عملکردی پایدار و پیوسته را شاهد بودند (شکل ۷). این موضوع بیانگر تأثیر مثبت مدیریت بهینه زراعی از جمله انتخاب ارقام مناسب، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، به کارگیری روش‌های نوین کشاورزی، بهبود نهاده‌ها، و تطبیق با شرایط اقلیمی متغیر در افزایش عملکرد گندم در این مناطق است. با این وجود، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، میزان بارش به‌ویژه در نیمه دوم دوره مطالعه نوسانات قابل توجهی داشت (شکل ۳). به خصوص در سال پایانی دوره (سال زراعی ۱۳۹۹–۱۴۰۰)، کاهش شدید بارش و افزایش دمای میانگین در سطح استان منجر به وقوع خشکسالی در استان شد. وقوع خشکسالی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت به‌ویژه در مراحل رشدی بحرانی، می‌تواند عملکرد گندم را کاهش دهند (Asseng et al., 2015). علاوه بر این، تحلیل تغییرات بارش به تفکیک ایستگاه‌ها بیانگر شدت تغییرات بارندگی در نیمه دوم دوره مطالعه است (شکل ۲). این تغییرات اقلیمی و به‌ویژه کاهش بارش در سال انتهایی مطالعه، به وضوح بر کاهش، رکود و عدم بهبود عملکرد در بسیاری از شهرستان‌های استان، تأثیرگذار بوده است.

در بررسی روند تغییرات عملکرد گندم آبی، الگوی نزدیکی مقادیر AIC در مدل‌های مختلف به‌طور مکرر مشاهده شد، به طوری که اختلاف بین مقادیر AIC در بسیاری از مناطق کمتر از ۲ می‌باشد و می‌توان گفت که این تفاوت آماری ناچیز تلقی می‌شود (Burnham).



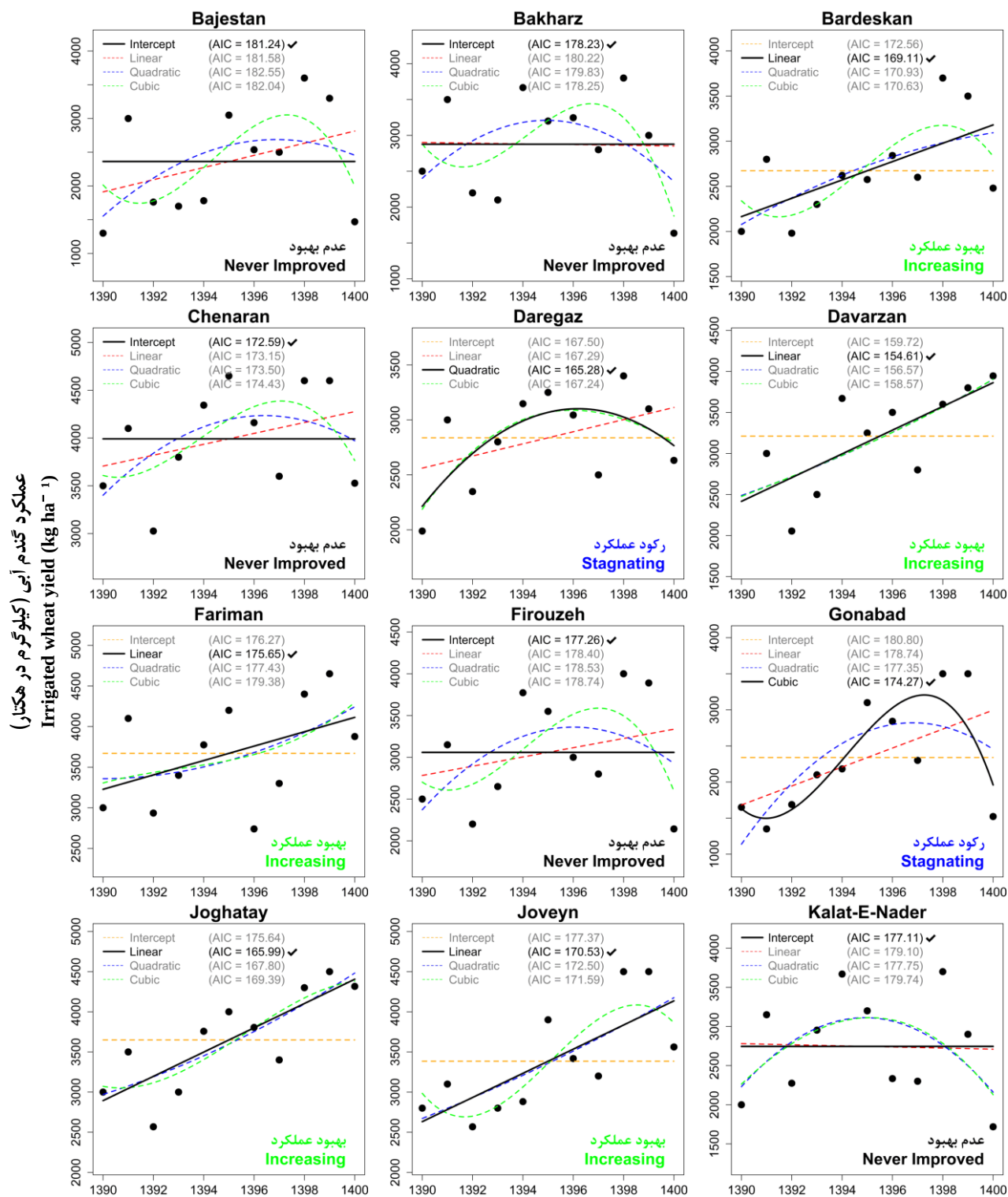
شکل ۶- روند تغییرات میانگین عملکرد گندم آبی طی ۱۱ سال در استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

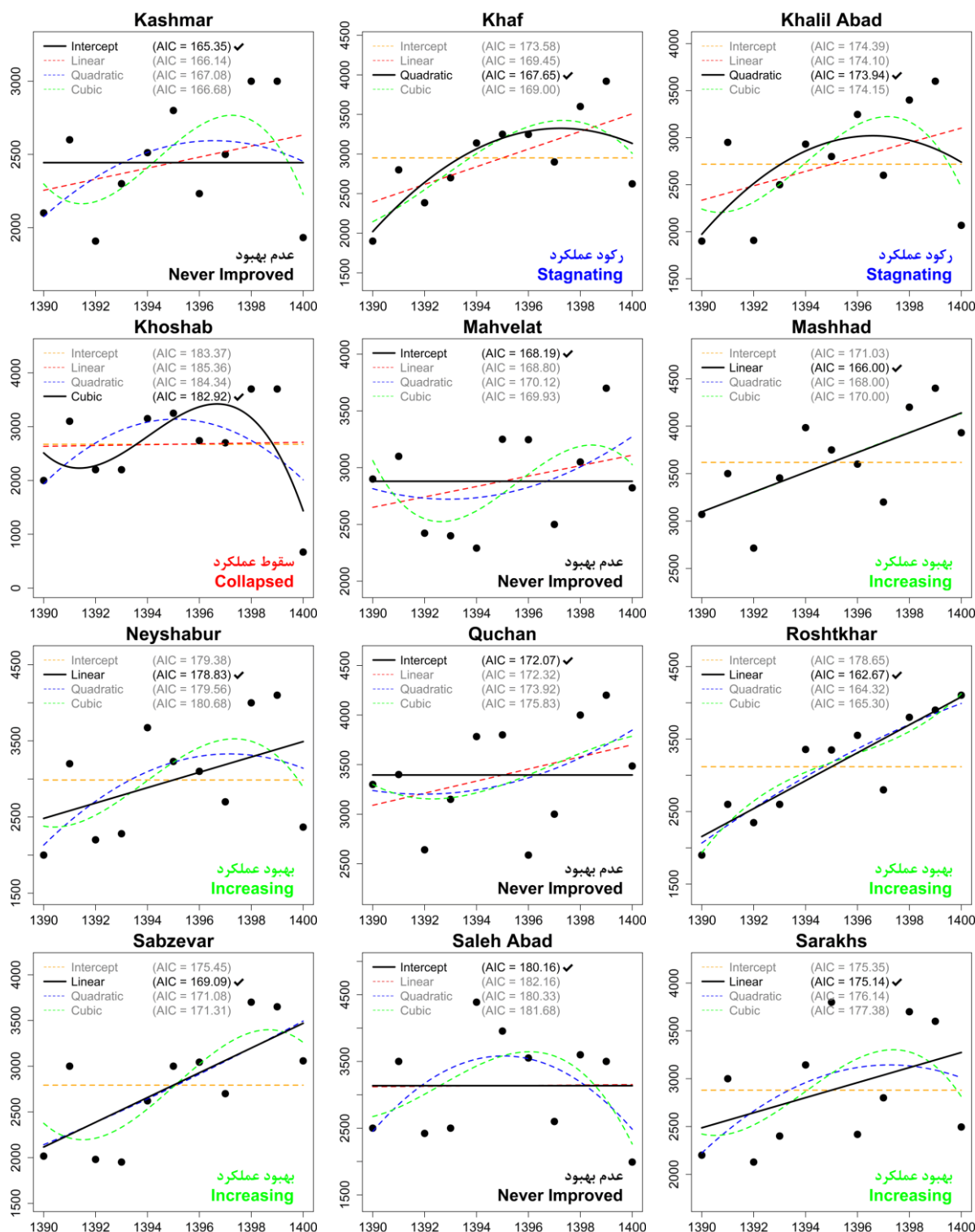
Figure 6- The trend of variations in the average yield of irrigated wheat in Khorasan Razavi province during 2011–2021

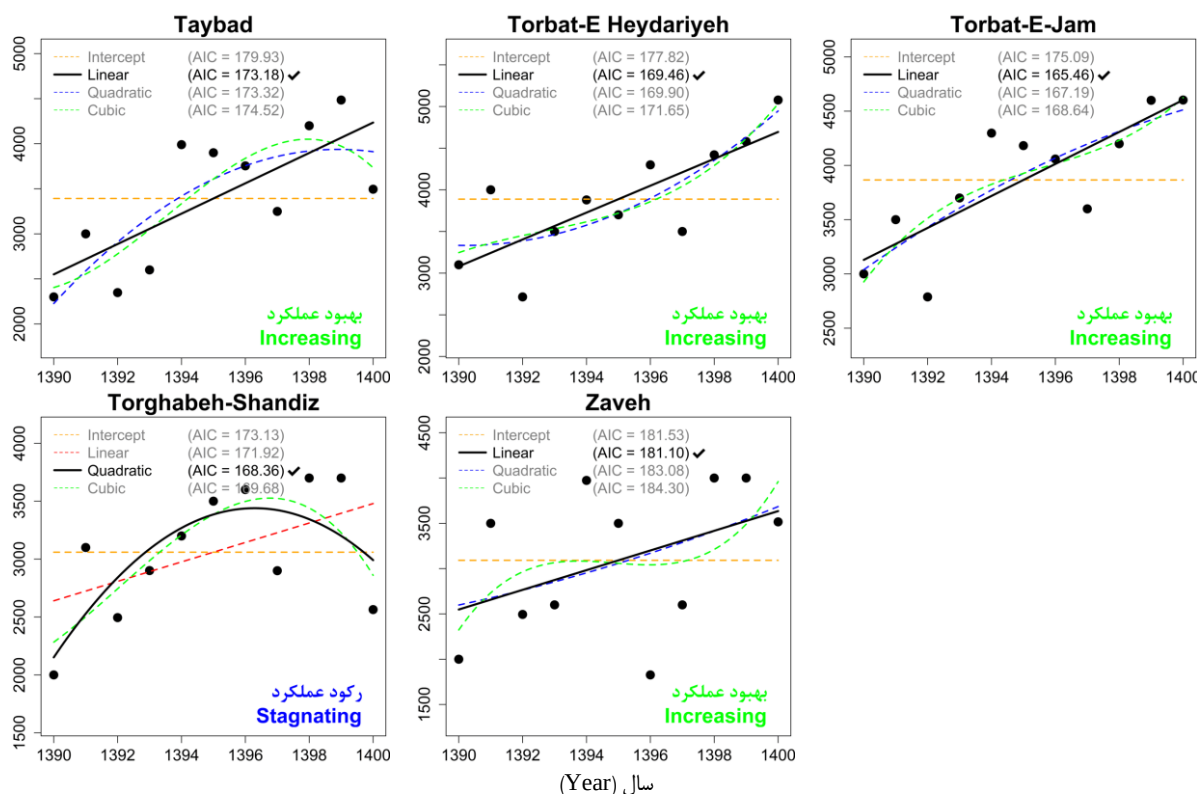
موضوع همان‌طور که اشاره شد، خشکسالی سال‌انتهایی در بسیاری از شهرستان‌های استان می‌باشد. این موضوع، به‌وضوح در روند تغییرات عملکرد شهرستان‌هایی مانند بجستان، باخرز، چناران، فیروزه، کلات، کاشمر، خلیل‌آباد، نیشابور، صالح‌آباد، سرخس و گناباد نیز دیده شد.

نقشه مکانی تغییرات عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی (شکل ۸) نشان می‌دهد که روند بهبود عملکرد عمدتاً در شهرستان‌های مرکزی استان متمرکز است، درحالی‌که شهرستان‌های جنوبی و شمالی استان عمدتاً روند رکود یا عدم بهبود عملکرد را شاهد بودند. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، این مسئله به نوسانات متغیرهای اقلیمی در این مناطق به‌خصوص در سال‌انتهایی مطالعه مرتبط است. به‌طور دقیق‌تر در بخش‌های جنوبی و شمالی استان مانند شهرستان‌های گناباد، بجستان و خواف (جنوب استان) و شهرستان‌های کلات، قوچان و درگز (شمال استان)، با توجه به بهبود مدیریت زراعی و بهبود بارش‌ها تا قبل از سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰، روند کلی عملکرد به‌صورت خطی و مثبت با شیب ثابت بوده، ولی کاهش شدید بارش (شکل ۳) و افزایش نسبی دما (شکل ۵) در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ موجب وقوع خشکسالی و تنش آبی و در نتیجه کاهش شدید عملکرد شده، به‌طوری‌که روند مثبت مدیریت زراعی و بارش‌های سال‌های قبل را خنثی کرده است. به‌عنوان مثال، برای شهرستان گناباد در سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به‌ترتیب ۲۱۶ و ۲۱۸ میلی‌متر بارش ثبت شده است که در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به ۸۰ میلی‌متر کاهش یافته است.

این روند می‌تواند بیانگر تداوم اجرای سیاست‌های حمایتی، بهره‌گیری از ارقام سازگار، به‌کارگیری روش‌های پیشرفته مدیریت زراعی، بهبود دسترسی به نهاده‌های کشاورزی و استفاده از فناوری‌های مدرن در این شهرستان‌ها باشد. شهرستان‌های بجستان، باخرز، چناران، فیروزه، کلات، کاشمر، مه‌ولات، قوچان و صالح‌آباد در وضعیت عدم بهبود و شهرستان‌های درگز، گناباد، خواف خلیل‌آباد و طر‌قه-شاندیز در وضعیت رکود عملکرد قرار داشتند. این موضوع نشان‌دهنده ثبات یا نبود تغییرات معنادار در عملکرد گندم طی سال‌های مطالعه است. در بسیاری از این شهرستان‌ها، نمودارهای روند عملکرد (شکل ۷)، نوسانات قابل توجهی را نشان داد که این موضوع تأثیر عوامل اقلیمی شامل تغییرات دمایی و نوسانات بارندگی به‌ویژه در سال‌انتهایی مطالعه را برجسته می‌سازد (شکل ۲). از بین شهرستان‌های استان، تنها شهرستان خوشاب در وضعیت سقوط عملکرد قرار داشت، عملکرد این شهرستان در سال‌انتهایی مطالعه افت چشمگیری داشت، به‌طوری‌که از ۳/۷ تن در هکتار در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به ۰/۷ تن در هکتار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ کاهش عملکرد داشت. یک دلیل این کاهش، خشکسالی در سال‌انتهایی مطالعه است؛ اما با توجه به شدت افت عملکرد در این شهرستان، احتمال تأثیر سایر عوامل مانند سیلاب یا تگرگ نیز وجود دارد و نیاز به بررسی دقیق‌تر دارد. به‌طورکلی، در بسیاری از شهرستان‌ها، افت عملکرد در سال‌انتهایی مطالعه (سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰) نسبت به سال‌های قبل دیده می‌شود. دلیل این







شکل ۷- روند تغییرات عملکرد و ثبات عملکرد گندم آبی برای ۲۹ شهرستان در استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰
Figure 7- The trend of variations and stability of irrigated wheat yield across 29 studied counties in Khorasan Razavi province during 2011-2021

عملکرد پتانسیل) بوده است، اما از سال ۱۳۹۰ به بعد، این خلأ روند کاهشی داشته، به طوری که در سال ۱۳۹۳ میزان خلأ قابل مهار آن به ۴۸ تا ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل رسیده است. این کاهش علاوه بر نشان دادن پیشرفت در کنترل خلأ عملکرد، بیانگر وجود ظرفیتی قابل توجه برای افزایش عملکرد از طریق بهینه‌سازی مدیریت زراعی در استان نیز می‌باشد. باین حال، بررسی روند تغییرات عملکرد گندم آبی نشان می‌دهد که میانگین عملکرد از ۲/۴ تن در هکتار در سال ۱۳۹۰ به ۳/۹ تن در هکتار در سال ۱۳۹۹ افزایش یافته، اما در سال ۱۴۰۰ مجدداً به ۲/۹ تن در هکتار کاهش یافته است (شکل ۶). این روند نشان‌دهنده بهبود نسبی عملکرد طی دهه گذشته است، اما کاهش عملکرد در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۹۹ همان‌طور که اشاره شد، نشان‌دهنده تأثیر عواملی همچون نوسانات اقلیمی، کاهش بارندگی، تنش‌های گرمایی و محدودیت منابع آبی است. این نوسانات همچنین نشان می‌دهد که با وجود اجرای روش‌های مدیریتی بهینه، چالش‌های اقلیمی و محیطی همچنان بر پایداری تولید گندم در استان تأثیرگذار هستند. نتایج مطالعه‌ای که در سطح استان خراسان رضوی روی گندم طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۸ انجام شد، نشان داد که ۴۰ تا ۷۷ درصد از تغییرات عملکرد گندم را می‌توان با متغیرهای اقلیمی توجیه کرد

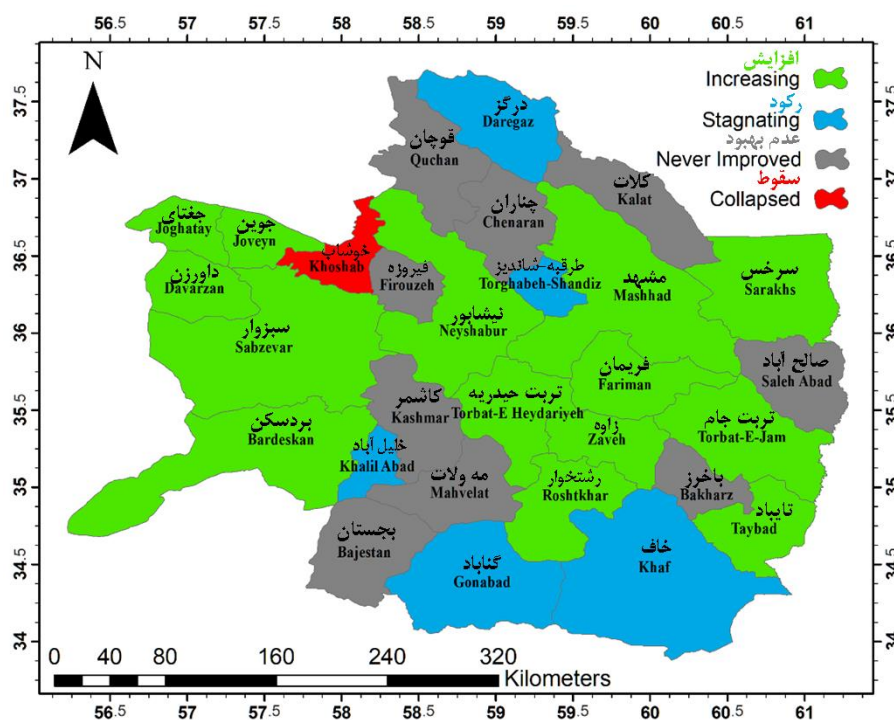
علاوه بر این، با توجه به اینکه اکثر شهرستان‌های استان کاهش بارندگی و افزایش نسبی دما را در سال انتهایی مطالعه شاهد بودند، باین حال کاهش عملکرد برای شهرستان‌های مرکزی نسبت به جنوبی و شمالی کمتر بوده است. این موضوع حاکی از آن است که تفاوت در سطح دسترسی به فناوری‌های نوین کشاورزی، نهاده‌های مورد نیاز و برنامه‌های حمایتی می‌تواند بر روند عملکرد در این شهرستان‌ها تأثیرگذار باشد. برای مثال، فرهادی و همکاران (Farhadi et al., 2024) ضمن تحلیل عوامل مؤثر بر تغییرات عملکرد گندم آبی در استان خراسان شمالی، گزارش کردند که ۳۶ درصد از تغییرات عملکرد گندم آبی استان خراسان شمالی در فاصله سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۸۰ توسط عوامل محیطی (دما و بارندگی) و ۳۷ درصد آن توسط عوامل مدیریتی توضیح داده می‌شود. این موضوع نشان‌دهنده نقش و اهمیت عوامل مدیریتی در تخفیف و سازگاری با تغییرات اقلیمی در کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌باشد.

یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعه کوچکی و نصیری محلاتی (Koocheki & Nassiri Mahallati, 2019) هم‌خوانی داشت که بیان نمودند میانگین خلأ عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی تا پیش از سال ۱۳۹۰ حدود ۴ تن در هکتار (معادل ۵۷ درصد از

شهرستان کاهش عملکرد را شاهد بود. همچنین شهرستان خوشاب، علی‌رغم اینکه شهرستان‌های جوی، سبزوار و نیشابور بهبود عملکرد داشته‌اند، دچار سقوط چشمگیر عملکرد شده است. این الگو در شهرستان طرقبه‌شاندیز نیز مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که این شهرستان رکود عملکرد داشته، درحالی‌که دو شهرستان هم‌جوار آن (نیشابور و مشهد) بهبود عملکرد داشته‌اند. از آنجاکه مرزهای اداری شهرستان‌ها لزوماً با مرزهای اقلیمی هم‌خوانی ندارند، اراضی مرزی این شهرستان‌ها ممکن است شرایط دمایی و بارشی بسیار مشابهی با شهرستان‌های مجاور داشته باشند، اما داده‌های عملکردی به‌طور جداگانه و براساس مرزهای اداری ثبت شده است. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیر متغیرهای هواشناسی بر عملکرد گندم آبی ممکن است به‌طور کامل منعکس نشده باشد و تفاوت‌های مشاهده‌شده در عملکرد، علاوه‌بر عوامل اقلیمی، می‌تواند ناشی از روش‌های جمع‌آوری و گزارش‌دهی داده‌ها نیز باشد.

(Pooya Nasab et al., 2018). بنابراین، علاوه‌بر بهبود مدیریت زراعی و استفاده از فناوری‌های نوین کشاورزی، اتخاذ راهبردهای مؤثر برای افزایش تاب‌آوری نظام‌های زراعی در برابر تغییرات آب‌وهوایی و کاهش وابستگی به منابع آبی ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر، با توجه به خلأ عملکرد قابل توجهی که در مطالعات پیشین گزارش شده است، میزان رشد ثبت‌شده در این دوره چشمگیر نبوده و حاکی از آن است که ظرفیت‌های بالقوه برای افزایش بهره‌وری هنوز به‌طور کامل محقق نشده‌اند.

باین‌حال، باید توجه داشت که داده‌های ارائه‌شده توسط وب‌سایت‌های جهاد کشاورزی و آمارنامه‌های رسمی، تحت تأثیر مرزهای جغرافیایی و اداری قرار دارند. به‌عنوان مثال، در برخی موارد مشاهده می‌شود که شهرستانی دارای رکود یا کاهش عملکرد بوده، درحالی‌که شهرستان‌های هم‌جوار بهبود عملکرد داشته‌اند. نمونه بارز این مسئله در شهرستان باخرز دیده می‌شود، درحالی‌که سه شهرستان اطراف آن (تایباد، تربت‌جام و زاره) روند بهبود عملکرد داشته‌اند، این



شکل ۸- نقشه مکانی تغییرات عملکرد گندم آبی در ۲۹ شهرستان استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Figure 8- The map of spatial variations of irrigated wheat yield across 29 studied counties in Khorasan Razavi province during 2011–2021

شیب خط رگرسیونی میانگین عملکرد در سطح استان نشان‌دهنده بهبود عملکرد به‌میزان ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (شکل ۹). همچنین بیشترین عملکرد میانگین گندم دیم در سطح استان، مربوط به سال زراعی ۱۳۹۵–۱۳۹۴ به‌میزان ۱۰۷۰ کیلوگرم در هکتار و

عملکرد گندم دیم

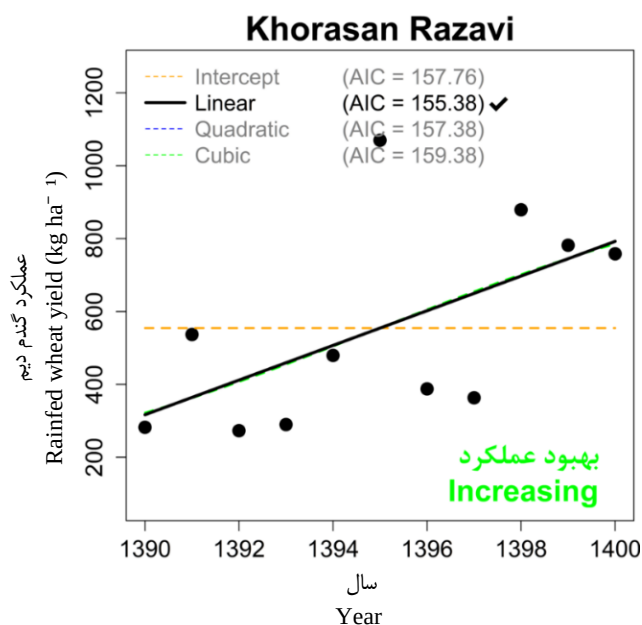
بررسی و تحلیل عملکرد گندم دیم برای شهرستان‌های استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که عملکرد میانگین استان، تغییرات متفاوتی را در بازه زمانی مطالعه شاهد بوده است، ولی به‌طور کلی،

جوین، کاشمر، نیشابور، سرخس، تربت حیدریه، طرقبه-شاندیز و زاوه) در وضعیت بهبود عملکرد، یک شهرستان (خوشاب) در وضعیت رکود، و هشت شهرستان (باخرز، درگز، فیروزه، کلات، مشهد، قوچان، صالح آباد و تربت جام) در وضعیت عدم بهبود قرار دارند. همچنین در ۱۰ شهرستان (بجستان، بردسکن، داورزن، گناباد، خواف، خلیل آباد، مهولات و رشتخوار)، داده‌های کافی درباره گندم دیم در دسترس نبود. این امر نشان می‌دهد که کشت گندم دیم در این مناطق یا چندان رایج نیست یا در برخی سال‌ها به‌صورت محدود انجام می‌شود. بنابراین، این شهرستان‌ها در پردازش و تحلیل نهایی جهت بررسی روند و میانگین‌گیری لحاظ نشدند. لازم به ذکر است که در بین شهرستان‌های مورد بررسی، هیچ موردی با وضعیت سقوط عملکرد مشاهده نشد.

نمودارهای تغییرات زمانی عملکرد نشان می‌دهد که بسیاری از شهرستان‌ها طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ رشد چشمگیری در عملکرد گندم دیم شاهد بودند (شکل ۱۰). همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، این افزایش عمدتاً به دلیل افزایش بارش در سطح استان طی این سال‌ها بوده است (شکل ۳). با این حال، در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ (سال انتهایی مطالعه)، کاهش شدید بارش موجب افت عملکرد در بسیاری از شهرستان‌ها شد (شکل ۲).

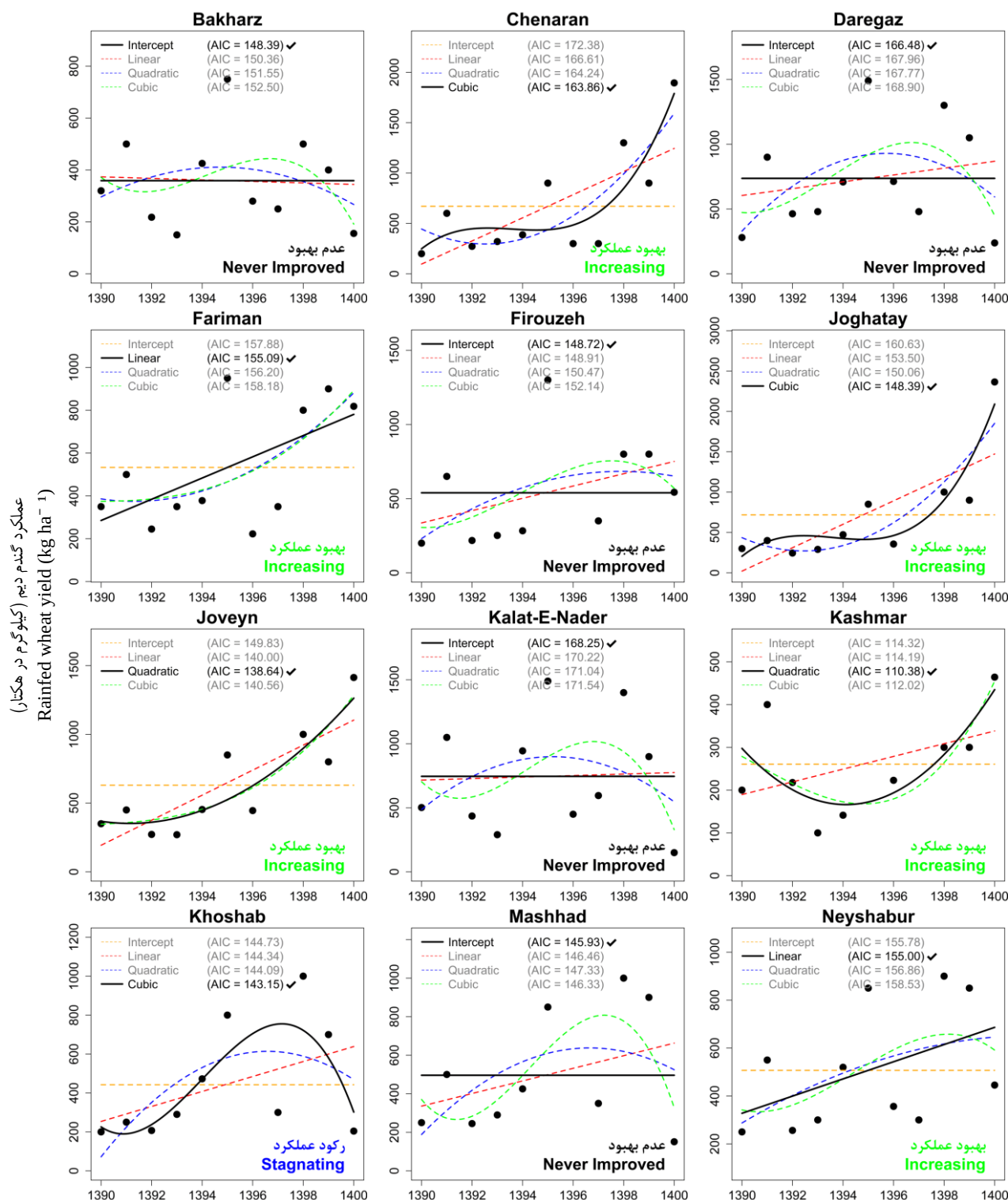
کمترین آن مربوط به سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ به میزان ۲۷۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۹). عملکرد میانگین استانی گندم دیم از سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ به بعد تقریباً دو برابر افزایش یافت، به‌طوری که پیش از این سال، عملکرد میانگین ۳۷۲ کیلوگرم در هکتار بود، درحالی که پس از آن به ۷۰۶ کیلوگرم در هکتار رسید (داده‌های مربوط به این تغییر پردازش شدند، اما در این مطالعه ارائه نشدند).

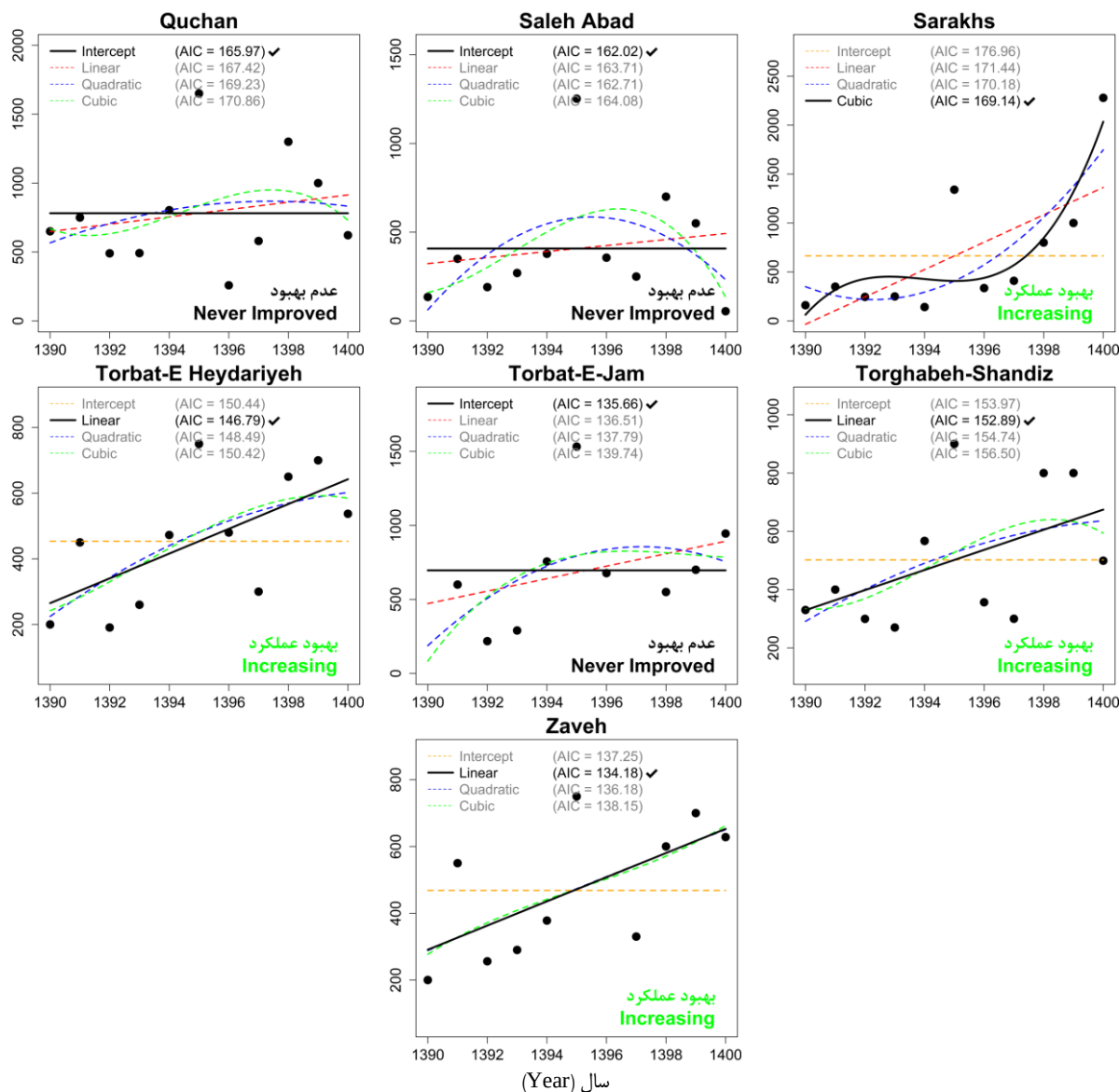
رسم نمودارهای تغییرات عملکرد در سطح شهرستان‌ها نشان داد که برخی شهرستان‌ها روند افزایشی داشتند، به‌ویژه در نیمه دوم مطالعه که روند بهبود عملکرد چشمگیری مشاهده شده است (شکل ۱۰). مطابق با این نمودارها، تغییرات عملکرد گندم دیم در سطح استان از الگوی مشخص و پایداری تبعیت نمی‌کند. با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک حاکم بر استان، این نوسانات عمدتاً می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیمی، به‌ویژه نوسانات دما و بارش باشد، که تأثیر مستقیم بر رشد و عملکرد گندم دیم دارد (شکل ۲ و شکل ۴). این موضوع در مطالعات متعدد مورد تأیید قرار گرفته و بر اهمیت مدیریت ریسک‌های اقلیمی و به‌کارگیری راهکارهای سازگار با تغییرات آب‌وهوایی تأکید شده است (Farajzadeh et al., 2011). بررسی مدل‌های روند عملکرد (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که از میان شهرستان‌های مورد مطالعه، ۱۰ شهرستان (چناران، فریمان، جغتای،



شکل ۹- روند تغییرات میانگین عملکرد گندم دیم در استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Figure 9- The trend of variations in the average yield of rainfed wheat in Khorasan Razavi province during 2011-2021





شکل ۱۰- روند تغییرات عملکرد و ثبات عملکرد گندم دیم برای ۱۹ شهرستان در استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰
Figure 10- The trend of variations and stability of rainfed wheat yield across 19 counties in Khorasan Razavi province during 2011-2021

استفاده از بذره‌های مقاوم‌تر به خشکی باشد. اظهار نظر قطعی در این خصوص، نیازمند دسترسی به داده‌های مدیریتی جامع و بررسی بیشتر می‌باشد.

تحلیل مکانی عملکرد گندم دیم در منطقه مورد مطالعه (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که کشت دیم گندم در نواحی جنوبی و قسمتی از غرب استان یا چندان رواج ندارد و یا تنها در برخی سال‌های محدود از دوره مطالعه انجام شده است، به همین دلیل شهرستان‌های این نواحی در تحلیل نهایی لحاظ نشدند. همچنین بهبود عملکرد عمدتاً در شهرستان‌های مرکزی استان مانند فریمان، تربت‌حیدریه و زاوه،

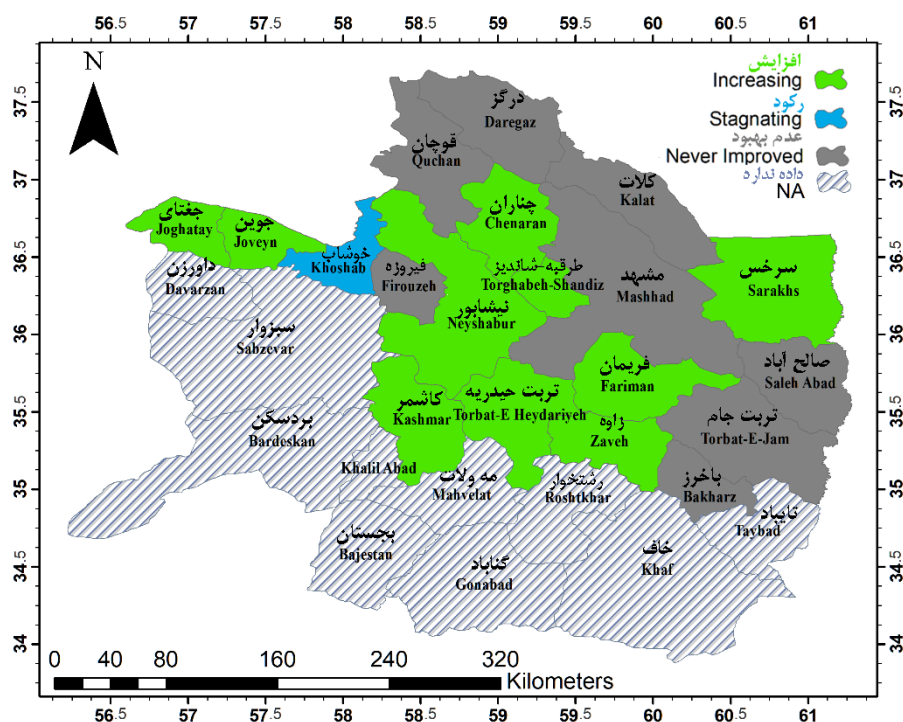
با وجود این، برخی شهرستان‌ها مانند سرخس، جغتای، چناران و جوین از این روند تبعیت نکردند و علی‌رغم کاهش بارش، بهبود عملکرد چشمگیری در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ ثبت کردند، به‌طوری‌که عملکرد گندم دیم در این شهرستان‌ها نسبت به سال‌های ابتدایی مطالعه به ترتیب ۲/۱، ۲، ۱/۷ و ۱ تن در هکتار افزایش یافت. این الگوی متفاوت در شهرستان‌های جوین، جغتای، سبزوار و داورزن که همگی در غرب استان قرار دارند، برای گندم آبی نیز مشاهده شد. بنابراین، رفتار متفاوت تغییرات عملکرد در این شهرستان‌ها طی سال انتهایی مطالعه ممکن است که ناشی از بهبود مدیریت زراعی و

به‌طور کلی، بررسی عملکرد گندم در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که تغییرات عملکرد گندم عمدتاً تحت تأثیر شرایط محیطی و مدیریتی قرار دارند. با توجه به تغییرات اقلیمی و وقوع خشکسالی‌های مکرر، لازم است که مدیریت زراعی بهینه، به‌کارگیری روش‌های نوین کشاورزی، و بهبود دسترسی به منابع آب و نهاده‌های کشاورزی مورد توجه بیشتری قرار گیرد تا نوسانات عملکردی کاهش یابد و پایداری تولید گندم در این استان تضمین شود.

لازم به ذکر است که مشابه گندم آبی، داده‌های ارائه‌شده در مورد عملکرد گندم دیم نیز ممکن است تحت تأثیر مرزهای اداری شهرستان‌ها قرار گرفته باشد. به‌عنوان مثال، شهرستان خوشاب در حالی که در مجاورت شهرستان‌های نیشابور و جوین با بهبود عملکرد قرار دارد، خود در وضعیت رکود عملکرد بوده است. از آنجاکه این شهرستان‌ها از نظر شرایط اقلیمی و میزان بارندگی تفاوت چشمگیری با یکدیگر ندارند، این مسئله می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر نحوه گردآوری و گزارش داده‌ها بر نتایج تحلیل باشد.

قسمت‌های کوچکی از غرب استان شامل شهرستان‌های جوین و جغتای و شهرستان سرخس در شرق استان مشاهده شد، درحالی‌که مناطق شمالی و شرقی عمدتاً در وضعیت عدم بهبود قرار داشتند. با وجود بهبود عملکرد در شهرستان‌های مرکزی، این بهبود با شیب ملایمی همراه بوده است، به‌طوری‌که عملکرد گندم دیم در سال انتهای مطالعه در بازه ۴۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار قرار دارد (شکل ۱۰).

طی مطالعه‌ای، میانگین عملکرد پتانسیل گندم دیم در نواحی اقلیمی استان خراسان رضوی بین ۲ تا ۲/۸ تن در هکتار برآورد شد (Koocheki & Nassiri Mahallati, 2019). با این حال، در سال ۱۴۰۰، با توجه به محاسبات انجام‌شده در این مطالعه، میانگین عملکرد واقعی گندم دیم در سطح استان (۱۹ شهرستان) به ۷۵۸ کیلوگرم در هکتار رسید (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). این اختلاف قابل توجه نشان می‌دهد که با وجود بهبود عملکرد در سطح استان، همچنان فاصله چشمگیری با پتانسیل برآوردشده وجود دارد.



شکل ۱۱- نقشه مکانی تغییرات عملکرد گندم دیم در ۱۹ شهرستان استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Figure 11- The map of spatial variations of rainfed wheat yield across 19 counties in Khorasan Razavi province during 2011–2021

افزایش یافته است، اما این بهبود در سراسر استان یکنواخت نبوده است. چهارده شهرستان بهبود عملکرد داشته‌اند، پنج شهرستان دچار رکود شده‌اند، نه شهرستان تغییری نداشته‌اند و یک شهرستان کاهش عملکرد را شاهد بود. تحلیل‌های رگرسیونی نشان داد که تغییرات

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی طی دوره مورد مطالعه حدود یک تن در هکتار

نوین کشاورزی، بهینه‌سازی روش‌های آبیاری و زیرساخت‌های کشاورزی در مناطق با رکود یا کاهش عملکرد اجرا شود. همچنین به‌کارگیری راهبردهای سازگاری با تغییرات اقلیمی، مانند استفاده از ارقام مقاوم به خشکی، اصلاح تقویم زراعی و مدیریت منابع آب ضروری است.

سیاسگزاری

هزینه انجام این پژوهش توسط معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح شماره ۳/۵۹۰۶۳ مصوب ۱۴۰۱/۱۱/۱۲ تأمین شده است، که بدینوسیله قدردانی می‌شود.

عملکرد الگوی ثابتی ندارد و تحت تأثیر عوامل اقلیمی و مدیریتی است. به‌ویژه شهرستان‌هایی مانند رشتخوار، تربت حیدریه و جغتای بهبود قابل توجهی داشته‌اند، درحالی‌که خوشاب کاهش چشمگیری را شاهد بوده است.

در گندم دیم، میانگین عملکرد استان طی دوره مطالعه حدود ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش داشته است. شهرستان‌هایی مانند جغتای، جوین، سرخس و چناران بهبود عملکرد داشته‌اند، اما درگز و کلات با کاهش چشمگیر، به‌ویژه در سال‌های پایانی مواجه شده‌اند که عمدتاً ناشی از خشکسالی و نوسانات بارندگی بوده است. همچنین کشت دیم در مناطق جنوبی و غربی استان محدود یا فصلی بوده است. با توجه به این نتایج، توصیه می‌شود که سیاست‌های حمایتی برای بهبود مدیریت زراعی، افزایش بهره‌وری، توسعه فناوری‌های

References

1. Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Automation and Control*, 19(6), 716-723.
2. Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., Kimball, B. A., Ottman, M. J., Wall, G. W., White, J. W., Reynolds, M. P., Alderman, P. D., Prasad, P. V. V., Aggarwal, P. K., Anothai, J., Basso, B., Biernath, C., Challinor, A. J., De Sanctis, G., Doltra, J., Fereres, E., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hoogenboom, G., & Zhu, Y. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5(2), 143-147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
3. Bivand, R., Pebesma, E., & Gómez-Rubio, V. (2008). *Applied Spatial Data Analysis With R*. Springer Science+Business Media.
4. Bouras, E., Jarlan, L., Khabba, S., Er-Raki, S., Dezetter, A., Sghir, F., & Trambly, Y. (2019). Assessing the impact of global climate changes on irrigated wheat yields and water requirements in a semi-arid environment of Morocco. *Scientific Reports*, 9(1), 19142. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55251-2>
5. Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F. X., & Huard, F. (2010). Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, 119(1), 201-212. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.012>
6. Burnham, K. P., Anderson, D. R., & Huyvaert, K. P. (2011). AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: Some background, observations, and comparisons. *Behavioral Ecological Sociobiology*, 65(1), 23-35. <https://doi.org/10.1007/s00265-010-1029-6>
7. Chen, H. (2018). The spatial patterns in long-term temporal trends of three major crops' yields in Japan. *Plant Production Scienc*, 21(3), 177-185. <https://doi.org/10.1080/1343943x.2018.1459752>
8. Deihimfard, R., Eyni-Nargeseh, H., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2018). Effect of future climate change on wheat yield and water use efficiency under semi-arid conditions as predicted by APSIM-wheat model. *International Journal of Plant Production*, 12(2), 115-125. <https://doi.org/10.1007/s42106-018-0012-4>
9. Draper, N. R. (2002). Applied regression analysis bibliography update 2000-2001. *Communication in Statistics Theory and Methods*, 31(11), 2051-2075. <https://doi.org/10.1081/sta-120015017>
10. FAO, Food and Agriculture Organization. (2021). The State of Food and Agriculture 2021. <https://www.fao.org/>
11. Farajzadeh-Asl, S., Kashki, M., & Shayan, M. (2009). Analysis of rain-fed wheat yield product variability using climate change approach (Case study area: Khorasan Razavi province). *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 13(2), 227-257. (in Persian with English abstract). <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-3068-fa.html>
12. Farajzadeh, M., Khorani, A., Bazgeer, S., & Zeaeian, P. (2011). Modeling and predicting of rainfed wheat yield in attention to phenological phases of plant growth (a case study for Kurdistan province). *Physical Geography Research*, 43(76), 21-34. (in Persian with English abstract).
13. Farhadi, M., Bannayan, M., Fallah, M. H., & Jahan, M. (2024). Identification of climatic and management factors influencing wheat's yield variability using AgMERRA dataset and DSSAT model across a temperate region. *Discover Life*, 54, 8. <https://doi.org/10.1007/s11084-024-09651-8>
14. Finger, R. (2010). Evidence of slowing yield growth - The example of Swiss cereal yields. *Food Policy*, 35(2), 175-182. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2009.11.004>

15. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
16. Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2000). *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. Wiley.
17. Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., Thomson, A. M., & Wolfe, D. (2011). Climate impacts on agriculture: Implications for crop production. *Agronomy Journal*, 103(2), 351-370. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0303>
18. Heydari, N., & Taran, F. (2025). Effect of climate change on wheat yield and water productivity in Iran and the world. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 16(2), 253-269. <https://doi.org/10.5829/ijee.2025.16.02.08>
19. Hussain, J., Khaliq, T., Ahmad, A., Akhter, J., & Asseng, S. (2018). Wheat responses to climate change and its adaptations: A focus on arid and semi-arid environment. *International Journal of Environmental Research*, 12(1), 117-126. <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0074-2>
20. Hussain, J., Khaliq, T., Rahman, M. H. U., Ullah, A., Ahmed, I., Srivastava, A. K., Gaiser, T., & Ahmad, A. (2021). Effect of temperature on sowing dates of wheat under arid and semi-arid climatic regions and impact quantification of climate change through mechanistic modeling with evidence from field. *Atmosphere (Basel)*, 12(7), 927. <https://doi.org/10.3390/atmos12070927>
21. IPCC, I. P. C. C. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report (IPCC, Issue).
22. Koochaki, A., & Nassiri-Mahallati, M. (2008). The impact of climate change along with increased carbon dioxide concentration on wheat yield in Iran and evaluation of adaptation strategies. *Iranian Journal of Crop Research*, 6(11), 139-153. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v6i1.1185>
23. Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2019). Yield monitoring for wheat and sugar beet in Khorasan province: 2- estimation of yield gap. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(1), 15-38. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v17i1.62557>
24. KRMO. (2022). Annual Meteorological Report 2022. O. Khorasan Razavi Meteorological (Ed.). Khorasan Razavi Meteorological Office.
25. Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
26. Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to Linear Regression Analysis* (6 ed.). John Wiley & Sons.
27. Pooya Nasab, K., Bannayan Aval, M., Ghorbani, R., Sanjani, S., & Yaghoubi, F. (2018). Temporal and spatial variation of wheat and bean yields, case study: Khorasan-e Razavi province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(2), 263-282. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v16i2.44536>
28. R Core Team. (2025). The R project for statistical computing. <https://www.r-project.org/>
29. Rouhani, H., Ghorbani, M., & Kahansal, M. (2021). Analysis of the effective factors on dimensions of sustainable agricultural development in Khorasan Razavi province, using seemingly unrelated regression equations. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 52(1), 33-52. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2021.308780.668977>
30. Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceeding of National Academy of Science of USA*, 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
31. Vargas, M., Glaz, B., Alvarado, G., Pietragalla, J., Morgounov, A., Zelenskiy, Y., & Crossa, J. (2015). Analysis and interpretation of interactions in agricultural research. *Agronomy Journal*, 107(2), 748-762. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0405>
32. Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2013). *Modern Applied Statistics with R* (4 ed.). Springer.
33. Zeinali Mobarakeh, Z., Deihimfard, R., & Kambouzia, J. (2018). Modelling the impacts of climate change on irrigated wheat yield under water limited conditions in Khorasan Razavi province. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(3), 155-169. (in Persian with English abstract).
34. Zhang, F., Shen, J., Li, R., Rengel, Z., & Tang, C. (2003). Orthogonal polynomial models to describe yield response of rice to nitrogen and phosphorus at different levels of soil fertility. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 65, 243-251. <https://doi.org/10.1023/A:1022644520090>

Effect of Foliar Application of Glycine and Methanol on Yield and Some Morphological and Physiological Traits of Forage Maize (*Zea mays* L.) at Three Planting Dates

M. Ramezani¹, F. Paknejad¹, M. R. Ardakani¹, D. Habibi¹, M. N. Ilkaee¹

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Ka. C., Islamic Azad University, Karaj, Iran

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

Received: 03 April 2025
Revised: 16 May 2025
Accepted: 01 June 2025
Available Online: 29 June 2025

How to cite this article:

Ramezani, M., Paknejad, F., Ardakani, M. R., Habibi, D., & Ilkaee, M. N. (2026). Effect of foliar application of glycine and methanol on yield and some morphological and physiological traits of forage maize (*Zea mays* L.) at three planting dates. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(1), 79-92. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.92871.1387>

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is considered as one of the best forage crops due to its adaptability to various climatic conditions, as well as its production of suitable forage per unit area, high quality of silage, and high absorbability in livestock. Suitable planting date is one of the important factors in determining the yield potential of crops especially in maize, and also the use of methanol and glycine spraying increased plant growth, especially in delayed crops. For this purpose, this study was conducted to investigate the effect of methanol, glycine, and their interaction on three different planting dates on maize in Simorgh city, Mazandaran, Iran. The purpose of this study was to investigate the performance of methanol and glycine on delayed planting dates and whether or not foliar spraying of these compounds can reduce the negative effects of late planting in maize.

Materials and Methods

This study was carried out as a factorial in the form of randomized complete block design with three replications at three separate fields in the promotional research farm of Jihad Agricultural Center, Simorgh city, Mazandaran province, on fodder maize as the second crop after rice harvest during summer and autumn of 2020. The maize hybrid used was Single Cross 201. The treatments were composed of glycine at three levels: [0 (control), 1 and 2 mg l⁻¹], methanol at three levels: [0 (control), 10 and 20% v/v], and three planting dates: [August 6, 16 and 27]. Foliar spraying of maize plants with methanol and glycine solutions was performed in three times during the growing season, including the 4-6 leaf stage, 8-10 leaf stage and before tassel emergence stage, at time of 9-11 am.

Results and Discussion

The results of this study showed that the highest values of dry matter yield of maize fodder was 1944.59 kg ha⁻¹ that related to the interaction treatments of methanol 20 % spraying and glycine 2 ppm spraying in planting date of 6.8.2020. Use of methanol and glycine spraying and also the increasing of their concentration increased the yield and physiological and morphological characteristics of fodder maize. Delay in maize cultivation (27/8/2020) reduced its yield and physiological and morphological characteristics. The highest amount of dry fodder yield 19415.59 kg ha⁻¹ was related to the interaction effects of methanol 20% v/v and glycine 2 mg l⁻¹ on the planting date of August 6 and the lowest dry fodder yield was related to the control treatment 2568.76 kg ha⁻¹



Authors retain the copyright. 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/).

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.92871.1387>

on August 27. The use of methanol and glycine partially reduced the negative effects of the delayed maize planting. Determining the appropriate planting date for crops is of particular importance because it affects the traits and various stages of growth and development and optimizes the efficiency of using environmental factors affecting yield. Delaying maize planting reduces the yield, which is due to a shortening of the vegetative growth period and a decrease in the amount of carbohydrates and minerals transferred to the grain. Methanol increases plant performance by affecting various metabolic pathways such as growth and development and activating genes involved in jasmonic acid biosynthesis and plant defense mechanisms. The use of glycine has increased ear yield due to the production of amino acids during nitrogen metabolism.

Conclusion

Methanol and glycine application reduced the negative effects of delayed planting of forage maize on August 27. The application of methanol 20% v/v and glycine 2 mg L⁻¹ on August 27 was able to increase the dry yield of forage by 168% compared to the control on the same planting date, which can be attributed to the increase in plant growth rate by methanol and glycine. Therefore, to increase the yield of forage corn and reduce losses due to late planting, application of 20% by volume methanol and 2 mg L⁻¹ glycine can be recommended in humid climate areas similar to Mazandaran. However, for a more detailed study, higher concentrations of methanol and glycine can also be recommended.

Keywords: Delayed cultivation, Maize yield, Planting date, Single cross 201

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۷۹-۹۲

اثر محلول پاشی برگی گلیسین و متانول بر عملکرد و برخی صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژی ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در سه تاریخ کاشت

مهدی رمضانی^۱، فرزاد پاک‌نژاد^{۱*}، محمد رضا اردکانی^{۱*}، داود حبیبی^{۱*}، محمد نبی ایلکایی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

چکیده

تاریخ کاشت مناسب از عوامل مهم در تعیین پتانسیل عملکرد گیاهان به‌ویژه ذرت (*Zea mays* L.) است. کاربرد متانول و گلیسین سبب افزایش رشد گیاه به‌خصوص در کشت‌های تأخیری می‌شود. بدین منظور، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه قطعه زمین جداگانه در مزرعه پژوهشی مرکز جهاد کشاورزی شهرستان سیمرغ استان مازندران روی ذرت علوفه‌ای به‌صورت کشت دوم پس از برداشت برنج (*Oryza sativa* L.) در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اجرا شد. عامل‌های پژوهش شامل گلیسین در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، ۱ و ۲ میلی گرم بر لیتر، متانول در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی و همچنین سه تاریخ کاشت ۱۵ و ۲۵ مرداد ماه و ۴ شهریور ماه بود. نتایج نشان داد که تأخیر در کشت ذرت (۴ شهریور) سبب کاهش صفات مورد مطالعه شد و بهترین تاریخ کاشت برای کشت ذرت، ۱۵ مرداد بود. مصرف گلیسین و متانول و همچنین افزایش غلظت آن‌ها، افزایش عملکرد علوفه خشک را رقم زد. بیشترین عملکرد علوفه خشک (۱۹۴۱۵/۵۹ کیلوگرم در هکتار) مربوط به اثرات متقابل متانول ۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود. کاربرد متانول و گلیسین تا حدودی سبب کاهش اثرات منفی ناشی از تأخیر کاشت ذرت علوفه‌ای شد. به‌طور کلی، تأخیر در کشت ذرت پیشنهاد نمی‌شود، اما کاربرد ۲۰ درصد حجمی متانول و گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر برای ذرت علوفه‌ای به‌دلیل بهبود کشت تأخیری (۴ شهریور ماه) در منطقه مازندران و مناطق مشابه از نظر آب‌وهوایی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، سینگل کراس ۲۰۱، عملکرد ذرت، کشت تأخیری

مقدمه

عملکرد گیاهان است. پس از محلول پاشی، متانول به‌سرعت وارد بافت گیاهی شده و پس از تأثیر روی سوخت‌وساز گیاهان، کربن موجود در متانول، در ساختار سرین یافت می‌شود (Gout et al., 2000; Dorokhov et al., 2018). یکی از مسیرهای متیلوتروفیک پذیرفته‌شده جهت سوخت‌وساز متانول در گیاهان عالی، مسیر سرین باکتریایی است. این مسیر از گلیسین (به‌عنوان پذیرنده حدواسط متانول اکسید شده) و نیز هیدروکسی متیل تترا هیدروفولیت استفاده می‌نماید و مولکول سرین را تولید می‌کند. در نهایت، سرین تولیدشده در اثر ترکیب با دی‌اکسید کربن، به متابولیت‌های چهار کربنه تبدیل می‌شود. در این مسیر، سوسترهای تک کربنه با گلیسین به‌عنوان منبع کربن و انرژی جفت‌شده و در سوخت‌وساز سلول به کار می‌روند. این جفت شدن از سمیت ناشی از واکنش متقابل فرمالدئید با پروتئین‌های سلولی جلوگیری می‌کند (Hanson & Roje, 2001; Dorokhov et al., 2018). پیرو این امر، محققان اعلام کردند که

ذرت (*Zea mays* L.) به‌دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون و همچنین تولید علوفه مناسب در واحد سطح، کیفیت بالای علوفه سیلو شده و قابلیت جذب بالا در دام‌ها، به‌عنوان یکی از بهترین گیاهان علوفه‌ای در نظر گرفته می‌شود (Khalily et al., 2010). متانول ماده‌ای است که از طریق افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، تأثیر قابل توجهی بر فیزیولوژی گیاهان دارد و با افزایش ظرفیت فتوسنتزی باعث افزایش عملکرد گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود. محلول پاشی متانول موجب افزایش جذب نیتروژن شده که این امر زمینه‌ساز افزایش تعداد برگ، ارتفاع گیاه و در نهایت

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
(*) نویسنده مسئول: Email: Farzadpaknejad@iau.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.92871.1387>

اهمیت تاریخ کاشت، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر متانول، گلیسین و اثر متقابل آن‌ها در سه تاریخ کاشت مختلف روی ذرت در مازندران انجام شد تا عملکرد متانول و گلیسین در تاریخ کاشت‌های تأخیری بررسی شود و مشخص گردد که محلول‌پاشی این ترکیبات می‌تواند اثرات منفی حاصل از کشت دیر هنگام را در ذرت از بین ببرد یا خیر.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه مزرعه پژوهشی ترویجی واقع در مرکز جهاد کشاورزی شهرستان سیمیرغ استان مازندران واقع در کیاکلا در تابستان و پاییز ۱۴۰۰ به صورت کشت دوم پس از برداشت برنج (*Oryza sativa* L.) در سه تاریخ کاشت انجام شد. عامل‌های مورد آزمایش شامل متانول در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی و گلیسین به ترتیب معادل عدم مصرف (شاهد)، ۱ و ۲ میلی گرم بر لیتر بود و ذرت در سه تاریخ کاشت ۱۵ مرداد، ۲۵ مرداد و ۴ شهریور کشت گردید. آزمایش در سه مزرعه جداگانه انجام شد و تاریخ کشت به عنوان عامل منطقه یا مکان برای تجزیه مرکب در نظر گرفته شد. رقم ذرت، سینگل کراس ۲۰۱ بود که از جهاد کشاورزی استان مازندران معاونت ترویج تهیه شده است. این رقم هیبرید زودرس، نیمه مقاوم نسبت به بیماری پوسیدگی فوزاریومی و سیاهک معمولی بلال است. ایستگاه کشت در ۱۴ کیلومتری جنوب شرق مازندران (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۸۶ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ) قرار دارد. ارتفاع از سطح دریا ۵ متر، متوسط بارندگی منطقه ۶۲۰ میلی متر، متوسط درجه حرارت منطقه ۱۷/۷ درجه سلسیوس، متوسط رطوبت نسبی ۷۰ درصد و بارندگی‌ها عموماً در دو فصل پاییز و زمستان صورت می‌گیرد. آب و هوای آن براساس روش آمبرژه معتدل و مرطوب است (جدول ۱). قبل از آماده‌سازی نهایی زمین، نمونه‌برداری مرکب خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری انجام و با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت به تعیین میزان عناصر غذایی موجود در آن اقدام گردید (جدول ۲). عامل‌های مورد آزمایش شامل متانول در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی و گلیسین به ترتیب معادل عدم مصرف (شاهد)، ۱ و ۲ میلی گرم بر لیتر می‌باشد که در سه تاریخ کاشت ۱۵ مرداد، ۲۵ مرداد و ۴ شهریور کاشته شد. متانول و گلیسین ساخت شرکت مرک آلمان و از بخش پژوهش دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد. محلول‌پاشی بوته‌های ذرت با محلول‌های متانول و گلیسین، سه بار در طی فصل رشد شامل مراحل ۴-۶ برگ، ۱۰-۸ برگ و قبل از ظهور گل تاجی و در ساعت ۹-۱۱ صبح اجرا شد. محلول‌پاشی با استفاده از سم‌پاش دستی با فشار ۱۵ bar اجرا شد تا

کاربرد متانول (۱۰ درصد حجمی) سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) شد (Kalantar & Daneshian, 2021).

گلیسین یک ترکیب مؤثر در عملکرد گیاهان است که از طریق حفظ تعادل اسمزی و تثبیت ساختارهای پروتئین‌های پیچیده در سلول، ساختارهای سلولی را در برابر تنش خشکی محافظت می‌کند (Shemi et al., 2021). در گیاهان عالی، گلیسین در پاسخ به تنش‌های محیطی از پیش‌ماده کولین در کلروپلاست تولید می‌شود و در بسیاری از گیاهان زراعی تحت شرایط تنش در سلول‌ها تجمع می‌یابد (Ahmed et al., 2019). تجمع گلیسین در سلول‌ها، یک پاسخ عمومی برای غلبه بر پیامدهای منفی کمبود آب در تولید محصولات زراعی است که به عنوان یک سازوکار سازگاری در برابر تنش‌های محیطی شناخته شده است (Ali et al., 2020). نتایج پژوهشی روی گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان داد که کاربرد گلیسین موجب افزایش عملکرد و رشد این گیاه شده است (Gupta & Thind, 2017). در پژوهش دیگری، محققان اعلام کردند که کاربرد گلیسین موجب افزایش عملکرد ذرت و همچنین افزایش تحمل ذرت در شرایط تنش شد (Shemi et al., 2021). حقیقی و همکاران (Haghighi et al., 2020) اعلام کردند که کاربرد متانول و گلیسین اثر مثبت بر عملکرد چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* L.) داشت و موجب افزایش عملکرد و صفات فیزیولوژیکی این گیاه شد.

شرایط مطلوب برای رشد و عملکرد مناسب ذرت در مناطق مختلف، متفاوت است. یکی از روش‌های مرسوم برنامه‌ریزی و مدیریت‌های زراعی جهت استفاده از پتانسیل در هر رقم و در هر منطقه، تعیین تاریخ کاشت مناسب است (Zhou et al., 2017). انتخاب تاریخ کاشت مناسب، بر صفات و مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان تأثیر گذاشته و باعث بهینه شدن بازده استفاده از عوامل محیطی مؤثر بر عملکرد می‌شود (Liaqat et al., 2018; Nazeri et al., 2018). کشت تأخیری ذرت موجب تأخیر در جوانه‌زنی و رشد گیاه می‌شود و کاهش عملکرد دانه ذرت را به دنبال دارد (Long et al., 2017). در همین راستا، محققان اعلام کردند که کشت تأخیری ذرت موجب کاهش عملکرد ذرت شد (Cao et al., 2019).

انتخاب تاریخ کاشت مناسب، امری ضروری در عملکرد ذرت است و وقوع سرمای پاییزه و کوتاه شدن طول روز، محدودیت رشد را در پی خواهد داشت. در بسیاری از تحقیقات به اثر متانول بر روی گیاهان سه کربنه پرداخته شده است و تحقیقی در زمینه اثر متانول بر روی گیاهان چهار کربنه چندان در دسترس نیست. متانول به علت تأثیر مثبت روی باکتری‌های محرک رشد و همچنین هورمون‌های رشد گیاهی سبب افزایش عملکرد حتی در گیاهان چهار کربنه می‌شود و سرعت رشد گیاهان چهار کربنه را نیز افزایش می‌دهد (Dorokhov et al., 2018). بنابراین، با توجه به فواید کاربرد متانول و گلیسین و

جایی که برگ‌ها کاملاً خیس شد.

هر واحد آزمایشی شامل پنج جویچه، هفت پشته به طول پنج متر با فاصله ۷۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها دو متر بود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد جوی و پشته انجام و بذره‌های ذرت رقم سینگل کراس ۲۰۱ کاشته شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی در طول مرحله رشد انجام گرفت. طی دوره رشد گیاه و در مرحله داشت جهت مبارزه با آفات (برگ‌خوار و ساقه‌خوار) از سم دیازینون به مقدار ۱/۵ لیتر سم در هزار لیتر آب استفاده شد. میزان کود مصرفی براساس نتایج آزمون خاک به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم

سوپرفسفات تریپل در هکتار محاسبه و به همراه ۲۰۰ کیلوگرم اوره بود که ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار قبل از کاشت به زمین و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار بعد از کاشت به‌صورت تقسیط به زمین داده شد که در دو نوبت، نصف مقدار در زمان ساقه‌دهی و دیگری بعد از ظهور تاسل به زمین داده شد. همچنین میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاس داده شد. آبیاری از زمان کاشت تا سبز شدن کامل زمین به‌صورت بارانی انجام شد و در طی مدت رشد رویشی و پر شدن دانه آبیاری مورد نظر برحسب نیاز آبی که براساس تشتک تبخیر مشخص شد و با توجه به میزان بارندگی اعمال شد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی در سال ۱۳۹۹
Table 1- Meteorological information in 2020

ماه Months	میانگین دما Average temperature (°C)		میانگین مجموع میزان تبخیر Average total evaporation rate (mm)	میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%)	میانگین میزان بارندگی Average precipitation (mm)
	حداکثر Max	حداقل Min			
فروردین April	19.5	9.5	71.8	76	98.7
اردیبهشت May	25.2	15.8	115.9	77.5	27.2
خرداد June	28.6	19.2	154.4	75.5	23.7
تیر July	31.4	22.2	169.4	75.5	59.4
مرداد August	33.5	22.6	193.9	73.5	6.7
شهریور September	32	21.2	156.6	71.5	99.3
مهر October	25	14.8	77.5	76	104.2
آبان November	18.4	10.2	37.7	81	54
آذر December	12.4	1.8	22.9	76	58.3
دی January	13.1	2.5	23.1	76.5	11.2
بهمن February	10.9	5.2	26	79	92.2
اسفند March	15.6	4.4	67.4	79.5	16.4
میانگین Average	22.13	12.45	93.05	76.46	54.33

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 2- Physical and chemical properties of soil

عمق Depth	هدایت الکتریکی EC (m ⁻¹) (dS)	pH	نیتروژن کل N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)	مواد آلی Organic matter (%)	کربن آلی Organic C (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Texture soil
0-30	0.76	7.7	0.134	118	99	2.7	1.1	44	50	6	لوم- سیلتی loam- silty

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر تاریخ کاشت، گلیسین و اثرات متقابل آن‌ها بر ارتفاع گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). تأخیر در کشت سبب کاهش ارتفاع گیاه شد و بیشترین ارتفاع گیاهان مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود. کاربرد گلیسین، افزایش ارتفاع گیاه را به همراه داشت و با افزایش غلظت آن، ارتفاع گیاه نیز افزایش یافت. بیشترین ارتفاع گیاه به میزان ۱۸۲/۶۸ سانتی-متر مربوط به اثرات متقابل گلیسین ۲ میلی-گرم در لیتر در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود که افزایش ۹۴/۳۲ درصدی را نسبت به شاهد در تاریخ کاشت ۴ شهریور داشت (جدول ۶). در تاریخ کاشت دیر هنگام (۴ شهریور)، طول دوره جوانه‌زنی و رشد رویشی به‌علت برخورد با شرایط دمایی پایین، به تأخیر افتاده و طولانی‌تر می‌شود و ذرت که یک گیاه چهارکربنه است، دمای لازم برای ورود به فاز زایشی را دیرتر کسب می‌کند و دیرتر وارد مرحله زایشی می‌شود. بنابراین، در اواخر رشد به‌دلیل کاهش دما و افزایش بارش‌ها، تولید مواد فتوسنتزی کاهش یافته و انتقال این مواد به‌سمت مخزن کند شده و موجب کاهش ارتفاع گیاه می‌شود و از طرف دیگر سبب تولید بلال‌های کوچک و نازک نیز می‌شود (Cao et al., 2019). علاوه‌بر این، کاربرد گلیسین موجب افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه می‌شود و افزایش طول اندام هوایی و ارتفاع گیاه را در پی دارد (Ali et al., 2020). در همین راستا اعلام شد که استفاده از گلیسین باعث افزایش ارتفاع گیاه پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) شد (Hamani et al., 2021).

ارتفاع محل تشکیل بلال

اثر تاریخ کاشت، گلیسین، متانول و اثرات متقابل تاریخ کاشت در گلیسین و اثرات متقابل تاریخ کاشت × گلیسین × متانول بر ارتفاع محل تشکیل بلال در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). تاریخ کاشت ۱۵ مرداد دارای بیشترین ارتفاع محل تشکیل بلال بود و مصرف گلیسین و متانول ارتفاع محل تشکیل بلال را افزایش داد و با افزایش غلظت آن‌ها، ارتفاع محل تشکیل بلال نیز افزایش یافت.

پس از برداشت، صفات بررسی‌شده شامل ارتفاع گیاه، ارتفاع محل بلال، وزن خشک ساقه، عملکرد علوفه خشک، تعداد برگ در بوته، قطر ساقه تا گره اول، تعداد بلال، طول گل‌آذین نر و پهنای برگ وسط بود. در هر کرت آزمایشی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای (خط ۱ و خط ۷ کاشت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد)، به‌صورت تصادفی ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب شدند و سپس میانگین آن‌ها برای هر صفت سنجیده شد. ارتفاع گیاه و ارتفاع محل بلال، طول گل‌آذین نر و پهنای برگ وسط با استفاده از خط‌کش مدرج اندازه‌گیری شد. برای شمارش تعداد برگ در بوته، ۱۰ بوته انتخاب و تعداد برگ‌های آن‌ها شمارش و به‌صورت میانگین یادداشت شد. قطر ساقه تا گره اول با استفاده از کولیس انجام گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک و وزن خشک ساقه، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و به مدت ۴۸ ساعت (تا ثابت شدن وزن) در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد.

جهت محاسبه درجه روز رشد (GDD)^۱ از رابطه (۱) استفاده شد:

$$GDD = \sum [(T_{max} + T_{min})/2 - T_{base}] \quad (1)$$

که در آن، T_{max} : حداکثر دمای روزانه، T_{min} : حداقل دمای روزانه و T_{base} : دمای پایه رشد بود. دمای پایه رشد ذرت ۱۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. درجه حرارت پایین‌تر از ۱۰ و بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس برای گیاه ذرت غیرمؤثر تلقی شده و درجه حرارت‌های بالاتر از ۳۰ برابر با ۳۰ درجه سلسیوس و درجه حرارت‌های پایین‌تر از ۱۰ برابر با ۱۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شدند (Plett, 1992).

آزمون بارتلت (Bartlett, 1937) جهت بررسی اطمینان از همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی انجام شد (جدول ۳). تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) به‌صورت مرکب صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با احتمال خطای پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گردید. عامل تاریخ کاشت (مکان) به‌عنوان اثر تصادفی و عوامل متانول و گلیسین به‌عنوان اثر ثابت در نظر گرفته شد. بنابراین خطای متانول و گلیسین به‌ترتیب تاریخ کاشت × متانول، تاریخ کاشت × گلیسین در نظر گرفته شد و این خطاها براساس امید ریاضی به دست آمد.

1- Growing degree days

جدول ۳- نتایج آزمون بارتلت
 Table 3- Bartlett test results

	ارتفاع گیاه Plant height	ارتفاع محل بلال The height of the ear	وزن خشک ساقه Stem dry weight	عملکرد علوفه خشک Dry matter yield	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن خشک بلال Dry weight of maize	طول گل‌آذین Male inflorescence length	قطر ساقه تا گره اول Stem diameter to the first node	تعداد بلال Number of cob	قطر بلال با پوشش Cob diameter with cover
P	0.4356	0.2976	0.4986	0.2368	0.3689	0.2359	0.4689	0.1326	0.1306	0.4309
chi-square	0.00359	0.0067	0.6223	0.9359	0.2697	0.3256	0.1003	0.2359	0.8459	0.11352

 جدول ۴- تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیک و عملکرد علوفه ذرت
 Table 4- Variance analysis of morphological, physiological traits and corn fodder performance

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		ارتفاع گیاه Plant height	ارتفاع محل تشکیل بلال The height of the ear formation	وزن خشک ساقه Stem dry weight	عملکرد علوفه خشک Dry matter yield	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant
تاریخ کاشت یا مکان (P) Planting date or place (P)	2	95480.33**	16868.37**	41359.24**	412158691.58**	525.64**
تکرار (مکان) Replication (P)	6	652.19	2.56	333.46	878.79	1.49
گلیسین Glycine (G)	2	30005.57**	3875.08**	9715.45 ^{ns}	5201200.11 ^{ns}	62.16*
متانول Methanol (M)	2	158.53 ^{ns}	664.36**	1477.69 ^{ns}	928050.75 ^{ns}	18.38*
M × G	4	288.43 ^{ns}	106.62 ^{ns}	226.90 ^{ns}	109576.1 ^{ns}	0.31 ^{ns}
G × P	4	1900.96**	248.91**	2727.02**	1991546.8**	8.10**
M × P	4	178.07 ^{ns}	33.28 ^{ns}	345.68**	322494.2**	2.84*
M × G × P	8	477.56 ^{ns}	137.69**	916.01**	52089.1**	0.38 ^{ns}
خطا Error	48	521.64	12.07	117.69	16760.7	0.32
ضریب تغییرات C.V		14.0	6.5	9.2	13.3	6.2

**, *: به ترتیب بیانگر معنی‌داری با احتمال خطای یک و پنج درصد است و ns: معنی‌دار نمی‌باشد.

*, **: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels; ns: non-significant.

غلاف ماش (*Vigna radiate* L.) و ارتفاع محل تشکیل غلاف شد که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت داشت (Khamer et al., 2018). کاربرد متانول باعث افزایش انتقال عناصر غذایی در گیاه و همچنین افزایش فعالیت باکتری‌های محرک رشد در گیاهان شده که این امر زمینه رشد گیاه را فراهم می‌کند (Dorokhov et al., 2018). کاربرد گلیسین با افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان احتمالاً از طریق تثبیت ساختار پروتئین‌های آنزیمی و به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش فتوسنتز، تورژسانس سلولی و

بیشترین ارتفاع محل تشکیل بلال به میزان ۱۰۷/۴ سانتی‌متر مربوط به اثرات متقابل متانول ۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ در هزار، در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود که نسبت به شاهد در تاریخ ۴ شهریور ماه، ۱۶۶/۵۰ درصد افزایش یافت و همچنین برهم‌کنش ۱۰ درصد حجمی متانول و گلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش ۱۵۲/۶۰ درصدی ارتفاع محل تشکیل بلال نسبت به شاهد در تاریخ کاشت ۴ شهریور ماه شد (جدول ۸). محققان گزارش کردند که محلول پاشی متانول در سطح ۴۰ درصد حجمی سبب افزایش طول

به دنبال آن افزایش طولی شدن سول موجب افزایش عملکرد و رشد گیاه شده است (Gupta & Thind, 2017).

وزن خشک ساقه

اثر تاریخ کاشت، برهم کنش تاریخ کاشت در گلیسین، تاریخ کاشت در متانول و اثرات متقابل تاریخ کاشت، گلیسین و متانول بر وزن خشک ساقه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). با تأخیر در کشت، وزن خشک ساقه کاهش یافت و بیشترین میزان وزن خشک ساقه مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود. کاربرد گلیسین و متانول، افزایش وزن خشک ساقه را به همراه داشت و افزایش غلظت آن‌ها سبب افزایش این شاخص شد. بیشترین مقدار وزن خشک ساقه به میزان ۳۱۵/۲۱ گرم بر مترمربع مربوط به اثرات متقابل متانول ۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود و کمترین مقدار این شاخص نیز ۳۶/۱۸ گرم بر مترمربع، مربوط به شاهد در ۴ شهریور بود (جدول ۸). استفاده از محلول متانول می‌تواند سبب افزایش وزن تر و خشک گیاهان شود و مقدار افزایش ماده خشک تولیدشده توسط گیاه بستگی به مقدار متانول مصرفی دارد. این موضوع نشان می‌دهد که متانول می‌تواند بر آسمیلاسیون دی‌اکسید کربن در گیاه اثر بگذارد (Downie et al., 2004). نتایج پژوهش کائو و همکاران (Cao et al., 2019)، با نتایج حاصل از پژوهش فوق مطابقت داشت، همچنین محققان اعلام کردند که کشت تأخیری ذرت موجب کاهش وزن ساقه، بوته و عملکرد ذرت شده است. همچنین سایر محققان اعلام کردند که کاربرد گلیسین با جذب مواد مغذی بیشتر موجب افزایش عملکرد و رشد گندم شده است (Gupta & Thind, 2017).

عملکرد علوفه خشک

اثر تاریخ کاشت، تاریخ کاشت در گلیسین، تاریخ کاشت در متانول و اثرات متقابل تاریخ کاشت، گلیسین و متانول بر عملکرد علوفه خشک در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). با تأخیر در کشت ذرت، عملکرد علوفه خشک کاهش یافت و تاریخ کاشت ۱۵ مرداد، بیشترین مقدار عملکرد خشک علوفه را دارا بود. مصرف گلیسین و متانول، افزایش عملکرد علوفه خشک را رقم زد و افزایش غلظت آن‌ها با افزایش عملکرد علوفه خشک همراه شد. بیشترین مقدار عملکرد علوفه خشک به میزان ۱۹۴۱۵/۵۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به اثرات متقابل متانول ۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر در تاریخ کاشت ۱۳۹۹/۵/۱۵ بود و کمترین مقدار این شاخص نیز به میزان ۲۵۶۸/۷۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به شاهد در ۴ شهریور بود (جدول ۸). می‌توان اظهار داشت که متانول از طریق تأثیر بر مسیرهای مختلف متابولیکی مانند رشدونمو و فعال شدن ژن‌های درگیر در بیوسنتز اسیدجاسمونیک و سازوکارهای دفاعی گیاه سب

افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Gout et al., 2000). نتایج سایر تحقیقات بیانگر آن است که کاربرد متانول سبب افزایش عملکرد سویا شد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا بود (Paknejad et al., 2009). محمود سلطانی و همکاران (Mahmoud Soltani et al., 2022) گزارش کردند که حداکثر عملکرد برنج در محلول پاشی گلیسین به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به شاهد ۲۹ درصد افزایش داشت. سایر محققان گزارش کردند که کشت تأخیری ذرت با تأخیر در جوانه‌زنی و رشد گیاه موجب کاهش عملکرد ذرت می‌شود که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت داشت (Long et al., 2017).

تعداد برگ در بوته

اثر تاریخ کاشت با احتمال خطای یک درصد، اثر گلیسین و متانول در سطح پنج درصد و اثرات متقابل تاریخ کاشت در گلیسین در سطح یک درصد و برهم کنش تاریخ کاشت در متانول در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۴). بررسی اثرات متقابل تاریخ کاشت در گلیسین بیانگر آن است که مصرف گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر و افزایش غلظت آن سبب افزایش تعداد برگ در بوته به ترتیب با میزان ۱۸ برگ در دو تاریخ کاشت ۱۵ و ۲۵ مرداد ماه شد و ۱۵۷/۱۴ درصد نسبت به شاهد در تاریخ کاشت ۴ شهریور ماه افزایش داشت (جدول ۶). برهم کنش تاریخ کاشت در متانول نشان داد که متانول منجر به افزایش تعداد برگ در بوته در تاریخ کاشت‌های ۱۵ و ۲۵ مرداد به ترتیب با مقادیر ۱۸ و ۱۷ برگ و ۱۵۷/۱۴ و ۱۴۲/۸۵ درصد نسبت به شاهد در تاریخ کاشت ۴ شهریور شد (جدول ۹). متانول از طریق افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و افزایش ظرفیت فتوسنتزی و همچنین افزایش هورمون‌های رشد موجب افزایش تعداد برگ در بوته شد. محلول پاشی متانول می‌تواند با تأثیر بر اتیلن باعث تأخیر پیری در برگ‌ها شود و طول دوره فتوسنتز فعال گیاه را افزایش دهد (Gout et al., 2000; Dorokhov et al., 2018). کاربرد گلیسین نیز موجب افزایش تعداد برگ و بلال شد (Lixin et al., 2009; Bai et al., 2022).

طول گل‌آذین نر

اثر تاریخ کاشت در سطح یک درصد، اثر گلیسین و متانول در سطح پنج درصد و برهم کنش تاریخ کاشت در گلیسین در سطح پنج درصد و تاریخ کاشت در متانول در سطح یک درصد بر طول گل‌آذین نر معنی دار شد (جدول ۵). اثرات متقابل تیمارهای تاریخ کاشت و گلیسین نشان داد که مصرف گلیسین و افزایش غلظت آن سبب افزایش طول گل‌آذین نر شد و بیشترین طول گل‌آذین نر به میزان ۴۶/۱۸ سانتی‌متر، در تیمار گلیسین ۲ میلی گرم بر لیتر در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد ماه مشاهده شد که ۶۵/۳۴ درصد نسبت به شاهد در تاریخ

کاشت ۴ شهریور ماه افزایش داشت (جدول ۶). در اثرات متقابل تاریخ کاشت در متانول مشاهده شد که بیشترین طول گل‌آذین نر به‌میزان ۴۸/۱۱ سانتی‌متر مربوط به متانول ۲۰ درصد حجمی در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد بود که افزایش ۵۶/۴۰ درصدی نسبت به شاهد در تاریخ کاشت ۴ شهریور داشت (جدول ۹). طول گل‌آذین نر، یکی از صفات مهم در رشد ذرت است که تحت تأثیر شرایط محیطی تغییر می‌کند.

گل‌آذین نر از سنبلیچه‌های زیادی تشکیل شده است که در امتداد خوشه اصلی و شاخه‌های جانبی آن قرار دارند که نقش مهمی در گرده‌افشانی ذرت ایفا می‌کند (Bortiri & Hake, 2007). در همین راستا گزارش شد که کاربرد گیسیسین با افزایش فتوسنتز و جذب نیتروژن بیشتر توسط گیاه سبب افزایش عملکرد و افزایش عملکرد ذرت شد (Bai et al., 2022).

جدول ۵- تجزیه واریانس برخی صفات مورد مطالعه
Table 5- Variance analysis of some characteristics

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		طول گل‌آذین نر Male inflorescence length	قطر ساقه تا گره اول Stem diameter to the first node	تعداد بلال در بوته Number of cob in plants	قطر بلال با پوشش Ear diameter with cover	وزن خشک بلال Dry weight of ear
تاریخ کاشت یا مکان (P) Planting date or place (P)	2	1220.26**	17.47**	10.97**	135.05*	37838.75**
تکرار (مکان) Replication (P)	6	1.16	0.019	0.54	0.25	462.36
گیسیسین Glycine (G)	2	179.84*	4.42**	3.98*	12.27**	9721.15**
متانول Methanol (M)	2	36.90*	5.27**	4.46*	1.31*	917.77 ^{ns}
M × G	4	3.23 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.01 ^{ns}	291.89 ^{ns}
G × P	4	12.63*	0.020 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.39 ^{ns}	4468.19**
M × P	4	3.12**	0.042 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.18 ^{ns}	241.27 ^{ns}
M × G × P	8	1.83 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.067 ^{ns}	230.2 ^{ns}
خطا Error	48	0.41	0.45	2.24	0.056	286.54
ضریب تغییرات C.V		9.3	6.9	12.4	7.1	12.6

*, **: به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری با احتمال خطای یک و پنج درصد است و ^{ns}: معنی‌دار نمی‌باشد.

*, **: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels; ns: non-significant.

قطر ساقه تا گره اول

اثر تاریخ کاشت، گیسیسین و متانول در سطح یک درصد بر قطر ساقه تا گره اول معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه تیمارهای تاریخ کاشت نشان داد که تاریخ کاشت ۲۵ و ۱۵ مرداد ماه به‌ترتیب با مقادیر ۲/۵۴ سانتی‌متر و ۲/۸۵ سانتی‌متر مناسب‌تر از تاریخ کاشت ۴ شهریور بود. گیسیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش ۳/۱۴ سانتی‌متری قطر ساقه تا گره اول گردید و کاربرد متانول ۲۰ درصد حجمی باعث افزایش ۳/۰۹ سانتی‌متری قطر ساقه تا گره اول شد و مؤثرتر از سایر تیمارهای متانول بود (جدول ۷). متانول با افزایش هورمون‌های رشد و همچنین باکتری‌های محرک رشد در گیاه سبب افزایش قطر

ساقه تا گره اول شد (Gout et al., 2000; Dorokhov et al., 2018). مصرف گیسیسین به‌دلیل افزایش فتوسنتز، تورژسانس سلولی و افزایش انتقال مواد مغذی در گیاه سبب افزایش قطر ساقه گردید (Shemi et al., 2021; Bai et al., 2022).

تعداد بلال

اثر تاریخ کاشت در سطح یک درصد، گیسیسین و متانول در سطح پنج درصد بر تعداد بلال معنی‌دار شد (جدول ۵). تاریخ کاشت ۱۵ و ۲۵ مرداد ماه به‌ترتیب با مقادیر ۲/۵ و ۲/۳۳ دارای بیشترین تعداد بلال بودند. گیسیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر و ۱ میلی‌گرم بر لیتر با مقادیر

اکسیدکربن، تسهیل انتقال الکترون، محافظت از فعالیت پروتئین‌ها و چربی‌های غشاء تیلاکوئیدی در فتوسنتز II می‌شود (Korkmaz et al., 2012). همچنین گزارش شده است که کاربرد متانول به دلیل افزایش هورمون‌های محرک رشد و سرعت رشد سبب افزایش تعداد نیام در بوته ماش شد (Khamer et al., 2018).

۲ بلال، بیشترین تعداد بلال را داشتند و مصرف متانول ۲۰ درصد و ۱۰ درصد حجمی باعث افزایش تعداد بلال به ترتیب با مقادیر ۲/۵ و ۲ بلال شد که نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۷). گلیسین بتائین از طریق حفظ و تنظیم اسمزی، حفظ تمامیت غشاء پلاسمایی و حفظ ساختمان پروتئین‌ها منجر به افزایش تجمع کلروفیل‌ها، جذب دی-

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل تاریخ کاشت و گلیسین روی برخی صفات مورد مطالعه

Table 6- Mean comparison of interaction effects of planting date and glycine on some characteristics

Table 3. Mean comparison of interaction effects of planting date and glycine on some characteristics					
تیمارها Treatments		ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Number of leaves in plant	طول گل‌آذین نر Male inflorescence length (cm)	وزن خشک بلال در هر بوته Dry weight of cob in plant (g)
تاریخ کاشت Planting date	گلیسین Glycine				
۱۴۰۰/۵/۱۵	2 ppm	182.68 ^{a*}	18 ^a	46.18 ^a	337.1 ^a
	1 ppm	168.49 ^b	14 ^c	41.39 ^b	253.2 ^c
2020.8.6	Control	145.97 ^c	16 ^b	36.35 ^c	191.5 ^d
	2 ppm	175.56 ^b	18 ^a	40.75 ^b	301 ^b
۱۴۰۰/۵/۲۵	1 ppm	145.66 ^c	14 ^c	37.07 ^c	275.4 ^{bc}
	Control	145.53 ^c	12 ^d	35.68 ^c	209.1 ^d
2020.8.16	2 ppm	115.48 ^{cd}	10 ^e	37.4 ^c	126.8 ^e
	1 ppm	110.24 ^d	8.5 ^f	32.85 ^d	122.5 ^e
۱۴۰۰/۶/۴	Control	94.32 ^e	7 ^g	27.93 ^e	79.6 ^f
	2 ppm				

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد).

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی از صفات مورد مطالعه

Table 7- Mean comparison of some characteristics

تیماها Treatments	قطر ساقه تا گره اول Stem diameter to the first node (cm)	تعداد بلال در هر بوته Number of cob in plants	قطر بلال با پوشش Ear diameter with cover (cm)
تاریخ کاشت Planting date			
۱۴۰۰/۵/۱۵	2.54 ^{a*}	2.5 ^a	7.5 ^a
2020.8.6			
۱۴۰۰/۵/۲۵	2.85 ^a	2.33 ^a	7.8 ^a
2020.8.16			
۱۴۰۰/۶/۴	1.36 ^b	1 ^b	4.5 ^b
2020.8.26			
گلیسین Glycine			
2 ppm	3.14 ^a	2 ^a	7.70 ^a
1 ppm	2.67 ^b	2 ^a	6.30 ^b
شاهد Control	2.58 ^b	1 ^b	4.66 ^c
متانول Methanol			
20% v/v	3.09 ^a	2.5 ^a	7.5 ^a
10% v/v	2.45 ^b	2 ^a	7.33 ^a
شاهد Control	2.34 ^b	1 ^b	5.5 ^b

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد).

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

جدول ۸- اثرات متقابل تاریخ کاشت، گلیسین و متانول بر ارتفاع محل تشکیل بلال، وزن خشک ساقه و عملکرد علوفه خشک

Table 8- The interaction of planting date, glycine and methanol on the height of the ear formation, stem dry weight and dry matter yield

تاریخ کاشت Planting date	گلیسین Glycine	متانول Methanol	ارتفاع محل تشکیل بلال Height of the ear formation (cm)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g m ⁻²)	عملکرد علوفه خشک Dry matter yield (kg.ha ⁻¹)
۱۴۰۰/۵/۱۵ 2020.8. 6	2 ppm	20% v/v	107.4 ^{a*}	315.21 ^a	19415.59 ^a
		10% v/v	101.8 ^{ab}	275.64 ^b	17091.53 ^b
		شاهد	98.4 ^b	262.86 ^b	17069.41 ^b
		Control			
	1 ppm	20% v/v	91.5 ^{bc}	218.28 ^{cd}	15199.8 ^{bc}
		10% v/v	89.6 ^{bc}	227.64 ^c	16875.74 ^b
		شاهد	88.5 ^{bc}	181.65 ^e	13853.62 ^{bc}
		Control			
	شاهد	20% v/v	90.5 ^{bc}	180.36 ^e	12628.8 ^c
		10% v/v	89.5 ^{bc}	179.17 ^e	11805.74 ^c
		شاهد			
		Control	79.32 ^c	175.65 ^e	10283.62 ^{cd}
۱۴۰۰/۵/۲۵ 2020.8.16	2 ppm	20% v/v	98.5 ^b	239.34 ^c	16132.15 ^{bc}
		10% v/v	96.2 ^b	211.95 ^{cd}	13066.39 ^c
		شاهد	95.2 ^b	196.61 ^d	12435.66 ^c
		Control			
	1 ppm	20% v/v	89.3 ^{bc}	149.24 ^f	11916.35 ^c
		10% v/v	85.5 ^c	135.04 ^f	11350.6 ^c
		شاهد	83.2 ^c	118.27 ^{fg}	9719.87 ^{cd}
		Control			
	شاهد	20% v/v	81.8 ^c	87.61 ^g	9856.36 ^{cd}
		10% v/v	78.6 ^c	81.97 ^g	8280.6 ^d
		شاهد			
		Control	71.5 ^d	89.12 ^g	7149.87 ^d
۱۴۰۰/۶/۴ 2020.8.26	2 ppm	20% v/v	72.5 ^e	101.27 ^g	6884.39 ^d
		10% v/v	70.3 ^e	99.55 ^g	5806.32 ^{ed}
		شاهد	63.5 ^f	91.45 ^g	4855.87 ^e
		Control			
	1 ppm	20% v/v	62.1 ^f	92.24 ^g	4562.91 ^e
		10% v/v	57.4 ^f	62.33 ^h	4484.84 ^e
		شاهد	57.3 ^f	61.11 ^h	3534.39 ^f
		Control			
	شاهد	20% v/v	51.2 ^g	58.65 ^h	3497.27 ^f
		10% v/v	45.5 ^h	57.12 ^h	3519.20 ^f
		شاهد			
		Control	40.3 ⁱ	36.18 ⁱ	2568.76 ^g

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد).

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

قطر بلال با پوشش

اثر تاریخ کاشت و متانول در سطح پنج درصد و اثر گلیسین در سطح یک درصد بر قطر بلال با پوشش معنی‌دار شد (جدول ۵). تاریخ کاشت ۱۵ و ۲۵ مرداد به ترتیب با مقادیر ۷/۵ سانتی‌متر و ۷/۸ سانتی‌متر دارای بیشترین قطر بلال با پوشش بودند. گلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر دارای بیشترین مقدار قطر بلال با پوشش ۷/۷۰ سانتی‌متر بود و مصرف متانول ۲۰ درصد و ۱۰ درصد حجمی باعث افزایش قطر بلال

با پوشش به ترتیب با مقادیر ۷/۵ سانتی‌متر و ۷/۳۳ سانتی‌متر شد که نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۷). در همین راستا گزارش شد که کاربرد متانول (۱۰ درصد حجمی) سبب افزایش قطر ساقه کلزا شد (Kalantar & Daneshian, 2021). کاربرد گلیسین به‌علت تولید اسیدآمین در طی متابولیسم نیتروژن موجب افزایش قطر و تعداد بلال در شرایط تنش شده است (Shemi et al., 2021).

جدول ۹- اثرات متقابل تاریخ کاشت و متانول بر تعداد برگ در بوته و طول گل‌آذین نر

Table 9- The interaction of planting date and methanol on the number of leaves in plant and male inflorescence length

تیمارها Treatments		تعداد برگ در بوته Number of leaves in plant	طول گل‌آذین نر Male inflorescence length (cm)
تاریخ کاشت Planting date	متانول Methanol		
۱۴۰۰/۵/۱۵ 2020.8.6	20% v/v	18 ^{a*}	48.11 ^a
	10% v/v	13 ^b	45.17 ^b
	شاهد Control	13 ^b	38.5 ^d
۱۴۰۰/۵/۲۵ 2020.8.16	20% v/v	17 ^a	42.56 ^c
	10% v/v	14 ^b	39.92 ^{cd}
	شاهد Control	11 ^c	37.46 ^d
۱۴۰۰/۶/۴ 2020.8.26	20% v/v	9 ^d	40.3 ^{cd}
	10% v/v	7 ^e	34.66 ^e
	شاهد Control	7 ^e	30.76 ^f

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد).

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

وزن خشک بلال

اثر تاریخ کاشت و گلیسین و برهم‌کنش آن‌ها دارای اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر وزن خشک بلال بود (جدول ۵). تاریخ کاشت زودهنگام و همچنین افزایش غلظت گلیسین توأم با افزایش وزن خشک بلال بود. بیشترین وزن خشک بلال به‌میزان ۳۳۷/۱۸ گرم در اثرات متقابل گلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر در تاریخ کاشت ۱۳۹۹/۵/۱۵ مشاهده شد و کمترین مقدار این شاخص مربوط به شاهد (عدم مصرف) به‌میزان ۷۹/۶ گرم بود (جدول ۶). تعیین تاریخ کاشت مناسب گیاهان زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چون بر صفات و مراحل مختلف رشدونمو تأثیر گذاشته و باعث بهینه شدن بازده استفاده از عوامل محیطی مؤثر بر عملکرد می‌شود. تأخیر در کاشت ذرت موجب کاهش وزن خشک بلال شده که این امر از طریق کوتاه شدن دوره رشد رویشی و کاهش میزان کربوهیدرات‌ها و مواد معدنی انتقال‌یافته به دانه می‌باشد (Hussain et al., 2022).

درجه روز رشد (GDD) کاشت تا رسیدگی

درجه روز رشد کاشت تا رسیدگی در تاریخ کاشت ۱۵ مرداد ۱۷۲۴/۶۵ درجه سلسیوس، در تاریخ کاشت ۲۵ مرداد ۱۶۵۳/۷۲ درجه سلسیوس و در تاریخ کاشت ۴ شهریور ۱۵۳۶/۵۸ درجه سلسیوس بود. در مطالعه حاضر مقدار درجه روز رشد با تأخیر در کشت ذرت کاهش یافت که علت آن را می‌توان کاهش طول روز و مواجهه گیاه با سرما دانست. از پراهمیت‌ترین علت تغییر درجه روز رشد در تاریخ کاشت-های مختلف این است که وقتی کشت گیاه در زمان مناسب انجام شود، متوسط درجه حرارت مورد نیاز خود را در هریک از مراحل رشدی در مدت زمان کوتاه‌تری دریافت می‌کند و مراحل رشد در زمان

مناسب و با درجه حرارت مطلوب‌تری سپری می‌گردد و بالعکس، تأخیر در کاشت گیاه سبب می‌شود که گیاه حرارت مورد نیاز خود را در هریک از مراحل رشدی در مدت زمان طولانی‌تری دریافت کرده و هریک از مراحل رشد به‌دلیل برخورد با شرایط نامساعد آب‌وهوایی کاهش یافته و سرانجام گیاه درجه روز رشد مناسب را برای اتمام طول دوره رشد دریافت نمی‌کند (Hussain et al., 2022).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد متانول و گلیسین موجب بهبود عملکرد و صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی شد و با افزایش غلظت متانول و همچنین با افزایش غلظت گلیسین، صفات مورد مطالعه در این پژوهش افزایش یافت. به‌طور کلی، در سه تاریخ کاشت، کاربرد گلیسین و متانول سبب افزایش صفات مورد مطالعه در این پژوهش شد، اما تأخیر در کشت ذرت علوفه‌ای (۱۳۹۹/۶/۴) سبب کاهش عملکرد آن شد که می‌توان علت آن را شروع فصل سرما و کاهش طول روز دانست و بهترین تاریخ کاشت برای کشت ذرت علوفه‌ای ۱۵ مرداد ماه بود. کاربرد متانول و گلیسین، تا حدودی موجب کاهش اثرات منفی ناشی از تأخیر کاشت ذرت علوفه‌ای (۱۳۹۹/۵/۲۵) شد. به‌طوری‌که کاربرد ۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر در کشت دیرهنگام (۱۳۹۹/۶/۴) توانست عملکرد خشک علوفه را ۱۶۸ درصد نسبت به شاهد در همین تاریخ کشت افزایش دهد که می‌توان علت آن را افزایش سرعت رشد گیاه توسط متانول و گلیسین دانست. بنابراین برای افزایش عملکرد ذرت علوفه-ای و کاهش خسارات ناشی از کشت دیرهنگام می‌توان کاربرد متانول

۲۰ درصد حجمی و گلیسین ۲ میلی‌گرم بر لیتر را در مناطق آب‌وهوایی مرطوب مشابه مازندران پیشنهاد داد. اما جهت بررسی دقیق‌تر، غلظت‌های بیشتر متانول و گلیسین نیز قابل پیشنهاد است.

References

- Ahmed, N., Zhang, Y., Li, K., Zhou, Y., Zhang, M., & Li, Z. (2019). Exogenous application of glycine betaine improved water use efficiency in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) via modulating photosynthetic efficiency and antioxidative capacity under conventional and limited irrigation conditions. *The Crop Journal*, 7(5), 635-650. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.03.004>.
- Ali, S., Abbas, Z., Seleiman, M. F., Rizwan, M., Yavas, I., Alhammad, B. A., Shami, A., Hasanuzzaman, M., & Kalderis, D. (2020). Glycine betaine accumulation, significance and interests for heavy metal tolerance in plants. *Plants*, 9(7), 896-911. <https://doi.org/10.3390/plants9070896>.
- Bai, M., Zeng, W., Chen, F., Ji, X., Zhuang, Z., Jin, B., Wang, J., Jia, L., & Peng, Y. (2022). Transcriptase expression profiles reveal response mechanisms to drought and drought-stress mitigation mechanisms by exogenous glycine betaine in maize. *Biotechnology Letters Journal*, 44, 367-386. <https://doi.org/10.1007/s10529-022-03221-6>.
- Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 160, 268-282.
- Bortiri, E., & Hake, S. (2007). Flowering and determinacy in maize. *Journal of Experimental Botany*, 58(5), 909-916. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm015>
- Cao, Q., Li, G., Yang, F., Jiang, X., Diallo, L., Zhang, E., & Kong, F. (2019). Maize yield, biomass and grain quality traits responses to delayed sowing date and genotypes in rain-fed condition. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31(6), 415-425. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i6.1969>
- Dorokhov, Y. L., Sheshukova, E. V., & Komarova, T. V. (2018). Methanol in plant life. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1623-1641. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01623>
- Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M., & Haslam, R. (2004). Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation. *Phytochemistry*, 65, 2305-2316. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.07.006>
- Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A. R., Benson, A. A., & Douce, R. (2000). Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology*, 123(1), 87-96. <https://doi.org/10.1104/pp.123.1.287>
- Gupta, N., & Thind, S. (2017). Grain yield response of drought stressed wheat to foliar application of glycine betaine. *Indian Journal of Agricultural Research*, 51(3), 287-291. <https://doi.org/10.18805/ijare.v51i03.7920>
- Hamani, A. K. M., Chen, J., Soothar, M. K., Wang, G., Shen, X., Gao, Y., & Qiu, R. (2021). Application of exogenous protectants mitigates salt-induced Na⁺ toxicity and sustains cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedling growth: Comparison of glycine betaine and salicylic acid. *Plants*, 10(2), 380-395. <https://doi.org/10.3390/plants10020380>
- Hanson, A. D., & Roje, S. (2001). One-carbon metabolism in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52, 119-37. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.119>
- Haghighi, P., Habibi, D., Mozafari, H., Thani, B., & Sadeghi Shua, M. (2020). Study of the effect of methanol and amino acid glycine spraying on yield and some physiological traits in different fodder beet cultivars. *Sugar Beet Journal*, 36(2), 185-201. (in Persian)
- Hussain, N., Hussain, A., Anwar Bhat, M., Aliwani, O., Ahmad, T., Mir, A. H., Jelani, F., Kauser, S., Sheikh, T., & Fatima, N. (2022). Effect of establishment methods, planting dates and hybrids on phenology and yield of sweet corn (*Zea mays saccharata* L) under temperate conditions. *The Pharma Innovation Journal*, 11(4), 626-629.
- Kalantar Ahmadi, S. A., & Daneshian, J. (2021). The effect of foliar spraying with ascorbic acid, salicylic acid and methanol on the physiological characteristics and the reduction of late planting damage of rapeseed. *Journal of Crops Improvement*, 23(2), 392-377. (in Persian)
- 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>
- Khamer, M., Mobasr, H. R., & Kikhani, S. (2018). Investigating the effect of time and different levels of methanol spraying on the yield and yield components of mung bean plant (*Vigna radiate*). *Agricultural Research in the Desert Margin*, 15(2), 83-91.
- Korkmaz, A., Şirikçi, R., Kocaçınar, F., Değer, O., & Rıza Demirkıran, A. (2012). Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycinebetaine. *Scientia Horticulturae*, 148, 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.09.029>.

19. Liaqat, W., Akmal, M., & Ali, J. (2018). Sowing date effect on production of high yielding maize varieties Sarhad. *Journal of Agriculture*, 34(1), 102-113.
20. Lixin, Z., ShengXiu, L., & ZongSuo, L. (2009). Differential plant growth and osmotic effects of two maize (*Zea mays* L.) cultivars to exogenous glycine betaine application under drought stress. *Plant Growth Regular*, 58, 297-305. <https://doi.org/10.1007/s10725-009-9379-7>
21. Long, N. V., Assefa, Y., Schwalbert, R., & Ciampitti, I. A. (2017). Maize yield and planting date relationship: A synthesis-analysis for US high-yielding contest-winner and field research data. *Frontiers in Plant Science*, 8, 16-21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02106>
22. Mahmoud Soltani, S., Hosseini Chaleshtori, M., Tajaddodi Talab Rashti, K., Shukri Vahad, H., & Shakouri Katigeri, M. (2022). Effect of glycine amino acid chelated zinc and iron on yield, and macro and micronutrient contents of rice aerial tissues. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(4), 763-776. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.337158.669181>
23. Nazeri, P., Shirani Rad, A. H., Valad Abadi, S. A. Mirakhori, M., & Hadidi Masoule, E. (2018). Effect of sowing dates and late season water deficit stress on quantitative and qualitative traits of canola cultivars. *Outlook Agriculture*, 47(4), 291-297. <https://doi.org/10.1177/0030727018793658>
24. Paknejad, F., Mirakhori, M., Al-Ahmadi, M. J., Tookalo, M. R., Pazoki, A. R., & Nazeri, P. (2009). Physiological response of soybean (*Glycine max*) to foliar application of methanol under different soil moistures. *American Journal of Agricultural & Biological Science*, 4, 311-318. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2009.311.318>
25. Plett, S. (1992). Comparison of seasonal thermal indices for measurement for measurement of corn maturity in a Prairie environment. *Canadian Journal of Plant Science*, 72, 1157-1162. <https://doi.org/10.4141/cjps92-141>
26. Shemi, R., Wang, R., Gheith, M. S., Athar Hussain, H., Hussain, S., Irfan, M., Cholidah, L., Zhang, K., Zhang, S., & Wang, L. (2021). Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*, 28(3), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82264-7>
27. Zhou, B., Yue, Y., Sun, X., Ding, Z., Ma, W., & Zhao, M. (2017). Maize kernel weight responses to sowing date-associated variation in weather conditions. *The Crop Journal*, 5(1), 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.07.002>

Evaluation of the Effect of Organic Fertilizer and Zeolite on Some Quantitative and Qualitative Traits of Dryland Barley (*Hordeum vulgare* L.)

A. Akbari¹, A. Khorgami^{1*}, M. Rafiee², R. Mirdrikvand³

1- Department of Agronomy, Khor. C., Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

2- Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

3- Department of Plant Genetic and Breeding, Khor. C., Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

(*- Corresponding author's Email: 0070588554@iau.ir)

Received: 11 May 2025
Revised: 17 August 2025
Accepted: 20 August 2025
Available Online: 20 August 2025

How to cite this article:

Akbari, A., Khorgami, A., Rafiee, M., & Mirdrikvand, R. (2026). Evaluation of the effect of organic fertilizer and zeolite on some quantitative and qualitative traits of dryland barley (*Hordeum vulgare* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(1), 93-113. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.93473.1399>

Introduction

Cereals, as the most important food group in the world, are a rich source of nutrients including lipids, carbohydrates, proteins, minerals and vitamins and constitute a major part of human nutrition. Also, cereals contain dietary fiber and bioactive components with beneficial properties for improving health. Barley (*Hordeum vulgare* L.) is one of the most important cereal crops grown worldwide and is rich in protein, carbohydrates, vitamins and minerals. This product is of interest to farmers due to its special chemical composition and health benefits. Sheep manure, as suitable alternatives to chemical fertilizers, supply plant nutrients and contribute to the sustainability of agricultural ecosystems. Zeolite is one of the most commonly minerals used to increase agricultural production. The zeolites, due to their structure and porosity, are well-suited for retaining the nutrients and gradually releasing them into the root zone. Therefore, this research was carried out with the aim evaluation of the effect of organic fertilizer and zeolite on some quantitative and qualitative traits of dryland barley.

Materials and Methods

This experiment was carried out factorially in the form of a basic design of randomized complete blocks in 3 replications in 2021-2023 cropping years in the farm of the Faculty of Agriculture of the University Azad, located in Kamalvand section of Khorramabad city. The studied factors included four levels of sheep manure (0, 3, 6 and 9 ton ha⁻¹) as a source of organic phosphorus and four levels of zeolite (0, 4, 8 and 12 ton ha⁻¹). The studied farm soil is a loamy clay soil with a high clay content, which has a high ability to retain water and nutrients, but has poorer drainage than loamy soils with a lower clay content. The use of sheep manure as a rich source of organic matter helps improve water retention capacity, soil aeration, permeability, and erosion reduction, and increases soil stability. The traits studied in this experiment included measuring grain yield, number of grain per spike, number of spike m⁻², 100 grains weight, harvest index, grain protein and some nutritional elements in grain and forage (N, P and K).

Results and Discussion

The results indicated that the application of sheep manure and zeolite at moderate rates improved all measured traits. The highest 1000-grain weight (45.62 g), grain yield (2997.75 kg ha⁻¹), and harvest index (34.28%) were obtained with the application of 3 t ha⁻¹ of sheep manure. In addition, the application of 4 t ha⁻¹



Authors retain the copyright. 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/).

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.93473.1399>

of zeolite, compared with the highest rate (12 t ha^{-1}), increased 1000-grain weight, grain yield, and harvest index by 11%, 22%, and 14%, respectively. The interaction effect of sheep manure x zeolite showed that the highest number of grain per spike (21), the number of spike m^{-2} (1069), grain nitrogen (2.05%) and grain protein (11.93%) from the combination of 3 ton ha^{-1} of sheep manure and 4 ton ha^{-1} of zeolite. Also the most grain phosphorus (0.37 %) and grain potassium (1.78 %) were obtained from the combination of 6 ton ha^{-1} of sheep manure and 4 ton ha^{-1} of zeolite.

Conclusion

In general, the results of this study showed that the use of manure and zeolite can increase plant yield. Zeolite acts as a soil conditioner and manure as a source of nutrients, and the combination of the two can improve soil quality, increase nutrient absorption, and ultimately increase plant growth and yield.

Acknowledgement

We would like to express our gratitude to the respected professors and staff of the Agronomy Laboratory of the Faculty of Agriculture, Khorramabad Azad University, for their guidance and assistance throughout the project.

Keywords: Grain yield, Harvest index, Nitrogen, Number of grains per spike, Protein

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۹۳-۱۱۳

ارزیابی تأثیر کود آلی و زئولیت بر برخی صفات کمی و کیفی جو دیم (*Hordeum vulgare* L.)

امیر اکبری^۱، علی خورگامی^{۱*}، مسعود رفیعی^۲، رضا میردریکوند^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۹

چکیده

امروزه کشاورزی مرسوم منجر به اثرات منفی بسیاری مانند آلودگی آب‌های زیرزمینی، فرسایش خاک و کاهش کیفیت مواد غذایی شده است، بنابراین استفاده از روش‌های مدیریتی جایگزین مانند کشاورزی ارگانیک برای تولید پایدار محصولات ضروری است. کاربرد کود آلی (کود گوسفندی) و زئولیت می‌تواند با تأمین مواد مغذی و اصلاح خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، عملکرد محصول را بهبود بخشد. با توجه به اهمیت جو (*Hordeum vulgare* L.)، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کود آلی زئولیت بر برخی صفات کمی و کیفی جو دیم به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واقع در بخش کمالوند شهرستان خرم‌آباد انجام شد. عامل‌ها شامل کود گوسفندی (صفر، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار) به‌عنوان منبع فسفر آلی و زئولیت (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) بود. خاک مزرعه مورد مطالعه از نوع لومی رسی با درصد بالای رس بود که توانایی بالایی در نگهداری آب و مواد مغذی دارد، اما زهکشی ضعیف‌تری نسبت به خاک‌های لومی با درصد رس کمتر دارد. استفاده از کود گوسفندی به‌عنوان منبع غنی از مواد آلی، به بهبود ظرفیت نگهداری آب، تهویه خاک، نفوذپذیری و کاهش فرسایش کمک کرده و به پایداری خاک می‌افزاید. نتایج نشان داد که کاربرد کود گوسفندی و زئولیت باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و عناصر غذایی دانه شد. به‌طوری‌که مصرف ۴ تن در هکتار زئولیت نسبت به تیمار ۱۲ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش به‌ترتیب ۱۱، ۲۲ و ۱۴ درصدی وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت شد. براساس اثر متقابل زئولیت × کود گوسفندی، بیشترین تعداد دانه در سنبله (۲۱ عدد)، تعداد سنبله در مترمربع (۱۰۶۹ عدد)، نیتروژن دانه (۲/۰۵ و ۲/۰۲ درصد) و پروتئین دانه (۱۱/۹۳ و ۱۱/۸۳ درصد) از ترکیب ۳ تن در هکتار کود گوسفندی و ۴ تن در هکتار زئولیت به دست آمد. همچنین بیشترین غلظت فسفر دانه (۰/۳۷ درصد) و پتاسیم دانه (۱/۷۸ درصد) به تیمار ترکیب ۶ تن در هکتار کود گوسفندی و ۴ تن در هکتار زئولیت اختصاص یافت. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از کود دامی و زئولیت می‌تواند باعث افزایش عملکرد گیاهان شود. زئولیت به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک و کود دامی به‌عنوان منبع مواد مغذی عمل می‌کنند و ترکیب این دو می‌تواند به بهبود کیفیت خاک، افزایش جذب مواد مغذی و در نهایت افزایش رشد و عملکرد گیاهان منجر شود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت و نیتروژن، عملکرد دانه

مقدمه

افزایش فشارهای مرتبط با سلامت و محیط زیست نیاز به بازنگری در دستورالعمل‌های غذایی و تکیه بیشتر بر غذاهای گیاهی را ایجاد کرده است. غلات به‌ویژه جو (*Hordeum vulgare* L.)

به‌عنوان منابع اصلی پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری شناخته می‌شوند (Marinangeli et al., 2024). (جو در مقایسه با سایر غلات، تحمل بیشتری نسبت به خشکی و شرایط نامساعد آب‌وهوایی دارد. به همین دلیل، در مناطقی که امکان کشت سایر غلات وجود ندارد، جو به‌عنوان یک محصول جایگزین کشت می‌شود. مقاومت جو در برابر تنش‌های محدودکننده تولید و کاربرد گسترده دانه آن در تغذیه دام از عوامل مهم کشت گسترده این گیاه زراعی در کشور هستند (Schoppach et al., 2017). اتحادیه اروپا با تولید ۴۷/۸۶ میلیون تن جو در سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۴، بزرگ‌ترین تولیدکننده جو در جهان است و ۳۴ درصد از تولید جهانی را به خود اختصاص داده است. روسیه و استرالیا در رتبه‌های بعدی قرار دارند و ایران با تولید

۱- گروه زراعت، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
۳- گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

(*) نویسنده مسئول: 0070588554@iaau.ir (Email: 0070588554@iaau.ir)

سه میلیون تن در جایگاه چهارم است (FAO, 2023). کشاورزی متعارف، اگرچه در تولید انبوه مؤثر است، اما به دلیل استفاده بیش از حد از منابع و آلودگی، پایداری محیط زیست را تهدید می‌کند. کشاورزی پایدار، روش‌هایی را ترویج می‌کند که با محیط زیست سازگار، و از نظر اقتصادی و اجتماعی قابل قبول هستند. این حوزه شامل فناوری‌های پیشرفته مانند کشاورزی دقیق و محصولات اصلاح شده ژنتیکی است. همچنین تأکید بر روش‌های آگرواکولوژیکی مانند تناوب زراعی و کشاورزی ارگانیک برای افزایش حاصلخیزی خاک و تنوع زیستی اهمیت دارد. کشاورزی پایدار همچنین بر استفاده از منابع محلی و دانش سنتی برای حفظ تعادل بوم‌شناختی و تضمین تولید مواد غذایی تأکید دارد (Saikanth et al., 2023). خاک، اساس کشاورزی است و استفاده از کودهای دامی می‌تواند با بهبود محتوای رطوبت و ماده آلی خاک به حفظ تعادل عناصر غذایی در خاک کمک نمایند (Yang et al., 2021). کودهای دامی به عنوان منبع غنی فسفر آلی شناخته می‌شوند. فسفر به عنوان یک عنصر کلیدی در زراعت شناخته می‌شود. کمبود فسفر، عملکرد محصول را به ویژه در مراحل اولیه رشد محدود می‌کند. این عنصر، نقش کلیدی در سازوکارهای فیزیولوژیکی مانند تشکیل دانه و میوه، تنفس، فتوسنتز، ذخیره و انتقال انرژی ایفا می‌کند. فسفر نامحلول در خاک اغلب منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود، اما افزایش جذب فسفر در گیاهان می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری کشاورزی و کاهش آلودگی شود (Fathi & Afra, 2024). کود دامی و ژئولیت هر دو بر تبادل کاتیونی و تخلخل خاک تأثیر مثبت دارند. کود دامی با افزایش مواد آلی، ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد، تخلخل و ظرفیت نگهداری آب را افزایش می‌دهد و به تبادل کاتیونی کمک می‌کند. ژئولیت نیز با ساختار متخلخل خود، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش داده و به جذب و نگهداری آب و مواد مغذی کمک می‌کند. ترکیب کود دامی و ژئولیت می‌تواند تأثیر مثبت بیشتری بر خاک داشته باشد. ژئولیت می‌تواند به عنوان یک حامل برای کود دامی عمل کند و به جذب و آزادسازی تدریجی مواد مغذی کمک کند. همچنین ژئولیت می‌تواند به تثبیت عناصر غذایی در خاک کمک کند و از هدررفت آن‌ها جلوگیری کند (Zokaee Khosroshahi et al., 2023). بررسی تأثیر کودهای آلی و معدنی بر عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) نشان داد که کاربرد کودهای آلی به ویژه کود گوسفندی منجر به افزایش عملکرد و صفات رویشی در گیاه جو نسبت به کودهای شیمیایی گردید، زیرا نسبت به کودهای شیمیایی که بخشی از کشاورزی سنتی هستند سریع‌تر جذب و استفاده می‌شوند (Özkan, 2024). محققان در طی بررسی اثر کود گوسفندی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) عنوان نمودند که بیشترین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در تیمار کود گوسفندی به میزان ۱۳/۴ و ۱۲ درصد بیشتر از تعداد دانه در سنبله و

وزن هزار دانه در شاهد بود (Moradi & Shahbazi, 2023). محققان با بررسی تأثیرات کودهای آلی و بر روی ذرت (*Zea mays* L.) و تأثیرات باقی‌مانده آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پرداختند. در این تحقیق از کودهای آلی شامل کود گوسفندی، کود مرغ و کود دامی و همچنین از کودهای غیرآلی مانند اوره و دی‌آمونوم فسفات استفاده شده است. نتایج نشان داد که رشد و عملکرد ذرت به طور قابل توجهی با استفاده از کودهای آلی و غیرآلی بهبود یافته و همچنین محتوای کربن آلی و نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک افزایش یافته است (Tak et al., 2023).

محققان و کشاورزان همواره به دنبال راه‌های جدیدی برای افزایش تولید محصول و در عین حال کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی روش‌های سنتی کشاورزی هستند. ژئولیت نیز می‌تواند به عنوان یک ماده معدنی طبیعی و با کیفیت بالا در بهبود زراعت گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (Singh et al., 2024). ساختار متخلخل و کریستالی ژئولیت‌ها و خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، به گسترش کاربردهای عملی در فرآیندهای مختلف از جمله کشاورزی کمک شایان توجهی کرده است (Kordala & Wyszowski, 2024). ژئولیت، غنی از مواد مغذی گیاهی است و محتوای خود را به مرور زمان در خاک آزاد می‌کند. حتی زمانی که مستقیماً با خاک مخلوط می‌شود، بر استفاده از نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک تأثیر می‌گذارد. همچنین آلاینده‌های فلزات سنگین را در خاک جمع‌آوری می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد که ژئولیت مخلوط‌شده با خاک در کاهش اثرات منفی شوری و تنش خشکی بر گیاهان مؤثر است. ژئولیت‌ها، گروهی از مواد معدنی با خواص خاص، بیش از ۲۵۰ سال است که شناخته شده‌اند. توسعه روش‌های سنتز هیدروترمال و کاربردهای صنعتی آن‌ها در مقیاس بزرگ، این مواد را به یکی از مهم‌ترین مواد قرن بیستم تبدیل کرده است (Aslan & Arsalan, 2024). محققان در بررسی تأثیر کاربرد کود گوسفندی و ژئولیت بر میزان جذب عناصر غذایی ارقام لوبیاقرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) بیان نمودند که افزایش کاربرد ژئولیت منجر به کاهش محتوای پروتئین در بافت‌های هوایی شده، درحالی‌که عملکرد دانه را به میزان ۲۱۹۹ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. همچنین کاربرد کود گوسفندی و ژئولیت توانست میزان سبزیگی و غلظت نیتروژن را در بافت‌های هوایی بهبود بخشد (Kolaei et al., 2024). نتایج ارزیابی عملکرد دانه و برخی از خصوصیات رشدی تریتیکاله (*Triticosecale wittmack* L.) تحت تأثیر کود دامی ترکیب‌شده با ژئولیت نشان داد که این تیمارها موجب افزایش ارتفاع بوته، عملکرد دانه، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزار دانه و شاخص برداشت گردید (Makvandi et al., 2021). اصلانی و همکاران (Aslani et al., 2021) در پژوهشی که در گندم انجام دادند، گزارش کردند که مصرف ژئولیت نسبت به عدم مصرف آن، برتری معنی‌داری را بر اجزای عملکرد گندم نشان

برای هر سال با توجه به تجزیه خاک و نوع کود مصرفی با استفاده از رابطه‌های مربوطه به دست آمد. کود آلی در هنگام تهیه بستر با توجه به تیمارها در خاک مصرف شد. نیاز گیاه جو به فسفر به‌منظور دستیابی به یک عملکرد مطلوب در نظر گرفته شد. مقدار کود دامی مورد نیاز براساس مقدار فسفر در کود دامی و خاک تعیین شد که بر این اساس مقدار فسفر تیمارهای ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار به‌ترتیب برابر با ۲۶، ۳۲ و ۳۸ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به نتایج آزمون خاک و کود آلی، نیازی به کاربرد کودهای نیتروژن و پتاس در آزمایش نبود.

عامل‌های مورد مطالعه شامل چهار سطح کود گوسفندی (صفر، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار) و چهار سطح زئولیت (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) بود. قبل از کاشت، عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح انجام شد. پس از ریسمان کشتی و گونیا کردن زمین، کاشت براساس نقشه آزمایش و تیمارها در کرت‌های آزمایشی صورت گرفت. کود آلی با توجه به تیمارها با خاک سطحی هر کرت مخلوط شد. برای مخلوط کردن زئولیت با خاک قبل از کشت جو تا عمق ۲۰ سانتی‌متر، ابتدا زئولیت را به میزان توصیه‌شده (معمولاً ۵ تا ۲۰ درصد وزنی خاک) با خاک مخلوط شد. سپس این مخلوط را به طور یکنواخت در سطح خاک پخش کرده و با استفاده از ابزارهای مناسب مثل بیل، تا عمق ۲۰ سانتی متری خاک با یکدیگر ترکیب گردید. این کار باعث بهبود زهکشی، هوادهی و جذب بهتر مواد مغذی توسط ریشه‌های جو شد. بذور جو با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع در تاریخ ۲۰ آذر کشت گردید. این کشت در سال دوم نیز در همین تاریخ کاشت تکرار شد و برای جلوگیری از اختلاط تیمارها، فاصله کرت‌ها ۰/۵ متر و بلوک‌ها سه متر تعیین گردید. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی و بدون استفاده از علف کش انجام گردید و در طول دوره رشد گیاه، بیماری خاصی مشاهده نشد. برداشت محصول در دو سال آزمایش در اواسط اردیبهشت ماه به‌صورت دستی انجام گردید. مساحت برداشت هر کرت حدود چهار مترمربع بود.

صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل عملکرد و اجزای عملکرد (تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزار دانه) و عناصر موجود در دانه و علوفه بود. برای تعیین عملکرد دانه، در مرحله رسیدگی (رطوبت وزنی ۱۴ درصد) (Yari et al., 2019)، کل کرت ۱۲ مترمربع بود که برداشت در مساحتی معادل چهار مترمربع با احتساب ۲۵ سانتی‌متر حاشیه از طرفین انجام شد. پس از خرمن‌کوبی، دانه از کاه جدا و توزین گردید تا عملکرد دانه در واحد سطح محاسبه شود. شاخص برداشت به عنوان درصدی از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. برای سنجش اجزای عملکرد، نمونه‌برداری‌ها از خطوط میانی انجام و شمارش دستی انجام شد.

داد، به‌طوری‌که موجب افزایش ۳۳ درصدی تعداد سنبله، ۵۰ درصدی تعداد دانه در سنبله و ۱۷ درصدی وزن هزار دانه شد. در آزمایشی دیگر گزارش شده است که زئولیت همراه با کودهای دامی اثر مثبت و معنی‌داری بر جذب عناصر فسفر، نیتروژن و پتاسیم در دانه و اندام‌های هوایی گندم داشت (Khalik et al., 2024).

در سال‌های اخیر، کاربرد مواد معدنی طبیعی به‌منظور بهبود باروری، اصلاح ساختمان فیزیکی و شیمیایی خاک که منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک نیز می‌شود، توصیه شده است که زئولیت یکی از این مواد می‌باشد. استفاده از زئولیت در کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی در گیاهان، به دلیل خاصیت نگهداری آب و بهبود ساختار خاک، اهمیت دارد. زئولیت با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، به گیاهان کمک می‌کند تا در شرایط کم‌آبی، مقاومت بیشتری از خود نشان دهند و از آسیب‌های ناشی از خشکی در امان بمانند (Mottaghi et al., 2019). از این‌رو اضافه کردن زئولیت به کودها به‌طور معنی‌داری هزینه‌های ناشی از مصرف کود و آب را در زمین‌های کشاورزی کاهش می‌دهد. لذا پژوهش حاضر با هدف پاسخگویی به سؤالات زیر طراحی و اجرا شد: اول اینکه آیا تلفیق کودهای آلی و زئولیت در مقایسه با مصرف جداگانه این کودها موجب افزایش بیشتری در عملکرد و اجزای عملکرد جو می‌شود؟ دومین سؤال اینکه آیا کاربرد زئولیت تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات مورفولوژیک جو دارد؟ و سؤال آخر اینکه اثرات متقابل مصرف کودهای دامی و کاربرد زئولیت در جو تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی جو دارد؟

مواد و روش‌ها

این مطالعه به ارزیابی تأثیر کود آلی موجود در کود گوسفندی و زئولیت بر برخی صفات کمی و کیفی جو دیم پرداخت. آزمایش طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۰ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد واقع در بخش کمالوند شهرستان خرم‌آباد با موقعیت جغرافیایی (33° 20' N, 48° 18' E) و ارتفاع ۱۱۷۱ متر از سطح دریا انجام شد. تغییرات میزان دما، بارندگی و ساعات آفتابی در بازه زمانی ابتدای مهر تا پایان خرداد هر دو سال زراعی این منطقه جغرافیایی در جدول ۱ ارائه شده است. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. قبل از شروع آزمایش، برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌هایی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک از نقاط مختلف مزرعه جمع‌آوری و سپس به آزمایشگاه خاک ارسال شد. نتایج مربوط به آنالیز خاک و کودهای مصرفی در جداول پیوست ۲، ۳ و ۴ آمده است. میزان کود مصرفی

جدول ۱- داده‌های هواشناسی شامل حداکثر دما، حداقل دما و بارندگی طی دوره اجرای آزمایش

Table 1- Metrological data including maximum, minimum temperature and precipitation during the experimental period

سال ۱۴۰۰ Year 2021				سال ۱۴۰۱ Year 2022			
ماه Month	حداکثر دما Maximum temperature (°C)	حداقل دما Minimum temperature (°C)	بارندگی Precipitation (mm)	ماه Month	حداکثر دما Maximum temperature (°C)	حداقل دما Minimum temperature (°C)	بارندگی Precipitation (mm)
اکتبر October	31.3	12	9.4	اکتبر October	19.8	5.8	52.4
نوامبر November	23.6	6	11.6	نوامبر November	13.4	2	105.3
دسامبر December	14.4	3.6	15.3	دسامبر December	12.5	0.2	87.2
ژانویه January	14.3	-1	4.9	ژانویه January	11.1	-0.5	51.4
فوریه February	15.7	0	31.7	فوریه February	18.3	4.9	120.2
مارس March	17.2	2.9	27.8	مارس March	19.7	6.4	40.0
آوریل April	24.9	6.9	6.52	آوریل April	27.2	10	12.2
می May	32.1	12.1	2	می May	36.6	15.5	10.11
ژوئن June	37.7	15.2	2.1	ژوئن June	39.3	19.4	0

جدول ۲- آنالیز خاک مزرعه

Table 2- Farm soil analysis

سال Year	بافت Texture	درجه اسیدی pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	مولیبدن Mo (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	کربن C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)
2021	رسی شنی Sandy-clay	7.91	0.71	0.71	0.82	2.4	5.71	1.00	1.15	7.11	329
2022	رسی شنی Sandy-clay	7.63	0.52	0.74	0.80	2.7	5.87	1.04	1.27	8.12	331

موج ۴۵۰ نانومتر، میزان عنصر پتاسیم (با محلول کلروسزیم ۰/۸۷ گرم در لیتر) در عصاره استخراج‌شده با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (model: PFP7, UK) اندازه‌گیری شدند (Waling et al., 1989). پس از آزمون بارتلت و اطمینان از متجانس بودن واریانس خطاهای آزمایشی، تجزیه واریانس مرکب برای صفات اندازه‌گیری‌شده انجام گردید. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات و مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 صورت گرفت و رسم شکل‌ها به وسیله نرم‌افزار Excell انجام شد.

به منظور اندازه‌گیری عناصر غذایی، پس از اتمام دوره آزمایش، اندام‌های هوایی (برگ و ساقه) و دانه‌ها جدا شدند و پس از شست‌وشوی هرکدام از این بخش‌ها، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن، نمونه‌ها با آسیاب برقی به صورت پودر گردید. پس از تهیه خاکستر از مواد گیاهی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، عصاره‌گیری با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر انجام شد. از این عصاره برای اندازه‌گیری عناصر غذایی استفاده گردید. میزان عناصر نیتروژن به صورت تیتراسیون با دستگاه تمام اتوماتیک کج‌دال، فسفر با معرف وانادات مولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (model: BT600 Plus, Canada) در طول

جدول ۳- آنالیز کود مزرعه
Table 3- Farm fertilizer analysis

کود گوسفندی Sheep fertilizer	درجه اسیدی pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	رطوبت Moisture (%)	منیزیم Mg (%)	سدیم Na (%)	کلسیم Ca (%)	گوگرد S (%)	کادمیوم Cd (%)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	کربن C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P ₂ O ₅ (%)	مواد آلی Organic Matter (%)	مواد خنثی شده Total neutralizing value (%)	پتاسیم K ₂ O (%)
سال اول First year	8.66	2.77	6.11	0.49	0.11	1.81	0.48	1.67	135.68	267.03	1124.3	2.11	1.90	0.68	67.34	5.5	1.89
سال دوم Second year	7.60	0.77	3.18	0.27	0.19	1.32	0.11	1.96	62.51	254.21	911.27	3.24	1.98	0.52	68.31	4.5	1.02

جدول ۴- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی زئولیت
Table 4- Results of physicochemical analysis of zeolite

نمونه Sample	اکسید کلسیم CaO (%)	اکسید سدیم Na ₂ O (%)	اکسید پتاسیم K ₂ O (%)	آلومینیوم اکسید Al ₂ O ₃ (%)	سیلیسیم دی اکسید SiO ₂ (%)	کلرید Cl (%)	گوگرد تری اکسید SO ₃ (%)	اکسید آهن Fe ₂ O ₃ (%)
میانگین زئولیت استفاده شده The amount of zeolite used	0.84	3.85	4.29	10.87	68.04	0.81	0.63	0.74

ظرفیت تبادل کاتیون = ۲۰۰ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم
C.E.C = 200 meq 100 g⁻¹

نتایج و بحث

اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو سال نشان داد که تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در مترمربع تحت اثر اصلی کود گوسفندی، زئولیت و اثر متقابل کودهای زئولیت × گوسفندی و وزن هزار دانه تحت اثر اصلی کود زئولیت و کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک و پنج درصد معنی دار بودند (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی بر تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در مترمربع نشان داد که به کارگیری کودهای زئولیت و گوسفندی می توانند موجب افزایش این صفات شوند، به طوری که بیشترین تعداد دانه در سنبله با میانگین ۲۱ از تیمار کاربرد ۴ تن در هکتار زئولیت و ۳ تن در هکتار کود گوسفندی و بیشترین تعداد سنبله در مترمربع با میانگین های ۱۰۶۹ و ۱۰۴۶ از تیمار کاربرد ۴ تن در هکتار کود زئولیت و ۳ تن در هکتار کود گوسفندی و تیمار ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت و ۳ تن در هکتار کود گوسفندی به دست آمد که با اکثر تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی داری نداشتند و نسبت به کمترین میزان آن ها در تیمار کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی به میزان ۲۵ درصد تعداد دانه در سنبله (۱۵/۸۳) و ۷۴ درصد تعداد سنبله در مترمربع (۲۷۲) را افزایش دادند (جدول ۶).

مقایسه میانگین تغییرات وزن هزار دانه در سطوح مختلف کود زئولیت نشان داد که تیمار ۴ تن در هکتار با میانگین ۴۵/۱۲ گرم، بیشترین میزان وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد که با تیمار ۸ تن در هکتار و تیمار عدم کاربرد زئولیت اختلاف معنی داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار ۱۲ تن در هکتار (۴۰/۳۲ گرم) به میزان ۱۱ درصد وزن هزار دانه را افزایش داد. مقایسه میانگین کودهای گوسفندی نیز نشان داد که بیشترین میزان وزن هزار دانه با میانگین های ۴۵/۶۲ و ۴۴/۴۱ گرم به ترتیب در تیمارهای ۳ تن در

هکتار کود گوسفندی و عدم کاربرد کود گوسفندی مشاهده شد که با تیمار ۶ تن در هکتار اختلاف معنی داری نداشت. درحالی که تیمار ۹ تن در هکتار با میانگین ۳۸/۴۳ گرم از کمترین میزان وزن هزار دانه برخوردار بود (جدول ۷).

کودهای آلی با افزایش محتوای عناصر غذایی، به رشد بهتر برگ ها و سطوح سبز گیاه کمک کرده و با بهبود فتوسنتز، تولید مواد پرورده را افزایش می دهند (Dubey et al., 2022) که در نتیجه وزن هزار دانه افزایش می یابد. در این پژوهش مشخص شد که کودهای گوسفندی حاوی سطوح بالایی از عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منگنز، روی، مس و آهن هستند. این عناصر غذایی به تدریج به خاک آزاد شده و باعث افزایش اجزای عملکرد جو می شوند. افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در سیستم کاربرد کود دامی (گوسفندی) به دلیل نقش مهم عنصر فسفر (Almeida et al., 2019) در پر شدن دانه و افزایش وزن آن است و از آنجایی که دسترسی بیشتر به فسفر، که از ویژگی های مثبت کودهای دامی به شمار می رود، ممکن است بر وزن هزار دانه و تعداد دانه و سنبله تأثیرگذار باشد. همچنین کاربرد مقادیر مناسب کودهای دامی، مانند کود گوسفندی، با افزایش فعالیت میکروبی در خاک، فرآیند معدنی شدن نیتروژن را تسریع می کنند. این نیتروژن به فرم های قابل جذب نترات و آمونیوم تبدیل شده و به تدریج در اختیار گیاه قرار می گیرد (Shahdi Komleh et al., 2021) که این امر به افزایش تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه کمک می کند. محققان در طی بررسی اثر کود گوسفندی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم عنوان نمودند که بیشترین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در تیمار کود گوسفندی به میزان ۱۳/۴ و ۱۲ درصد بیشتر از تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در شاهد بود (Moradi & Shahbazi, 2023). در آزمایشی مشابه، افزایش اجزای عملکرد جو را با افزایش مصرف کود گوسفندی گزارش شد (Lal et al., 2020).

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر کود گوسفندی و زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد جو دیم
Table 5- Combined analysis of variance (mean of squares) of sheep manure and zeolite on rainfed barley yield and yield components

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	تعداد سنبله در مترمربع Number of spike m ⁻²	وزن هزار دانه 100- grains weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
سال Year (Y)	1	1.98 ^{ns}	41800.10 ^{ns}	34.49 ^{ns}	2418873.77 ^{**}	18756535.72 ^{ns}	4.29 ^{ns}
تکرار در سال (R/Y)	4	30.87	15559.14	88.13	509076.55	1479818.67	106.74
زئولیت Zeolite (Z)	3	13.94 [*]	61948.74 ^{**}	111.65 ^{**}	627791.95 ^{**}	10023913.97 ^{**}	41.12 [*]
کود گوسفندی Sheep manure (SM)	3	7.39 ^{**}	68411.94 [*]	255.06 ^{**}	2538952.69 ^{**}	15338335.92 ^{**}	44.14 [*]
زئولیت × کود گوسفندی Z × SM	9	13.16 ^{**}	56592.94 [*]	58.59 ^{ns}	491624.95 ^{ns}	3521905.99 ^{ns}	8.65 ^{ns}
سال × زئولیت Y × Z	3	0.13 ^{ns}	104940.02 ^{ns}	49.26 ^{ns}	53058.14 ^{ns}	320.31 ^{ns}	13.66 ^{ns}
سال × کود گوسفندی Y × SM	15	0.87 ^{ns}	20267.77 ^{ns}	55.15 ^{ns}	30098.14 ^{ns}	844623.95 ^{ns}	8.09 ^{ns}
سال × زئولیت × کود گوسفندی Y × Z × SM	9	2.18 ^{ns}	6210.07 ^{ns}	26.01 ^{ns}	91220.17 ^{ns}	1947.36 ^{ns}	3.74 ^{ns}
خطای آزمایش Error	60	5.29	26953.03	65.64	349443.58	2513475.74	15.51
C.V ضریب تغییرات (%)	-	12.4	18.1	19.2	22.4	20.1	11.8

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطوح احتمال خطای پنج و یک درصد.
^{ns}, * and **: are non- significant and significant in probabilitie levels of 5 and 1 %, respectively

سنبله و ۳۲ درصدی وزن هزار دانه شد (Mahmoud et al., 2021) که با پژوهش‌های انجام‌شده توسط عید و همکاران (Eid et al., 2022) در جو مطابقت داشت. نتایج مشتقی و همکاران (Moshatati et al., 2019) در استفاده از کود دامی و مواد زئولیت بر گیاه گندم نشان داد که مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت اثر معنی‌دار و افزایشی بر تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه داشت.

زئولیت با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه خاک، از هدررفت عناصر به‌ویژه نیتروژن جلوگیری می‌کند و فراهمی طولانی‌مدت نیتروژن، اثر آن را تقویت می‌کند (Cataldo et al., 2021). کود دامی و زئولیت با افزایش فراهمی نیتروژن، احتمالاً باعث افزایش تعداد سنبله و در نتیجه افزایش تعداد دانه‌ها می‌شود. در پژوهشی که در جو انجام شد، نتایج نشان داد که مصرف زئولیت نسبت به عدم مصرف آن، برتری معنی‌داری را بر تعداد سنبله و وزن هزار دانه نشان داد، به‌طوری‌که موجب افزایش ۲۵ درصدی تعداد

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل زئولیت × کود گوسفندی بر اجزای عملکرد و پروتئین دانه جو

Table 6- Comparison the mean interaction effects zeolite × sheep manure on rainfed barley yield components and grain protein

زئولیت Zeolite (ton ha ⁻¹)	کود گوسفندی Sheep manure (ton ha ⁻¹)	تعداد دانه در سنبله Number of grain per Spike	تعداد سنبله در مترمربع Number of spike m ⁻²	پروتئین دانه Grain protein (%)
		–		
0	0	16.50 ^{cd*}	931 ^{abc}	10.62 ^{cd}
	3	19.33 ^{ab}	967 ^{abc}	11.58 ^{ab}
	6	19.50 ^{ab}	964 ^{abc}	10.40 ^{de}
	9	19.66 ^{ab}	1007 ^{ab}	11.14 ^{abcd}
4	0	17.82 ^{bcd}	799 ^{cd}	10.22 ^{def}
	3	21 ^a	1069 ^a	10.58 ^{bcd}
	6	18.33 ^{abcd}	810 ^{bcd}	11.83 ^a
	9	17.66 ^{bcd}	972 ^{abc}	9.53 ^{de}
8	0	19.83 ^{ab}	922 ^{abcd}	11.06 ^{abcd}
	3	20 ^{ab}	844 ^{bcd}	11.93 ^a
	6	19 ^{abc}	941.83 ^{abc}	9.57 ^{ef}
	9	17.50 ^{bcd}	881 ^{abcd}	10.58 ^d
12	0	16.51 ^{cd}	780 ^{cd}	9.29 ^e
	3	19 ^{abc}	1046 ^a	11.08 ^{abcd}
	6	18 ^{bcd}	822 ^{bcd}	11.55 ^{abc}
	9	15.83 ^d	272 ^d	9.60 ^{def}

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

* Means in each coulumn with the same letter in each column are not significantly different at the five precent probability level with LSD.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات زئولیت و کود گوسفندی بر وزن هزار دانه، عملکرد و شاخص برداشت جو دیم

Table 7- Comparison the mean effects zeolite and sheep manure on rainfed barley 100-seeds weight, yield and harvest index

زئولیت Zeolite (ton ha ⁻¹)	وزن هزار دانه 100-grains weight (g)	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
0	41.47 ^{ab*}	2693.33 ^{ab}	7888.79 ^{ab}	34.62 ^{ab}
4	45.12 ^a	2838.17 ^a	7947.75 ^{ab}	35.64 ^a
8	43.69 ^{ab}	2507.42 ^{bc}	8117.79 ^a	31.75 ^{ab}
12	40.32 ^b	2202.67 ^c	7135.92 ^b	30.62 ^b
کود گوسفندی Sheep manure (ton ha ⁻¹)				
0	44.41 ^a	2420.38 ^{bc}	7376.01 ^c	32.87 ^{ab}
3	45.62 ^a	2997.75 ^a	8728.29 ^a	34.28 ^a
6	41.82 ^{ab}	2593.92 ^b	8077.02 ^b	31.16 ^b
9	38.43 ^b	2329.54 ^c	7108.92 ^c	32.79 ^b

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

* Means in each coulumn with the same letter in each column are not significantly different at the five precent probability level with LSD.

عملکرد دانه

تجزیه و تحلیل عملکرد دانه در تیمارهای مختلف اعمال شده، تأثیر معنی‌دار سال، کودهای زئولیت و گوسفندی را در سطح احتمال خطای یک درصد نشان داد (جدول ۵). تغییرات عملکرد دانه در دو سال زراعی نشان داد که سال دوم نسبت به سال اول به‌میزان ۱۹ درصد از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بود، زیرا میزان بارندگی در سال دوم بیشتری از سال اول بود (جدول ۸). براساس نتایج مقایسه میانگین کود زئولیت، بیشترین میزان عملکرد دانه با میانگین

۲۸۳۸/۱۷ کیلوگرم در هکتار از تیمار ۴ تن در هکتار زئولیت به دست آمد که با تیمار عدم کاربرد زئولیت اختلاف معنی‌داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت (۲۲۰۲/۰۷ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه را ۲۲ درصد افزایش داد. تغییرات عملکرد دانه در سطوح مختلف کود گوسفندی نشان داد که بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه با میانگین‌های ۲۹۹۷/۷۵ و ۲۳۲۹/۵۴ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از تیمارهای ۳ و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی به دست آمد (جدول ۷).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر سال بر عملکرد دانه جو دیم

Table 8- Comparison the mean effects Year on rainfed barley grain yield

سال Year	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)
۱۴۰۰	2276.50 ^{b*}
2021	
۱۴۰۱	2794.11 ^a
2022	

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

* Means in each coulms with the same letter in each column are not significantly different at the five precent probability level with LSD.

مترمربع با تعداد دانه وجود داشت ($r = 0.84^{**}$). نتایج نشان دهنده این است که بین صفات مورد بررسی، شاخص برداشت بیشترین نقش را در افزایش عملکرد ایفا کردند که می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی این گیاه مورد استفاده قرار گیرد. در واقع، گیاه در این شرایط با افزایش انتقال مواد به اندام هدف توانست عملکرد بالایی داشته باشد (جدول ۹).

براساس نتایج همبستگی (جدول ۹)، کود گوسفندی و زئولیت به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه را از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه بهبود بخشیدند. ارزیابی ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با اجزای عملکرد و شاخص برداشت ($r = 0.86^{**}$) داشت. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد سنبله در

جدول ۹- همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد

Table 9- Correlation between performance and performance components

صفات Traits	1	2	3	4	5	۶
۱- عملکرد دانه Grain yield	1					
۲- تعداد سنبله Spike number	0.82 ^{**}	1				
۳- تعداد دانه Grain number	0.76 ^{**}	0.84 ^{**}	1			
۴- وزن هزار دانه Thousand grain weight	0.88 ^{**}	-0.10 [*]	-0.20 ^{**}	1		
۵- شاخص برداشت Harvest index	0.86 ^{**}	0.91 ^{**}	0.90 [*]	0.81 [*]	1	
۶- عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.91 ^{**}	0.80 ^{**}	0.79 ^{**}	0.65 [*]	-0.06 [*]	1

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال خطای پنج و یک درصد.

ns، * and **: are non- significant and significant in probabilitie levels of 5 and 1 %, respectively

(2019) نیز با بررسی روی عملکرد جو بیان نمودند که کود گوسفندی بر عملکرد دانه تأثیر گذاشته و باعث افزایش معنی‌دار به میزان ۱۲ درصد می‌شود. در گزارشی دیگر توسط ابوبکر و همکاران (Abubaker et al., 2020) به افزایش عملکرد دانه گندم تحت تأثیر مقادیر متوسط کود گوسفندی اشاره شده است. استفاده بیش از حد از کود گوسفندی می‌تواند به کاهش عملکرد گیاهان منجر شود. این کاهش عملکرد به دلیل عواملی مانند مسمومیت گیاه ناشی از غلظت بالای مواد مغذی، ایجاد اختلال در تعادل مواد مغذی خاک و کاهش

نتایج آزمون خاک نشان داد که مصرف کود گوسفندی در سال دوم آزمایش، درصد کربن آلی و نیتروژن کل را افزایش داده و بهبود شرایط رشدی در ریزوسفر گیاه و افزایش عملکرد جو را به همراه داشت (جدول ۳). گزارش شده است که افزایش درصد کربن آلی در سال دوم آزمایش، بهبود رشد و عملکرد گیاهان را از طریق افزایش تنوع و فعالیت ریزجانداران مفید خاک و تولید هورمون‌های محرک رشد، ویتامین‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها به همراه دارد (Shahdi Komleh et al., 2021). نجفی‌قیری و همکاران (Najafi-Ghiri et al., 2021).

خطای یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین کود زئولیت بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که کاربرد زئولیت موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد، به طوری که بیشترین میزان آن با میانگین ۸۱۱۷/۷۹ کیلوگرم در هکتار از تیمار ۸ تن در هکتار به دست آمد که با غلظت ۴ تن در هکتار و تیمار عدم کاربرد زئولیت اختلاف معنی‌داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار ۱۲ تن در هکتار (۷۱۳۵/۹۲ کیلوگرم در هکتار) عملکرد بیولوژیک را به میزان ۱۲ درصد افزایش داد. از طرفی، کاربرد کودهای گوسفندی نیز تا مقادیر متوسط (۳ تن در هکتار) موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد، به طوری که بیشترین و کمترین مقدار آن با میانگین‌های ۷۳۷۶/۲۹ و ۲۳۲۹/۹۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در تیمارهای ۳ و ۹ تن در هکتار مشاهده شد (جدول ۷).

هر عاملی که موجب فراهمی بیشتر عناصر غذایی برای گیاه شود، عملکرد بیولوژیک آن را افزایش می‌دهد. استفاده از کود دامی و زئولیت به افزایش فراهمی مواد غذایی به‌ویژه فسفر کمک کرده و در نتیجه می‌تواند به افزایش وزن بیولوژیک گیاه منجر شود. همچنین مصرف این کودها از طریق تأثیر مثبت آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باعث افزایش عملکرد بیولوژیک خاک می‌شوند. تحقیقات نشان می‌دهد که این کودها نه تنها ویژگی‌های شیمیایی خاک را بهبود می‌بخشند، بلکه ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیک مانند ظرفیت نگهداری آب، پایداری خاک‌دانه‌ها، تخلخل و فعالیت موجودات زنده مفید خاک را نیز ارتقاء می‌دهند، که همه این عوامل به رشد و عملکرد بهتر گیاه کمک می‌کنند (Rayne & Aula, 2020). بهبود عملکرد بیولوژیک گندم تحت تأثیر مصرف کود گوسفندی در مقایسه با شاهد نیز گزارش شده است (Abdel-Galil & Abdel-Gawad, 2020). عملکرد بیولوژیک نشان‌دهنده توانایی گیاه زراعی در تبدیل فتوسنتز حقیقی به فتوسنتز خالص است. یک مطالعه نشان داد که زئولیت به عنوان منبع سیلیسم، با تحریک فتوسنتز می‌تواند به افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه کمک کند (Elrys et al., 2019). همچنین خلیق و همکاران (Khalique et al., 2024) با بررسی اثر کاربرد کود دامی و زئولیت بر عملکرد بیولوژیک گزارش کردند که با افزایش درصد زئولیت در کود دامی، عملکرد بیولوژیک گندم افزایش یافت.

شاخص برداشت

بررسی تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر کودهای زئولیت و گوسفندی باعث ایجاد تغییرات معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر شاخص برداشت جو شد (جدول ۵). براساس مقایسه میانگین کود زئولیت بر شاخص برداشت، کاربرد زئولیت تا مقادیر متوسط موجب افزایش این صفت شد، به طوری که تیمار ۴ تن در

فعالیت ریزجانداران مفید خاک رخ می‌دهد. از دلایل کاهش عملکرد دانه در مقادیر بالای کود گوسفندی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. ۱- مصرف زیاد کود گوسفندی، به‌ویژه کودهای تازه و تجزیه نشده، می‌تواند حاوی غلظت بالایی از مواد مغذی باشد که در نهایت منجر به مسمومیت گیاه و سوختگی ریشه و برگ‌ها می‌شود. ۲- کود گوسفندی، مانند سایر کودهای دامی، ممکن است حاوی مقادیر نامتعادلی از مواد مغذی باشد. استفاده بیش از حد از این کود، می‌تواند تعادل مواد مغذی در خاک را بر هم بزند و نیازهای خاص گیاه به مواد مغذی را به طور کامل برآورده نکند. ۳- کوددهی بیش از حد می‌تواند به کاهش جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفیدی که در تجزیه مواد آلی و آزاد کردن مواد مغذی برای گیاه نقش دارند، منجر شود. ۴- در برخی موارد، کوددهی بیش از حد با کودهای ازته (مثل کود گوسفندی) می‌تواند باعث رشد بیش از حد اندام‌های رویشی (برگ و ساقه) شود و در نتیجه، مانع از تشکیل گل و کاهش عملکرد محصول گردد. ۵- نیتروژن اضافی موجود در کود گوسفندی به‌مرور زمان می‌تواند منجر به اسیدی شدن خاک شود که این امر نیز بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد.

زئولیت به عنوان اصلاح‌کننده خاک، با جذب انتخابی و آزادسازی کنترل‌شده عناصر غذایی موجب بهبود رشد گیاه جو می‌شود. این ماده با افزایش فراهمی طولانی‌مدت آب، آب قابل دسترس را برای گیاه را افزایش داده و در نتیجه عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. مصرف بیش از حد زئولیت نه تنها مفید نیست، بلکه می‌تواند عملکرد دانه را کاهش دهد و به‌ویژه زئولیت با محتوای سدیم بالا اثر بازدارندگی بر گیاهان دارد. در آزمایشی روی گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط اقلیمی خرم‌آباد نشان داده شد که با مصرف بیش از ۵ تن در هکتار بقایای جو + ۲/۵ تن در هکتار زئولیت، عملکرد دانه به میزان ۴۵ درصد کاهش داشت (Cheraghi et al., 2021). از طرفی، کاهش عملکرد در مقادیر بالای زئولیت به دلیل جذب کاتیون‌ها توسط ساختار آلومینوسیلیکاتی زئولیت است که منجر به تثبیت و کاهش حلالیت فسفر و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از کود زئولیت، تأثیر مثبتی بر خصوصیات خاک دارد و می‌تواند به بهبود تولید و افزایش عملکرد دانه در جو کمک کند (Mahmoud et al., 2021). نتایج این آزمایش با نتایج اصلانی و همکاران (Aslani et al., 2021) بر روی گندم مطابقت داشت. طبق نتایج این محققان، با مصرف زئولیت به عنوان مواد سوپرچاذب با غلظت ۱۵ تن در هکتار، عملکرد دانه ۴۳ درصد افزایش پیدا کرد.

عملکرد بیولوژیک

براساس نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۵)، عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر کودهای زئولیت و گوسفندی در سطح احتمال

گوسفندی و تیمار ۴ تن در هکتار زئولیت و ۶ تن در هکتار کود گوسفندی مشاهده شد که با تیمارهای عدم کاربرد زئولیت و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی، ۸ تن در هکتار زئولیت و عدم کاربرد کود گوسفندی و ۱۲ تن در هکتار زئولیت و ۳ تن در هکتار کود گوسفندی اختلاف معنی داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار کودهای ۱۲ تن در هکتار زئولیت و عدم کاربرد گوسفندی به میزان ۲۲ درصد پروتئین دانه را افزایش داد (جدول ۶).

افزایش غلظت پروتئین دانه جو پس از استفاده از کود گوسفندی و زئولیت به دلیل افزایش جذب عناصر مغذی مانند نیتروژن، فسفر، روی، آهن و منگنز است که در این کود وجود دارد. در نتیجه بهبود تغذیه گیاه منجر به افزایش تشکیل پروتئین شد. برخی محققان نیز گزارش کردند که زئولیت با جلوگیری از اتلاف نیتروژن در توده کودی و خاک، نیتروژن بیشتری را در اختیار گیاه قرار می دهد و باعث افزایش درصد پروتئین دانه می شود. این تأثیر بر جذب و سوخت و ساز نیتروژن، به طور مستقیم بر جذب و سنتز اسید نوکلئیک و پروتئین ها تأثیر می گذارد (Khashei Siuki et al., 2020). در بررسی کاربرد کود گوسفندی-شیمیایی در پنج سطح (۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰) و زئولیت در چهار سطح (۰، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار) در لوبیا، نتایج نشان داد که تیمار ۷۵ درصد گوسفندی و ۲۵ درصد اوره و ۹ تن در هکتار زئولیت سبب افزایش میزان پروتئین دانه شد (Kolaei et al., 2024). همچنین در تحقیقات دیگری، افزایش درصد پروتئین در تیمارهای کاربرد کود زئولیت (Elsawy et al., 2023) و دامی (گوسفندی) (Allahresani & Ramazani, 2020) به ترتیب به میزان ۱۲ و ۲۲ درصد نسبت به شاهد در گندم و ذرت بیان شد. زئولیت همچنین به عنوان یک اصلاح کننده خاک، با افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی در خاک، جذب بهتر عناصر غذایی توسط گیاه را تسهیل می کند. همچنین زئولیت می تواند با کاهش آشوبی عناصر غذایی و افزایش فعالیت ریزجاندانان مفید خاک، به بهبود حاصلخیزی خاک و در نتیجه افزایش پروتئین دانه کمک کند. ترکیب کود دامی و زئولیت می تواند اثرات مثبت هر دو را تقویت کند. به عنوان مثال، زئولیت می تواند جذب نیتروژن از کود دامی را بهبود بخشد و در نتیجه، سنتز پروتئین در گیاه را افزایش دهد (Moshatati et al., 2019).

عناصر غذایی دانه و علوفه

نیتروژن دانه و علوفه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که نیتروژن دانه و علوفه تحت تأثیر کود گوسفندی و اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک درصد معنی دار شدند (جدول ۱۰). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود زئولیت × کود

هکتار زئولیت با میانگین ۳۵/۶۴ درصد بیشترین میزان شاخص برداشت را به خود اختصاص داد که با سطح ۸ تن در هکتار و تیمار عدم کاربرد زئولیت اختلاف معنی داری نداشت و نسبت به کمترین میزان آن در تیمار ۱۲ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش ۱۴ درصدی شاخص برداشت شد. تغییرات شاخص برداشت در سطوح مختلف کود گوسفندی نیز نشان داد که بیشترین میزان این صفت با میانگین ۳۴/۲۸ درصد از سطح ۳ تن در هکتار به دست آمد که با تیمار عدم کاربرد کود گوسفندی اختلاف معنی داری نداشت. از طرفی، کمترین میزان شاخص برداشت با میانگین ۳۱/۱۶ درصد در تیمار ۶ تن در هکتار مشاهده شد که با ۹ تن در هکتار اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۷).

استفاده از کودهای گوسفندی باعث افزایش شاخص برداشت به دلیل افزایش وزن دانه ها نسبت به وزن کاه و کلش (عملکرد بیولوژیک) جو شد. افزایش عملکرد دانه و تأثیر معنی دار آن نیز موجب افزایش شاخص برداشت در تیمارهای حاوی کود دامی گردید. گزارش شده است که علت افزایش شاخص برداشت، حضور عناصر غذایی بیشتر در خاک در شرایط اعمال کود دامی در نتیجه افزایش عملکرد و به تبع افزایش شاخص برداشت بود (Moradi & Shahbazi, 2023). نتایج آزمایشی که در دو سال زراعی در مصر انجام شد، نشان داد که مصرف ۲۴ تن در هکتار کود گوسفندی در مقایسه با شاهد سبب افزایش ۱۸ درصدی شاخص برداشت در سال ۲۰۱۹ و ۱۵ درصدی در سال ۲۰۲۰ در جو شد (Gomaa et al., 2021). زئولیت با تقویت خاک، جلوگیری از فرسایش و جذب آب، شرایط مناسبی برای رشد گیاهان فراهم کرده و در نتیجه شاخص برداشت را افزایش می دهد. نتایج تحقیق حاضر با یافته های رضوانی و کافی (Rezvani & Kafi, 2024) مبنی بر افزایش شاخص برداشت با اعمال کود زئولیت مطابقت داشت. این محققان دلیل این افزایش را حفظ جذب آب توسط گیاه و جلوگیری از تخریب غشاهای سلولی ذکر کردند. در تحقیقی دیگر (Hassan et al., 2024)، گزارش شد که مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت در مقایسه با عدم مصرف زئولیت توانست شاخص برداشت گندم را ۱۵ درصد افزایش دهد.

پروتئین دانه

طبق جدول تجزیه واریانس مرکب (جدول ۸)، اثر اصلی کودهای زئولیت، گوسفندی و اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک و پنج درصد بر پروتئین دانه معنی دار بودند. نتایج مقایسه میانگین کود زئولیت × کود گوسفندی نشان داد که در همه سطوح کود گوسفندی، کاربرد کود زئولیت موجب افزایش پروتئین دانه شد، به طوری که بیشترین میزان آن با میانگین های ۱۱/۹۳ و ۱۱/۸۳ درصد در تیمار ۸ تن در هکتار زئولیت و ۳ تن در هکتار کود

جذب نیتروژن گیاه را افزایش داد (Luis Moreno et al., 2017). در تحقیقی دیگر روی گندم، کاربرد زئولیت به میزان ۱۵ تن در هکتار، میزان نیتروژن را نسبت به شاهد ۱۴ درصد افزایش داد (Aslani et al., 2021). نتایج تحقیقات دیگری نشان داد که ترکیب کودهای نیتروژنه با زئولیت باعث کاهش معنی دار غلظت نیتروژن در توده گیاهی جو نسبت به شاهد شد. به نظر می‌رسد که این کاهش به دلیل جذب نیتروژن توسط زئولیت در زمان فراهمی مواد غذایی و آزادسازی کُند آن در طول رشد گیاه باشد، که با نتایج این آزمایش تناقض دارد (Rehakova et al., 2004).

فسفر دانه و علوفه

فسفر دانه تحت اثر کودهای زئولیت، گوسفندی، اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی و سال × کود زئولیت و فسفر علوفه تحت اثر کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱۰). مقایسه میانگین اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی بر فسفر دانه نشان داد که بیشترین میزان فسفر دانه با میانگین ۰/۳۷ درصد از تیمار ۴ تن در هکتار زئولیت با کاربرد ۶ تن در هکتار کود گوسفندی به دست آمد که با تیمارهای ۳ تن در هکتار و عدم کاربرد کود گوسفندی در همین تیمار کود زئولیت و تیمارهای ۶ و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی در تیمار عدم کاربرد زئولیت اختلاف معنی‌داری نداشت. درحالی‌که کمترین میزان فسفر دانه با میانگین ۰/۲۰ درصد در تیمار عدم کاربرد زئولیت و کود گوسفندی مشاهده شد که با تیمارهای ۳ تن در هکتار کود گوسفندی در همین تیمار زئولیت، تیمارهای عدم کاربرد و ۳ تن در هکتار کود گوسفندی در تیمارهای ۸ و ۱۲ تن در هکتار زئولیت در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۱۱). براساس نتایج مقایسه میانگین جدول ۱۲، در هر دو سال زراعی، کاربرد زئولیت سبب افزایش فسفر دانه شد، به طوری که بیشترین میزان آن با میانگین ۰/۳۱ درصد از تیمارهای ۸ تن در هکتار زئولیت در سال دوم و ۴ تن در هکتار زئولیت در سال اول به دست آمد که نسبت به کمترین میزان آن در تیمار عدم کاربرد زئولیت در سال اول، فسفر دانه را به میزان ۲۹ درصد افزایش داد. تغییرات فسفر علوفه در غلظت‌های مختلف کود گوسفندی نشان داد که کاربرد این کود موجب افزایش این صفت شد، به طوری که تیمار ۶ تن در هکتار با میانگین ۰/۱۲ درصد از بیشترین میزان فسفر علوفه برخوردار بود که با تیمار ۹ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت. تیمار عدم کاربرد کود گوسفندی با میانگین ۰/۱۰ درصد نیز کمترین میزان فسفر علوفه را به خود اختصاص داد که با تیمار ۳ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۱۳).

گوسفندی بر نیتروژن دانه و علوفه جو، استفاده از کودهای زئولیت و گوسفندی سبب افزایش نیتروژن دانه و علوفه شد، به طوری که تیمارهای ۴ تن در هکتار زئولیت با ۶ تن در هکتار کود گوسفندی و تیمار ۸ تن در هکتار کود زئولیت با ۳ تن در هکتار کود دامی به ترتیب با میانگین‌های ۲/۰۵ و ۲/۰۳ درصد از بیشترین میزان نیتروژن دانه و تیمارهای ۱۲ تن در هکتار زئولیت با ۳ تن در هکتار کود گوسفندی و ۸ تن در هکتار زئولیت با ۳ تن در هکتار کود گوسفندی به ترتیب با میانگین‌های ۲/۰۴ و ۲/۰۱ درصد از بیشترین میزان نیتروژن علوفه برخوردار بودند. همچنین کمترین میزان نیتروژن دانه با میانگین ۱/۵۹ درصد به تیمار ۱۲ تن در هکتار کود زئولیت و عدم کاربرد کود گوسفندی و نیتروژن علوفه با میانگین ۱/۵۳ درصد به تیمار عدم کاربرد زئولیت و کود گوسفندی اختصاص یافت. بین اکثر تیمارهای آزمایشی از نظر نیتروژن علوفه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱۱).

مصرف کود دامی باعث افزایش محتوای نیتروژن دانه‌ها می‌شود، زیرا نیتروژن در مرحله زایشی به سرعت از ساقه و برگ به دانه‌های در حال نمو منتقل می‌گردد (Moslehi et al., 2016). کودهای گوسفندی به افزایش ذخیره نیتروژن قابل جذب خاک کمک می‌کنند. کلایی و همکاران (Kolaei et al., 2024) تأثیر کودهای دامی و زئولیت را بر جذب عناصر غذایی در لوبیا بررسی نمودند. آن‌ها دریافتند که تیمار ۷۵:۲۵ دامی:شیمیایی و ۶ تن در هکتار زئولیت تأثیر معنی‌داری بر جذب نیتروژن داشت و با افزایش سطح کود دامی، میزان سبزیگی و غلظت نیتروژن در دانه و اندام‌های هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت. پژوهشگران گزارش کردند که به کارگیری کودهای دامی مختلف از قبیل کودهای گوسفندی و گاوی موجب افزایش نیتروژن گیاه گندم شد، به طوری که بیشترین مقدار جذب نیتروژن دانه و کلش به ترتیب با میانگین‌های ۱۷۳/۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۰/۲۴ درصد از به کارگیری ۱۰۰ درصد کود گوسفندی به دست آمد (Majidi & Shahbazi, 2020). در تحقیق دیگری، غلظت نیتروژن دانه و اندام‌های هوایی گیاه جو با به کارگیری کودهای گوسفندی در دو سال زراعی ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ در ترکیه افزایش معنی‌داری یافت (Erman et al., 2024).

افزودن زئولیت به خاک موجب بهبود خصوصیات خاک (افزایش تخلخل خاک و تهویه بهتر)، رشد ریشه و رهاسازی کنترل‌شده نیتروژن شد که در نتیجه، جذب نیتروژن افزایش یافته و رشد گیاه به طور قابل توجهی بهبود یافت (Aslani et al., 2021). زئولیت به ویژه کلینوپتیلولایت به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل بالا برای جذب نیتروژن، می‌تواند در کاهش شست‌وشوی نیتروژن و افزایش نیتروژن در گیاه و خاک مؤثر باشد (Hazrati et al., 2020). در مطالعه‌ای که روی جو انجام شد، استفاده از زئولیت،

جدول ۱۰- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر کود گوسفندی و زئولیت بر پروتئین و برخی عناصر غذایی دانه و علوفه جو دیم
Table 10- Combined analysis of variance (mean of squares) of Sheep Manure and zeolite on rainfed barley protein and some nutritional elements of grain and fodder

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		پروتئین دانه Grain protein	دانه Grain N	زئولیت Fodder N	فسفر دانه Grain P	فسفر علوفه Fodder P	پتاسیم دانه Grain K
سال Year (Y)	1	8.64 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	0.08 ^{ns}
تکرار در سال R/Y	4	1.48	0.03	0.04	0.0005	0.0001	0.0001
زئولیت Zeolite (Z)	3	0.94*	0.02 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.10**	0.0004 ^{ns}	0.55**
کود گوسفندی Sheep manure (SM)	3	4.73**	0.2**	0.14**	0.04**	0.0007*	0.12**
زئولیت × کود گوسفندی Z × SM	9	6.06**	0.14**	0.17**	0.08**	0.0003 ^{ns}	0.20**
سال × زئولیت Y × Z	3	0.08 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.005**	0.00006 ^{ns}	0.04 ^{ns}
سال × کود گوسفندی Y × SM	15	0.09 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.003 ^{ns}
سال × زئولیت × کود گوسفندی Y × Z × SM	9	0.15 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.00005 ^{ns}	0.04 ^{ns}
خطای آزمایش Error	60	0.96	0.64	0.03	0.001	0.0003	0.03
ضریب تغییرات C.V (%)	-	9.2	7.1	9.2	14.9	13.9	13.4
							18.1

ns, * and **: are non- significant and significant in probabilite levels of 5 and 1 %, respectively.
ns, * and **: به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطوح احتمال خطای پنج و یک درصد.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل زئولیت × کود گوسفندی روی برخی از عناصر غذایی جو

Table 11- Comparison the mean interaction effects zeolite × sheep manure on rainfed barley some nutritional elements

زئولیت Zeolite (ton ha ⁻¹)	کود گوسفندی Sheep manure (ton ha ⁻¹)	نیترژن دانه Grain N (%)	نیترژن علوفه Fodder N (%)	فسفر دانه Grain P (%)	پتاسیم دانه Grain K (%)
0	0	1.82 ^{c*}	1.53 ^e	0.20 ^c	0.96 ^g
	3	1.99 ^{ab}	1.76 ^{bcd}	0.22 ^c	1.19 ^{def}
	6	1.78 ^c	1.92 ^{abc}	0.30 ^{abc}	1.53 ^b
	9	1.91 ^{abc}	1.86 ^{abcd}	0.29 ^{abc}	1.31 ^{cd}
4	0	1.7 ^d	1.91 ^{abc}	0.30 ^{abc}	1.45 ^{bc}
	3	1.78 ^{cde}	1.96 ^{ab}	0.27 ^{abc}	1.27 ^{cde}
	6	2.05 ^a	1.79 ^{bcd}	0.37 ^a	1.78 ^a
	9	1.63 ^{de}	1.67 ^{de}	0.25 ^{bc}	1.20 ^{def}
8	0	1.90 ^{abc}	1.75 ^{cd}	0.23 ^c	1.14 ^{defg}
	3	2.03 ^a	2.01 ^a	0.22 ^c	1.17 ^{def}
	6	1.64 ^{de}	1.87 ^{abcd}	0.25 ^{bc}	1.18 ^{def}
	9	1.81 ^c	1.86 ^{abcd}	0.25 ^{bc}	1.14 ^{efg}
12	0	1.59 ^e	1.93 ^{abc}	0.24 ^c	1.32 ^{cd}
	3	1.90 ^{abc}	2.04 ^a	0.22 ^c	1.01 ^{fg}
	6	1.98 ^{ab}	1.74 ^{de}	0.26 ^{bc}	1.01 ^{fg}
	9	1.65 ^{de}	1.69 ^{de}	0.23 ^c	1.09 ^{efg}

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Means in each coulmmns with the same letter in each column are not significantly different at the five precent probability level with LSD.

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × زئولیت بر فسفر دانه جو

Table 12- Comparison the mean interaction effects year × zeolite on rainfed barley grain P

سال Year	زئولیت Zeolite (ton ha ⁻¹)	فسفر دانه Grain P (%)
اول First	0	0.22 ^{b*}
	4	0.31 ^a
	8	0.24 ^{ab}
	12	0.23 ^{ab}
دوم Second	0	0.24 ^{ab}
	4	0.27 ^{ab}
	8	0.31 ^a
	12	0.23 ^{ab}

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Means in each coulmmns with the same letter in each column are not significantly different at the five precent probability level with LSD.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین اثر کود گوسفندی بر فسفر و پتاسیم علوفه جو

Table 13- Comparison the mean effects sheep manure on rainfed barley fodder p and k

کود گوسفندی Sheep manure (ton ha ⁻¹)	فسفر علوفه Fodder P (%)	پتاسیم علوفه Fodder K (%)
0	0.10 ^{b*}	1.28 ^b
3	0.11 ^b	1.51 ^{ab}
6	0.12 ^a	1.63 ^a
9	0.11 ^{ab}	1.60 ^a

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Means in each coulmmns with the same letter in each column are not significantly different at the five precent probability level with LSD.

هکتار زئولیت، تیمارهای ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی با کاربرد ۱۲ تن در هکتار زئولیت اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۶). براساس مقایسه میانگین کود گوسفندی بر پتاسیم علوفه، بیشترین میزان پتاسیم علوفه با میانگین های ۱/۶۳ و ۱/۶۰ درصد به ترتیب به تیمارهای ۶ و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی اختصاص یافت که نسبت به شاهد ۲۱ درصد پتاسیم علوفه را افزایش داد (جدول ۱۳).

پتاسیم در افزایش محتوای نشاسته، کربوهیدرات ها و پروتئین ها، بهبود فتوسنتز و فعالیت آنزیم ها، تقویت سنتز پروتئین، کربوهیدرات ها و روغن نقش مهمی دارد. همچنین این عنصر به افزایش توانایی گیاهان در مقابله با آفت ها و بیماری ها کمک می کند (Perry et al., 2010). نتایج تحقیقی نشان داد که افزایش جذب پتاسیم با رشد سبزینه ای گیاه و جذب نیتروژن و فسفر ارتباط مستقیم دارد (Choudhury & Khanif, 2011). به نظر می رسد که استفاده از کود گوسفندی به بهبود فراهمی و جذب نیتروژن و فسفر کمک کرده و در نتیجه جذب و ذخیره پتاسیم در دانه و علوفه را بهبود می بخشد. گزارش شده است که فراهمی پتاسیم در ریزوسفر گیاه به دلیل استفاده از کودهای دامی، یکی از عوامل احتمالی افزایش جذب و ذخیره این عنصر در بقایای کاه و کلش است (Shahdi Kumleh et al., 2022). مجیدی و شهبازی (Majidi & Shahbazi, 2020) در آزمایشی نشان دادند که واکنش محتوای پتاسیم دانه به سطوح کود گوسفندی افزایشی بود. بر این اساس، هنگامی که ۱۰۰ درصد کود گوسفندی مصرف شد، محتوای پتاسیم دانه حدود ۰/۴۵ درصد به دست آمد که نسبت به تیمار عدم کاربرد کود موجب افزایش ۳۲ درصدی پتاسیم در گندم شد. علاوه بر این، در مورد اثر کودهای گوسفندی بر غلظت عنصر پتاسیم دانه و علوفه، نتیجه آزمایشی مشخص کرد که کاربرد کود گوسفندی باعث افزایش محتوای پتاسیم در گیاه جو شد (Najafi-Ghiri et al., 2019).

افزایش رشد گیاهان در تیمارهای حاوی زئولیت به دلیل افزایش فراهمی برخی عناصر غذایی است. در این تیمارها، جایگزینی کلسیم به جای آمونیوم و پتاسیم در زئولیت، علاوه بر تأمین پتاسیم باعث حل شدن کانی های فسفره و افزایش غلظت فسفر در خاک می شود. این فرآیندها یعنی تبادل کاتیونی و حلالیت کانی های فسفره، نقش مهمی در جذب و آزادسازی عناصر غذایی و تأمین نیازهای گیاهان دارند (Gruener et al., 2007). در برخی از مطالعات، اثر مثبت زئولیت بر جذب پتاسیم دانه جو (Najafinezhad et al., 2014) و گندم (Abd El-Azeiz et al., 2024) گزارش شده است. محققان در بررسی اثر زئولیت بر جذب عناصر غذایی گزارش کردند که با توجه به اینکه پتاسیم یکی از اجزای اصلی زئولیت می باشد، بنابراین افزایش جذب پتاسیم به وسیله توده گیاهی منطقی به نظر می رسد (Jami et al., 2018).

کود گوسفندی با افزایش زیست توده و تنوع میکروبی در خاک، به تجزیه مواد آلی و معدنی کردن فسفر کمک کرده و آن را به شکل قابل استفاده برای گیاهان تبدیل می کند، که نقش مهمی در چرخه فسفر خاک دارد (Rezaei et al., 2013). از طرفی، زیست توده میکروبی با افزایش مواد ارگانیک در خاک، قابلیت دسترسی فسفر را افزایش می دهد. این فرآیند منجر به آزادسازی CO₂ و تشکیل اسید کربنیک می شود که فسفر معدنی را حل کرده و فسفر قابل جذب برای گیاهان را افزایش می دهد (Gholamhoseini et al., 2013). در تحقیقی، بیشترین میزان فسفر دانه و علوفه جو در تیمارهای کود گوسفندی مشاهده شد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد (Erman et al., 2024). زئولیت ها، توانایی جذب یون ها از جمله فسفر را دارند که می تواند به حفظ فسفر در خاک و جلوگیری از آبشویی آن کمک کند. این ویژگی به بهبود دسترسی گیاه به فسفر و افزایش غنای آن در دانه ها کمک می کند و در تشکیل دانه نقش مهمی ایفا می کند (Zheng et al., 2019). بنابراین فراهمی این عناصر سبب افزایش میزان فسفر در دانه جو شده است. همچنین زئولیت ها می توانند به بهبود ساختار خاک و افزایش جذب فسفر توسط ریشه های گیاهان کمک کنند که این امر به بهینه سازی استفاده گیاهان از فسفر منجر می شود (Cataldo et al., 2021). گزارش شده است که به علت نقش مثبت زئولیت بر تنظیم اسیدیته خاک، کاربرد آن همراه با کودهای دامی به طور قابل توجهی موجب بهبود جذب و کارایی عناصر فسفر، نیتروژن و پتاسیم در دانه و اندام های هوایی گندم شد (Khaliq et al., 2024). در پژوهشی دیگر گزارش شده است که به کارگیری زئولیت با افزایش حلالیت و فراهمی فسفر موجب افزایش ۲۳ درصدی مقدار فسفر در اندام هوایی نسبت به تیمار عدم کاربرد زئولیت در گیاه ذرت شد (Amirahmadi et al., 2022).

پتاسیم دانه و علوفه

تجزیه و تحلیل داده ها نشان داد که پتاسیم دانه تحت تأثیر کود زئولیت، کود گوسفندی و اثر متقابل کود زئولیت × کود گوسفندی در سطح احتمال خطای یک درصد و پتاسیم علوفه فقط تحت تأثیر کود گوسفندی در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی دار شدند (جدول ۱۰). مقایسه میانگین کود زئولیت × کود گوسفندی بر پتاسیم دانه نشان داد که بیشترین میزان این صفت با میانگین ۱/۷۸ درصد در تیمار کاربرد ۶ تن در هکتار کود گوسفندی با ۴ تن در هکتار زئولیت مشاهده شد که نسبت به کمترین میزان آن در تیمار عدم کاربرد زئولیت و کود گوسفندی به میزان ۴۶ درصد پتاسیم دانه را افزایش داد. تیمار عدم کاربرد زئولیت و کود گوسفندی با تیمارهای عدم کاربرد کود گوسفندی و ۹ تن در هکتار کود گوسفندی با کاربرد ۸ تن در

نتیجه گیری

در این پژوهش، تأثیر سیستم ارگانیک با استفاده از کود آلی و زئولیت در مقادیر مختلف بر برخی صفات کمی و کیفی جو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقادیر متوسط کود آلی گوسفندی و زئولیت (به دلیل جذب بیشتر آب و مواد غذایی و فراهمی آن برای رشد گیاه در طول فصل رشد) عملکرد و اجزای عملکرد دانه جو را بهبود بخشید. این منابع موجب افزایش مقدار عناصر ضروری نیتروژن، فسفر و پتاس در بذر گیاه جو کشت شده در یک خاک آهکی شدند، به طوری که به نظر می رسد که کود آلی و زئولیت موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد جو شده اند. به منظور تولید مطلوب گیاه جو

در یک خاک آهکی، به کارگیری کود گوسفندی و زئولیت در مقادیر متوسط (۳-۵ تن در هکتار) با بهبود رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و فراهمی عناصر غذایی می تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد و تولید پایدار گیاه ایفا کند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از اساتید محترم و کارکنان آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد خرم آباد بابت راهنمایی و کمک های آن ها در طول پروژه تقدیر و تشکر به عمل می آید.

References

1. AbdEL-Azeiz, E. H., Elsonbaty, A., & Elsherpiny, M. A. (2024). Enhancing the quantitative and qualitative traits of wheat grown with low mineral nitrogen level through zeolite, sorbitol and copper. *Egyptian Journal Soil Science*, 64(3), 1053-1067.
2. Abdel-Galil, M. A. S., & Abdel-Gawad, A. M. A. (2020). Irrigation water regime and manure extract for wheat production grown under drip irrigation. *Agriculture Sciences Journal*, 3(3), 306-318.
3. Abubaker, J., Ibrahim, N., Alkanami, M., Alaswd, A., & El-Zeadani, H. (2020). Response of winter wheat to the application rate of raw and digested sheep manure alone and supplemented with urea in Libyan desert soil. *Scientific African*, 8, e00332. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00332>
4. Allahresani, M., & Ramazani, S. H. R. (2020.) Effects of biological, chemical and animal fertilizers on photosynthetic pigments, yield and yield components of corn 500 single cross. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 125-143. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.12792>
5. Almeida, R. F., Queiroz, I. D. S., Mikhael, J. E. R., Oliveira, R. C., & Borges, E. N. (2019). Enriched animal manure as a source of phosphorus in sustainable agriculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 203-210. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00291-x>
6. Amirahmadi, E., Ghorbani, M., & Moudry, J. (2022). Effects of zeolite on aggregation, nutrient availability, and growth characteristics of corn (*Zea mays* L.) in cadmium-contaminated soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 233(11), 436. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05910-4>
7. Aslan, M. U., & Arslan, H. (2024). The Effect of Zeolites on Soil and Plant: A Review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(14), 2197-2216. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2346211>
8. Aslani, P., Davari, M., Mahmoodi, M. A., Hosseinpanahi, 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>
9. Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., Masciandaro, G., Manzi, D., Masini, C. M., & Mattii, G. B. (2021). Application of zeolites in agriculture and other potential uses: A review. *Agronomy*, 11, 1547. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081547>
10. Cheraghi, S., Khorgami, A., & Pezeshkpour, P. (2021). Effect of application of barley residue and zeolite on seed yield and water productivity of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed and supplement irrigation conditions in Khoramabad, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 23(2), 198-210. (In Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15625540.1400.23.2.1.7>
11. Choudhury, M. A., & Khanif, Y. M. (2011). Effects of nitrogen, copper and magnesium fertilization on nutrition of some macro and micro nutrients of rice crop. *Bangladesh Research Publications Journal*, 5(3), 201-206.
12. Dubey, P. K., Singh, A., Chaurasia, R., Pandey, K. K., Bundela, A. K., Singh, G. S., & Abhilash, P. C. (2022). Animal manures and plant residue-based amendments for sustainable rice-wheat production and soil fertility improvement in eastern Uttar Pradesh, North India. *Ecological Engineering*, 177, 106551. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106551>
13. Eid, M. S., Khalifa, T. H. H., Shaker, E. M., & Aboelsoud, H. M. (2022). Zeolite and compost as soil amendments to rationalize irrigation water for the barley crop under salt affected soils. *Journal of Soil Sciences*

- and *Agricultural Engineering*, 13(2), 65-74.
14. Elrys, A. S., Raza, S., Abdo, A. I., Liu, Z., Chen, Z., & Zhou, J. (2019). Budgeting nitrogen flows and the food nitrogen footprint of Egypt during the past half century: Challenges and opportunities. *Environment International*, 130, 104895. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.06.005>
15. Elsayy, H. I., Mohamed, A. M., Mohamed, E. N., & Gad, K. I. (2023). The potential of a mixture of zeolite, calcium, and organic compounds on mitigating the salinity stress in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 101(2), 362-381.
16. Erman, M., Çiğ, F., Sönmez, F., & Ceritoğlu, M. (2024). Sheep manure and sewage sludge boost biofortification of barley and restricts heavymetal accumulation in plant tissues. *Journal of Plant Nutrition*, 47(9), 1494-1512. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2315969>
17. FAO. (2023). World Food and Agriculture Statistical Pocketbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
18. Fathi, A., & Mehdiya Afra, M. (2024). Plant growth and development in relation to phosphorus: A review. Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine ClujNapoca. *Agriculture*, 81(1). <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:2022.0012>
19. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H., & Farmanbar, E. (2013). Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research*, 126, 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.08.002>
20. Gomaa, M. A., Ibrahim, I. A. E., Kandil, E., & Hussain, M. A. E. (2021). Performance of barley under organic manure, salinity remediator and selenium as mitigators to soil salinity. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 12(1), 123-133.
21. Gruener, J. E., Ming Jr, D. W., Galindo, C., Henderson, K. E., & Golden, D. C. (2007). Plant productivity and characterization of zeoponic substrates after three successive crops of radish (*Raphanus sativus* L.). *Microporous and Mesoporous Materials*, 105, 279-284. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2007.04.016>
22. Hassan, M. U., Shah, S. T., Basit, A., Hikil, W. M., Khan, M. A., Khan, W., & Said-Al Ahl, H. A. (2024). Improving wheat yield with zeolite and tillage practices under rain-fed conditions. *Land*, 13(8), 1248. <https://doi.org/10.3390/land13081248>
23. Hazrati, S., Khorizadeh, S., & Sadeghi Bakhtouri, A. R. (2020). Growth improvement, yield and nitrogen use efficiency under different nitrogen regimes in sage with zeolite application. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 9(39), 264-288.
24. Jami, M. G., Ghalavand, A., Mokhtassi Bidgoli, A., Baghbani-Arani, A., & Namdari, A. (2018). Effect of manure, zeolite and irrigation on soil properties and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20(2), 151-167. (In persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15625540.1397.20.2.5.0>
25. Khaliq, A., Shehzad, M., Huma, M. K., Tahir, M.M., Javeed, H. M. R., Saeed, M. F., Jamal, A., Mihoub, A., Radicetti, E., & Mancinelli, R. (2024). Synergistic effects of urea, poultrymanure, and zeolite on wheatgrowth and yield. *Soil System*, 8, 18. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010018>
26. Khashei Siuki, A., Shahidi, A., Dastourani, M., Fallahi, H. R., & Shirzadi, F. (2020). Investigating the effect of amendments of zeolite, superabsorbent polymer, and different amounts of irrigation on sesame yield. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(2), 243-255. (In persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/jwra.2020.122261>
27. Kolaei, A., Rafiee, M., Khorgami, A., & Taleshi, K. (2024). Combination of sheep manure and zeolite increase tissue micronutrients yield in red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01817-7>
28. Kordala, N., & Wyzkowski, M. (2024). Zeolite properties, methods of synthesis, and selected applications. *Molecules*, 29(5), 1069. <https://doi.org/10.3390/molecules29051069>
29. Lal, B., Sharma, S. C., Meena, R. L., Sarkar, S., Sahoo, A., Balai, R. C., & Meena, B. P. (2020). Utilization of byproducts of sheep farming as organic fertilizer for improving soil health and productivity of barley forage. *Journal of Environmental Management*, 269, 110765. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110765>
30. Luis Moreno, J., Ondoño, S., Torres, I., & Bastida, F. (2017). Compost, leonardite, and zeolite impacts on soil microbial community under barley crops. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(1), 214-230. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000017>
31. Mahmoud, A. W. M., Mottaleb, A. Z. A., Rowezak, S. A., & Salama, A. M. (2021). The role of nano-silicon and other soil conditioners in improving physiology and yield of drought stressed barley crop. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 67(3), 124-143. <https://doi.org/10.2478/agri-2021-0012>
32. Majidi, A., & Shahbazi, K. (2020). Comparison of sheep and cow manures residual effects on some quantitative

- and qualitative traits of winter wheat. *Iranian Journal of Soil Research*, 34(2), 155-167. (In persian with English abstract). <https://www.magiran.com/p2186337>
33. Makvandi, M., Bakhsandeh, A., & Moshatati, A. (2021). Photosynthetic pigments content and grain quality of triticale as affected by mycorrhiza and zeolite enriched manure compost. *Isfahan University of Technology- Journal of Crop Production and Processing*, 11(1), 55-68. <https://doi.org/10.47176/jcpp.11.1.35131>
 34. Marinangeli, C. P., Nosworthy, M. G., & Shoveller, A. K. (2024). Cereal proteins in the human diet: Reflecting on their contributions to daily protein intake. *Journal of Cereal Science*, 103908. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103908>
 35. Moradi, A., & Shahbazi, K. (2023). Effects of compost and sheep manure on yield and yield components of wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(4), 105-117. (In persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.353778.654971>.
 36. Moshatati, A., Khoai Joghani, A., Siadat, S. A., Mousavi, S. H., & Rezaei, M. (2019). The effect of animal manure and zeolite on the yield of bread wheat under water stress conditions. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 12(4), 1179-1188. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2019.2124.1527>
 37. Moslehi, N., Niknejad, Y., Falah Amoli, H., & Charity, N. (2016). The effect of combined application of chemical, organic and biological fertilizers on some morpho-physiological traits of Tarem Hashemi rice. *Scientific Research Quarterly Journal of Crop Physiology*, 8(30), 103-87. (In Persian).
 38. Mottaghi, S., Mottaghi, L., Shiranirad, A., & Lotfifar, O. (2019). Study the efficiency of zeolite in reduce the effect of drought stress on agronomical traits and seed yield of rapeseed in Karaj region. *Journal of Plant Ecophysiology*, 36, 256-271. (In Persian with English Abstract).
 39. Najafi-Ghiri, M., Razeghizadeh, T., Taghizadeh, M. S., & Boostani, H. R. (2019). Effect of sheep manure and its produced vermicompost and biochar on the properties of a calcareous soil after barley harvest. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26, 1532-2416. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1671444>
 40. Najafinezhad, H., Sarvestani, Z. T., Sanavy, S. M., & Naghavi, H. (2014). Effect of irrigation regimes and application of barley residue, zeolite and superabsorbent polymer on forage yield, cadmium, nitrogen and some physiological traits of corn and sorghum. *International Journal of Biosciences*, 5(3), 234-245.
 41. Özkan, R. (2024). Effects of organic and inorganic fertilizers on yield and yield components of barley. *Black Sea Journal of Agriculture*, 7(2), 90-99. <http://dx.doi.org/10.47115/bsagriculture.1361074>
 42. Perry, J. N., Devos, Y., Arpaia, S., Bartsch, D., Gathmann, A., Hails, R. S., Kiss, J., Lheureux, K., Manachini, B., Mestdagh, S., Neemann, G., Ortego, F., Schiemann, J., & Sweet, J. B. (2010). A mathematical model of exposure of non-target Lepidoptera to Bt-maize pollen expressing Cry1Ab with in Europe. *Proceedings Biological Sciences/The Royal Society*, 277, 1417-1425. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2009.2091>
 43. Rayne, N., & Aula, L. (2020). Livestock manure and the impacts on soil health: A review. *Soil Systems*, 4(4), 64. <http://dx.doi.org/10.3390/soilsystems4040064>
 44. Rehakova, M., Cuvanov, S., Dzivak, M., Rimar, J., & Gavalova, Z. (2004). Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 8, 397-404. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cossms.2005.04.004>
 45. Rezaei, H. (2013). A review of the research on the application of animal manure in agricultural lands of Iran. *Journal of Land Management*, 1(1), 55-68. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/lmj.2013.100076>
 46. Rezvani, R., & Kafi, M. (2024). Investigating the effect of irrigation interval and different doses of zeolite on the growth and yield indices on white bean (*Phaseolus lanatus* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 15(1), 75-91. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85616.1076>
 47. Saikanth, K., Singh, B. V., Sachan, D. S., & Singh, B. (2023). Advancing sustainable agriculture: a comprehensive review for optimizing food production and environmental conservation. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(16), 417-425.
 48. Schoppach, R., Soltani, A., Sinclair, T. R., & Sadok, W. (2017). Yield comparison of simulated rainfed wheat and barley across Middle-East. *Agriculture Syemt*, 153, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.12.017>
 49. Shahdi Kumleh, A., Seyedi, S., & Foroughi, M. (2022). Effects of manure application on nutrient uptake in two rice varieties and some post-harvest soil chemical properties. *Land Management Journal*, 10(2), 237-258. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/LMJ.2022.127395>
 50. Shahdi Kumleh, A., Seyedi, S. R., & Haghighi, A. (2021). Effect of organic fertilizer use on the yield of Hashemi and Gilaneh rice cultivars. *Shalazar*, 4, 34-39. (In Persian with English Abstract).
 51. Singh, V. K., Gill, A. A. S., Singh, O., Singh, S., & Shahi, U. P. (2024). Zeolite: A natural mineral for sustainable agriculture. In *Encyclopedia of Green Materials*. Singapore: Springer Nature Singapore, pp. 1-10. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4921-9_263-1
 52. Tak, P., Rami, E., & Negi, A. (2023). Both inorganic and organic manures impact maize and its long-term consequences on the physical and chemical qualities of the soil. *International Journal Chemistry Biochem*

Science, 23, 163-173.

53. Waling, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G., & Van Der Lee, J. J. (1989). Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi part 7. Plant Analysis procedures. Wageningen Agriculture University. 197-200.
54. Yang, C., Du, W., Zhang, L., & Dong, Z. (2021). Effects of sheep manure combined with chemical fertilizers on maize yield and quality and spatial and temporal distribution of soil inorganic nitrogen. *Complexity*, 21(1), 4330666. <https://doi.org/10.1155/2021/4330666>
55. Yari, L., Hashemi, S., & Khandan, A. (2019). Effect of seed moisture content at harvesting and storage temperature on barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars seeds vigor. *Journal Seed Science Reserch*, 6(3), 333-345. <https://doi.org/10.22124/jms.2019.3816>
56. Zheng, J., Chen, T., Chi, D., Xia, G., Wu, Q., Liu, G., & Siddique, K. H. (2019). Influence of zeolite and phosphorus applications on water use, P uptake and yield in rice under different irrigation managements. *Agronomy*, 9(9), 537. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090537>
57. Zokaee Khosroshahi, M., Karimi, R., & Toranjian, A. (2023). Influence of soil application of natural zeolite and farmyard manure on physiological indices of Grapevine under drought stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 15(1), 65-84. <https://doi.org/10.22108/IJPB.2024.139739.1340>



Optimizing Sowing Date and Plant Density to Improve Reproductive Traits and Yield of the Medicinal-Industrial Indigo Plant (*Indigofera tinctoria* L.) in Shushtar County

M. R. Zargaran Khouzani¹, M. H. Gharineh¹, A. Koochekzadeh^{1*}, A. Lotfi Jalalabadi¹

1- Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

(*- Corresponding author's Email: koochekzadeh@asnrukh.ac.ir)

How to cite this article:

Zargaran Khouzani, M. R., Gharineh, M. H., Koochekzadeh, A., & Lotfi Jalalabadi, A. (2026). Optimizing sowing date and plant density to improve reproductive traits and yield of the medicinal-industrial indigo plant (*Indigofera tinctoria* L.) in Shushtar county. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(1), 115-132. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.93936.1407>

Received: 10 June 2025

Revised: 28 September 2025

Accepted: 29 September 2025

Available Online: 04 October 2025

Introduction

The growing global awareness of the environmental and health risks associated with synthetic chemicals has renewed interest in natural resources for pharmaceuticals, industry, and sustainable dye production. Indigo (*Indigofera tinctoria* L.), a member of the Fabaceae family, has re-emerged as a crop of interest due to its dual medicinal and industrial value. Traditionally cultivated in Iran, indigo leaves yield a stable natural blue pigment widely used in textiles and cultural heritage preservation. Although synthetic dyes largely displaced indigo in the nineteenth century, contemporary ecological and economic challenges have revived its importance as an eco-friendly alternative. Indigo thrives in warm, frost-free environments but is highly sensitive to both cold and heat stress, particularly during reproductive development. In semi-arid regions such as Shushtar County, Khuzestan Province (Iran), high summer temperatures, soil salinity, and water scarcity impose major constraints on cultivation. Sowing date and plant density are key agronomic factors that determine how crops adapt to these stresses by influencing phenological development, reproductive success, and resource use efficiency. This study aimed to assess the effects of sowing date and plant density on reproductive traits and seed yield of indigo under semi-arid conditions to identify optimal management strategies for sustainable production.

Materials and Methods

Two field experiments were conducted over two consecutive seasons (2022–2023) at distinct sites: Shahid Bahonar Agricultural School (Year I) and Shahid Sharafat Greenhouse Complex (Year II). Both experiments employed a split-plot design within a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Sowing date was assigned to main plots, and plant density to subplots. In 2022, six sowing dates (April 29, May 19, June 8, June 28, July 18, and August 7) were evaluated in combination with four plant densities (30, 40, 50, and 60 plants m⁻²). Late sowings (July–August) performed poorly and were excluded in 2023, when only the first four dates were tested with the same densities. Seeds of the local Jiroft ecotype, known for resilience in arid environments, were sown directly in sandy loam soils. Initial soil analysis in 2022 indicated alkaline conditions (pH 7.56, EC 2.04 dS m⁻¹), which improved in 2023 (pH 7.18, EC 1.59 dS m⁻¹). After thinning at the 3–4 leaf stage, stands were adjusted to target densities, and manual weeding was conducted throughout the season. Standard agronomic practices were followed, including furrow irrigation and basal fertilization with urea, diammonium phosphate (DAP), and potassium sulfate. Measured traits included pods per plant, seeds per pod, thousand-seed weight (TSW), and seed yield (g m⁻²). Grain yield was harvested from the central subplot area to



Authors retain the copyright. 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/).

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.93936.1407>

avoid border effects. Data were analyzed using ANOVA, least significant difference (LSD) test at 5% probability, correlation analysis, and interaction analyses with SAS v9.4 and SPSS v26.

Results and Discussion

Sowing date imposed a much stronger effect than plant density on reproductive performance and yield ($p < 0.01$). The earliest sowing date (April 29) consistently produced the highest yields: 105.3 g m⁻² in 2022 and 114.2 g m⁻² in 2023. In contrast, the latest sowing (August 7) yielded only 47.5 g/m², representing more than a 50% reduction. Delayed sowing after mid-July exposed plants to severe heat stress during flowering and pod filling, shortening the growing period and sharply reducing reproductive output. Plant density significantly interacted with sowing date ($p < 0.05$). Medium density (40 plants m⁻²) maximized yield by balancing efficient resource use with minimal competition. Higher densities (≥ 60 plants m⁻²) intensified intra-specific competition, reducing yield by 10–12%, particularly under late sowing. Conversely, very low densities (< 30 plants m⁻²) underutilized available resources. Among yield components, pods per plant showed the greatest sensitivity. Under optimal conditions (early sowing, 40 plants m⁻²), plants produced up to 126 pods, but this decreased by 45% with late sowing due to heat-induced pod abortion. Seeds per pod also declined sharply (from 9.8 under early sowing to 5.9 under late sowing), reflecting high-temperature stress during pollination and seed set. In contrast, TSW remained stable (4.42–4.59 g) across treatments, indicating strong genetic control and limited responsiveness to environmental or management factors. Correlation analysis confirmed that seed yield was strongly associated with pods per plant ($r = 0.94$) and seeds per pod ($r = 0.87$), whereas TSW had only a weak relationship ($r = 0.32$). Thus, reproductive structure abundance was the primary driver of yield variability. Year-to-year comparisons demonstrated notable improvements in 2023. Reduced soil salinity (EC decline from 2.04 to 1.59 dS m⁻¹) and lower pH enhanced nutrient uptake and physiological efficiency, supporting greater pod and seed set. Additionally, exclusion of late sowing dates in 2023 minimized exposure to extreme heat stress, further improving performance relative to 2022.

Conclusion

The results highlight the decisive role of sowing date in determining reproductive performance and yield of Indigo under semi-arid conditions. Early sowing (April 29) combined with moderate density (40 plants m⁻²) consistently improved yield and reproductive efficiency, while delayed sowing and high densities markedly reduced performance. The year-to-year improvement further demonstrated the positive contribution of enhanced soil quality to reproductive success. Overall, this study emphasizes that precise agronomic management—particularly early sowing and optimal density—ensures stable and sustainable indigo production in hot, stress-prone environments. Given the growing global demand for natural, eco-friendly dyes and medicinal plants, these findings provide a strong scientific basis for the revival and expansion of indigo cultivation in Iran and similar semi-arid regions.

Keywords: Grain yield, Heat stress, Reproductive traits, Soil quality, Sustainability of production

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۱۱۵-۱۳۲

بهینه‌سازی تاریخ کاشت و تراکم گیاهی به منظور بهبود صفات زایشی و عملکرد گیاه دارویی - صنعتی نیل (*Indigofera tinctoria* L.) در شهرستان شوشتر

محمدرضا زرگران خوزانی^۱، محمدحسین قرینه^۱، احمد کوچک زاده^{۱*}، امین لطفی جلال آبادی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷

چکیده

گیاه دارویی-صنعتی نیل (*Indigofera tinctoria* L.) به دلیل تولید رنگدانه طبیعی ایندیگو کارمین و کاربردهای گسترده دارویی و صنعتی، در گذشته جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی ایران به‌ویژه در شوشتر، دزفول و رامهرمز داشته است. با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و تمایل جهانی به جایگزینی رنگ‌های مصنوعی با منابع طبیعی، اهمیت احیای کشت آن دوباره آشکار شده است. به منظور بررسی تأثیر تاریخ و تراکم کاشت بر صفات زایشی این گیاه، دو آزمایش مستقل طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در شهرستان شوشتر و در قالب طرح کرت‌های خردشده برپایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در سال اول، شش تاریخ کاشت (۹ و ۲۹ اردیبهشت، ۱۸ خرداد، ۷ و ۲۷ تیر و ۱۶ مرداد) و چهار تراکم (۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ بوته در مترمربع) بررسی گردید. با توجه به کاهش شدید عملکرد در تیمارهای دیرکاشت (تیر و مرداد) ناشی از تنش گرمایی و کوتاه شدن دوره رشد، این دو تاریخ در سال دوم حذف شد و آزمایش با چهار تاریخ کاشت بهینه و همان تراکم‌ها تکرار گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS ۹/۴ و SPSS و از طریق تحلیل واریانس (ANOVA)، آزمون LSD و همبستگی پیرسون تجزیه شدند. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت اثر قوی‌تری نسبت به تراکم دارد. بیشترین عملکرد دانه از کاشت زود هنگام (۹ اردیبهشت) در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع به دست آمد (۱۰۵/۳ و ۱۱۴/۲ گرم در مترمربع در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲). تأخیر در کاشت موجب کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصدی عملکرد شد. تراکم‌های بالاتر از ۴۰ بوته نیز به دلیل رقابت درون‌گونه‌ای عملکرد را ۱۰ تا ۱۲ درصد کاهش دادند. عملکرد دانه همبستگی بالایی با تعداد غلاف در بوته ($r=0.94$) و تعداد دانه در غلاف ($r=0.87$) داشت، درحالی‌که وزن هزار دانه پایدارتر بود. برتری سال دوم علاوه بر حذف تیمارهای دیرکاشت، بهبود شرایط خاک شامل کاهش شوری (۲۲ درصد) و اسیدیته (۵ درصد) نیز بود. در مجموع، کاشت زود هنگام همراه با تراکم متوسط (۴۰ بوته در مترمربع)، راهبردی مؤثر برای دستیابی به عملکرد بالا و پایدار نیل در شرایط گرم و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و می‌تواند مبنایی علمی برای توسعه کشاورزی پایدار و احیای این گیاه ارزشمند باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری تولید، تنش گرمایی، صفات زایشی، عملکرد دانه، کیفیت خاک

مقدمه

به‌عنوان گزینه‌های جدیدی برای توسعه کشاورزی پایدار تسهیل کرده است. یکی از این گیاهان، نیل (*Indigofera tinctoria* L.) است که به‌عنوان گیاهی دارویی و صنعتی از خانواده بقولات (Fabaceae) شناخته می‌شود (Zargaran Khouzani et al., 2022).

نیل، سابقه‌ای طولانی کشت و کار در ایران دارد و به‌ویژه از برگ‌های آن رنگدانه آبی رنگ ایندیگو استخراج می‌شود. این رنگدانه دارای ثبات بالایی است و در رنگرزی پارچه و اشیاء تاریخی کاربرد دارد. متأسفانه این گیاه در سایه ظهور رنگ‌های شیمیایی مصنوعی در قرن نوزدهم به فراموشی سپرده شد، اما استفاده از رنگ‌های طبیعی به‌جای رنگ‌های مصنوعی در سال‌های اخیر مجدداً مورد توجه قرار گرفته است (Zargaran Khouzani et al., 2019). منشأ نیل به

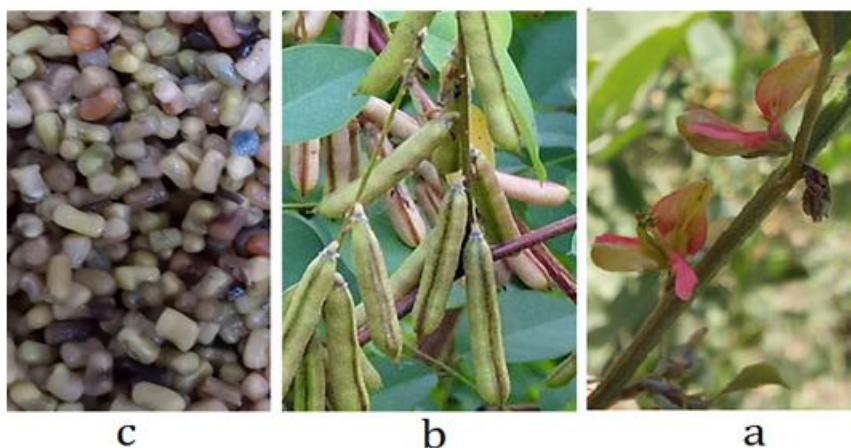
در سال‌های اخیر، با توجه به آگاهی بیشتر جوامع نسبت به عوارض منفی مواد شیمیایی و فرآورده‌های مصنوعی، تمایل به استفاده از منابع طبیعی و گیاهی به‌ویژه در حوزه‌های دارویی، صنعتی و رنگرزی افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته است. این تغییر سبک زندگی و تمایل به‌سوی پایداری و سلامت، کشت گیاهان خاصی که پیش‌تر تنها در مناطق طبیعی و به‌صورت خودرو یافت می‌شدند را

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

(*) نویسنده مسئول: koochekzadeh@asnruk.ac.ir (Email:)

برای آن نیستند. دمای متوسط مناسب برای رشد نیل حدود ۳۰ درجه سانتی گراد است و حداقل دمای لازم برای جوانه زنی بذر آن بین ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی گراد گزارش شده است (Modafeh Behzadi et al., 2019). همچنین این گیاه به یک دوره بدون یخبندان به طول ۱۲۰ روز نیاز دارد و دماهای زیر صفر می توانند به آن آسیب جدی وارد کنند (شکل ۱).

آسیای شرقی بازمی گرد (Sarhadi et al., 2014)، اما امروزه در مناطق گرم و نیمه مرطوب جنوب شرقی آسیا، آفریقا و برخی نقاط اروپا نیز کشت می شود. این گیاه به طور عمده در مناطق حاره ای و نیمه حاره ای رشد می کند و بهترین عملکرد را در شرایط آب و هوایی گرم نشان می دهد. نیل تا ارتفاع ۱۲۵۰ متری از سطح دریا قابلیت کشت دارد، اما مناطق با ابرناکی زیاد در دوره رشد، شرایط مناسبی



شکل ۱- ریخت شناسی اجزای زایشی گیاه نیل: (a) گل آذین، (b) غلاف، (c) بذر

Figure 1- Morphology of reproductive parts in indigo (*Indigofera tinctoria* L.): (a) Inflorescence, (b) Pod, (c) Seed

دارد، تراکم بوته است. تراکم مناسب به عنوان یکی از اصول بنیادین زراعت هر محصول، تأثیر مستقیمی بر نحوه استفاده از منابع محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی دارد. افزایش تراکم بیش از حد مطلوب منجر به رقابت بیشتر بین بوته ها شده و در نهایت عملکرد را کاهش می دهد، درحالی که کاهش تراکم از حد بهینه باعث استفاده ناکافی از منابع موجود و در نتیجه کاهش بهره وری می شود (Diwan et al., 2018; Martin & Deo, 2001).

خرمدل و همکاران (Khorramdel et al., 2017) در تحقیقی روی اثر سطوح مختلف کود دامی و تراکم بوته گیاه نیل دریافتند که تأثیر این عوامل بر صفاتی زایشی معنی دار بود. مدافع بهزادی و همکاران (Modafeh Behzadi et al., 2019) نشان دادند که تراکم بوته تأثیر معنی داری بر صفات زایشی گیاه دارویی نیل داشته و تراکم مطلوب، ۴۵ بوته در مترمربع تعیین شد. در آزمایشی که توسط نیکبخت راینی (Nikbakht Rayini, 2012) در بررسی اثر تراکم بر عملکرد بذر نیل اجرا گردید، گزارش شد که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، عملکرد بذر به دلیل افزایش تعداد نیام و تعداد دانه در نیام به صورت خطی افزایش یافت.

نیل از نظر شیمیایی دارای ترکیبات متنوعی است که شامل آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، فلاونوئیدها، تانن ها، ترکیبات فنولیک، اسیدهای آمینه، کربوهیدرات ها و مواد معدنی است. مهم ترین ماده

در مدیریت زراعی این گیاه، تعیین زمان مناسب کاشت یکی از مهم ترین عوامل مؤثر بر رشد، نمو و عملکرد آن محسوب می شود. کاشت به موقع به بهره برداری بهینه از شرایط محیطی، مهار آفات و بیماری ها، کاهش آلودگی علف های هرز و همچنین هماهنگی فصلی گل دهی با دمای مطلوب کمک می کند (Ullah & Honermeier, 2013). مدافع بهزادی و همکاران (Modafeh Behzadi et al., 2019) در تحقیق خود روی گیاه نیل در شهرستان بهم نشان دادند که تاریخ کاشت ۱۵ فروردین، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد و با تأخیر در کاشت از ۱۵ فروردین به ۲۹ اردیبهشت، تعداد غلاف در بوته ۶۷ درصد کاهش یافت.

همچنین انصوری و همکاران (Ansori et al., 2016) در پژوهشی نیز روی گیاه نیل نشان دادند که تاریخ کاشت زود هنگام به دلیل طولانی تر بودن دوره رشد و بیشینه ماده خشک تجمعی، سرعت رشد را به ترتیب ۴/۴۱ و ۳/۵۹ برابر بیشتر از تاریخ کاشت ۲۷ تیر می کند. همچنین کاشت زودتر، عملکرد زیستی را ۴۷/۲۷ درصد افزایش داد. زمان کاشت به عنوان یکی از اساسی ترین تصمیمات مدیریتی در کشاورزی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند طول روز، دما و رطوبت نسبی قرار دارد و نقش برجسته ای در تعیین طول دوره رشد رویشی و زایشی گیاه دارد (Khichar & Niwas, 2006).

عامل دیگری که در دستیابی به عملکرد بهینه گیاه نیل اهمیت

جغرافیایی ۴۸ درجه و ۷۴ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ و ۰۷ دقیقه) و سال ۱۴۰۲ در مجتمع گلخانه‌ای شهید شرافت شوشتر (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۷۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ و ۰۹ دقیقه) به اجرا درآمده است (شکل ۲).

شوشتر با مساحت ۲۴۳۶ کیلومترمربع و طول جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه و عرض جغرافیایی بین ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه، با میانگین دما ۲۷/۲ درجه سلسیوس و متوسط بارندگی سالانه ۳۲۲ میلی‌متر (شکل ۳ و ۴)، به‌عنوان یکی از شهرستان‌های استان خوزستان، با شرایط اقلیمی خاص خود، بستر مناسبی برای پرورش گیاهان زراعی به‌ویژه نیل فراهم می‌کند.

طرح آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار اجرا شد. این طرح به‌منظور کنترل تغییرات ناشی از ناهمگنی‌های محیطی موضعی از جمله تغییرات جزئی در بافت خاک، شیب زمین، رطوبت محلی و دسترسی به نور خورشید انتخاب گردید. بررسی‌های اولیه نشان داد که در هر دو مکان آزمایش (هنرستان کشاورزی شهید باهنر و مجتمع گلخانه‌ای شهید شرافت)، شرایط خاک و توپوگرافی در جهت‌های خاصی (به‌ویژه شرق به غرب) دارای الگوی شیب‌داری بوده است. بنابراین، با تقسیم هر سال آزمایش به سه بلوک مستقل، اثرات این ناهمگنی‌های محیطی درون بلوک‌ها کاهش یافته و تنها تغییرات ناشی از تیمارهای آزمایشی (تاریخ کاشت و تراکم) مورد ارزیابی قرار گرفت.

مؤثره این گیاه، ایندیگو است که یک متابولیت ثانویه طبیعی محسوب می‌شود. این رنگدانه از گلیکوزیدهایی مانند ایندیکان تشکیل می‌شود که تحت واکنش‌های آنزیمی و اکسیداسیونی به ایندیگو آبی و ایندیروبین قرمز رنگ تبدیل می‌شوند (Kun Lestari, 1998; Sales et al., 2006). این ترکیبات علاوه بر کاربرد رنگرزی، دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و دارویی نیز هستند (Chanayath et al., 2002).

با وجود اینکه استفاده از رنگ‌های مصنوعی در قرون اخیر، جایگاه نیل را در صنایع رنگرزی کاهش داده است، ولی با توجه به افزایش تقاضا برای رنگ‌های طبیعی و دوستدار محیط زیست، این گیاه مجدداً می‌تواند به‌عنوان یک منبع مهم اقتصادی و فرهنگی مطرح شود (Zargaran Khouzani & Daei Naseri, 2025). همچنین با توجه به افزایش جهانی تمایل به گیاهان دارویی و کیفیت بالای گیاهان ایرانی، فرصت‌های مناسبی برای توسعه کشت و صادرات گیاه نیل در کشور فراهم شده است. بنابراین، بررسی دقیق تأثیر عوامل زراعی مانند تاریخ کاشت و تراکم بوته در شرایط اقلیمی مختلف می‌تواند به شناسایی بهترین روش‌های کشت این گیاه دارویی-صنعتی کمک کند و در جهت بهینه‌سازی عملکرد کمی و کیفی آن، گام مؤثری برداشته شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر زمان کاشت و تراکم بوته بر صفات زایشی گیاه دارویی-صنعتی نیل در شهرستان شوشتر طی دو سال ۱۴۰۱ در هنرستان کشاورزی شهید باهنر شوشتر (طول



ب (b)



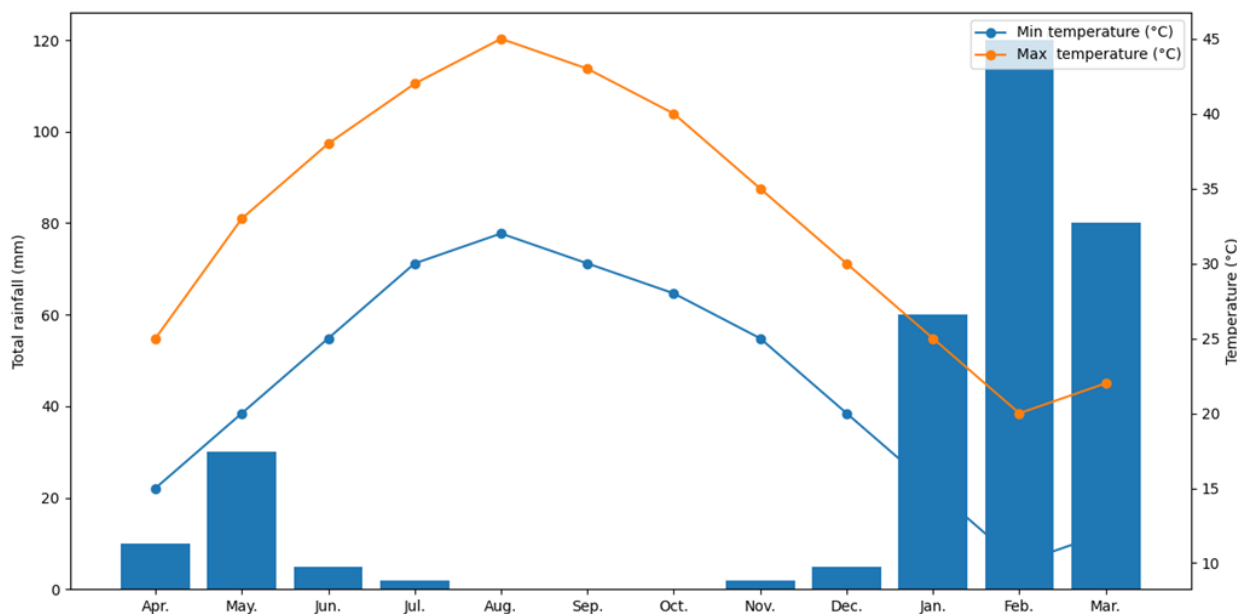
الف (a)

شکل ۲- تصویر هوایی محل‌های اجرای طرح در شهر شوشتر

Figure 2- Aerial view of the experimental sites in Shushtar city

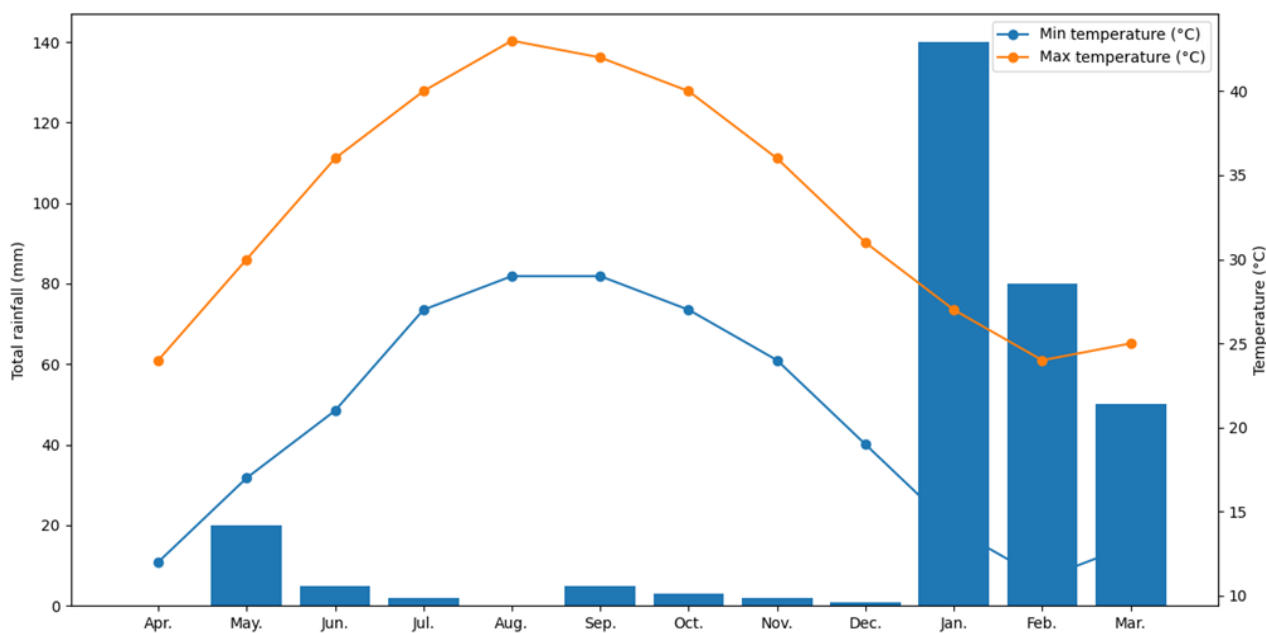
الف: سال ۱۴۰۱ (هنرستان کشاورزی شهید باهنر)، ب: سال ۱۴۰۲ (مجتمع گلخانه‌ای شهید شرافت)

(a): Year 2022 (Shahid Bahonar Agricultural School), b): Year 2023 (Shahid Sharafat Greenhouse Complex)



شکل ۳- میانگین دمای حداقل و حداکثر و میزان بارندگی در سال ۱۴۰۱ شهرستان شوشتر

Figure 3- Average minimum and maximum temperatures and rainfall in 2022 in Shushtar county



شکل ۴- میانگین دمای حداقل و حداکثر و میزان بارندگی در سال ۱۴۰۲ شهرستان شوشتر

Figure 4- Average minimum and maximum temperatures and rainfall in 2023 in Shushtar county

عملیاتی دشوار و پرخاش می‌باشد. در مقابل، تنظیم تراکم گیاهی تنها با کنترل فاصله بین بوته‌ها در مرحله کاشت یا تنک‌سازی اولیه امکان‌پذیر است و به‌راحتی در سطح زیرکرت‌ها قابل اجرا است. در سال اول آزمایش، عامل اصلی شامل شش تاریخ کاشت (۹ و ۲۹ اردیبهشت، ۱۸ خرداد، ۷ و ۲۷ تیر و ۱۶ مرداد) و عامل فرعی

در این طرح، تاریخ کاشت به‌عنوان عامل اصلی (Main plot) و تراکم گیاهی به‌عنوان عامل فرعی (Subplot) در نظر گرفته شد. این انتخاب براساس ماهیت عملیاتی تیمارها صورت گرفت، زیرا تغییر تاریخ کاشت مستلزم اجرای عملیات کشت در زمان‌های مجزا و غیرهمزمان است که اجرای آن در واحدهای کوچک (زیرکرت) از نظر

اصلاح ساختاری با هدف بهینه‌سازی طرح آزمایشی و تمرکز بر تیمارهای مؤثر انجام گرفت.

در نتیجه، آزمایش در سال دوم با چهار تاریخ کاشت بهینه (۹ و ۲۹ اردیبهشت، ۱۸ خرداد و ۷ تیر) و چهار سطح تراکم بوته (۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ بوته در مترمربع) به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. این رویکرد تطبیقی، امکان بررسی دقیق‌تر اثرات تیمارهای مؤثر بر عملکرد گیاه نیل را در شرایط اقلیمی منطقه فراهم کرد.

برای ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک، به‌صورت ترکیبی و منظم-تصادفی، پیش از اجرای تیمارهای آزمایشی (قبل از کاشت) در هر سال انجام شد. در هر بلوک آزمایشی، پنج نمونه نقطه‌ای براساس الگوی W (شکل ۵) جمع‌آوری و پس از اختلاط، یک نمونه ترکیبی (Composite Sample) تشکیل گردید. بدین ترتیب، سه نمونه ترکیبی مستقل (یکی در هر بلوک) در هر سال برای تحلیل آزمایشگاهی تهیه شد. این روش نمونه‌برداری مطابق با استانداردهای بین‌المللی FAO و USDA بوده و نماینده بودن داده‌های خاک از کل سطح آزمایش را تضمین می‌کند.

آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه آب و خاک شوشتر انجام شد و مقادیر گزارش‌شده در **جدول ۱ و ۲**، میانگین سه نمونه ترکیبی را نشان می‌دهند که وضعیت کلی خاک منطقه را در آغاز هر سال نمایندگی می‌کنند.

در سال اول و دوم (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، آماده‌سازی بستر کشت دو ماه قبل از تاریخ کاشت اول به‌ترتیب در اسفند ماه سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ آغاز شد و شامل دو نوبت شخم عمود بر هم، تسطیح زمین و ایجاد جوی‌های اصلی و فرعی بود. ابعاد کرت‌ها فرعی ۳×۵ متر با فاصله دو ۲ متر بین کرت‌های اصلی و یک متر بین کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد و فواصل کاشت براساس تراکم‌های مختلف تنظیم گردید.

شامل چهار سطح تراکم بوته (۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ بوته در هر مترمربع) در نظر گرفته شد. انتخاب طرح کرت‌های خردشده به‌دلیل تفاوت در ماهیت اجرایی تیمارها صورت گرفت؛ به‌گونه‌ای که تاریخ کاشت به‌عنوان عامل اصلی انتخاب شد، چرا که تغییر مکرر تاریخ کاشت در واحدهای آزمایشی کوچک به لحاظ عملیاتی دشوار و زمان‌بر بوده و نیاز به تفکیک فضایی و زمانی بزرگ‌تری دارد. در مقابل، تراکم بوته به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد، زیرا تنظیم و اجرای دقیق آن در سطح زیرکرت‌های کوچک‌تر بدون دخالت در تیمارهای دیگر و با دقت بالا امکان‌پذیر است. این ساختار طراحی آزمایشی نه تنها از نظر اجرای عملیات کشت و مدیریت تیمارها بهینه بود، بلکه از دیدگاه تحلیل آماری نیز با توجه به تفکیک مناسب عوامل با سطوح مختلف دسترسی و کنترل، منجر به افزایش دقت و اعتبار نتایج آزمایش گردید.

در سال اول آزمایش، به‌منظور اکتشاف محدوده بهینه زمان کاشت نیل در شرایط اقلیمی شوشتر، گستره‌ای از تیمارهای تاریخ کاشت (از کاشت‌های بسیار زود هنگام تا بسیار دیر هنگام) اعمال شد. این پژوهش با هدف شناسایی محدوده مناسب کاشت و بررسی تنش‌های محیطی به‌ویژه گرما و کوتاهی دوره رشد طراحی گردید. بر این اساس، شش تاریخ کاشت از اردیبهشت تا مرداد ماه اعمال شد تا طیف کامل پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی (به‌ویژه گرما و کوتاه شدن دوره رشد) بررسی گردد. تحلیل داده‌های سال اول نشان داد که دو تاریخ کاشت دیر هنگام (۲۷ تیر و ۱۶ مرداد) به‌دلیل قرارگیری گیاه در معرض دمای بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در مراحل حساس گل‌دهی و پر شدن دانه، منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی عملکرد و سقوط گسترده غلاف‌ها شدند و از نظر زراعی و اقتصادی توجیه‌پذیر نبودند.

با توجه به این یافته‌ها، برای افزایش دقت آماری، کاهش خطای آزمایش و تمرکز بر تیمارهای وعده‌بخش، در سال دوم (سال ۱۴۰۲) تصمیم آگاهانه‌ای به‌منظور حذف این دو تاریخ کاشت دیر هنگام (بدون حذف داده‌های سال اول از تحلیل‌های اکتشافی) اتخاذ شد. این

Field layour (split.plot RCBD)					
Rep 1.	.	.	.	.	.
Rep 2.	.	.	.	.	.
Rep 3.	.	.	.	.	.

شکل ۵- نقاط نمونه‌برداری خاک در سه تکرار (بلوک) با استفاده از الگوی W به‌صورت تصادفی

Figure 5- Layout of soil sampling points in three randomized blocks using the W-pattern

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت (عمق ۳۰-۰ سانتیمتر) در سال اول

Table 1- Physical and chemical properties of soil before planting (0-30 cm depth) in the first year

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	نیترژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg kg ⁻¹)	رس Clay (%)	لای Silt (%)	ماسه Sand (%)
7.56	2.04	0.20	7	480	13	48	39

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت (عمق ۳۰-۰ سانتیمتر) در سال دوم

Table 2- Physical and chemical properties of soil before planting (0-30 cm depth) in the second year

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	نیترژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg kg ⁻¹)	رس Clay (%)	لای Silt (%)	ماسه Sand (%)
7.18	1.59	0.047	4	430	13	48	39

کوددهی و جمع‌آوری داده‌ها) به‌صورت استاندارد و یکسان در تمام تیمارها انجام شد.

در بخش ارزیابی صفات زایشی، اندازه‌گیری اجزای عملکرد نقش مهمی در درک توانایی تولیدمثلی و عملکرد نهایی گیاه نیل ایفا می‌کند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بودند. از هر کرت فرعی (۳×۵ مترمربع)، ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی-سیستماتیک برای اندازه‌گیری صفات زایشی انتخاب شدند. اندازه نمونه (n=۱۰) براساس تحلیل توان آماری (Power Analysis) و تجربه مطالعات مشابه تعیین گردید. در آزمایش‌های پایلوت و مطالعات مشابه مشخص شد که با ۱۰ بوته، واریانس صفات زایشی (مانند تعداد غلاف و دانه در غلاف) به اندازه کافی پایدار می‌شود. بر این اساس و با توجه به قانون حد مرکزی و برآورد میانگین جامعه، نمونه‌های ۱۰ تایی در شرایط همگنی کرت‌ها (با تنک‌سازی و مدیریت یکسان) کافی برای تخمین قابل اعتماد میانگین هستند. اندازه نمونه با مطالعات مشابه در گیاهان دارویی مانند گیاه نیل (Modafeh Behzadi et al., 2019)، گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) (Zeynali Charkandi et al., 2021) و گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Farzaghy & Monemizadeh, 2014) که از ۵ تا ۱۲ بوته استفاده کرده‌اند، سازگار است. تعداد غلاف و دانه در بوته با شمارش مستقیم و محاسبه میانگین تعیین گردید. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، دو نمونه ۱۰۰۰ دانه به‌صورت تصادفی از بذر جمع‌آوری‌شده از هر کرت فرعی انتخاب و وزن‌گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان مقدار نهایی گزارش گردید؛ این روش مطابق با دستورالعمل‌های بین‌المللی آزمایشگاه‌های تجزیه بذر (ISTA) است و با کاهش خطای شمارش و ارزیابی تکرارپذیری، دقت و اعتبار اندازه‌گیری را افزایش می‌دهد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه، یک ناحیه نماینده به مساحت سه

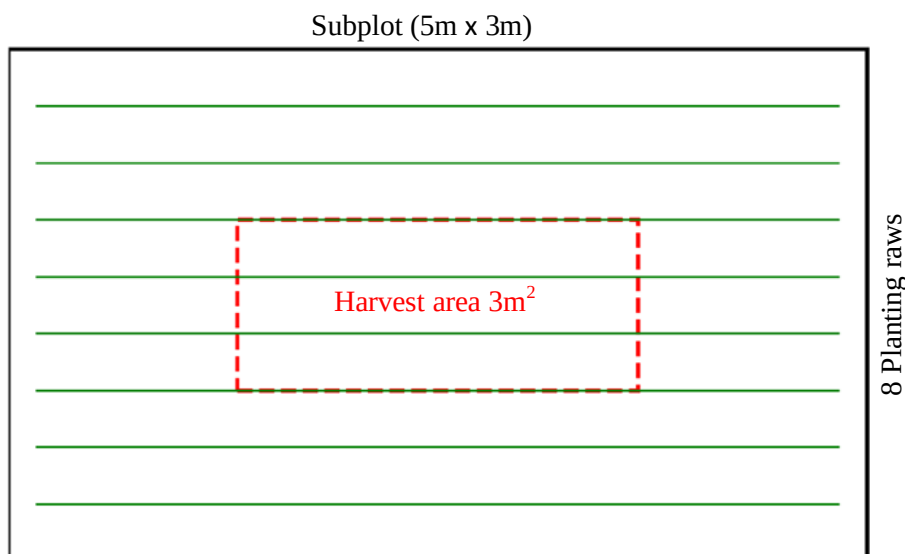
بذرهای مورد استفاده از توده شهر جیرفت تهیه و به‌صورت دستی و برنامه‌ریزی‌شده در تاریخ‌های تعیین‌شده کاشته شدند. اگرچه تهیه بذر از منطقه کاشت ایده‌آل است، اما در عمل، عدم وجود بذر این گیاه در شوشتر و وجود یک توده مرجع معتبر (جیرفت) با سازگاری بوم‌شناختی بالا، این انتخاب را منطقی و علمی کرد. استفاده از یک توده واحد در کل آزمایش، اثر عامل ژنتیکی را کنترل و از تداخل آن با اثر تیمارهای زراعی جلوگیری می‌کند. بنابراین، تفاوت‌های مشاهده‌شده در صفات زایشی و عملکرد، ناشی از تیمارهای تاریخ کاشت و تراکم بوده و نه تغییر در توده ژنتیکی. تمام بذرهای به‌صورت دستی و در یک روز مشخص برای هر تاریخ کاشت کاشته شدند.

در هر تاریخ کاشت، بذرهای با تراکم اولیه بالاتر از حد نهایی (۸۰-۷۰ بوته در مترمربع) کاشته شدند تا از اثرات تلفات جوانه‌زنی جلوگیری شود. پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها (در مرحله ۳-۴ برگ)، عملیات تنک‌سازی به‌صورت دستی انجام شد تا تراکم نهایی به مقادیر ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ بوته در مترمربع برسد. این روش (کاشت متراکم اولیه + تنک‌سازی) یک روش استاندارد در تحقیقات مزرعه‌ای است و اطمینان حاکی از تحقق دقیق تراکم‌های برنامه‌ریزی‌شده را فراهم می‌کند. مهار علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

آبیاری به‌روش کرتی و براساس نیاز آبی گیاه انجام شد، به‌طوری‌که در مراحل ابتدایی رشد، آبیاری هر ۷ تا ۱۰ روز یک بار و در دوره گل‌دهی و پر شدن دانه هر ۵ تا ۷ روز یک بار صورت گرفت. همچنین کوددهی شیمیایی شامل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار آمونیوم فسفات و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم سولفات بود که کود اوره به‌صورت پایه و سرک (در دو مرحله رشد رویشی و قبل از گل‌دهی) اعمال گردید. آزمایش در دو سال متوالی و در دو مکان مشابه با سه تکرار اجرا شد تا اثرات سال و مکان نیز قابل ارزیابی باشد. تمامی مراحل اجرایی (آماده‌سازی بستر، کاشت، آبیاری،

نمونه‌برداری) و امکان‌پذیری عملیاتی تعیین گردید و با توجه به نسبت محیط به مساحت پایین‌تر، اثرات حاشیه‌ای را نسبت به اشکال مربعی یا مستطیلی با عرض بیشتر کاهش می‌دهد (شکل ۶).

مترمربع (یک متر عرض $\times$ سه متر طول) از بخش میانی هر کرت فرعی و پس از حذف یک متر اول و آخر به عنوان اثر حاشیه انتخاب شد؛ این ابعاد براساس تعادل بین دقت آماری (کاهش واریانس



شکل ۶- ابعاد کرت فرعی، چیدمان خطوط کاشت و موقعیت بخش نمونه‌برداری صفات زایشی

Figure 6- Illustration of the dimensions of the sub-plot, planting rows, and location of sampling for reproductive traits

مشابهی داشت، اما مقادیر مطلق بالاتر بودند؛ به طوری که در تاریخ ۹ اردیبهشت، عملکرد به ۱۰۴/۸ گرم بر مترمربع رسید (جدول ۶). این بهبود عملکرد در سال دوم می‌تواند ناشی از بهبود شرایط خاکی باشد، کاهش هدایت الکتریکی (از ۲/۰۴ دسی‌زیمنس بر متر به ۱/۵۹ دسی‌زیمنس بر متر) و کاهش pH (از ۷/۵۶ به ۷/۱۸) (جدول‌های ۱ و ۲) ممکن است تنش شوری را کاهش داده و رشد گیاه و جذب عناصر غذایی را بهبود بخشد.

تراکم ۴۰ بوته در مترمربع در هر دو سال، بالاترین عملکرد را تولید کرد (۸۵/۳ و ۹۶/۵ گرم بر مترمربع) (جدول‌های ۷ و ۸) و تحلیل اثر متقابل نشان داد که حداکثر عملکرد در تیمار ۹ اردیبهشت و تراکم ۴۰ به ترتیب به مقدار ۱۰۵/۳ گرم بر مترمربع (جدول ۹) و ۱۱۴/۲ گرم بر مترمربع (جدول ۱۰) حاصل شد. این نتایج بیانگر آن است که ترکیب بهینه زمانی و مکانی کاشت، کلید افزایش عملکرد است. از نظر همبستگی، عملکرد دانه ضریب همبستگی بسیار بالا و معنی‌داری با غلاف در بوته ($r = 0.94$) و با دانه در غلاف نیز همبستگی قوی و معنی‌داری ($r = 0.87$) دارد (شکل ۷). این امر نشان می‌دهد که افزایش تعداد غلاف و دانه در غلاف، به طور مستقیم و به طور قوی بر افزایش عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد، درحالی که با وزن هزار دانه همبستگی ضعیف و غیرمعنی‌داری دارد.

داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزارهای آماری تحلیل گردید تا الگوی بهینه کشت برای شرایط اقلیمی منطقه تعیین شود. اصلاحات در سال دوم، امکان بررسی دقیق‌تر اثر متقابل تاریخ کاشت، تراکم و تغذیه را فراهم آورد و دقت نتایج را به میزان قابل توجهی افزایش داد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در دو سال متوالی با استفاده از روش تجزیه واریانس (ANOVA) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین اثر متقابل متغیرها مورد تحلیل قرار گرفت. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS v9.4 و SPSS v26 انجام شد و رسم نمودارها به وسیله نرم‌افزار Matplotlib انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه، از مهم‌ترین شاخص‌های زایشی در گیاهان زراعی و دارویی (Ydyrys et al., 2024) تحت تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت، تراکم و اثر متقابل آن‌ها در هر دو سال آزمایش (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) قرار داشت ($p < 0.01$) (جدول‌های ۳ و ۴). در سال ۱۴۰۱، بیشترین عملکرد (۹۵/۷ گرم بر مترمربع) در تاریخ ۹ اردیبهشت و کمترین مقدار (۴۷/۵ گرم بر مترمربع) در ۱۶ مرداد مشاهده شد (جدول ۵). در سال ۱۴۰۲ نیز روند

اصول اکوفیزیولوژیک توسعه گیاهان همسو است؛ یعنی تشکیل بیشتر اندام‌های زایشی (غلاف‌ها) و فراهم بودن زمان کافی برای پر شدن دانه‌ها، عوامل به‌طور مستقیم بر عملکرد نهایی مؤثر هستند (Rezvani Moghaddam & Ahmadzadeh Motlagh, 2007). نتایج این مطالعه نشان داد که مدیریت صحیح تاریخ کاشت و تراکم بهینه (حدود ۴۰ بوته در مترمربع) شرایط لازم را برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه در گیاه نیل فراهم می‌کند. این یافته‌ها با مطالعات متعددی روی گیاه نیل (Modafeh Behzadi et al., 2019; Khorramdel et al., 2017; Nikbakht Rayini, 2012) و سایر گیاهان زراعی و دارویی مانند گلرنگ (Karimi-Farzaghy & Soleymani Sardoo et al., 2014)؛ ماش (Monemizadeh, 2014) و گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) (Shakeri et al., 2017) همسو است که نشان می‌دهند، عملکرد دانه یک شاخص حساس و تعیین‌کننده در برنامه‌های بهره‌برداری از گیاهان زراعی و دارویی است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد غلاف در بوته در هر دو سال تحت تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت، تراکم و اثر متقابل آن‌ها قرار داشت ($p < 0.01$) (جدول‌های ۳ و ۴). در سال ۱۴۰۱، تعداد غلاف از ۱۱۵ در ۹ اردیبهشت به ۷۹ در ۱۶ مرداد کاهش یافت (جدول ۵)، و در سال ۱۴۰۲ از ۱۲۳ در ۹ اردیبهشت به ۱۰۴ در ۷ تیر کاهش یافت (جدول ۶). این کاهش شدید با تأخیر در کاشت، نشان‌دهنده حساسیت بالای تشکیل گل‌آذین به طول دوره رشد و شرایط دمایی است. تراکم ۴۰ بوته در مترمربع در هر دو سال بیشترین تعداد غلاف را داشت (۱۰۶ در ۱۴۰۱ و ۱۱۴ در ۱۴۰۲) (جدول‌های ۷ و ۸) که نشان‌دهنده تعادل مناسب بین رقابت و پوشش سطح در این تراکم است. تحلیل اثر متقابل (جدول‌های ۹ و ۱۰) نشان داد که حداکثر غلاف در تیمارهای زود هنگام و تراکم متوسط (۳۰-۴۰) حاصل شد. از نظر همبستگی، غلاف در بوته با عملکرد دانه همبستگی بسیار قوی و معنی‌داری داشت ($r = 0.94$)، و با دانه در غلاف نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت ($r = 0.76$) (شکل ۷). این امر نشان می‌دهد که افزایش تعداد غلاف نه تنها به‌طور مستقیم بر عملکرد تأثیر می‌گذارد، بلکه با افزایش دانه در غلاف هم‌راستا است. بنابراین، غلاف در بوته یک شاخص کلیدی برای اصلاح و انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول است. همبستگی بسیار قوی این صفت با عملکرد دانه نشان می‌دهد که توسعه ساختارهای زایشی (غلاف‌ها)، نقش اصلی را در تعیین عملکرد نهایی گیاه دارند. مدافع بهزادی و همکاران (Modafeh Behzadi et al., 2019) در بررسی گیاه نیل، سلیمانی ساردو و همکاران (Soleymani Sardoo et al., 2017) مطالعه‌ای روی ماش و کریمی فرزقی و منعمی‌زاده (Karimi-Farzaghy & Monemizadeh, 2014) در پژوهشی روی گلرنگ

مدافع بهزادی و همکاران (Modafeh Behzadi et al., 2019) مشاهده کردند که حداکثر عملکرد دانه در گیاه نیل در شرایط بهینه شهرستان بم در زمان کاشت ۱۵ فروردین و تراکم کاشت ۴۵ بوته در مترمربع حاصل می‌شود. انصوری و همکاران (Ansori et al., 2016) مشاهده کردند در کاشت‌های زود هنگام گیاه دارویی نیل، گیاهان قادر به تحمل تراکم‌های بالاتری بوده و از ظرفیت بیشتری برای تولید دانه برخوردارند. این امر را می‌توان به بهتر بودن شرایط محیطی (دما، نور و رطوبت)، توسعه سیستم ریشه‌ای و کاهش تنش‌های رقابتی بین بوته‌ها نسبت داد. کاشت زود هنگام به دلیل طولانی‌تر بودن دوره رشد، بیشینه ماده خشک تجمعی و سرعت رشد را به ترتیب ۴/۴۱ و ۳/۵۹ برابر بیشتر از کاشت در ۲۷ تیر ماه افزایش می‌دهد. کاهش تدریجی عملکرد دانه در کاشت‌های دیر هنگام (تیر ماه و مرداد ماه) بیانگر اثر منفی تنش گرمایی و کوتاه شدن دوره رشد زایشی است. این پدیده در مطالعات متعددی گزارش شده است؛ زارعی و همکاران (Zarei et al., 2022) در مطالعه‌ای روی گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) گزارش کردند که تأخیر در تاریخ کاشت منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود. همچنین سلیمانی ساردو و همکاران (Soleimani Sardoo et al., 2017) در آزمایشی روی ماش (*Vigna radiata* L.) نشان دادند که تاریخ کاشت دیر هنگام موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تاریخ کاشت ($p < 0.01$) بر عملکرد دانه قوی‌تر از تراکم است. این امر اهمیت زمان‌بندی دقیق کاشت را در دستیابی به حداکثر عملکرد برجسته می‌کند. مدافع بهزادی و همکاران (Modafeh Behzadi et al., 2019) در بررسی گیاه نیل، طهماسبی‌زاده و همکاران (Tahmasbizadeh et al., 2010) در مطالعه‌ای روی گیاه گلرنگ و زینالی چرکندی و همکاران (Zeynali Charkandi et al., 2021) در بررسی بادرسبو نشان دادند که زمان کاشت بهینه می‌تواند منجر به بهبود صفات زایشی و در نتیجه افزایش عملکرد شود. در تراکم‌های بالاتر از ۴۰ بوته در مترمربع، کاهش ۱۰ تا ۱۲ درصدی عملکرد دانه مشاهده شد که ناشی از رقابت شدید بین بوته‌ها برای دسترسی به منابع نوری، آبی و غذایی است که در مطالعه روی همیشه بهار نیز مشاهده شده است. (Rahmani et al., 2011). این رقابت می‌تواند منجر به کاهش فتوسنتز خالص، افزایش خودتنگی و در نهایت کاهش تعداد و وزن دانه‌ها شود (Khorramdel et al., 2017). این پدیده در گیاهان مختلفی از جمله ذرت (*Zea mays* L.) (Fateh et al., 2014) و آلوئه‌ورا (*Aloe barbadensis* miller.) (Nematian et al., 2011) نیز گزارش شده است. از دیدگاه فیزیولوژیک، تاریخ کاشت بهینه، امکان بهره‌برداری حداکثری از منابع محیطی (نور، آب و مواد غذایی) و تطبیق با نیازهای فیزیولوژیکی گیاه در مراحل حساس رشد را فراهم می‌کند (Sales et al., 2006). همچنین این نتایج با

نشان دادند که تعداد غلاف و طبق در بوته به‌عنوان یکی از اجزای اصلی عملکرد، تحت تأثیر مستقیم شرایط محیطی و مدیریت زراعی قرار می‌گیرد. در کاشت‌های زود هنگام، گیاهان قادر به تولید حداکثر غلاف بوده‌اند که این امر را می‌توان به طولانی‌تر بودن دوره رشد، دسترسی به شرایط اقلیمی مناسب‌تر و کاهش تنش‌های رقابتی بین بوته‌ها نسبت داد (Ansori et al., 2016). در کاشت‌های دیر هنگام، کاهش ۴۵ درصدی تعداد غلاف مشاهده شد که ناشی از تنش گرمایی در مراحل حساس رشد (مثل گل‌دهی و تشکیل غلاف) است. تنش‌های دما در این مراحل می‌توانند منجر به سقوط گل‌ها و غلاف‌های اولیه شوند و در نتیجه تعداد غلاف‌های قابل برداشت را کاهش دهند (Soleymani Sardoo et al., 2017). این واکنش در مطالعات متعددی روی گیاهان مختلف گزارش شده است؛ به‌عنوان مثال، لی و همکاران (Li et al., 2019) در مطالعه‌ای روی برنج (*Oryza sativa* L.) مشاهده کردند که تنش گرمایی در مرحله گل‌دهی موجب کاهش قابل توجه تعداد گلچه بارور و دانه‌ها می‌شود. از دیدگاه اکوفیزیولوژیک، در شرایط تنش، گیاه نیل تمایل به تخصیص مجدد منابع به غلاف‌های باقی‌مانده دارد تا از افت کیفیت و بقای نسل جلوگیری کند. این سازوکار فیزیولوژیکی یک واکنش تطبیقی است که به گیاه اجازه می‌دهد حتی در شرایط نامساعد نیز دانه‌های قابل تولید را به‌خوبی پُر کند (Norouzi et al., 2024). پاسخ این صفت به تراکم به‌صورت سهمی شکل بود؛ یعنی در تراکم‌های پایین‌تر، گیاهان فضای کافی برای توسعه ساختارهای زایشی داشتند، اما در تراکم‌های بالاتر از حد بهینه (بالاتر از ۴۰ بوته) ، رقابت شدید بین بوته‌ها برای دسترسی به نور، آب و مواد غذایی منجر به کاهش تعداد غلاف در هر بوته شد (Fateh, et al., 2014). زینالی چرکندی و همکاران (Zeynali Charkandi et al., 2021) در آزمایشی روی بادرسبو مشاهده کردند که افزایش تراکم گیاهی منجر به کاهش تعداد غوزه در بوته شد. افزایش تعداد غلاف در شرایط بهینه زراعی، گواهی بر کارایی بالاتر تبدیل مواد فتوسنتزی به محصول است. این موضوع نشان می‌دهد که گیاه نیل در شرایط مناسب، توانایی بالایی در تخصیص منابع به اندام‌های زایشی دارد که این امر به‌طور مستقیم بر عملکرد نهایی تأثیر می‌گذارد (Khoshnam et al., 2020).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد دانه در غلاف نیز در هر دو سال تحت تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت، تراکم و اثر متقابل آن‌ها قرار داشت ($p < 0.01$) برای تاریخ کاشت و تراکم، $p < 0.05$ در 1401 و 1402 برای اثر متقابل آن‌ها) (جدول‌های ۳ و ۴). در سال 1401 ، دانه در غلاف از $9/1$ در 9 اردیبهشت به $5/8$ در 16 مرداد کاهش یافت (جدول ۵) و در سال 1402 از $9/3$ به $7/8$ در 7 تیر کاهش یافت (جدول ۶). این کاهش می‌تواند ناشی از تنش دمایی در فصل گل‌دهی دیر هنگام، کاهش گرده‌افشانی یا پُر شدن

ناقص دانه‌ها باشد. تراکم 40 بوته در مترمربع در هر دو سال بالاترین مقدار را داشت ($8/5$ و $8/9$) (جدول‌های ۷ و ۸) که نشان‌دهنده تأثیر مثبت تراکم متعادل بر کیفیت گل‌دهی است. تحلیل اثر متقابل (جدول‌های ۹ و ۱۰) نشان داد که حداکثر دانه در غلاف در تیمار 9 اردیبهشت + تراکم 40 حاصل شد ($9/4$ و $9/8$). از نظر همبستگی، دانه در غلاف با عملکرد دانه همبستگی بسیار قوی و معنی‌داری دارد ($r = 0.87$) و با غلاف در بوته نیز همبستگی مثبت و قوی ($r = 0.76$) داشت (شکل ۷). این امر نشان می‌دهد که این دو صفت به‌صورت هم‌راستا و مکمل یکدیگر بر عملکرد تأثیر می‌گذارند و هر دو باید در برنامه‌های به‌نژادی و مدیریت کشت مورد توجه قرار گیرند. فرآیندهای لقاح، تشکیل دانه و توسعه غلاف‌ها در طول دوره رشد نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد نهایی گیاه دارند (Izadi et al., 2022). این تعادل به نحوه تخصیص مواد فتوسنتزی در مرحله پُر شدن دانه بستگی دارد (Nematian et al., 2011). در کاشت‌های زود هنگام و تراکم بهینه، گیاهان قادر به تولید حداکثر تعداد دانه در غلاف بوده‌اند، در مقابل، در کاشت‌های دیر هنگام و تراکم‌های بالاتر از حد بهینه، کاهش چشمگیری در این صفت ثبت شد که احتمالاً ناشی از اختلال در فرآیندهای لقاح و تشکیل دانه تحت تنش گرمایی و کاهش دسترسی به نور در لایه‌های داخلی گیاه است (Akbarnia, 2017; Khorramdel et al., 2013). از دیدگاه فیزیولوژیک، تشکیل دانه‌های متعدد در غلاف به عواملی مانند دمای مناسب در مرحله گل‌دهی، گرده‌افشانی موفق و فراهمی مواد غذایی در زمان مناسب بستگی دارد. دماهای بالا در مرحله گل‌دهی می‌توانند به گرده آسیب برسانند، زنده‌مانی آن‌ها را کاهش دهند و در نتیجه فرآیند لقاح و تشکیل دانه را مختل کنند (Izadi et al., 2022).

در تراکم‌های بالا، کاهش تعداد دانه در غلاف احتمالاً ناشی از رقابت شدید برای نور و فضای فیزیولوژیک و در نتیجه کاهش فتوسنتز خالص و همچنین اختلال در گرده‌افشانی و لقاح است (Sales et al., 2006). اکبرنیا (Akbarnia, 2013) در مطالعه‌ای روی مرزه سهندی مشاهده کرد که تراکم بالا می‌تواند منجر به کاهش کیفیت زایشی گیاه شود. از دیدگاه مدیریت زراعی، این نتایج نشان می‌دهند که برای بهره‌برداری حداکثری از ظرفیت زایشی گیاه نیل، مدیریت دقیق زمان کاشت و کنترل تراکم گیاهی ضروری است. این یافته‌ها با نتایج محققان دیگری از جمله ایزدی و همکاران (Izadi et al., 2022) و نعمتیان و همکاران (Nematian et al., 2011) و مدافع بهزادی و همکاران (Modafeh Behzadi et al., 2019) همسو است که نشان دادند تنش‌های محیطی مانند گرما و رقابت شدید گیاهی می‌تواند به‌طور مستقیم بر تشکیل و رشد دانه تأثیر منفی بگذارد. این مطالعه نشان داد که تاریخ کاشت زود هنگام و تراکم بهینه (حدود 40 بوته در مترمربع)، شرایط لازم را برای حداکثر تعداد دانه در غلاف و در نتیجه افزایش عملکرد دانه فراهم می‌کند.

همچنین این نتایج با مبانی فیزیولوژیکی رشد گیاهان همسو است که در آن، هماهنگی بین رشد رویشی و زایشی نقش کلیدی در تعیین عملکرد نهایی گیاه دارد.

براساس نتایج تجزیه واریانس، وزن هزار دانه در هیچ یک از دو سال تحت تأثیر معنی دار تاریخ کاشت، تراکم یا اثر متقابل آن‌ها قرار نگرفت ($p > 0.05$) (جدول‌های ۳ و ۴). در سال ۱۴۰۱، مقادیر از ۴/۵۳ گرم (۹ اردیبهشت) به ۴/۴۲ گرم (۱۶ مرداد) کاهش یافت (جدول ۵) و در سال ۱۴۰۲ از ۴/۵۶ به ۴/۵۰ گرم (۷ تیر) کاهش یافت (جدول ۶)، اما این تغییرات از نظر آماری معنی دار نبودند. تراکم نیز تأثیر معنی داری بر این صفت نداشت (جدول‌های ۷ و ۸). این مهم نشان‌دهنده ثبات نسبی این صفت در برابر تغییرات زراعی است و بیانگر آن است که وزن هزار دانه بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی تا شرایط محیطی در مرحله پر شدن دانه (مانند رطوبت و دما) قرار دارد. با این حال، مقادیر این صفت در سال ۱۴۰۲ در تمام تیمارها کمی بالاتر بود که ممکن است ناشی از کاهش شوری خاک و بهبود وضعیت رطوبتی در دوره پر شدن دانه باشد (جدول‌های ۱ و ۲). از نظر همبستگی، وزن هزار دانه با عملکرد دانه همبستگی ضعیف و غیرمعنی داری داشت ($r = 0.33^{ns}$)، و با غلاف در بوته ($r = 0.28^{ns}$) و دانه در غلاف ($r = 0.41^{ns}$) نیز همبستگی معنی داری نشان نداد (شکل ۷). این یافته نشان می‌دهد که افزایش عملکرد دانه در این مطالعه عمدتاً ناشی از افزایش تعداد غلاف و دانه بوده و نه افزایش اندازه دانه.

زینالی چرکندی و همکاران (Zeynali Charkandi et al., 2021) در مطالعه‌ای روی بادرشو مشاهده کردند که صفات زایشی مثل وزن هزار دانه تحت تأثیر قابل توجهی از سوی تغییرات مدیریتی نظیر تاریخ کاشت قرار نمی‌گیرند. گیاه نیل دارای سازوکارهای فیزیولوژیکی قوی برای تنظیم و حفظ وزن دانه حتی در شرایط تنش محیطی و رقابت بین بوته‌ها است (Nikbakht Rayini, 2012; Nematian et al., 2011). از دیدگاه ژنتیکی، این نتایج نشان می‌دهند که وزن هزار دانه در گیاه نیل بیش از اینکه متأثر از تغییرات محیطی یا مدیریتی باشد، تحت کنترل عوامل ژنتیکی است و این نتیجه در مورد گیاهان دیگر مانند بادرشو نیز به دست آمده است (Zeynali Charkandi et al., 2021). در پاسخ به محدودیت منابع، گیاه از طریق سازوکارهای فیزیولوژیکی جبرانی، تعداد غلاف و دانه‌ها را کاهش می‌دهد تا بتواند منابع فتوسنتزی را به صورت اولویت‌دار به تعداد کمتری دانه اختصاص دهد و بدین ترتیب کیفیت بذر (مانند وزن هزار دانه) را حفظ کند (Rezvani Moghaddam & Ahmadzadeh Motlagh, 2007). همچنین این پایداری می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که گیاه نیل در طول فرآیند تکامل، از سازوکارهای تنظیمی قوی برای حفظ کیفیت دانه برخوردار شده است. این موضوع از اهمیت بالایی در برنامه‌های اصلاحی و مدیریت زراعی

برخوردار است، زیرا اطمینان از ثبات کیفیت دانه در شرایط مختلف، نقش مهمی در ارزش تجاری و کاربرد صنعتی این گیاه دارد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که وزن هزار دانه گیاه نیل یک صفت نسبتاً پایدار است که بیشتر تحت کنترل عوامل ژنتیکی قرار دارد. بنابراین، این صفت می‌تواند شاخصی مناسب برای انتخاب ارقام مقاوم و پایدار در برنامه‌های اصلاحی باشد. این نتایج با مطالعات متعددی روی گیاه نیل (Modafeh Behzadi et al., 2019) و سایر گیاهان دارویی از جمله همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) (Rahmani et al., 2011) و بادرشو (Zeynali Charkandi et al., 2021) همسو است که نشان می‌دهند وزن هزار دانه یک صفت نسبتاً مستقل از شرایط محیطی است.

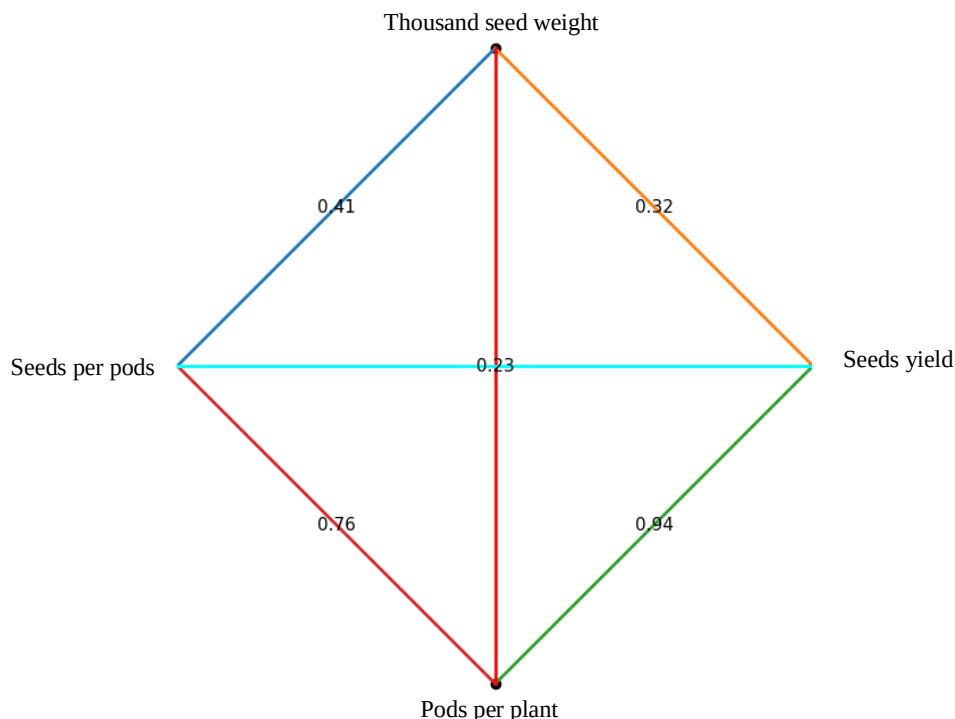
در مجموع، نتایج این مطالعه نشان داد که مدیریت صحیح زمان کاشت و استفاده از تراکم بهینه (حدود ۴۰ بوته در مترمربع) شرایط لازم را برای حداکثر تعداد غلاف و در نتیجه افزایش عملکرد دانه فراهم می‌کند. این نتایج با مطالعات متعددی روی گیاه نیل (Modafeh Behzadi et al., 2019; Khorramdel et al., 2017; Nikbakht Rayini, 2012) و سایر گیاهان زراعی و دارویی از جمله ماش (Soleymani Sardoo et al., 2017)، گلرنگ (Karimi-Shakeri et al., 2014) و گشنیز (Farzaghy & Monemizadeh, 2015) همسو است که نشان می‌دهند تعداد غلاف یک صفت حساس و تعیین‌کننده در برنامه‌های بهره‌برداری از گیاهان زراعی و دارویی است. عملکرد دانه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های زایشی، تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و مدیریتی قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که عملکرد دانه در گیاه نیل عمدتاً تحت تأثیر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف قرار دارد، که هر دو با تأخیر در تاریخ کاشت و تراکم نامناسب کاهش می‌یابند. تحلیل همبستگی (شکل ۷) این رابطه را تأیید می‌کند. همبستگی بسیار بالا و معنی‌دار بین عملکرد دانه با غلاف در بوته ($r = 0.94$) و دانه در غلاف ($r = 0.87$) نشان‌دهنده اهمیت این دو صفت به‌عنوان شاخص‌های انتخابی برای افزایش عملکرد است. در مقابل، وزن هزار دانه اگرچه صفتی پایدار است، اما نقش محدودی در تعیین عملکرد دارد. بهینه‌ترین تیمار، کاشت در ۹ اردیبهشت همراه با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع شناسایی شد. بهبود عملکرد در سال ۱۴۰۲ علی‌رغم کاهش عناصر غذایی، بر اهمیت کیفیت خاک به‌ویژه کاهش شوری و pH مناسب در بهبود رشد و عملکرد گیاهان تأکید دارد. این یافته‌ها برای مدیریت کشت پایدار نیل در مناطق خشک و نیمه‌خشک با خاک‌های شور، به‌ویژه در شرایط تغییرات اقلیمی، ارزشمند است.

پیوست‌ها

نتایج تحلیل واریانس و میاگین اثرات ساده و متقابل، تاریخ کاشت و تراکم و سال بر صفات زایشی گیاه نیل در سال اول و دوم (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)



شکل ۷- شبکه تعاملی همبستگی یبین صفات زایشی
Figure 7- Correlation network among reproductive traits

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تراکم و تاریخ کاشت بر صفات زایشی گیاه نیل (سال ۱۴۰۱)

Table 3- Analysis of variance for the effects of plant density and sowing date on reproductive traits of indigo (2022)

میانگین مربعات Mean of squares					
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه Thousand seed weight	دانه در غلاف seeds per pod	غلاف در بوته Pods per plant
بلوک Block	2	185 ns	0.002 ns	0.15 ns	12.5 ns
تاریخ کاشت Planting date (T)	5	2850**	0.008 ns	2.8**	210**
خطای کرت اصلی Main plot error (Ea)	10	85	0.003	0.18	14.8
تراکم Density (D)	3	980**	0.005 ns	1.5**	95**
T × D	15	320**	0.002 ns	0.45*	32**
خطای کرت فرعی Subplot error (Eb)	36	75	0.002	0.16	12.0

*: معنی‌دار در سطح پنج درصد ($p < 0.05$), **: معنی‌دار در سطح یک درصد ($p < 0.01$)

*: Significant at the 5% level ($p < 0.05$), **: Significant at the 1% level ($p < 0.01$)

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تراکم و تاریخ کاشت بر صفات زایشی گیاه نیل (سال ۱۴۰۲)

Table 4- Analysis of variance for the effects of plant density and sowing date on reproductive traits of indigo (2023)

میانگین مربعات Mean of squares					
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه Thousand seed weight	دانه در غلاف Seeds per pod	غلاف در بوته Pods per plant
بلوک Block	2	210 ns	0.002 ns	0.14 ns	13.2 ns
تاریخ کاشت Planting date (T)	3	3100**	0.007 ns	3.2**	235**
خطای کرت اصلی Main plot error (Ea)	6	90	0.003	0.19	15.5
تراکم Density (D)	3	1150**	0.005 ns	1.8**	110**
T × D	9	350**	0.002 ns	0.52*	38**
خطای کرت فرعی Subplot error (Eb)	24	80	0.002	0.17	13.5

* معنی‌دار در سطح پنج درصد ($p < 0.05$)، ** معنی‌دار در سطح یک درصد ($p < 0.01$)*: Significant at the 5% level ($p < 0.05$), **: Significant at the 1% level ($p < 0.01$)جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده تاریخ کاشت ($\pm$ خطای استاندارد) بر صفات زایشی (۱۴۰۱)Table 5- Mean comparison of the simple effect of sowing date ($\pm$ standard error) on reproductive traits (2022)

تاریخ کاشت Planting date	عملکرد دانه Seed yield (g m ⁻²)	وزن هزار دانه Thousand seed weight (g)	دانه در غلاف Seeds per pod	غلاف در بوته Pods per plant
۹ اردیبهشت March 30	95.7 $\pm$ 3.9	4.53 $\pm$ 0.04	9.1 $\pm$ 0.3	115 $\pm$ 4
۲۹ اردیبهشت April 19	88.1 $\pm$ 3.6	4.51 $\pm$ 0.04	8.7 $\pm$ 0.3	109 $\pm$ 4
۱۸ خرداد May 8	82.0 $\pm$ 3.4	4.49 $\pm$ 0.04	8.3 $\pm$ 0.3	103 $\pm$ 4
۷ تیر June 28	70.0 $\pm$ 2.9	4.47 $\pm$ 0.04	7.5 $\pm$ 0.3	95 $\pm$ 3
۲۷ تیر July 17	58.3 $\pm$ 2.4	4.45 $\pm$ 0.04	6.7 $\pm$ 0.2	85 $\pm$ 3
۱۶ مرداد August 7	47.5 $\pm$ 2.0	4.42 $\pm$ 0.04	5.8 $\pm$ 0.2	79 $\pm$ 3

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر ساده تاریخ کاشت ($\pm$ خطای استاندارد) بر صفات زایشی (۱۴۰۲)Table 6- Mean comparison of the simple effect of sowing date ($\pm$ standard error) on reproductive traits (2023)

تاریخ کاشت Planting date	عملکرد دانه Seed yield (g m ⁻²)	وزن هزار دانه Thousand seed weight (g)	دانه در غلاف Seeds per pod	غلاف در بوته Pods per plant
۹ اردیبهشت March 30	104.8 $\pm$ 4.3	4.56 $\pm$ 0.04	9.3 $\pm$ 0.3	123 $\pm$ 5
۲۹ اردیبهشت April 19	98.2 $\pm$ 4.0	4.55 $\pm$ 0.04	8.9 $\pm$ 0.3	115 $\pm$ 4
۱۸ خرداد May 8	92.4 $\pm$ 3.8	4.53 $\pm$ 0.04	8.5 $\pm$ 0.3	109 $\pm$ 4
۷ تیر June 28	77.5 $\pm$ 3.2	4.50 $\pm$ 0.04	7.8 $\pm$ 0.3	99 $\pm$ 4

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر ساده تراکم ($\pm$ خطای استاندارد) بر صفات زایشی (۱۴۰۱)Table 7- Mean comparison of the simple effect of plant density ($\pm$ standard error) on reproductive traits (2022)

تراکم Density (plants per m ²)	عملکرد دانه Seed yield (g m ⁻²)	وزن هزار دانه Thousand seed weight (g)	دانه در غلاف Seeds per pod	غلاف در بوته Pods per plant
30	72.5 $\pm$ 3.0	4.51 $\pm$ 0.04	8.0 $\pm$ 0.3	102 $\pm$ 4
40	85.3 $\pm$ 3.5	4.53 $\pm$ 0.04	8.5 $\pm$ 0.3	106 $\pm$ 4
50	78.9 $\pm$ 3.3	4.50 $\pm$ 0.04	8.0 $\pm$ 0.3	100 $\pm$ 4
60	70.8 $\pm$ 2.9	4.47 $\pm$ 0.04	7.4 $\pm$ 0.3	93 $\pm$ 3

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر ساده تراکم ($\pm$ خطای استاندارد) بر صفات زایشی (۱۴۰۲)Table 8- Mean comparison of the simple effect of plant density ($\pm$ standard error) on reproductive traits (2023)

تراکم Density (plants per m ²)	عملکرد دانه Seed yield (g/m ²)	وزن هزار دانه Thousand seed weight (g)	دانه در غلاف Seeds per pod	غلاف در بوته Pods per plant
30	82.7 $\pm$ 3.4	4.53 $\pm$ 0.04	8.4 $\pm$ 0.3	110 $\pm$ 4
40	96.5 $\pm$ 4.0	4.56 $\pm$ 0.04	8.9 $\pm$ 0.3	114 $\pm$ 4
50	89.6 $\pm$ 3.7	4.53 $\pm$ 0.04	8.4 $\pm$ 0.3	108 $\pm$ 4
60	80.5 $\pm$ 3.3	4.50 $\pm$ 0.04	7.8 $\pm$ 0.3	100 $\pm$ 4

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم و تاریخ کاشت ($\pm$ خطای استاندارد) صفات زایشی (۱۴۰۱)

Table 9- Mean comparison of the interaction effect of plant density and sowing date on reproductive traits (2022)

تاریخ کاشت Planting date	تراکم Density (plants per m ²)	عملکرد دانه Seed yield (g m ⁻²)	وزن هزار دانه Thousand seed weight (g)	دانه در غلاف Seeds per pod	غلاف در بوته Pods per plant
۹ اردیبهشت March 30	30	92.5 $\pm$ 3.8	4.55 $\pm$ 0.04	9.1 $\pm$ 0.3	120 $\pm$ 5
	40	105.3 $\pm$ 4.3	4.56 $\pm$ 0.04	9.4 $\pm$ 0.3	118 $\pm$ 5
	50	97.8 $\pm$ 4.0	4.53 $\pm$ 0.05	8.9 $\pm$ 0.3	114 $\pm$ 4
	60	87.2 $\pm$ 3.6	4.49 $\pm$ 0.05	8.1 $\pm$ 0.3	106 $\pm$ 4
۲۹ اردیبهشت April 19	30	86.4 $\pm$ 3.6	4.53 $\pm$ 0.05	8.7 $\pm$ 0.3	114 $\pm$ 5
	40	96.0 $\pm$ 4.0	4.55 $\pm$ 0.05	9.0 $\pm$ 0.3	112 $\pm$ 4
	50	89.3 $\pm$ 3.7	4.51 $\pm$ 0.05	8.5 $\pm$ 0.3	108 $\pm$ 4
	60	80.7 $\pm$ 3.3	4.47 $\pm$ 0.05	7.7 $\pm$ 0.3	100 $\pm$ 4
۱۸ خرداد May 8	30	80.2 $\pm$ 3.3	4.51 $\pm$ 0.05	8.1 $\pm$ 0.3	108 $\pm$ 4
	40	89.3 $\pm$ 3.7	4.53 $\pm$ 0.05	8.4 $\pm$ 0.3	106 $\pm$ 4
	50	83.1 $\pm$ 3.4	4.49 $\pm$ 0.05	7.9 $\pm$ 0.3	102 $\pm$ 4
	60	75.0 $\pm$ 3.1	4.45 $\pm$ 0.05	7.1 $\pm$ 0.3	94 $\pm$ 3
۷ تیر June 28	30	68.5 $\pm$ 2.8	4.48 $\pm$ 0.05	7.3 $\pm$ 0.3	100 $\pm$ 4
	40	76.2 $\pm$ 3.2	4.50 $\pm$ 0.05	7.6 $\pm$ 0.3	98 $\pm$ 4
	50	70.9 $\pm$ 2.9	4.46 $\pm$ 0.05	7.0 $\pm$ 0.3	94 $\pm$ 3
	60	64.0 $\pm$ 2.7	4.42 $\pm$ 0.05	6.2 $\pm$ 0.2	86 $\pm$ 3
۲۷ تیر July 17	30	57.1 $\pm$ 2.4	4.46 $\pm$ 0.05	6.4 $\pm$ 0.2	90 $\pm$ 3
	40	63.5 $\pm$ 2.6	4.48 $\pm$ 0.05	6.7 $\pm$ 0.3	88 $\pm$ 3
	50	59.1 $\pm$ 2.5	4.44 $\pm$ 0.05	6.1 $\pm$ 0.2	84 $\pm$ 3
	60	53.4 $\pm$ 2.2	4.40 $\pm$ 0.05	5.4 $\pm$ 0.2	76 $\pm$ 2
۱۶ مرداد August 7	30	46.5 $\pm$ 1.9	4.43 $\pm$ 0.05	5.8 $\pm$ 0.2	84 $\pm$ 3
	40	51.7 $\pm$ 2.1	4.45 $\pm$ 0.05	6.1 $\pm$ 0.2	82 $\pm$ 3
	50	48.1 $\pm$ 2.0	4.41 $\pm$ 0.05	5.5 $\pm$ 0.2	78 $\pm$ 3
	60	43.5 $\pm$ 1.8	4.37 $\pm$ 0.05	4.8 $\pm$ 0.2	70 $\pm$ 2

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم و تاریخ کاشت ($\pm$ خطای استاندارد) صفات زایشی (۱۴۰۲)

Table 10- Mean comparison of the interaction effect of plant density and sowing date on reproductive traits (2023)

تاریخ کاشت Planting date	تراکم Density plants per m ²	عملکرد دانه Seed yield (g m ⁻²)	وزن هزار دانه Thousand seed weight (g)	دانه در غلاف Seeds per pod	غلاف در بوته Pods per plant
۹ اردیبهشت March 30	30	102.7 $\pm$ 4.2	4.58 $\pm$ 0.04	9.5 $\pm$ 0.3	128 $\pm$ 5
	40	114.2 $\pm$ 4.7	4.59 $\pm$ 0.04	9.8 $\pm$ 0.3	126 $\pm$ 5
	50	106.3 $\pm$ 4.4	4.56 $\pm$ 0.05	9.3 $\pm$ 0.3	122 $\pm$ 4
	60	96.1 $\pm$ 4.0	4.52 $\pm$ 0.05	8.5 $\pm$ 0.3	114 $\pm$ 4
۲۹ اردیبهشت April 19	30	96.2 $\pm$ 4.0	4.56 $\pm$ 0.05	9.1 $\pm$ 0.3	120 $\pm$ 5
	40	107.0 $\pm$ 4.4	4.58 $\pm$ 0.05	9.4 $\pm$ 0.3	118 $\pm$ 5
	50	99.6 $\pm$ 4.1	4.54 $\pm$ 0.05	8.9 $\pm$ 0.3	114 $\pm$ 4
	60	90.0 $\pm$ 3.7	4.50 $\pm$ 0.05	8.1 $\pm$ 0.3	106 $\pm$ 4
۱۸ خرداد May 8	30	90.5 $\pm$ 3.7	4.54 $\pm$ 0.05	8.7 $\pm$ 0.3	114 $\pm$ 4
	40	100.7 $\pm$ 4.2	4.56 $\pm$ 0.05	9.0 $\pm$ 0.3	112 $\pm$ 4
	50	93.7 $\pm$ 3.9	4.52 $\pm$ 0.05	8.5 $\pm$ 0.3	108 $\pm$ 4
	60	84.7 $\pm$ 3.5	4.48 $\pm$ 0.05	7.7 $\pm$ 0.3	100 $\pm$ 4
۷ تیر June 28	30	76.0 $\pm$ 3.1	4.51 $\pm$ 0.05	7.9 $\pm$ 0.3	104 $\pm$ 4
	40	84.5 $\pm$ 3.5	4.53 $\pm$ 0.05	8.2 $\pm$ 0.3	102 $\pm$ 4
	50	78.7 $\pm$ 3.3	4.49 $\pm$ 0.05	7.6 $\pm$ 0.3	98 $\pm$ 4
	60	71.1 $\pm$ 3.0	4.45 $\pm$ 0.05	6.8 $\pm$ 0.3	90 $\pm$ 3

References

1. Akbarnia, A. (2013). Response of *Satureja sahendica* Bormn. to nitrogen and planting density. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29(2), 261-268. (In Persian).
2. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.211345>
3. Ansori, A., Shahgholi, H., Makarian, H., & Gholipoor, M. (2016). The effect of planting date on the growth and yield of indigo (*Indigofera tinctoria* L.) in Shahrood conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(1), 37-47. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/gsc.v14i1.32881>
4. Chanayath, N., Lhieochaiphant, S., & Phutrakul, S. (2002). Pigment extraction techniques from the leaves of *Indigofera tinctoria* Linn. and *Baphicacanthus cusia* Brem. and chemical structure analysis of their major components. *CMU Journal*, 1(2), 149-160.
5. Diwan, G., Bisen, B. P., & Maida, P. (2018). Effect of nitrogen doses and row spacing on growth and seed yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *International Journal of Chemical Sciences*, 6(4), 2768-2772.
6. Fateh, M., Kazemi Arbat, H., Mohammadi, S., Farahbakhsh, F., & Zand, A. (2021). The effect of plant density and nitrogen fertilizer on leaf area, chlorophyll, and grain protein of *Zea mays* L. in competition with *Amaranthus retroflexus* L. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 11(3), 3719-3730. (In Persian) <https://doi.org/10.30495/IJPP.2021.682917>
7. Izadi, Z., Biabani, A., Sabouri, H., Bahreini Nejad, B., & Gholizadeh, A. L. (2022). Evaluation of changes in alkaloid content and some physiological traits of *Datura stramonium* L. under the influence of planting date and plant density levels. *Journal of Horticultural Science*, 36(3), 657-669. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.72958.1095>
8. Karimi-Farzaghy, M., & Monamizadeh, Z. (2014). Effect of planting density and sowing date on yield and yield components of safflower in Torbat Heydarieh region. *Plant Environmental Physiology*, 9(36), 71-85. (In Persian)
9. Khichar, M. L., & Niwas, R. (2006). Microclimatic profiles under different sowing environment in wheat. *Journal of Agrometeorology*, 8(2), 201-209. <https://doi.org/10.54386/jam.v8i2.1048>
10. Khoshnam, Z., Amiri Nejad, M., Aeen, A., & Paresamotlagh, B. (2020). The evaluation of intercropping system of indigo (*Indigofera tinctoria* L.) and roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) on yield, weed biodiversity and changes of weeds community. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(2), 109-121. (In Persian) <https://doi.org/10.47176/jcpp.10.2.34771>
11. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Houshmand, M., & Moallem Benhangi, F. (2017). Effects of cow manure levels and plant densities on yield and seed yield components, leaf and indigo yields of true *Indigo*. *Journal of Plant Production Research*, 23(4), 117-143. (In Persian) <https://doi.org/10.22069/JOPP.2017.10284.1966>
12. Kun Lestari, W. F. (1998). Dyeing Process with Natural Indigo: The Tradition and Technology. *Revival Natural*

- Indigo Dye. (Original Work Presented September 21–29, 1998)
13. Li, S., Yuan, F., Ata-Ui-Karim, S. T., Zheng, H., Cheng, T., Liu, X., Tian, Y., Zhu, Y., Cao, W., & Cao, Q. (2019). Combining color indices and textures of UAV-based digital imagery for rice LAI estimation. *Remote Sensing*, 11(15), 1763. <https://doi.org/10.3390/rs11151763>
14. Martin, L. D., & Deo, S. (2001). Effect of planting geometry and level of nitrogen on growth and yield quality of European dill (*Anethum graveolens*). *Indian Journal of Horticulture*, 57, 351-355.
15. Modafeh Behzadi, N., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2019). Effects of planting date and plant density on morphology and yield of *Indigofera tinctoria* L. as a medicinal plant. *Journal of Agroecology*, 10(4), 1067-1079. <https://sid.ir/paper/211345/fa>
16. Nematian, A., Ghoushchi, F., Farnia, A., Ariapour, A., & Mashhadiakbar Boujar, M. (2011). The effect of planting density and nitrogen fertilizer on active substances in medicinal plant *Aloe vera* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 27(2), 338-347. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6449>
17. Nikbakht Rayini, H. (2012). Effect of different levels of nitrogen and plant density on vegetative yield of medicinal-industrial plant *Indigofera tinctoria* in Jiroft region. The 1st national conference on solutions to access sustainable development in agriculture, natural resources and the environment. (In Persian) <https://civilica.com/doc/197733>
18. Norouzi, Y., Ghobadi, M., Saeidi, M., Rezadoost, H., Kahrizi, D., & Dogan, H. (2024). The effect of nitrogen and cutting on the yield, quality and the composition of thyme essential oil (*Thymus vulgaris* L.). *Ecophytochemistry Journal of Medicinal Plants*, 12(2), 27-44. (In Persian)
19. Rahmani, N., Jalali Yekta, A., Taher Khani, T., & Daneshian, J. (2011). Effects of plant density and nitrogen on essential oil yield of *Calendula officinalis* L. *Journal of Crop Ecophysiology*, 2(4), 347-354. (In Persian)
20. Rezvani Moghaddam, P., & Ahmadzadeh Motlagh, M. (2007). Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of *Nigella sativa* in Qaenat region. *Journal of Research and Development in Natural Resources*, 76, 62-68. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/aj.2024.357663.1592>
21. Sales, E., Kanhonou, R., Baixauli, C., Giner, A., Cooke, D., Gilbert, K., Arrillaga, I., Segura, J., & Ros, R. (2006). Sowing date, transplanting, plant density and nitrogen fertilization affect indigo production from *Isatis* species in a Mediterranean region of Spain. *Industrial Crops and Products*, 23(1), 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.03.002>
22. Sarhadi, H., Afsharmanesh, G. R., & Mokhtari, Z. (2014). Effect of drought stress on some morphological traits and seed yield of indigo (*Indigofera tinctoria* L.) under different levels of nitrogen. *International Journal of Science*, 3, 2319-5037.
23. Shakeri, A., Sani, B., & Hasanzadeh Darvishi, H. (2015). *Evaluation of the combined effects of organic biofertilizers (vermicompost and compost) and poultry manure on yield and yield components of coriander (Coriandrum sativum L.)*. Paper presented at the National Conference on Modern Agriculture and Its Development Pathways in the Country. (In Persian)
24. Soleymani Sardoo, M., Afsharmanesh, G. R., & Roudbari, Z. (2017). Evaluating the effects of sowing date and plant density on yield and yield components of mung bean in Jiroft County. *Crop Science Research in Arid Regions*, 1(1), 27-34. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/csrar.01.01.03>
25. Tahmasbizadeh, H., Madani, H., & Naderi Broujerdi, G. H. (2010). The effect of sowing date, plant density and different levels of nitrogen on the growth traits and rate of essence in medicine safflower. *New Finding in Agriculture*, 4(4), 375-390. (In Persian) http://nfa.iau-arak.ac.ir/article_516470.html
26. Ullah, H., & Honermeier, B. (2013). Fruit yield, essential oil concentration and composition of three anise cultivars (*Pimpinella anisum* L.) in relation to sowing date, sowing rate and locations. *Industrial Crops and Products*, 42, 489-499. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.011>
27. Ydyrys, A., Mukhitdinov, N., Ivashchenko, A., Ashirova, Z., Massimzhan, M., Imanova, E., & Kaparbay, R. (2024). Methodological guide for geobotanical research on rare, endemic, and medicinal plants: A case study of the Ranunculaceae family. *ES Food & Agroforestry*, 18, 1340.
28. Zargarani Khouzani, M. R., Ghareineh, M. H., Khodai Jougan, A., & Shojaei, A. (2019). *Investigation of the forgotten medicinal-industrial plant indigo (Indigofera tinctoria L.) and the importance of its revitalization for the sustainability of Iran's agricultural ecosystems*. 7th National Conference on Applied Research in Agricultural Sciences: Healthy Food from Farm to Table, Tehran, Iran. (In Persian)
29. Zargarani Khouzani, M. R., Zargarani, S., & Daei Naseri, S. M. A. (2022). *A review on biochemical and pharmacological properties of medicinal indigo plant (Indigofera tinctoria L.)*. 1st National Congress on Medicinal Plants, Traditional Medicine and Community Health, Damghan, Iran. (In Persian) <https://civilica.com/doc/1582008>
30. Zargarani Khozani, M. R., & Daei Naseri, S. M. A. (2025). Indigo: A Reflection on Natural and Artificial Indigo Dye. Arshak Publications. Arak, Iran. (92 p.). (In Persian)
31. Zarei, S., Hassibi, P., Kahrizi, D., & Safieddin Ardebili, S. M. (2022). Effect of nitrogen application on *Camelina sativa* oilseed yield and yield components at different planting dates. *Iranian Journal of Field Crops*

32. Zeynali Charkandi, Z., Roshdi, M., & Yousefzadeh, S. (2021). Changes in essential oil content and plant yield of *Dracocephalum moldavica* L. affected by sowing date and nitrogen fertilizer in Khoy region. *Crop Science Research in Arid Regions*, 3(1), 25-38. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/csrar.2021.276139.1090>



Research Article

Vol. 24, No. 1, Spring 2026, p. 133-147

The Effect of Potassium Sulfate Fertilizer and Milk Thistle (*Silybum marianum* L.) Weed Density on Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) YieldM. Mostafaei¹, M. Jami Al-Ahmadi^{1*}, S. V. Eslami¹, M. H. Sayyari Zahan²

1- Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Department of Plant Production Engineering and Genetics, Soil Engineering Sciences, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran

(*- Corresponding author's Email: mjamialahmadi@birjand.ac.ir)

Received: 07 July 2025

Revised: 07 July 2025

Accepted: 12 October 2025

Available Online: 22 October 2025

How to cite this article:Mostafaei, M., Jami Al-Ahmadi, M., Eslami, S. V., & Sayyari Zahan, M. H. (2026). The effect of potassium sulfate fertilizer and milk thistle (*Silybum marianum* L.) weed density on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) yield. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(1), 133-147. (In Persian with English abstract)<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.94297.1412>**Introduction**

Given that weeds are opportunistic plants that grow faster than crops and absorb available nutrients more easily and better, and as a result, they are considered strong competitors for crops. Weeds are opportunistic plants that grow faster than crop plants and absorb available nutrients more easily and better, and as a result, they are considered effective competitors of crops. Therefore, balanced use of inputs, especially fertilizers, can play an important role in controlling weeds growth. Hence, the use of nutrients to reduce the effect of competition between weeds and crops has also been considered in various studies. In other words, increasing plant growth through proper nutrition leads to stronger crop plants with more shading, and increases the competitive power of crops in using environmental resources such as water and light, and this leads to their superiority over weeds. There is little information in literatures about competition between safflower and its relative weeds, such as milk thistle. Thus this research was aimed to compare yield and yield components of these plants under different potassium fertilizer and weed densities.

Materials and Methods

To investigate the effect of weed density and amount of potassium fertilizer on growth characteristics and dry matter allocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under competition with milk thistle (*Silybum marianum* L.), an experiment was conducted in March 2023 at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, University of Birjand. The experiment was done as a factorial arrangement based on a randomized complete block design with two treatments and three replications. The experimental factors were different levels of potassium (0, 34, 68, and 136 kg K₂O ha⁻¹, which corresponds to 0, 75, 150, and 300 kg potassium sulfate ha⁻¹) and milk thistle density at four levels (0, 4, 8, and 16 plant m⁻²). At harvest time, yield and yield components of both crop and weed were measured. Finally, statistical analysis of the data was performed using SAS 9.1 and comparison of means was performed based on the FLSD test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that with applying 34 and 68 kg K₂O ha⁻¹, safflower yield increased more than that of milk thistle, compared to the control. Further increase in potassium sulfate after that, although it also increased

Authors retain the copyright. 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/). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.94297.1412>

safflower yield, was more in favor of milk thistle, which showed a higher percentage increase compared to the control. In both safflower and milk thistle plants, the highest yield was obtained by applying 136 kg K₂O ha⁻¹, so that the grain yield at this potassium level was increased by 124.2 and 141.4 percent for safflower and milk thistle, respectively, compared to the control. The results also showed that increasing potassium application caused a greater increase in the traits of capitulum diameter, number of seeds per capitulum, and seed weight per capitulum of milk thistle than safflower, compared to the control. Furthermore, an increase in weed density led to a drastic reduction in seed and capitula weights and also grain yield of safflower. For example, grain yield of safflower at 16 milk thistle m⁻² was about 41 percent lower than control (no-weed).

Conclusion

In general, it can be concluded that potassium application at all tested levels increased grain yield and yield components in both safflower and milk thistle, with the highest yield achieved at 136 kg K₂O ha⁻¹. Safflower consistently outperformed milk thistle across all potassium levels, showing a stronger response to increasing potassium fertilizer. Overall, it seems safflower appears to have a higher ability to absorb potassium at lower levels of potassium fertilizer application than milk thistle, and high potassium application is more beneficial to milk thistle. Therefore, adjusting fertilizer application rates should be considered in fertilizer management in safflower fields.

Keyword: Luxury consumption, Number of capitula, Plant nutrition, Seed weight, Weight of capitula

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۱۴۷-۱۳۳

تأثیر کود پتاسیم سولفات و تراکم علف‌هرز خار مریم (*Silybum marianum* L.) بر عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

مسلم مصطفائی^{۱*}، مجید جامی الاحمدی^{۱*}، سید وحید اسلامی^{۱*}، محمدحسن سیاری زهان^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰

چکیده

مدیریت عناصر غذایی پرمصرف می‌تواند به‌عنوان یک روش محتمل برای رقابت گیاه با علف‌هرز و همچنین مدیریت علف‌های هرز استفاده شود. به همین منظور، جهت بررسی اثر تراکم و مقدار کود پتاسیم بر ویژگی‌های عملکردی و اجزای عملکرد گیاه زراعی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط رقابتی با علف‌هرز خار مریم (*Silybum marianum* L.)، آزمایشی در اسفند ماه ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل سطوح مختلف پتاسیم (صفر، ۳۴، ۶۸ و ۱۳۶ کیلوگرم در هکتار پتاسیم سولفات) و تراکم خارمریم در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۱۶ بوته در مترمربع) بودند. صفات اندازه‌گیری شده شامل عملکرد دانه، وزن هزار دانه، وزن تک طبق، تعداد دانه در طبق، قطر طبق و تعداد طبق در بوته گلرنگ بودند. گیاه گلرنگ در سطوح کاربرد ۶۸ و ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات نسبت به شاهد عملکرد بهتری را از خارمریم در همین سطوح ثبت کرد، ولی مصرف مقادیر بالاتر پتاسیم سولفات به نفع خارمریم بود؛ به نحوی که اگرچه در هر دو گیاه گلرنگ و خارمریم بالاترین عملکرد در تیمار ۱۳۶ کیلوگرم کاربرد پتاسیم سولفات حاصل شد، ولی افزایش عملکرد دانه این سطح کود نسبت به شاهد برای گلرنگ و خارمریم به ترتیب ۱۲۴/۲ و ۱۴۱/۴ درصد بود. همچنین نتایج نشان دادند که افزایش تراکم خارمریم تا ۱۶ بوته در مترمربع بر عملکرد و اجزای عملکرد هر دو گیاه تأثیر منفی گذاشت. به‌طور کلی، گلرنگ در سطوح کمتر کود پتاسیم از توانایی جذب پتاسیم بالاتری نسبت به علف‌هرز خارمریم برخوردار بود و مصرف مقادیر بیشتر پتاسیم سولفات بیشتر به نفع خارمریم بود، بنابراین تنظیم میزان مصرف کود باید در مدیریت کوددهی در مزارع گلرنگ مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تعداد طبق، تغذیه گیاهی، مصرف لوکس، وزن دانه، وزن طبق

مقدمه

داشته و ایران به‌عنوان یکی از مراکز اولیه پیدایش گلرنگ شناخته شده است (Ghorbanzadeh Taghab & Afzal, 2015). گلرنگ یک گیاه روغنی کم‌توقع و کم‌زهاده است که سازگاری خوبی به شرایط اقلیمی ایران دارد و تحمل آن به تنش خشکی نیز مناسب است (Foladvand et al., 2014). خارمریم یا ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) گیاهی یک‌ساله یا دوساله بومی مناطق مدیترانه‌ای است که امروزه در سراسر جهان رشد نموده و یا مورد کشت قرار می‌گیرد (Abenavoli et al., 2018). همچنین خارمریم یک گیاه دارویی است که به‌عنوان علف‌هرز نیز شناخته می‌شود (Khan et al., 2009).

فعالیت‌های بشر، اثرات مخربی بر محیط زیست گذاشته و ورود گونه‌های گیاهی غیربومی (مهاجم) به مناطق مختلف جهان را تسریع

دانه‌های روغنی از دیرباز بخش مهمی از کشاورزی کشورهای جهان به‌ویژه مشرق زمین را تشکیل داده‌اند (Gupta, 2000). گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان شناخته‌شده توسط انسان است و سالیان درازی است که در خاورمیانه مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. کشت این گیاه در ایران سابقه طولانی

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

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

(*)- نویسنده مسئول: (Email: mjamialahmadi@birjand.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.94297.1412>

علف‌های هرز نشان می‌دهد (Fayaznia et al., 2015). پتاسیم به‌عنوان سومین عنصر غذایی اصلی برای رشد گیاه مطرح بوده و نقش اساسی در فعالیت آنزیم‌ها، سنتز پروتئین‌ها و فتوسنتز ایفا می‌کند (Basak & Biswas, 2009). پتاسیم همچنین سرعت فتوسنتز برگ‌های گیاه، جذب دی‌اکسید کربن و تسهیل انتقال کربن را افزایش می‌دهد که به‌موازات آن عملکرد را در گیاهان افزایش می‌یابد (Sangakkara et al., 2000). مهریا و همکاران (Mehriya et al., 2007)، کاهش عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در نتیجه تداخل با علف‌های هرز را گزارش کردند و بیان کردند که این کاهش عملکرد ناشی از افزایش شدت رقابت علف‌های هرز در جذب پتاسیم است. رقابت برای منبع محدود می‌تواند رقابت برای منابع دیگر را تحت تأثیر قرار دهد (Beckie et al., 2008). مطالعات زیادی در مورد گیاهان زراعی عمده و ویژگی‌های مربوط به تأثیر نهاده‌های رایج بر خصوصیات رشدی و عملکردی آن‌ها صورت گرفته است، ولی در مورد علف‌های هرز و نحوه پاسخ آن‌ها در رقابت با گیاه زراعی به‌خصوص در رقابت بین گیاه زراعی گلرنگ و علف‌های هرز مهاجم هم‌خانواده آن همچون خار مریم بر سر منبع پتاسیم هنوز مطالعات کافی صورت نگرفته است و به‌عنوان یک عنصر پرمصرف و مهم در تغذیه گیاهی و مقابله با تنش‌ها نیاز است تا پژوهش‌هایی بیشتری در این خصوص صورت پذیرد و چون اطلاعات در این زمینه بسیار اندک است، لذا هدف از این پژوهش، مقایسه عملکردی دو گیاه گلرنگ و خارمریم تحت غلظت‌های مختلف پتاسیم و تراکم علف هرز بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا انجام شد. میانگین بارش باران در طول دوره رشد گیاه در چهار ماه ۲۵/۸ میلی‌متر در محل پژوهش بود. طرح آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو تیمار و سه تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل سطوح مختلف پتاسیم خالص (صفر، ۳۴، ۶۸ و ۱۳۶ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار معادل صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار) و تراکم خارمریم در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۱۶ بوته در مترمربع) در نظر گرفته شد.

برای آماده‌سازی زمین پس از شخم، کلوخه‌ها توسط دیسک نرم شده و در نهایت زمین تسطیح گردید. قبل از کاشت، سه نمونه خاک جداگانه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک از نقاط مختلف محل آزمایش برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان عنصر

کرده است (Shimura et al., 2010). اگرچه تنها تعداد محدودی از این گونه‌ها مهاجم می‌شوند، اما تأثیرات منفی آن‌ها بر جوامع طبیعی و زراعی، سلامت انسان و دام و ویژگی‌های بوم‌نظام قابل توجه است (Kikodze et al., 2010). آگاهی از توانایی رقابتی گونه‌های بومی و مهاجم، ابزاری سودمند برای مدیریت کارآمد این گونه‌ها و دستیابی به مدیریت موفق آن‌ها را فراهم می‌کند (Dukes, 2002). علف‌های هرز مهاجم دارای ویژگی‌هایی هستند که آن‌ها را قادر می‌سازد که به‌سرعت در مناطق جدید پراکنده شده و با گیاهان زراعی، گیاهان بومی یا غیر بومی مطلوب برای نور، آب، عناصر غذایی و فضا رقابت کنند. به‌طور کلی، رقابت توسط متخصصان علف‌های هرز به‌عنوان مبارزه بین یک محصول و یک علف هرز برای یک منبع مشترک که دچار کمبود است، تعریف شده است (Poffenberg et al., 2015). رقابت، فرآیندی است که شناخت آن مستلزم بررسی منابع تعیین‌کننده رشد (نور) یا محدود کننده رشد (آب و عناصر غذایی) در بین گونه‌های رقیب و کارایی آن‌ها در استفاده از این منابع است. گیاهان تحت تأثیر دو نوع رقابت درون گونه‌ای (بین دو گیاه از یک گونه مشابه) و بین گونه‌ای (بین دو گونه متفاوت) قرار دارند (Beres et al., 2010). کنزوئیک و همکاران (Kenzevic et al., 1995) در یک پژوهش مشاهده کردند که میزان کاهش عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) با افزایش تراکم تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus*) از ۵/۰ به ۸ بوته در هر متر از ردیف کاشت از ۵ به ۳۴ درصد افزایش پیدا کرد. در مطالعه دیگری، رقابت تاج خروس عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه ذرت را به‌ترتیب ۴۴/۵ و ۵۸/۱ درصد کاهش داد (Aghaalikhani et al., 2001).

مدیریت صحیح نهاده‌های کشاورزی از جمله راهکارهای کنترلی علف‌های هرز می‌باشد. با توجه به اینکه علف‌های هرز، گیاهانی فرصت‌طلب هستند که سریع‌تر از گیاهان زراعی رشد می‌کنند و مواد غذایی قابل دسترس را آسان‌تر و بهتر جذب می‌کنند و در نتیجه رقابتی قوی برای گیاه زراعی محسوب می‌شوند، مصرف متعادل نهاده‌ها و به‌خصوص کود می‌تواند نقش مهمی در مهار آن‌ها داشته باشد. امروزه انواع نظام‌های کودی در سیستم‌های کشاورزی دنیا مرسوم است. در برخی از نظام‌های کودی، مقادیر بیشتری کود شیمیایی استفاده می‌شود و در برخی از نظام‌های سازگار با محیط زیست، به‌جای استفاده از کود شیمیایی، از کودهای آلی استفاده می‌شود (Jalilian & Heydarzadeh, 2015). استفاده از عناصر غذایی برای کاهش اثرگذاری رقابت علف‌های هرز با گیاه زراعی نیز در بررسی‌های مختلف مد نظر بوده است. به عبارت دیگر، تقویت گیاه از طریق عناصر مغذی در حد مناسب باعث ایجاد اندام‌ها و بافت‌های مناسب گیاهی شده و توان رقابتی گیاه زراعی را در استفاده از امکانات محیطی مانند آب و نور فراهم می‌کند و برتری خود را نسبت به

تراکم آن ۴۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. کاشت خارمریم به‌طور همزمان با گلرنگ در زمین اصلی انجام و به این صورت که بذور گلرنگ و خارمریم با تراکم‌های تعیین‌شده و در طرفین پشته کشت شدند. تاریخ کاشت در زمان ۱۶ اسفند ماه سال ۱۴۰۱ بود و زمان رشد تا برداشت ۱۳۷ روز طول کشید. روش آبیاری به‌صورت کرتی انجام شد.

پتاسیم برداشت شد (جدول ۱). در هر کرت، پنج ردیف به طول پنج متر با فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، به عبارتی ابعاد هر کرت ۱۵ مترمربع بود. فاصله بین کرت‌ها معادل یک متر از یکدیگر و فاصله بین هر بلوک سه متر بود. پس از محاسبه میزان پتاسیم مورد نیاز برای هر سطح، کودهای قبل از کاشت برای هر کرت کاملاً با خاک ناحیه چهار تا پنج سانتی‌متری زیر بذر آمیخته شدند. رقم گلرنگ مورد استفاده در این آزمایش، رقم گلدشت بود و

جدول ۱- مشخصات خاک منطقه مورد آزمایش

Table 1- Characteristics of the soil of the experimental site

پتاسیم قابل جذب	هدایت الکتریکی	رطوبت اشباع	ماده آلی	رس	سیلت	شن	بافت خاک
K_{ava}	EC	Saturated moisture	Organic matter	Clay	Silt	Sand	Soil texture
($mg\ kg^{-1}$)	($dS\ m^{-1}$)	(%)		pH	(%)		
170	4.7	31.2	0.38	11	14	74	شنی لومی Sandy loam

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین قطر طبق در سطح کاربرد ۱۳۶ کیلوگرم در هکتار پتاسیم سولفات در هکتار حاصل شد که نسبت به شاهد با افزایش ۳۸/۳ درصدی همراه بود. سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم پتاسیم در هکتار نیز به ترتیب به میزان ۳۳/۱ و ۲۰ درصد افزایش نسبت به شاهد همراه بودند. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد دانه در طبق در تیمار کاربرد ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار حاصل شد که نسبت به شاهد ۶۲/۶ درصد افزایش داشت. در شرایط کاربرد ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار نیز به ترتیب افزایش ۳۸/۱ و ۲۱/۸ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد مشاهده شد (جدول ۳).

بیشترین تعداد طبق در گیاه گلرنگ نیز در تیمار کاربرد ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار حاصل شد که نسبت به شاهد به میزان ۱۳۶ درصد افزایش نشان داد. سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم کاربرد پتاسیم سولفات نیز نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۱۳۳/۶ و ۴۹ درصد با افزایش همراه بودند (جدول ۳). کاربرد ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار همچنین موجب بیشترین وزن دانه در طبق شد که نسبت به سطح شاهد به میزان ۶۹/۶ درصد افزایش همراه بود. تیمارهای ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار، وزن دانه در طبق را به ترتیب ۵۹/۱ و ۳۷/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). در موافقت با این نتایج، دیده شده است که در گیاه گلرنگ، کاهش قطر طبق در تیمار عدم مصرف پتاسیم نسبت به تیمارهای مصرف کود قابل توجه بوده است، به‌طوری که کاهش قطر طبق در تیمار ۳۷ کیلوگرم کاربرد پتاسیم سولفات نسبت به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار ۳۱ درصد و نسبت به تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار با ۲۰ درصد کاهش همراه بود (Palizdar et al., 2013). محققان گزارش کردند که تعداد دانه در طبق در گلرنگ رقم گلدشت

صفات عملکرد و اجزای عملکرد گیاه زراعی شامل قطر طبق، تعداد دانه در طبق، تعداد طبق، وزن تک طبق، وزن دانه در طبق و وزن هزار دانه بودند که همگی از سه بوته در کرت اندازه‌گیری شدند. همچنین صفات مورد بررسی علف‌هرز شامل عملکرد و اجزای عملکرد شامل قطر طبق، وزن طبق، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه نیز همانند گلرنگ یادداشت‌برداری و اندازه‌گیری شدند. به‌منظور تعیین عملکرد دانه هر دو گیاه پس از رسیدگی کامل (زمانی که ۵۰ درصد بذور هر گیاه به رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند)، تمامی بوته‌های سطحی معادل دو مترمربع از هر کرت برداشت شد و پس از انجام بوجاری، عملکرد هر کرت جداگانه اندازه‌گیری شد. وزن هزار دانه نیز با توزین ۱۰۰۰ دانه براساس رطوبت ۱۴ درصد تعیین شد. در پایان، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم‌افزارهای SAS 9.1 و Sigmaplot و مقایسه میانگین‌ها نیز براساس آزمون LSD حفاظت‌شده در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

الف) گیاه گلرنگ

نتایج نشان داد که پتاسیم اثر معنی‌داری بر همه صفات داشت ($P < 0.01$) و اثر اصلی تراکم علف‌هرز بر وزن تک طبق و عملکرد دانه ($P < 0.01$) و وزن هزاردانه ($P < 0.05$) معنی‌دار شد. اثر متقابل تیمارها بر هیچ صفتی معنی‌دار نگردید (جدول ۲).

قطر طبق، تعداد طبق، تعداد دانه در طبق و وزن دانه در طبق

تحت تأثیر سطوح کود پتاسیم قرار گرفت و افزایش کاربرد پتاسیم موجب افزایش تعداد دانه در طبق گردید (Vafaie et al., 2013). گزارش شده است که کاربرد سطح ۳۴ کیلوگرم کود پتاسیم سولفات در هکتار موجب بالاترین تعداد دانه در بوته به مقدار ۳۴۳/۶ عدد در رقم گلدشت گردید و کمترین میانگین تعداد دانه در بوته در سطح شاهد و عدم کاربرد کود به دست آمد (Araghinejad et al., 2016). پتاسیم، سرعت فتوسنتز برگ‌های گیاه، جذب

دی‌اکسیدکربن و تسهیل انتقال کربن را افزایش می‌دهد (Sangakkara et al., 2000). ساوان و همکاران (Sawan et al., 2006) نشان دادند که کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار عملکرد دانه پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) را به‌طور معنی‌داری به میزان ۳۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. آن‌ها این افزایش را به‌واسطه تأثیر مطلوب پتاسیم بر اجزای عملکرد مانند تعداد غوزه در بوته و وزن غوزه دانستند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی گیاه گلرنگ در شرایط رقابتی با علف‌هرز خارمریم

Table 2- Results of analysis of variance of measured traits of safflower in competition with milk thistle

منابع تغییر	درجه آزادی	قطر طبق	تعداد دانه در طبق	تعداد طبق	وزن تک طبق	وزن دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
S.O.V	df	Diameter of the capitula	Number of seeds per capitula	Number of capitula	Weight capitula	Grain weight per capitula	Weight of 1000-seeds	Seed yield
بلوک	2	0.08 ^{ns}	2.01 ^{ns}	0.59 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.04 ^{ns}	192.6 ^{ns}	646455.4 ^{ns}
پتاسیم	3	1.44 ^{**}	823.2 ^{**}	751.4 ^{**}	17.63 ^{**}	1.02 ^{**}	1815.6 ^{**}	8941062.5 ^{**}
تراکم علف‌هرز	3	0.06 ^{ns}	9.09 ^{ns}	0.81 ^{ns}	0.66 ^{**}	0.06 ^{ns}	328.3 [*]	4190678.7 ^{**}
پتاسیم × تراکم	9	0.05 ^{ns}	12.55 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.075 ^{ns}	0.017 ^{ns}	159.8 ^{ns}	376189.8 ^{ns}
خطا	30	0.08	21.78	1	0.076	0.03	81.3	407000.2
ضرب تغییرات								
CV (%)		11.5	11.4	7.5	10.1	12.8	19.4	25.8

ns: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

**, * and ns: indicates significant at 0.01 and 0.05 probability level and non-significant, respectively

وزن تک طبق

مقایسه میانگین داده‌های اثر ساده سطوح پتاسیم سولفات نشان داد که بالاترین وزن تک طبق گلرنگ نیز در تیمار کاربرد ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار حاصل شد که نسبت به شاهد به میزان ۲۱۶ درصد افزایش نشان داد. سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار نیز به ترتیب با ۱۸۲ و ۸۶ درصد افزایش نسبت به شاهد همراه بودند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سطوح تراکم علف‌هرز بر وزن تک طبق گیاه گلرنگ نشان داد که بیشترین وزن طبق در تیمار بدون تراکم علف‌هرز به دست آمد. افزایش تراکم از صفر به ۴ و ۸ و ۱۶ بوته در مترمربع موجب کاهش وزن طبق گردید، به نحوی که نسبت به سطح شاهد و عدم وجود علف‌هرز به ترتیب با ۸/۸ و ۱۰/۵ و ۱۸/۸ درصد کاهش وزن همراه بودند (شکل ۱). با توجه به نقش اساسی پتاسیم در افزایش سرعت فتوسنتز، جذب دی‌اکسیدکربن و تسهیل در فرآیند انتقال کربن از منابع به مخازن (Sangakkara et al., 2000)، انتظار می‌رود که کاربرد آن سبب افزایش اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه شود. در پژوهشی روی گیاه گلرنگ تحت رقابت با علف‌هرز خردل

(*Sinapis arvensis* L.) تراکم‌های صفر، ۱۴، ۲۸ و ۵۶ بوته در مترمربع بیان شد که بیشترین وزن تک طبق گلرنگ از تراکم ۱۴ بوته خردل وحشی در مترمربع با ۲/۱۷ گرم و کمترین وزن تک طبق با ۱/۸۹ گرم از تیمار شاهد تراکم علف‌هرز حاصل گردید (Khosravi et al., 2024).

وزن هزار دانه

مقایسه میانگین داده‌های اثر ساده سطوح کاربرد پتاسیم سولفات نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار حاصل شد که نسبت به شاهد با ۸۷/۱ درصد افزایش همراه بود. سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم پتاسیم سولفات نیز به ترتیب سبب افزایش ۸۴ و ۴۴/۶ درصدی وزن هزاردانه نسبت به شاهد عدم کاربرد شدند (جدول ۳). پژوهشگران گزارش کردند که رشد بیشتر حاصل از افزایش مصرف کود موجب تولید ماده خشک بیشتر در دانه شده که در واقع، وزن هزار دانه افزایش می‌یابد (Balloei et al., 2009).

جدول ۳- اثر ساده سطوح مختلف کاربرد پتاسیم بر برخی صفات اندازه‌گیری شده گیاه گلرنگ

Table 3- Simple effects of different levels of potassium application on some measured traits of safflower

عملکرد دانه	وزن هزار دانه	وزن دانه در طبق	وزن تک طبق	تعداد طبق	تعداد دانه در طبق	قطر طبق	سطوح پتاسیم
Seed yield	Weight of one 1000-seeds	Grain weight per capitula	Capitula weight	Capitula No.	Seeds per capitula	Capitula diameter	Potassium
(kg ha ⁻¹)	(g)	(g)	(g)	No.	(g)	(cm)	(kg K ₂ O ha ⁻¹)
1521.5 ^b	30.13 ^c	0.94 ^c	1.24 ^d	6.02 ^d	31.36 ^d	2.03 ^{c*}	0
1994.8 ^b	43.6 ^b	1.3 ^b	2.3 ^c	9.01 ^c	38.22 ^c	2.43 ^b	34
2943.7 ^a	55.6 ^a	1.5 ^a	3.5 ^b	14.1 ^b	43.3 ^b	2.7 ^a	68
3410.9 ^a	56.4 ^a	1.6 ^a	3.9 ^a	24.1 ^a	50.9 ^a	2.81 ^a	136

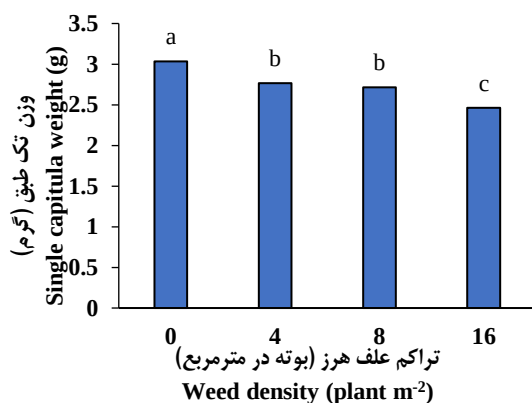
* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD حفاظت‌شده در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

* Similar letters indicate no significant difference based on the protected LSD test at the 5% probability level.

همراه بودند (شکل ۲). نتایج آزمایش نشان داد که در تراکم‌های کمتر علف‌هرز، رقابت درون و برون بوته‌ای در حداقل مقدار خود بوده و بوته‌های گلرنگ به دلیل حداقل اثرات تداخلی و رقابتی، بیشترین تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه را تولید کردند. پژوهشگران بیان کردند که در تراکم‌های پایین بوته علف‌هرز به دلیل کاهش رقابت بر سر جذب عناصر غذایی، گیاه زراعی جذب و رشد بالاتری داشته و در نهایت منجر به افزایش اجزای عملکرد می‌شود (Arduini et al., 2006). همچنین محمدی و امیری (Mohammadi & Amiri, 2011) در پژوهشی بیان کردند که حضور علف‌های هرز، وزن ۱۰۰ دانه سویا (*Glycine max* L.) را حدود ۲۵/۹۰ درصد نسبت به شاهد عاری از علف‌های هرز کاهش داد.

پتاسیم در بیشتر فرآیندهای مربوط به فعالیت آنزیم‌ها، فتوسنتز، انتقال قندها، سنتز پروتئین، نشاسته، استقرار بهتر گیاه در شرایط تنش رطوبتی به وسیله تنظیم سرعت و میزان باز و بسته شدن روزنه‌ها، بهبود مقاومت به ورس و حمله آفات و بیماری‌ها نقش اساسی دارد (Hoef et al., 2000) که از این طریق، اثر مستقیم بر میزان دانه تولیدی در هر گیاه دارد. پتاسیم به انتقال اسیدهای آمینه نیز کمک کرده و باعث افزایش وزن دانه گیاه می‌شود (Mengel., 1980).

مقایسه میانگین اثر ساده سطوح تراکم علف‌هرز خارمریم بر وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین وزن در تیمار بدون علف‌هرز حاصل شده و با افزایش تراکم بوته به ۴، ۸ و ۱۶ بوته در مترمربع، وزن هزار دانه به ترتیب با ۹/۴، ۱۷/۲ و ۲۲/۷ درصد کاهش نسبت به شاهد

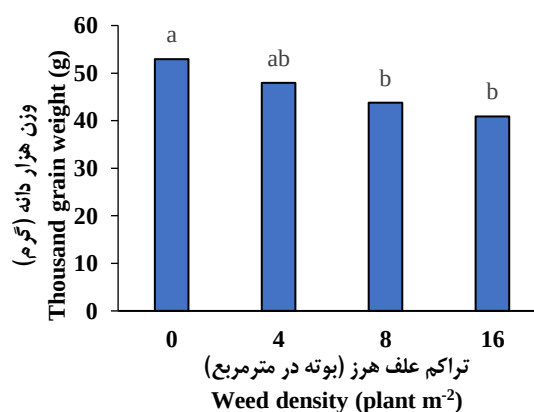


شکل ۱- اثر ساده سطوح تراکم بوته علف‌هرز خارمریم بر وزن تک طبق گیاه گلرنگ

Figure 1- Simple effect of different densities of milk thistle on capitula weight of safflower

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level.



شکل ۲- اثر ساده تراکم علف‌هرز خارمریم بر وزن هزار دانه گیاه گلرنگ

Figure 2- Simple effect of different densities of milk thistle on 1000-seeds weight of safflower

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

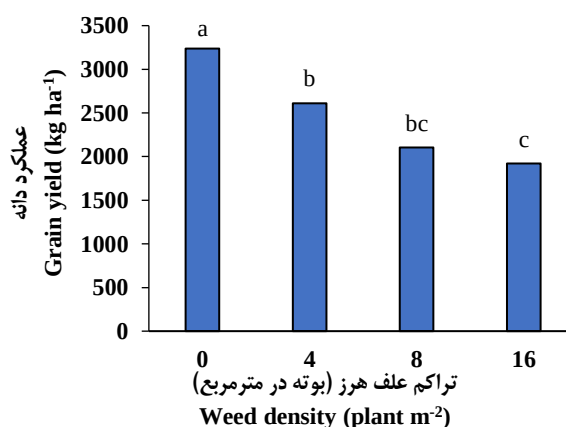
Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level.

عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌های اثر ساده تیمار پتاسیم سولفات نشان داد که بیشترین عملکرد دانه گلرنگ با کاربرد ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات حاصل شد که نسبت به شاهد به‌میزان ۱۲۴/۲ درصد با افزایش همراه بود. پس از آن، سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم کاربرد پتاسیم سولفات عملکرد دانه را به‌ترتیب به‌میزان ۹۳/۵ و ۳۱/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند و تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۶۸ و ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات از لحاظ عملکرد دانه مشاهده نشد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که این افزایش عملکرد در سطوح کودی حاصل از تعداد طبق و وزن طبق بیشتر در بوته بود که نسبت به سایر اجزای عملکرد درصد بالاتری را نسبت به شاهد نشان داد که به‌موجب آن تعداد دانه در بوته افزایش یافته و در نهایت موجب افزایش عملکرد گردید (جدول ۳). مصرف پتاسیم با تقویت سیستم ریشه، بهبود جذب آب و مواد مغذی، افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها منجر به افزایش عملکرد و محصول‌دهی در گیاه می‌شود که در همین خصوص، پژوهشگران نیز در مورد گلرنگ گزارش کردند که افزایش مصرف پتاسیم با افزایش عملکرد دانه گلرنگ همراه بوده است. (Palizdar et al., 2013). نتایج ما همچنین با پژوهش‌های محققان دیگر نیز مطابقت داشت (Abadi et al., 2008; Gerendas et al., 2008). این پژوهشگران گزارش کردند که با افزایش مصرف کود پتاسیم، عملکرد دانه گلرنگ افزایش معنی‌داری را نشان داد و پتاسیم جذب‌شده توسط گلرنگ به‌طور بسیار مؤثری برای افزایش عملکرد دانه این گیاه استفاده شده است. اثر کاربرد پتاسیم بر افزایش معنی‌دار عملکرد ماده خشک و دانه برنج (*Oryza sativa*)

(L.)، سویا و کلزا (*Brassica napus* L.) نیز گزارش شده است (Brohi et al., 2000; Fnayy et al., 2009).

محققان بیان نمودند که استفاده از پتاسیم در افزایش عملکرد محصولات گیاهی، به‌خصوص محصولات دانه روغنی مؤثر است (Jianwei et al., 2007). افزایش تراکم علف‌هرز خارمریم موجب کاهش عملکرد دانه گلرنگ گردید، به‌طوری‌که با افزایش تراکم بوته به ۴، ۸ و ۱۶ بوته در مترمربع، عملکرد به‌ترتیب ۱۹/۴، ۳۵/۱ و ۴۰/۷ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (شکل ۳). پژوهشگران گزارش کردند که میزان تداخل گیاه زراعی و علف‌هرز رابطه مستقیمی با تراکم علف‌هرز دارد (Shafagh-Kolvanagh et al., 2009). بنابراین یکی دیگر از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر گیاهان، رقابت با گیاه مجاور بر سر منابع است که ممکن است تأثیرگذاری این رقابت به حدی باشد که شکل و اندازه گیاه به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نماید و در نهایت موجب کاهش عملکرد گیاه زراعی گردد (Anim & Limbani, 2007). رقابت در جوامع گیاهی، زمانی رخ می‌دهد که دو یا چند گیاه که در جست‌وجوی منبع مشترک (مواد معدنی، آب و نور) و در محیطی محدود قرار گرفته باشند و به رقابت بپردازند که طبیعتاً موجب کاهش عملکرد می‌گردد (Anim & Limbani, 2007). به‌طوری‌که در شرایط حضور کافی عناصر غذایی مورد نیاز در خاک و با پیشرفت فصل رشد، رقابت برای جذب مواد غذایی اساسی‌ترین شکل رقابت بین گیاهان زراعی و همچنین گیاه زراعی با علف‌هرز محسوب می‌شود (Shafagh-Kolvanagh et al., 2009).



شکل ۳- اثر ساده سطوح تراکم بوته علف هرز خارمریم بر عملکرد دانه گیاه گلرنگ

Figure 3- Simple effect of milk thistle density levels on seed yield of safflower

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level.

ب) گیاه خار مریم

همه صفات تحت تأثیر معنی‌دار پتاسیم در سطح ($P < 0.01$) قرار گرفتند، اثر تراکم علف‌هرز نیز بر همه صفات به‌جز قطر و تعداد دانه در طبق در سطح ($P < 0.01$) و بر عملکرد دانه در سطح ($P < 0.05$) معنی‌دار بودند. اثر متقابل تیمارها بر صفات وزن دانه در طبق (در سطح $P < 0.01$) و وزن تک طبق ($P < 0.05$) معنی‌دار بودند (جدول ۴).

تراکم علف‌هرز از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رقابت علف‌های هرز با گیاهان زراعی است که بخشی از افت عملکرد گیاهان زراعی را شامل می‌شود که توسط پژوهشگران بیان شد (Blackshaw, 2001). خسروی و همکاران (Khosravi et al., 2024) در پژوهشی روی گیاه گل‌رنج در رقابت با علف‌هرز خردل با تراکم‌های صفر، ۱۴، ۲۸ و ۵۶ بوته در مترمربع بیان کردند که با افزایش تراکم خردل وحشی، وزن اجزای عملکرد شامل وزن غلاف، تعداد غلاف، و وزن بذر در بوته خردل وحشی کاهش یافت.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات عملکرد و اجزای عملکرد خارمریم در رقابت با گیاه زراعی گل‌رنج

Table 4- Results of analysis of variance of yield and yield components of milk thistle in competition with safflower crop plants

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	قطر طبق Diameter of the capitula	تعداد دانه در طبق Number of seeds per capitula	وزن تک طبق Weight capitula	وزن دانه در طبق Grain weight per capitula	وزن هزار دانه Weight of 1000-seeds	عملکرد دانه Seed yield
بلوک Block	2	0.8 ^{ns}	53.3 ^{ns}	0.5**	0.01 ^{ns}	8.2 ^{ns}	5119.4 ^{ns}
پتاسیم Potassium (P)	3	5.7**	3488.2**	10.8**	2.9**	70.9**	592218.8**
تراکم علف‌هرز Weed density (D)	2	0.2 ^{ns}	49.7 ^{ns}	1.6**	0.5**	106.9**	27254.9*
پتاسیم × تراکم P × D	6	0.2 ^{ns}	1.5 ^{ns}	0.3*	0.09**	33.7 ^{ns}	1548.4 ^{ns}
خطا Error	22	0.4	26.9	0.08	0.02	14.2	7029.4
ضریب تغییرات CV (%)		17.1	8.8	9.6	8.2	14.2	12.3

ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

ns, * and **: indicates significant at 0.01 and 0.05 probability level and non-significant, respectively

وزن هزار دانه

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد پتاسیم سولفات بر وزن هزار دانه خار مریم نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۱۳۶ کیلوگرم کاربرد پتاسیم سولفات حاصل شد که نسبت به شاهد با ۲۳/۷ درصد افزایش همراه بود. وزن هزار دانه در سطح کاربرد ۶۸ کیلوگرم پتاسیم سولفات تفاوت معنی‌داری با سطح ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار نداشت، ولی ۲۲/۵ درصد بیشتر از سطح شاهد بود. تیمار ۳۴ کیلوگرم کاربرد پتاسیم سولفات نیز تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نداد (جدول ۵).

نتایج مقایسه اثر ساده تراکم بوته بر وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در تراکم چهار بوته در مترمربع حاصل شد و افزایش تراکم بوته خارمریم موجب کاهش وزن هزار دانه آن گردید،

به‌نحوی که افزایش تراکم بوته از چهار به هشت بوته در مترمربع با کاهش ناچیز ۷/۲ درصدی همراه بود که تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد، ولی با افزایش تراکم از ۴ به ۱۶ بوته، وزن دانه به‌طور معنی‌داری به میزان ۲۰/۳ درصد کاهش نشان داد (جدول ۶). وزن هزار دانه یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد محسوب شده و بالا بودن وزن هزار دانه باعث افزایش عملکرد می‌گردد. با توجه به نقش پتاسیم در افزایش تقسیم و رشد سلولی و افزایش در سرعت فتوسنتز و انتقال مواد آسمیلاتی، محدودیت مخزن تا حدودی از بین رفته و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه‌ها باعث پر شدن دانه و افزایش ابعاد دانه گشته و به تبع آن وزن هزار دانه افزایش می‌یابد (Khaladabrin & Eslamzadeh, 2005). پتاسیم با اینکه در ساختمان هیچ‌کدام از ترکیبات مهم گیاهی مانند پروتئین‌ها، چربی‌ها و قندها شرکت ندارد،

سطح به علت تشدید رقابت درون و برون گونه‌ای در اثر کمبود مواد غذایی و عوامل محیطی مثل نور، آب و عناصر غذایی در محیط اطراف ریشه احتمالاً وزن هزار دانه کاهش یافته است. در پژوهشی روی اثر تراکم بوته گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd. ر صفت هزار دانه بیان شد که افزایش تراکم بوته از ۸۰ به ۱۰۰ و ۱۲۰ بوته موجب کاهش وزن هزار دانه گردید که حاصل رقابت بین بوته‌ها برای جذب مواد غذایی و نور بود (Mostafaei et al., 2023).

اما به عنوان مهم‌ترین فعال کننده آنزیم‌های احیا کننده گاز کربنیک نقش ایفا می‌کند، به همین دلیل کمبود آن باعث کاهش سوخت‌وساز گیاه شده و منجر به کاهش رشد می‌شود. یون پتاسیم در بهبود تجمع ماده خشک در گیاه بسیار تأثیرگذار بوده که این افزایش تجمع ماده خشک در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌گردد (Sangakkara et al., 2001). به نظر می‌رسد که با افزایش تراکم در واحد سطح، تعداد دانه در واحد سطح افزایش می‌یابد و در نتیجه قابلیت دسترسی به مواد فتوسنتزی برای هر دانه کمتر شده که همین امر منجر به کاهش وزن دانه می‌گردد. همچنین با افزایش تراکم بوته در واحد

جدول ۵- اثر ساده سطوح مختلف پتاسیم بر برخی از صفات اندازه‌گیری شده گیاه خارمریم
Table 5- Simple effect of different levels of potassium on some measured traits of milk thistle

سطوح پتاسیم Potassium (kg K ₂ O ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds (g)	قطر طبق Diameter of the capitula (cm)	تعداد دانه در طبق Number of seeds per capitula	وزن تک طبق Weight capitula (g)	وزن دانه در طبق Grain weight per capitula (g)
0	416.7 ^{d*}	23.4 ^b	2.8 ^c	36.5 ^d	1.8 ^d	0.9 ^d
34	551.6 ^c	24.8 ^b	3.2 ^c	49.6 ^c	2.4 ^c	1.4 ^c
68	752.4 ^b	28.7 ^a	3.9 ^b	66.9 ^b	3.5 ^b	1.9 ^b
136	1006.2 ^a	29.02 ^a	4.6 ^a	81.5 ^a	4.3 ^a	2.3 ^a

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD حفاظت‌شده در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

* Similar letters indicate no significant difference based on the protected LSD test at the 5% probability level.

۶۸ و ۳۴ کیلوگرم نیز به ترتیب ۸۳/۳ و ۳۵/۷ درصد، تعداد دانه در طبق را نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۵). تعداد دانه از اجزای مهم و مؤثر در عملکرد می‌باشد. عامل ایجاد تغییرات در تعداد دانه در هر طبق، تعداد بالقوه گل‌ها است که در طول دوره رشد رویشی گیاه به خصوص توسط گسترش برگی تعیین می‌شود (Kouchaki et al., 1993; Brown, 1977). افزایش تعداد دانه‌ها با مصرف پتاسیم را می‌توان به دلیل نقش پتاسیم در افزایش تولید کربوهیدرات‌ها و انتقال سریع آن‌ها به دانه توجیه کرد (Marschner, 1995).

قطر و تعداد دانه در طبق

مقایسه میانگین داده‌های اثر ساده پتاسیم نشان داد که بیشترین قطر طبق با کاربرد تیمار ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار حاصل شد که نسبت به سطح شاهد با ۶۵/۲ درصد افزایش همراه بود. پس از آن، سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم نیز به ترتیب موجب ۳۷/۵ و ۱۵/۸ درصد افزایش در قطر طبق نسبت به شاهد شدند (جدول ۵). بیشترین تعداد دانه در طبق نیز در تیمار کاربرد ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات با ۱۲۳ درصد افزایش نسبت به شاهد حاصل شد. تیمارهای

جدول ۶- اثر ساده سطوح مختلف تراکم بوته خارمریم بر برخی از صفات اندازه‌گیری شده عملکرد و اجزای عملکرد آن
Table 6- Simple effect of different levels of milk thistle density on its some measured traits

تراکم خارمریم Milk thistle (pl m ⁻²)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds	وزن تک طبق Weight capitula (g)	وزن دانه در طبق Grain weight per capitula
4	724 ^a	29.2 ^a	3.41 ^a	1.83 ^a
8	691 ^{ab}	27.1 ^a	3.01 ^b	1.66 ^b
16	630.1 ^b	23.3 ^b	2.69 ^c	1.42 ^c

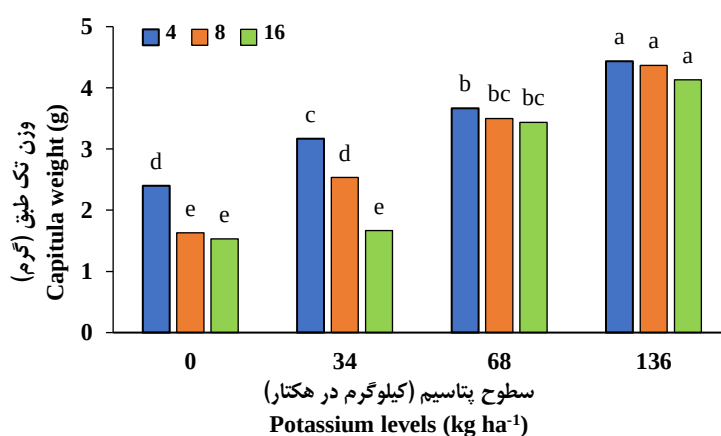
* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD حفاظت‌شده در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

* Similar letters indicate no significant difference based on the protected LSD test at the 5% probability level.

وزن طبق

مقایسه میانگین داده‌های اثر متقابل تیمارهای پتاسیم سولفات و تراکم علف‌هرز نشان داد که بیشترین وزن طبق در ترکیب تیماری ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات و تراکم چهار بوته خارمریم در مترمربع حاصل شد که نسبت به سطح بدون کاربرد پتاسیم سولفات در همین تراکم با افزایش به میزان ۸۴/۷ درصد همراه بود. سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار در همین تراکم چهار بوته در مترمربع به ترتیب ۵۲/۷ و ۳۱/۹ درصد وزن طبق را نسبت به عدم کاربرد پتاسیم در تراکم چهار بوته افزایش دادند. اگرچه افزایش تراکم خارمریم در تیمار ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات موجب کاهش وزن طبق گردید، ولی نسبت به سطوح دیگر کاربرد پتاسیم سولفات تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. هرچند در تیمار ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم کاربرد پتاسیم سولفات تفاوت بیشتری نسبت به سطح ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات در بین تراکم‌های علف‌هرز ایجاد کرد، به‌طوری‌که در ترکیب کاربرد ۶۸ کیلوگرم پتاسیم سولفات و تراکم چهار بوته، وزن تک طبق ۳/۷ گرم بود، ولی افزایش تراکم به ۸ و ۱۶ بوته در همین سطح پتاسیم سولفات به ترتیب موجب ۴/۵ و ۶/۴ درصد کاهش وزن طبق نسبت به تراکم چهار بوته شد. در سطح ۳۴ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار نیز بالاترین وزن تک طبق در تراکم چهار بوته حاصل شد و

افزایش تراکم به ۸ و ۱۶ بوته در همین سطح پتاسیم سولفات به ترتیب با ۲۰ و ۴۷/۴ درصد کاهش وزن طبق نسبت به تراکم چهار بوته در هکتار همراه بودند. در شرایط عدم کاربرد پتاسیم سولفات نیز بالاترین وزن تک طبق در تراکم چهار بوته حاصل شد و افزایش تراکم بوته به ۸ و ۱۶ بوته به ترتیب موجب کاهش ۳۱/۹ و ۳۶/۱ درصدی کاهش وزن طبق شدند. به‌طور کلی، نتایج نشان دادند که با افزایش کاربرد پتاسیم سولفات به ۱۳۶ کیلوگرم در هکتار، تفاوت بین تراکم‌های علف‌هرز از نظر وزن تک طبق از بین رفت. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش سطوح پتاسیم سولفات، رقابت بین بوته‌ها را کاهش داده و منحصراً به افزایش تقریباً برابر وزن طبق در بین تراکم‌ها منجر شده است (شکل ۴). مطالعات مختلف پژوهشگران نشان می‌دهد که وجود مقادیر مناسب پتاسیم می‌تواند در گیاه سبب ایجاد تعادل در پتانسیل آبی و افزایش ساخت ترکیبات آلی شود که در نتیجه وزن تر و خشک بیشتر می‌شود (Hussein et al., 2008). بررسی پژوهش‌ها نشان داد که کاربرد ۱۴۰ کیلوگرم پتاسیم سولفات در لوبیای چشم‌بلیلی (*Vigna unguiculata*) باعث افزایش وزن هزار دانه، اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه می‌شود که با نتایج ما در این گیاه مطابقت دارد (Mansourian & Shokoohifar, 2015).



شکل ۴- اثر متقابل سطوح مختلف کود پتاسیم و تراکم خارمریم بر وزن تک طبق

Figure 4- Interaction effect of different levels of potassium fertilizer and milk thistle density on its capitula weight

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level.

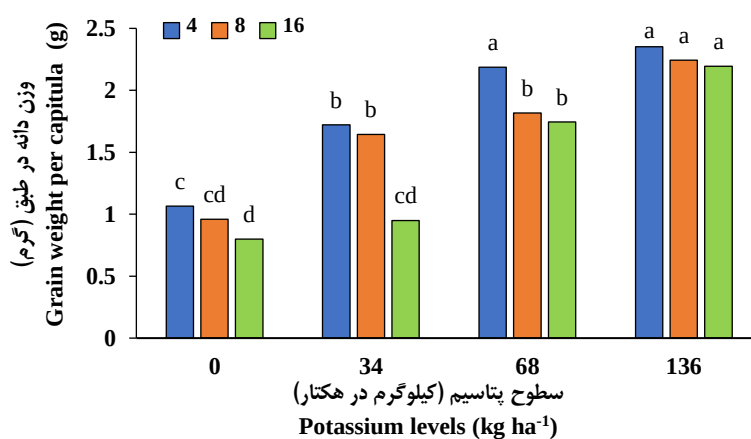
وزن دانه در طبق

مقایسه داده‌های اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیشترین وزن دانه در ترکیب تیماری کاربرد ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات و تراکم چهار بوته در مترمربع حاصل شد که نسبت به سطح عدم کاربرد پتاسیم سولفات در همین تراکم بوته به میزان ۱۲۰/۷ درصد با افزایش

همراه بود. به‌طور کلی، نتایج نشان دادند که در همه سطوح کاربرد پتاسیم سولفات، افزایش تراکم بوته موجب کاهش وزن دانه در طبق گردید، هرچند در تیمار ۱۳۶ کیلوگرم کاربرد پتاسیم سولفات تفاوت معنی‌داری بین سطوح تراکمی اختلاف به دست نیامد و وزن دانه در طبق در تراکم‌های ۸ و ۱۶ بوته تنها به ترتیب با ۴/۵ و ۶/۷ درصد کاهش نسبت به تراکم چهار بوته همراه بود. این درحالی است که در

به تراکم‌های ۸ و ۴ بوته همین سطح پتاسیم سولفات حاصل شد (شکل ۵). پتاسیم منجر به افزایش کارایی مصرف آب، بهبود شرایط رشد گیاه، تقسیم سلولی، ساخت هیدروکربن‌ها و پروتئین‌ها و انتقال سریع آن به طرف دانه می‌شود (Marschner, 1995; Daneshian et al., 2006). لذا افزایش وزن دانه‌ها با افزایش میزان پتاسیم قابل توجیه است. در تراکم بالای علف‌هرز، مواد غذایی اضافه‌شده، بیشتر مورد استفاده علف‌های هرز قرار می‌گیرد. بنابراین علف‌های هرز به مقادیر مختلف عناصر غذایی واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند (Barker et al., 2006; Hooker et al., 2008).

سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم و همچنین عدم کاربرد پتاسیم سولفات، با افزایش تراکم بوته اختلاف بیشتری در وزن دانه در طبق مشاهده شد، به‌طوری‌که در سطح ۶۸ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار، افزایش تراکم بوته از ۴ به ۸ و ۱۶ بوته به‌ترتیب با ۱۶/۹ و ۲۰/۲ درصد کاهش وزن دانه همراه بود. میزان کاهش وزن دانه در طبق با افزایش تراکم از ۴ به ۸ و ۱۶ بوته در مترمربع در سطح ۳۴ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار به‌ترتیب ۴/۶ و ۴۴/۸ درصد و در شرایط عدم کاربرد پتاسیم سولفات نیز به‌ترتیب ۱۰ و ۲۴/۸ درصد بود. در نهایت، بیشترین اختلاف وزن دانه در طبق در ترکیب تیماری سطح ۳۴ کیلوگرم در هکتار پتاسیم سولفات و تراکم ۱۶ بوته در مترمربع نسبت



شکل ۵- اثر متقابل سطوح کود پتاسیم سولفات و تراکم علف هرز بر وزن دانه در طبق گیاه خارمریم

Figure 5- Interaction effect of potassium sulfate fertilizer levels and weed density on seed weight capitula in thistle maryam plant

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level.

و نیز رقابت بین بوته‌ای برای مواد غذایی در تراکم‌های فشرده می‌باشد که منجر به کاهش تعداد شاخه جانبی و تعداد طبق در بوته و در نهایت تعداد دانه در طبق گردید که همه این عوامل موجب کاهش عملکرد گردید. با افزایش تراکم رقابت، درون گونه‌ای شده و سهم هر بوته از منابع کم می‌شود که در نهایت موجب کاهش عملکرد دانه در تک بوته می‌گردد که پژوهشگران دیگر نیز این نکته را بیان نموده‌اند (Mohammadi et al., 2012). تولید ماده خشک در گیاه در ابتدا تابع مستقیمی از تراکم گیاهی است، ولی در طول فصل رشد این رابطه به‌شکل سهمی در می‌آید. پژوهشگران دریافته‌اند که تراکم‌های بالا رقابت درون گونه‌ای بین بوته، میزان ماده خشک را تعیین می‌کند (Sarmadnia & Kouchaki, 1989). با کاهش تراکم بوته در واحد سطح، تعداد شاخه جانبی افزایش داشته و لذا همین امر موجب افزایش عملکرد گردید که با نتایج آزمایش پژوهشگران روی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (El-Gendy et al., 2012) مطابقت دارد.

عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثر ساده سطوح پتاسیم سولفات بر عملکرد دانه خارمریم نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با کاربرد ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار حاصل شد که نسبت به سطح شاهد با افزایش ۴/۱۴ درصد همراه بود. پس از آن، تیمارهای ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم پتاسیم سولفات نیز عملکرد را به‌ترتیب به‌میزان ۸۰/۵ و ۲۳/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۵). نتایج مقایسه اثر ساده تراکم بوته بر عملکرد دانه نشان داد که در مجموع، عملکرد دانه خارمریم با افزایش تراکم آن روند نزولی نشان داد، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد در تراکم چهار بوته در مترمربع آن حاصل شد و پس از آن با افزایش تراکم به ۸ و ۱۶ بوته در مترمربع به‌ترتیب ۴/۵ و ۱۲/۹ درصد کاهش نشان داد (جدول ۶). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش تراکم بوته، تعداد طبق در بوته کاهش یافت که احتمالاً به‌علت کاهش فضای اختصاص یافته به هر بوته در تاج‌پوشش

عملکرد گلرنگ نسبت به شاهد به میزان ۱۲۴/۲ و خارمریم به میزان ۱۴۱/۴ درصد با افزایش عملکرد دانه همراه بودند.

ولی پس از آن در سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم کاربرد پتاسیم سولفات، عملکرد دانه گیاه گلرنگ به ترتیب با افزایش ۹۳/۵ و ۳۱/۱ درصدی نسبت به شاهد همراه بود. در گیاه خارمریم نیز عملکرد دانه در همین سطوح کودی به ترتیب ۸۰/۶ و ۳۲/۴ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد. این داده‌ها نشان می‌دهد که در این سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم پتاسیم سولفات، میزان افزایش عملکرد گیاه گلرنگ نسبت به شاهد بیشتر از خارمریم بود. در کل، با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان برای مدیریت و رقابت با علف هرز خارمریم در مزارع گلرنگ از توانایی جذب بالا و کارایی بالاتر پتاسیم سولفات توسط گلرنگ در سطوح ۶۸ و ۳۴ کیلوگرم در مدیریت کودی این گیاه از آن بهره برد.

نتیجه گیری

نتایج نشان دادند که مدیریت عناصر غذایی خاک می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های مدیریت علف‌های هرز باشد و توانایی رقابت گیاه زراعی با علف‌های هرز را افزایش دهد، البته این تا زمانی است که تراکم علف‌هرز تا حدی افزایش نیابد که بر توان گیاه زراعی غلبه کند. نتایج نشان دادند که پتاسیم در همه سطوح کاربرد باعث افزایش عملکرد دانه و همچنین اجزای عملکرد هر دو گیاه گلرنگ و خارمریم گردید. در هر دو گیاه گلرنگ و خارمریم، بالاترین عملکرد و اجزای آن در تیمار ۱۳۶ کیلوگرم کاربرد پتاسیم سولفات حاصل شد. گیاه خار مریم نسبت به افزایش سطوح کودی پتاسیم سولفات به خصوص در سطح کاربرد ۱۳۶ کیلوگرم پتاسیم سولفات در هکتار واکنش عملکردی بهتری را نسبت به گلرنگ نشان داد، به طوری که

References

- Abbadi, J., Gerendas, J. & Sattelmacher, B. (2008). Effects of potassium supply on growth and yield of safflower as compared to sunflower. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(2), 272-280. <https://doi.org/10.1002/jpln.200700193>
- Abenavoli, L., Izzo, A. A., Cicala, C., Santini, A., & Capasso, R. (2018). Thistle maryam (*Silybum marianum*): A concise overview on its chemistry, pharmacological, and nutraceutical uses in liver diseases. *Phytotherapy Research*, 32 (1), 2202-2213. <https://doi.org/10.1002/ptr.6171>
- Aghaalikhani, M., Rajkan, A., Swanton, J., & Telonar, M. (2001). Studying the effect of day length, quantity and quality of light on the phenology and development of cockscomb. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 3(2), 39.
- Anim, O., & Limbani, N. V. (2007). Effect of intercropping on the growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Moench. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9, 594-597.
- Araghinejad, M. R., Sarajooghi, M., Ilkhaei, M. N. (2016). Effects of various levels of potassium sulphate on yield increase of cultivars Sofeh and Goldasht of safflower. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 12(3), 2016.
- Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L., & Mariotti, M., (2006) Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. *European Journal of Agronomy*, 25, 309-318. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.06.009>
- Balloe, F., Ardakani, M. R., Rejali, F., Ramzanpoor, M. R., Alizade, G. R., & Mohebbati, F. (2009). *Effect of Thiobacillus and mycorrhiza fungi under different levels of sulfur on yield and yield components of soybean*. International Symposium "Root Research and Application" RootRAP, 2-4 September. 2009. Boku- Vienna, Austria.
- Barker, D. C., Knezevic, S. Z., Martin, A. R., Walters, D. T., & Lindquist, J. L. (2006). Effect of nitrogen addition on the comparative productivity of corn and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science*, 54(4), 354-363. <https://doi.org/10.1614/ws-05-127r.1>
- Basak, B., & Biswas, D. (2009). Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by Sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. *Plant Soil*, 317, 235-255. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9805-z>
- Beckie, H. J., Johnson, E. N., Blackshaw, R. E. & Gan, Y. (2008). Weed suppression by Canola and Mustard cultivars. *Weed Technology*, 22, 182-185. <https://doi.org/10.1614/wt-07-126.1>
- Beres, B. L., Clyton, G. W., NeilHarkar, K., Craig Stevenson, F., Blackshaw, R. B., & Graf, R. J. (2010). A sustainable management package to improve winter wheat production and competition with weeds. *Agronomy Journal*, 102, 649-657. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0336>
- BlackShaw, R. E. (2001). Downy brome (*Bromus tectorum*) density and relative time of emergence effects interference in winter wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Science*, 41, 551-556.

- <https://doi.org/10.1017/S004317450007630X>
13. Brohi, A. R., Karaman, M. R., Topbas, M. T., Aktas, A., & Savasli, E. (2000). Effect of potassium and magnesium fertilization on yield and nutrient content of rice crop grown on artificial siltation soil. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24, 429-435.
 14. Brown, C. L. (1977). Effect of date of final irrigation on yield components of sunflower. *Agronomy Journal*, 54, 19-23. <https://doi.org/10.1071/ea9770482>
 15. Daneshian, J., Majidi, A., Noor Mohammadi, Q., & Janubi, P. (2006). *Studying the effect of drought and application of different amounts of potassium on soybean*. 9th Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding (Abstracts), September 25-27, Abu Raihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.
 16. Dukes, J. S. (2002). Species composition and diversity affect grassland susceptibility and response to invasion. *Ecological Applications*, 12, 602-617. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[0602:scadag\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[0602:scadag]2.0.co;2)
 17. El-Gendy, S. A., Hosni, A. M., Ahmed, S. S., & Sabri, R. M. (2001). Sweet basil productivity under different organic fertilization and inter – plant spacing levels in a newly reclaimed land in Egypt. *Hort Abstract*, 71, 1535.
 18. Fayaznia, F., Siahpoosh, A. R., Moradi-Tilawi, M. R., Siadat, S. A., & Bakhshandeh, A. M. (2015). *Studying the interaction effect of plant density with nutrients in the competition of wheat (Triticum astivum L.) with weeds*. The 6th Iranian Weed Science Conference. 1-3 September, Birjand, Iran.
 19. Fnayy, H. R., Geloy, M., kafy, M., Bnjar Ghanbari, A., & Shirani Rad, A. H. (2009). Effect of potassium fertilizer and irrigation on grain yield and water use efficiency in two varieties of rapeseed (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Journal of Agricultural Science*, 11(3), 289-271. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15625540.1388.11.3.6.0>
 20. Foladvand, M., Yadavi, A., & Movahedi Dehnavi, M. (2014). The effect of planting density and nitrogen fertilizer management on agronomic characteristics of safflower in competition with weeds. *Journal of Crop Production*, 7(3), 163-181.
 21. Gerendas, J., Abbadi, J., & Sattelmacher, B. (2008). Potassium efficiency of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(3), 431-439. <https://doi.org/10.1002/jpln.200720218>
 22. Ghorbanzadeh Taghab, M., & Afzal, R. (2015). Evaluation of genetic diversity of Iranian populations and foreign genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius*) using morphological traits and RAPD molecular markers. *Journal of Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 28(1), 94-106. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832738.1394.28.1.10.5>
 23. Gupta, O. P. (2000). *Modern Weed Management*. Published by Agrobios. India.
 24. Hoeft, R. G., Nafziger, E. D., Johnson, R. R., & Aldrich, R. (2000). *Modern Corn and Soybean Production*. MCSP Publications, USA.
 25. Hooker, K. V., Coxon, C. E., Hackett, R., Kirwan, L. E., Okeeffe, E., & Richards, K. G. (2008). Evaluation of cover crop and reduced cultivation for reducing nitrate leaching in Ireland. *Journal of Environmental Quality*, 37(1), 138-145. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0547>
 26. Hussein, M. M., Shaaban, M. M., & El - Saady, A. K. M. (2008). Response of cowpea plants grown under salinity stress to pk foliar applications. *American Journal of Plant Physiology*, 3(2), 81-88. <https://doi.org/10.3923/ajpp.2008.81.88>
 27. Jalilian, J., & Heydarzadeh, S. (2015). Effect of cover crops, organic and chemical fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*). *Science Agricultural and Sustainable Production*, 25, 71-85. (In Persian). <https://doi.org/10.14293/p2199-8442.1.sop-p71kke.v1>
 28. Jianwei, L., Zou, J. M., Chen, F. (2007). *Effect of phosphorus and potassium application on rapeseed yield and nutrients use efficiency*. Proceedings of the 12th International Rapeseed Congress. Wuhan, China. p. 202-205.
 29. Kenzevic, Z. S., Weise, S. F., & Swanton, C. I. (1995). Comparison of empirical models depicting density of *Amaranthus retroflexus* L. and relative leaf area as predictors of yield loss in maize (*Zea mays* L.). *Weed Research*, 35, 207-214. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1995.tb01783.x>
 30. Khaldabrin, B., & Eslamzadeh, T. (2005). *Mineral Nutrition of Organic Plants* (Translation). Shiraz University Press, Shiraz, Iran. Volume 1, 798 p.
 31. Khan, M. Z., Blackshaw, R. E., & Marwat, K. B. (2009). Biology of milk thistle (*Silybum marianum*) and the management options for growers in north-western Pakistan. *Weed Biology Management*, 9, 99-105. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2009.00326.x>
 32. Khosravi, M., Jami Al-Ahmadi, M., Eslami, S. V., & Sayari-Zohan, M. H. (2024). Investigating the effect of phosphorus fertilizer levels and density of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) on morphophysiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 38(3), 275-291. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.2024.84836.1162>
 33. Kikodze, D., Memiadze, N., Kharazishvili, D., Manvelidze, Z., & Mueller-Schaere, H. (2010). The Alien Flora of Georgia. The Federal Office of Environment, Georgian Ministry of the Environment, USA.

34. Kouchaki, A., Rashed Mohasel, M., & Nassiri, M. (1993). *The relationship between water and soil in crop plants*. Jihad Daneshgahi Publications, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 278 p.
35. Mansourian, S., & Shokoohfar, A. (2015). Effect of potassium fertilizer and irrigation intervals levels on yield and yield components of cowpea (*Vigna unguiculata*) in Ahvaz condition. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 5(1), 26-32.
36. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd Ed. Academic Press. London. pp. 889. <https://doi.org/10.1016/b978-012473542-2/50008-0>
37. Mehriya, M. L., Yadav, R. S., Jangir, R. P., & Poonia, B. L. (2007). Critical period of crop-weed competition and its effect on nutrients uptake by cumin (*Cuminum cyminum*) and weeds. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 77, 849-852.
38. Mengel, K. (1980). Effect on potassium on the assimilate conduction to storage tissue. *Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 93, 353-362. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1980.tb03346.x>
39. Mohammadi, G. R., & Amiri, F. (2011). Critical period of weed control in soybean (*Glycine max* L.) as influenced by starter fertilizer. *Australian Journal of Crop Science*, 5(11), 1350-1355.
40. Mohammadi, S., Farzaneh, A., Fatemi, H., Nezami, S., Aroee, H., & Amini Fard, M. H. (2012). The effect of manure and plant density on growth and quantitative characteristics of milk thistle (*Silybum marianum* L.). *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 110, 171-179. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1282978>
41. Mostafaei, M., Jami Al-Ahmadi, M., Salehi, M., & Shahidi, A. (2023). Investigation of physiological and yield characteristics of quinoa as affected by different levels of irrigation and plant density. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(1), 29-46. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.74044.1126>
42. Palizdar, M., Delkhosh, B., Shiranirad, A. H., & Noormohammadi, G. (2013). Investigation on effects of irrigation regimes and potassium content on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28(4), 2013.
43. Poffenberg, H. J., Mirsly, S. B., Teasdale, J. R., Spargo, J. T., Cavigelli, M. A., & Keramer, M. (2015). Nitrogen competition between corn and weeds in soils under organic and conventional management. *Weed Science*, 63, 461-476. <https://doi.org/10.1614/ws-d-14-00099.1>
44. Sangakkara, U. R., Frehner, M., & Nosberger, J. (2001). Influence of soil moisture and fertilizer potassium on the vegetative growth of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186, 73-81. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00433.x>
45. Sangakkara, U. R., Frehner, M., & Nösberger, J. (2000). Effect of soil moisture and potassium fertilizer on shoot water potential, photosynthesis and partitioning of carbon in mungbean and cowpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185, 201-207. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2000.00422.x>
46. Sarmadnia, G., & Kouchaki, A. (1989) *Physiology of Crop Plants*. Mashhad Academic Jihad Publications, Mashhad, Iran. 400 p.
47. Sawan, Z. M., Hafez, S. A., Basyony, A. E., & Alkassas, A. E. R. (2006). Cottonseed, protein, oil yields and oil properties as affected by nitrogen fertilization and foliar application of potassium and a plant growth retardant. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2(1), 56-65. <https://doi.org/10.3989/gya.2007.v58.i1.7>
48. Shafagh-Kolvanagh, J., Zehtab Salmasi, S., Javanshir, A., Moghaddam, M., & Dabbagh Mohammadinasab, A. (2009). Influence of nitrogen and weed interference on grain yield, yield components and leaf chlorophyll value of soybean. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 19(1), 1-20. (In Persian).
49. Shimura, J., Coates, D., & Mulongoy, J. K. (2010). The role of international organizations in controlling invasive species and preserving biodiversity. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 29(2), 405-410.
50. Vafaie, A., Ebadi, A., Rastgou, B., & Moghadam, S. H. (2013). The effects of potassium and magnesium on yield and some physiological traits of Safflower (*Carthamus tinctorius*). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(17), 1895-1900.

Contents

Research Articles

The Impact of Irrigation and Cow Manure on Morphological Characteristics, Yield, and Components of Shirazi thyme (<i>Zataria multiflora</i> Bioss.) in Mashhad	1
M. Shemshadi, M. Parsa, P. Rezvani Moghaddam, S. Khorramdel	
Study of Manure Application and Irrigation Interruption Impacts on Yield and Yield Components of Black Cumin (<i>Nigella sativa</i>)	21
A. Rostami Mamo, F. Mondani	
The Effect of Cover Crop and Row Spacing on Some Soil Properties, Yield and Yield Components of Faba Bean (<i>Vicia faba</i> L. Mehta Cultivar)	35
S. Iri, A. Siahmarguee, J. Gherekhloo, F. Sheikh, E. Zeinali, F. Ghaderi-Far	
Spatiotemporal Analysis of Irrigated and Dryland Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) Yield Variations in Khorasan Razavi Province	59
M. Soltani, M. Jahan, F. Yaghoubi	
Effect of Foliar Application of Glycine and Methanol on Yield and Some Morphological and Physiological Traits of Forage Maize (<i>Zea mays</i> L.) at Three Planting Dates	79
M. Ramezani, F. Paknejad, M. R. Ardakani, D. Habibi, M. N. Ilkaee	
Evaluation of the Effect of Organic Fertilizer and Zeolite on Some Quantitative and Qualitative Traits of Dryland Barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	93
A. Akbari, A. Khorgami, M. Rafiee, R. Mirdrikvand	
Optimizing Sowing Date and Plant Density to Improve Reproductive Traits and Yield of the Medicinal-Industrial Indigo Plant (<i>Indigofera tinctoria</i> L.) in Shushtar County	115
M. R. Zargarani Khouzani, M. H. Gharineh, A. Koochekzadeh, A. Lotfi Jalalabadi	
The Effect of Potassium Sulfate Fertilizer and Milk Thistle (<i>Silybum marianum</i> L.) Weed Density on Safflower (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) Yield	133
M. Mostafaei, M. Jami Al-Ahmadi, S. V. Eslami, M. H. Sayyari Zahan	

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 24

No. 1

2026

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

Iranian Journal of Field Crops Research

Vol.24 No.1

2026

ISSN:2008-1472

Contents

Research Articles

- The Impact of Irrigation and Cow Manure on Morphological Characteristics, Yield, and Components of Shirazi thyme (*Zataria multiflora* Bioss.) in Mashhad..... 1**
M. Shemshadi, M. Parsa, P. Rezvani Moghaddam, S. Khorramdel
- Study of Manure Application and Irrigation Interruption Impacts on Yield and Yield Components of Black Cumin (*Nigella sativa*) 21**
A. Rostami Mamo, F. Mondani
- The Effect of Cover Crop and Row Spacing on Some Soil Properties, Yield and Yield Components of Faba Bean (*Vicia faba* L. Mehta Cultivar) 35**
S. Iri , A. Siahmarguee, J. Gherekhloo, F. Sheikh, E. Zeinali, F. Ghaderi-Far
- Spatiotemporal Analysis of Irrigated and Dryland Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield Variations in Khorasan Razavi Province..... 59**
M. Soltani, M. Jahan, F. Yaghoubi
- Effect of Foliar Application of Glycine and Methanol on Yield and Some Morphological and Physiological Traits of Forage Maize (*Zea mays* L.) at Three Planting Dates 79**
M. Ramezani, F. Paknejad, M. R. Ardakani, D. Habibi, M. N. Ilkaee
- Evaluation of the Effect of Organic Fertilizer and Zeolite on Some Quantitative and Qualitative Traits of Dryland Barley (*Hordeum vulgare* L.) 93**
A. Akbari, A. Khorgami, M. Rafiee, R. Mirdrikvand
- Optimizing Sowing Date and Plant Density to Improve Reproductive Traits and Yield of the Medicinal-Industrial Indigo Plant (*Indigofera tinctoria* L.) in Shushtar County 115**
M. R. Zargarani Khouzani, M. H. Gharineh, A. Koochekzadeh, A. Lotfi Jalalabadi
- The Effect of Potassium Sulfate Fertilizer and Milk Thistle (*Silybum marianum* L.) Weed Density on Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Yield 133**
M. Mostafaei, M. Jami Al-Ahmadi, S. V. Eslami, M. H. Sayyari Zahan