



نشریه علمی پژوهشهای زراعی ایران

شماره ۴

جلد ۲۲

سال ۱۴۰۳

(شماره پیاپی: ۷۶)

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

- اثر قارچ‌های اندوفیت جدا شده از گیاهان خانواده کنوپودیاسه بر خصوصیات رشدی و افزایش جذب فسفر گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) ۳۶۱
علی صادقی، محمد فارسی، پرینا طاهری، علی اکبر صفری سنجانی
- اثر تاریخ و فاصله کاشت بر خصوصیات کیفی و زیست توده کاملینا (*Camelina sativa* L. Crantz) ۳۷۵
فائزه زعفریان، حمیدرضا قربانی، پرستو مجیدیان، محمد کاوه
- بررسی اثرات نانو سیلیکات سدیم متانولی و گلايسین بر عملکرد و کیفیت چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) ۳۸۷
حسین رضایی، فرزاد پاک‌نژاد، محمد نبی ایلکایی، داود حبیبی، مهدی صادقی شعاع
- بررسی پاسخ عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) به محلول پاشی با باکتری آزوسپیریلوم، هورمون بنزیل آمینو پورین و روی ۴۰۳
محمدجواد زارع
- اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و خصوصیات کیفی ارقام چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) پاییزه در منطقه گنبد کاووس ۴۲۱
انسیه پسرکلو، عباس بیابانی، سعید یاراحمدی، علیرضا صابری، معصومه نعیمی، فاختک طلیعی
- تأثیر کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و پروتئین دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری ۴۴۳
محمود مرادی شهدادی، محمود دژم، مهدی مدندوست، محمد رضا بازاریار
- ارزیابی اثر روش آبیاری و زمان مصرف علف کش تریفلورالین بر جمعیت علف‌های هرز، اجزای عملکرد و عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) ۴۵۹
روح اله مرادی، حسین حمامی، نسیمه پورقاسمیان
- تأثیر محلول پاشی براسینواستروئید و ملاتونین بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و شاخص‌های رشد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در شرایط تنش خشکی ۴۷۷
ندا پاک گوهر، علی اکبر مقصودی مود، حسن فرح بخش، امین پسندی پور

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 ۱۴۰۳

شماره ۴

جلد ۲۲

صاحب امتیاز:

دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

پرویز رضوانی مقدم

سردبیر:

حمیدرضا خزاعی

استاد-اگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

مجید آقاعلیخانی

استاد-اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف های هرز (دانشگاه تربیت مدرس، تهران)

پرویز احسان زاده

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه صنعتی اصفهان)

یحیی امام

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)

عبدالرضا باقری

استاد-ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمدعلی بهدانی

استاد-اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

محمد بنایان اول

استاد-مدل سازی سیستم های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

مجید جامی الاحمدی

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

یعقوب راعی

استاد-اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تبریز)

حمیدرضا خزاعی

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

حمید رحیمیان مشهدی

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

غلامرضا زمانی

دانشیار-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

احمد زارع فیض آبادی

استاد-اکولوژی گیاهان زراعی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی)

فرح اله شهریاری احمدی

استاد-ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمد کافی

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

احمد نظامی

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

احسان عیشی رضایی

مدل سازی گیاهی (مرکز مطالعات کشاورزی بنیاد لاینیتر (زالف)، آلمان)

اعظم لشکری

فیزیولوژی گیاهی محیطی (مرکز جان اینس، نورویچ، انگلیس)

امیربهبزاد بذرگر

مدل سازی اکولوژیک (دانشکده علوم محیطی، دانشگاه گوئلف، 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 پایگاه های زیر نمایه می شود:

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

مقالات پژوهشی

- ۳۶۱ اثر قارچ‌های اندوفیت جداشده از گیاهان خانواده کنوبودیاسه بر خصوصیات رشدی و افزایش جذب فسفر گیاه جو (*Hordeum vulgare*)
علی صادقی، محمد فارسی، پریسا طاهری، علی اکبر صفری سنجانی
- ۳۷۵ اثر تاریخ و فاصله کاشت بر خصوصیات کیفی و زیست‌توده کاملینا (*Camelina sativa* L. Crantz)
فائزه زعفریان، حمیدرضا قربانی، پرستو مجیدیان، محمد کاوه
- ۳۸۷ بررسی اثرات نانو سیلیکات سدیم متانولی و گلايسين بر عملکرد و کیفیت چغندر قند (*Beta vulgaris* L.)
حسین رضایی، فرزاد پاک‌نژاد، محمد نبی ایلکایی، داود حبیبی، مهدی صادقی شعاع
- ۴۰۳ بررسی پاسخ عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) به محلول‌پاشی با باکتری *آزوسپیریلوم*، هورمون بنزیل آمینو پورین و روی
محمدجواد زارع
- ۴۲۱ اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و خصوصیات کیفی ارقام چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) پاییزه در منطقه گنبد کاووس
انسبه پسرکلو، عباس بیابانی، سعید یاراحمدی، علیرضا صابری، معصومه نعیمی، فاختک طلیعی
- ۴۴۳ تأثیر کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و پروتئین دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری
محمود مرادی شهدادی، محمود دژم، مهدی مدن دوست، محمدرضا بازاریار
- ۴۵۹ ارزیابی اثر روش آبیاری و زمان مصرف علف‌کش تریفلورالین بر جمعیت علف‌های هرز، اجزای عملکرد و عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)
روح اله مرادی، حسین حمامی، نسیم پورقاسمیان
- ۴۷۷ تأثیر محلول‌پاشی بر اسینواستروئید و ملاتونین بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و شاخص‌های رشد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در شرایط تنش خشکی
ندا پاک‌گوهر، علی اکبر مقصودی مود، حسن فرح بخش، امین پسندی پور



Research Article

Vol. 22, No. 4, Winter 2025, p. 359-371

Effect of Fungi Isolated from the Chenopodiaceae Family on the Growth Characteristics and Increasing Phosphorus Absorption of Barley (*Hordeum vulgare*) Plant

A. Sadeghi¹, M. Farsi^{2*}, P. Taheri³, A. A. Safari Sinegani⁴

1- Ph.D. Student, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(*- Corresponding Author Email: farsi@um.ac.ir)

Received: 29 December 2023

Revised: 13 March 2024

Accepted: 20 May 2024

Available Online: 07 December 2024

How to cite this article:

Sadeghi, A., Farsi, M., Taheri, P., & Safari Sinegani, A. A. (2025). Effect of Fungi Isolated from the Chenopodiaceae Family on the Growth Characteristics and Increasing Phosphorus Absorption of Barley (*Hordeum vulgare*) Plant. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(4), 359-371. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86058.1289>

Introduction

Plant endophytes are microorganisms that live in healthy plant organs but do not cause disease symptoms, and the endophyte lifestyle plays an important role in plant growth, fitness, and diversity. Dark septate endophytic are a group of endophytic fungi that have special hyphae that form dark colonies in agar culture. In this study, the effect of these fungi on germination indicators, growth characteristics and increasing the amount of phosphorus in barley (*Hordeum vulgare*) plants was investigated, in order to investigate the possibility of using these fungi as biofertilizers in laboratory and greenhouse conditions.

Materials and Methods

In this study, seven endogenous fungal isolates were obtained from plants belonging to the Chenopodiaceae family including *Aspergillus terreus*, *Penicillium* sp., *Curvularia spicifera*, *Alternaria alternaria*, *Fusarium solani*, *Fusarium brachigibbosum* and *Acremonium consortialis*, which were identified in previous researches, were investigated. *Piriformospora indica* was used as a known fungal species. Yousef cultivar barley seeds were obtained from Khorasan Razavi Agricultural Research Center. The experiments were carried out as a completely randomized design with four replications in two sections: germination in the laboratory and planting in pots at the greenhouse of the faculty of agriculture of Ferdowsi university. To check the germination indicators, the seeds were stored on moist paper towels inside a sterile petri dish for one week at 28 °C in an incubator. Sterile distilled water was used as control. After one week, germination speed, germination percentage, germination value, and vigor index were assessed. For the greenhouse study, the soil mixture (three parts sand and one part



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86058.1289>

soil) was sterilized at 105 °C for 48 hours. Pots measuring 20 × 20 cm were used. Seed inoculation was performed in a manner consistent with the germination test. Twelve seeds were sown in each pot, and at the two-leaf stage, the seedlings were thinned to eight plants per pot. After 28 days, the plants were evaluated for leaf area index, chlorophyll content, shoot phosphorus levels, dry weight, and fungal colonization percentage in the roots.

Results and Discussion

The percentage of colonization in all fungi except *A. alternaria* (%19.60) was above %30. The germination rate in the treatment with *A. terreus* (2.95 seed day⁻¹) was significantly higher than the control and other fungi. Also, the germination rate in the treatment with *A. alternaria*, *C. spicifera*, *A. consortialis*, *F. brachibosum* and *Penicillium* sp. was more than control. Germination percentage in *A. terreus* (%95), *Penicillium* sp. (%90), *C. spicifera* (%85) and *A. alternaria* (%80) were higher than the control (α =%5). Considering that the viability of the selected seeds was low (control germination percentage %50) and the mentioned fungi were able to increase the germination percentage in these seeds, these fungi are a suitable option for sowing seeds with low germination percentage. The value of germination in the treatment with *A. terreus* (3.735) was higher than the control and other treatments. Treatment with *Penicillium* sp., *A. alternaria* and *C. spicifera* fungi was more than the control. The vigour index of treatment with *A. terreus* (13.65), *C. spicifera* (13.23) and *A. alternaria* (11.53) in one group and at a significant level of %5 were higher than treatment with other fungi. *A. terreus* treatment improved all germination indices and this increase was higher than the control species (*P. indica*). The amount of leaf phosphorus in the treatment with *A. terreus* (%0.516) and *P. indica* (%0.499) was higher than other fungal and control treatments. The leaf surface area in the treatment with *A. terreus* (9.97 cm²) was higher than the treatment with other fungi and the control fungus (9.84 cm²). In addition to *A. terreus*, the treatment with *A. consortialis* (10.06 cm²), *C. spicifera* (9.91 cm²) and *P. indica* (9.84 cm²) was significantly higher than the control. Chlorophyll a and b were the highest in the treatment with *A. terreus* and *P. indica*. In addition, the treatment with *C. spicifera* and *A. alternaria* had more chlorophyll a and b at a significant level of 5% than the control treatment. The dry weight of shoot with the treatment of *A. terreus* (6.40 mg g⁻¹) and *P. indica* (6.10 mg g⁻¹) increased the most compared to the treatment with other fungi.

Conclusion

Considering the ability of *A. terreus* in improving the germination characteristics, the plant growth conditions observed in this study. It is suggested to the next works should pay attention to the effect of this fungi on the environment and the ecosystem of other organisms and plants so that it can be used as a biological fertilizer.

Acknowledgement

We thank Ferdowsi university of mashhad for providing the necessary facilities for the implementation of the project, Ferdowsi University Department of Plant Medicine and Soil Science for providing the control strain and the necessary equipment, and the expert on breeding barley cultivars at Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center.

Keywords: *Aspergillus*, Fungal endophyte, Germination index, Growth characteristics, Phosphorus absorption

مقاله پژوهشی

جلد ۲۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص ۳۵۹-۳۷۱

اثر قارچ‌های اندوفیت جداشده از گیاهان خانواده کنوپودیاسه بر خصوصیات رشدی و افزایش جذب فسفر گیاه جو (*Hordeum vulgare*)

علی صادقی^۱، محمد فارسی^{۲*}، پریسا طاهری^۳، علی اکبر صفری سنجانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۳۱

چکیده

قارچ‌های اندوفیت موجب افزایش سطح تماس ریشه‌ها و باعث جذب بیشتر عناصر معدنی به‌طور ویژه عناصر کم‌تحرک مانند فسفر می‌شوند که در نتیجه، رشد گیاه را بهبود می‌دهند. در این پژوهش، هفت جدایه قارچی اندوفیت جداشده از گیاهان خانواده اسفناج (*Suaeda*, *Salsola crassa*) در آزمایشگاه و کاشت در گلدان در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی در سال ۱۴۰۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی برای اثربخشی بر گیاه جو (*Hordeum vulgare*) مورد بررسی قرار گرفت. سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، ارزش جوانه‌زنی و بنیه بذر در بخش جوانه‌زنی و مساحت برگ، کلروفیل، میزان فسفر شاخساره، وزن خشک و درصد کلونیزه شدن ریشه گیاه با قارچ‌های اندوفیت در بخش گلدانی مورد بررسی قرار گرفتند. درصد کلونیزه شدن ریشه توسط تمام قارچ‌ها به‌جز *Alternaria alternaria* (۹۶/۶۰ درصد) بالای ۳۰ درصد بود. تیمار تلقیح ریشه گیاه با قارچ *Aspergillus terreus* توانست سرعت جوانه‌زنی (۲/۹۵ بذر در روز)، درصد جوانه‌زنی (۹۵ درصد)، ارزش جوانه‌زنی (۳/۷۳) و بنیه بذر (۱۳/۶۵) را به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد و دیگر تیمارها افزایش دهد ($P \leq 0.05$). علاوه‌براین، در بخش صفات رشدی گیاه، تیمار تلقیح با *A. terreus* توانست درصد فسفر برگ (۵۱۶/۰ درصد)، مساحت برگ (9.97 m^2)، کلروفیل a و b و وزن خشک شاخساره (6.40 mg g^{-1}) را به‌طور معنی‌داری نسبت به دیگر تیمارهای قارچی افزایش دهد ($P \leq 0.05$). با توجه به بهبود صفات جوانه‌زنی و رشدی گیاه توسط تیمار با *A. terreus*، این قارچ می‌تواند گزینه مناسبی برای فرمولاسیون و تولید کود زیستی باشد.

واژه‌های کلیدی: اندوفیت قارچی، آسپرژیلوس، خصوصیات رشدی، جذب فسفر، شاخص جوانه‌زنی

مقدمه

کودهای شیمیایی می‌تواند باعث تغییر pH و ساختار خاک، کاهش محتوای مواد آلی و هوموس، انهدام گونه‌های میکروبی مفید، توقف رشد گیاهان، افزایش شیوع آفات و افزایش ورودی گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر شود (Pahalvi, Rafiya, & Rashid, 2021). اخیراً استفاده از عوامل زیستی به‌عنوان جایگزین در سیستم‌های کشاورزی پایدار برای کاهش اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی کودهای شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. قارچ‌های اندوفیت، نقش مهمی در چرخه زندگی اکثر گونه‌های گیاهی دارند و بسیاری از گیاهان بدون این ریزجانداران از رشد کافی برخوردار نیستند (Aly, Debbab, & Proksch, 2011). اندوفیت‌های گیاهی، ریزجاندارانی هستند که در اندام‌های گیاهی سالم زندگی می‌کنند، اما علائم بیماری را ایجاد نمی‌کنند، و سبک زندگی (نوع برهم‌کنش زیستی) آن‌ها نقش مهمی

استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی می‌تواند باعث آلودگی محیط زیست شود و اثرات جانبی بر سلامت انسان و دام داشته باشد (Aktar, Sengupta, & Chowdhury, 2009). استفاده بیش‌ازحد از

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
 - ۲- استاد، گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
 - ۳- استاد، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
 - ۴- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
- (*)- نویسنده مسئول
(Email: farsi@um.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86058.1289>

گرفتند و گونه *Piriformospora indica* به‌عنوان گونه شناخته‌شده قارچی برای مقایسه به‌عنوان شاهد از گروه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد دریافت شد. بذر جو رقم یوسف (بهاره، زودرس و حساس به شوری) از مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی تهیه شد. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در دو بخش جوانه‌زنی در آزمایشگاه و کاشت در گلدان در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. بذور به مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۹۵ درصد و پنج دقیقه در محلول هیپوکلرید یک درصد تکان داده و سه بار در آب مقطر استریل شستشو شدند. برای تلقیح بذور با قارچ، بذور ضدعفونی‌شده در سوسپانسیون اسپور با غلظت 1×10^7 به مدت دو ساعت غوطه‌ور شدند. از آب مقطر استریل به‌عنوان شاهد استفاده شد. برای بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی، بذرها (۱۰ بذر در هر ظرف پتری) روی دستمال کاغذی مرطوب در داخل ظروف پتری استریل به مدت یک هفته در دمای 28°C در انکوباتور نگهداری شدند. بعد از یک هفته، سرعت جوانه‌زنی (Germination speed)، درصد جوانه‌زنی (Germination percentage) و بیه بذر (vigor index) اندازه‌گیری شدند (Waqas et al., 2012). معادله هر شاخص در زیر نشان داده شده است.

$$(1) \quad \text{تعداد بذورهای جوانه زده} \div \text{روز اول محاسبه} + \dots + \text{تعداد بذورهای جوانه زده} \div \text{روز آخر محاسبه} = \text{سرعت جوانه‌زنی}$$

$$(2) \quad 100 \times \frac{\text{تعداد بذورهای جوانه زده}}{\text{تعداد کل بذر}} = \text{درصد جوانه‌زنی}$$

$$(3) \quad \text{درصد جوانه‌زنی} \times \left(\frac{\text{درصد جوانه‌زنی تجمعی در هر روز}}{\text{تعداد روزها از شروع جوانه‌زنی}} \right) = \text{ارزش جوانه‌زنی}$$

$$(4) \quad \frac{\text{طول گیاهچه (cm)} \times \text{درصد جوانه‌زنی}}{\text{تعداد کل بذر}} = \text{بیه بذر}$$

در پژوهش گلخانه‌ای، خاک استفاده‌شده (جدول ۱) برای استریل در دمای 105°C در اتوکلاو قرار گرفتند (Habibi, Maskarbashi, & Farzaneh, 2015) و از گلدان‌هایی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. تلقیح بذور در مرحله کاشت در گلدان مشابه تلقیح بذور در تست جوانه‌زنی انجام شد. در هر گلدان، ۱۲ عدد بذر کاشته و در مرحله دو برگی، تعداد بوته‌های هر گلدان به هشت بوته تنک شد. گیاهان بعد از ۲۸ روز به‌منظور اندازه‌گیری مساحت برگ، کلروفیل، فسفر شاخساره، وزن خشک شاخساره و درصد کلونیزه شدن ریشه توسط هر قارچ مورد بررسی قرار گرفتند (Habibi et al., 2015). فسفر کودی به‌میزان ۲۶ میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک خشک به‌صورت سوپر فسفات تربیل (حاوی ۴۶ درصد P_2O_5)، پتاسیم کودی به‌مقدار ۵۴ میلی‌گرم پتاسیم خالص در کیلوگرم خاک خشک به‌صورت سولفات پتاسیم و نیتروژن کودی به‌میزان ۵۸ میلی‌گرم نیتروژن خالص در کیلوگرم خاک خشک به‌صورت کود اوره به‌کار برده شد.

در رشد، تحمل به تنش و تنوع گیاه دارد (Hardoim et al., 2015). قارچ‌ها، باکتری‌ها یا حتی ویروس‌ها را می‌توان به‌عنوان اندوفیت در نظر گرفت، اما فراوان‌ترین آن‌ها، قارچ‌های اندوفیت هستند که در هر گیاه صرف‌نظر از اندازه، شکل یا گونه یافت می‌شوند (Khare & Mishra, 2018). قارچ‌های دارای دیواره سلولی تیره‌رنگ گروهی از قارچ‌های اندوفیت هستند که در محیط کشت، پرگنه‌های تیره‌ای تشکیل می‌دهند. این قارچ‌ها می‌توانند درون و بیرون از ریشه‌های گیاه رشد کنند (Diene, Wang, & Narisawa, 2013; Knapp, Kovács, Zajta, Groenewald, & Crous, 2015). ریشه‌های این قارچ‌ها دارای دیواره سفت کیتینی و ملانینی است که این رنگدانه‌ها، به‌ویژه ملانین، زنده‌مانی و کارایی این قارچ‌ها را برابر تنش‌های محیطی و به‌ویژه خشکی افزایش می‌دهد. این گروه قارچی با تشکیل شبکه ریشه‌ای گسترده موجب افزایش سطح تماس و سرعت جذب ریشه‌ها شده و باعث جذب بیشتر عناصر معدنی به‌خصوص عناصر کم‌تحرک مانند فسفر، روی و مس می‌شوند که در نتیجه، زیست‌توده ریشه و ساقه را افزایش و رشد گیاه را بهبود می‌دهد (Marschner & Dell, 1994). فسفر در فرآیندهایی مانند فتوسنتز، تولید انرژی، سنتز قند و تجزیه آن و همچنین در هسته‌های کوآنزیمی، فسفوپروتئین‌ها و فسفولیپیدها کاربرد دارد (Jahandideh, Barani Motlagh, Dordipoor, Ghorbani Nasr Abadi, & Nazari, 2019).

هفت جدایه قارچی بررسی‌شده در این پژوهش می‌توانند حلالیت فسفر و کلسیم را افزایش دهند (Ahadi, Safari Sinegani, & Aletaha, 2020) و دارای توانایی زندگی اندوفیتی (در گیاه) و ساپروفیتی (در خاک) هستند (Diene et al., 2013; Knapp et al., 2015). همچنین اثبات شده است که قارچ‌های اندوفیت با افزایش حلالیت فسفر و تجمع عنصر فسفر در شاخساره، باعث رشد بهتر گیاه جو (*Hordeum vulgare*) شده‌اند (Brazhnikova, Shaposhnikov, & Sazanova, 2022). با توجه به این اطلاعات، در این پژوهش به بررسی اثر هفت جدایه قارچی بر شاخص‌های جوانه‌زنی، خصوصیات رشدی و افزایش میزان فسفر در گیاه جو در شرایط آزمایشگاه و گلخانه پرداخته شده است، تا بدین‌وسیله امکان استفاده از این قارچ‌ها به‌عنوان کود زیستی بررسی شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، هفت جدایه قارچی اندوفیت جداشده از گیاهان خانواده اسفناج شامل *Penicillium* sp., *Aspergillus terreus*, *Fusarium Alternaria alternaria*, *Curvularia spicifera*, *Acremonium brachigibbosum*, *solani* و *Fusarium consortialis* که در پژوهش‌های قبلی شناسایی شده بود (Aletaha, Safari Sinegani, & Zafari, 2018)، مورد بررسی قرار

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Some physical and chemical properties of soil

نمونه Sample	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن Nitrogen	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m ⁻¹)
خاک Soil (0-30 cm)	65	15	18.3	1.1	1.7	0.09	0.02	7.1	0.18

قطعه یک سانتی متری از ریشه گیاه با میکروسکوپ بررسی شد و درصد کلونیزه شدن براساس تعداد قطعات ریشه گیاه کلونیزه شده با قارچ، نسبت به کل تعداد قطعات ریشه (۱۰ قطعه) محاسبه شد. سطح برگ از طریق رابطه (۵) محاسبه شد (Bouzouina et al., 2021).
(۵) (طول برگ + عرض برگ) $\times 0.75 =$ سطح برگ
تجزیه واریانس داده توسط نرم افزار SAS و آزمون مقایسه میانگین توسط آزمون حداقل تفاوت معنی داری (LSD) در سطح معنی داری پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی کلونیزه شدن ریشه گیاهچه جو توسط قارچ‌ها

تصاویر میکروسکوپی رشد ریشه‌های قارچ‌های *Penicillium* sp.، (a) *C. spicifera*، (b) *A. terreus*، (c) *A. alternaria*، (d) *A. consortialis* و (e) *F. solani* در محیط درون و بیرون از سلول‌های ریشه در شکل ۱ نشان داده شد و درصد کلونیزه شدن در تمام قارچ‌ها به جز *A. alternaria* (۱۹/۶۰) بالای ۳۰ درصد بود. نتایج نشان داد که این قارچ‌ها قابلیت کلونیزه کردن ریشه جو را دارند. کلونیزه شدن ریشه گیاه گندم توسط این قارچ‌ها نیز نشان داده شده است (Aletaha & Sinegani, 2020).

برای تعیین وزن خشک شاخساره، نمونه‌ها در آون با دمای ۶۰°C به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل با استون صورت گرفت، بدین ترتیب که ۰/۰۳ گرم برگ تر گیاه در هاون چینی با استون به صورت تدریجی سائیده شد. در هر مرحله، محلول شفاف رویی به بالن ژوژه ۲۵ میلی لیتری منتقل شد. سپس، حجم محلول با استون به ۲۵ میلی لیتر رسانده شد. محلول حاصل، سانتیفریوژ و جذب نوری در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۶۵۲ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر UV/Vis اندازه‌گیری شد (Bouzouina, Kouadria, & Lotmani, 2021).

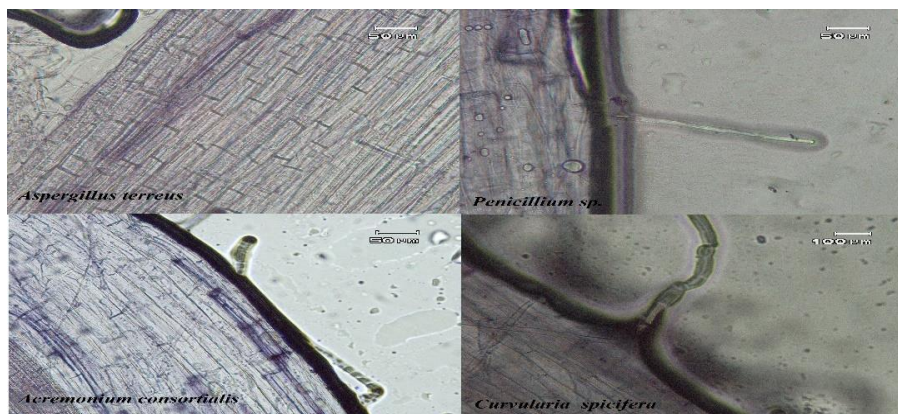
برای تعیین میزان فسفر برگ، از روش رنگ سنجی استفاده شد و در نهایت، جذب آن در طول موج ۷۳۰ نانومتر با استفاده از محلول‌های استاندارد فسفر در محدوده ۱۰-۱۰۰ ppm اندازه‌گیری و نتایج براساس درصد فسفر در بافت مورد نظر محاسبه شد (Wegglar- Beaton & Graham, 2003).

برای اطمینان از حضور قارچ در بافت ریشه گیاه و مشاهده قارچ در بافت ریشه، ریشه‌های گیاه تیمار شده با قارچ، برای ۲۴ ساعت در محلول پتاسیم هیدروکسید ۱۰ درصد قرار گرفتند. بعد از حذف پتاسیم هیدروکسید از ریشه‌ها با شستن توسط آب مقطر، ریشه‌ها به محلول اسید کلریدریک پنج درصد به مدت ۱-۲ دقیقه منتقل شدند. سپس، اسید کلریدریک حذف شد و بافت گیاه در محلول رنگ آمیزی تریپان بلو با غلظت ۰/۲ گرم در لیتر قرار گرفت (Kobae & Ohtomo, 2016). برای تعیین درصد کلونیزه شده در هر گیاهچه توسط قارچ، ۱۰

جدول ۲- درصد کلونیزه شدن قارچ‌ها در ریشه گیاه جو

Table 2- Percentage of fungi colonization in the barley root

قارچ Fungi	<i>Penicillium</i> sp.	<i>Fusarium solani</i>	<i>Aspergillus terreus</i>	<i>Fusarium brachigibbosum</i>	<i>Acremonium consortialis</i>	<i>Curvularia spicifera</i>	Control	<i>Piriformospora indica</i>	<i>A. Alternaria</i>
درصد کلونیزه شدن Colonization percentage	31.60	30.63	37.67	33.77	30.73	36.27	0	36.17	19.60



شکل ۱- حضور ریشه قارچ‌های *Penicillium sp.*, *Curvularia spicifera*, *Aspergillus terreus* و *Acremonium consortialis* در ریشه که با استفاده از میکروسکوپ نوری تصویربرداری شده است

Figure 1- The presence of hyphae of *Penicillium sp.*, *C. spicifera*, *A. terreus* and *A. consortialis* of fungi in root, which were imaged using an optical microscope

شاخص‌های جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، ارزش جوانه‌زنی و بنیه بذر تحت تأثیر قارچ‌های اندوفیت معنی‌دار شد (جدول ۳).

سرعت جوانه‌زنی در تیمار با قارچ *A. terreus* (۲/۹۵ دانه در روز) بیشتر از شاهد و دیگر قارچ‌ها بود ($\alpha=5\%$). همچنین سرعت جوانه‌زنی در تیمار با قارچ‌های *A. terreus*، *A. alternaria*، *C. spicifera* و *F. brachibosum consortialis* بیشتر از شاهد بود (شکل ۲).

درصد جوانه‌زنی در *A. terreus* (۹۵ درصد)، *Penicillium sp.* (۹۰ درصد)، *C. spicifera* (۸۵ درصد) و *A. alternaria* (۸۰ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود ($P \leq 0.05$) (شکل ۳). با توجه به این‌که درصد جوانه‌زنی در شاهد ۵۰ درصد بود و قارچ‌های مذکور توانستند درصد جوانه‌زنی در این بذور را افزایش دهند، این قارچ‌ها

گزینه مناسبی برای تلقیح بذور با درصد جوانه‌زنی پایین هستند. به‌طور مشابه، کومار و همکاران (Kumar, Maurya, & Raghuwanshi, 2021) نشان دادند که بذرمال با تیمار زیستی، درصد جوانه‌زنی را افزایش داد.

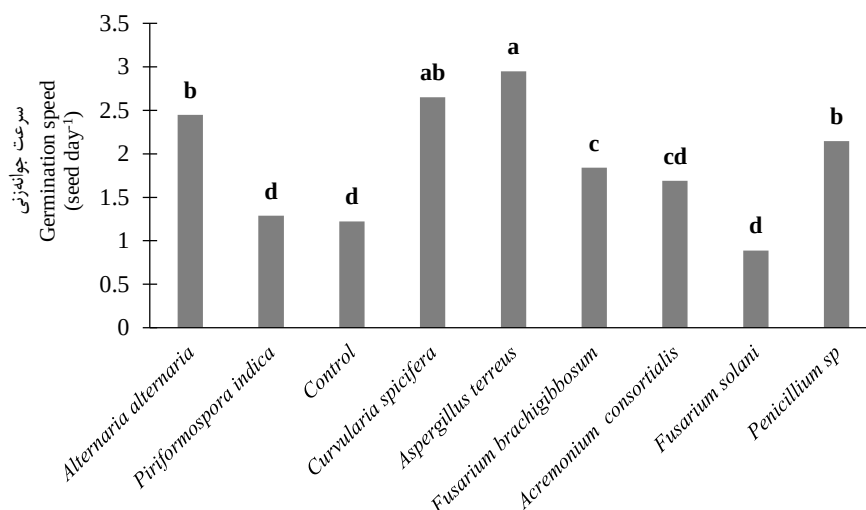
ارزش جوانه‌زنی در تیمار با *A. terreus* (۳/۷۳) نسبت به شاهد و دیگر تیمارها بیشتر بود. همچنین ارزش جوانه‌زنی تیمار با قارچ‌های *Penicillium sp.*، *A. alternaria* و *C. spicifera* بیشتر از شاهد بود (شکل ۴).

الیوت و همکاران (Waqas et al., 2012) گزارش دادند که بنیه بذر بالا منجر به افزایش وزن کل بوته شده و عملکرد را نیز بهبود می‌بخشد. بنیه بذر تیمار *A. terreus* (۱۳/۶۵) و *C. spicifera* (۱۳/۲۳) در یک گروه و به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار تلقیح با دیگر قارچ‌ها بودند ($P \leq 0.05$) (شکل ۵).

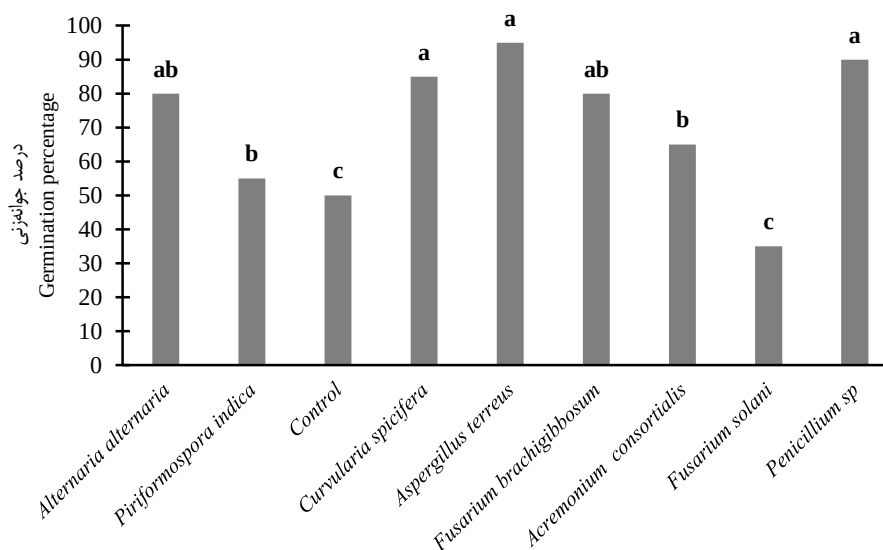
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تلقیح قارچ‌های اندوفیت بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذور گیاه جو
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of endophytic fungi inoculation on barley seed germination indices

منابع تغییرات S.O.V	سرعت جوانه‌زنی Germination speed	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	ارزش جوانه‌زنی Germination value	بنیه بذر Vigour index
گونه‌های قارچی Fungi species	1.47*	1245.8*	6.627*	59.38*
خطا Error	0.0004	0.534	0.0005	0.0087
ضریب تغییرات CV	2.4	3.8	2.6	4.2

* معنی‌داری در سطح پنج درصد
* Significance at the 5% level



شکل ۲- اثر قارچ‌ها بر سرعت جوانه‌زنی گیاه جو
Figure 2- Effect of the fungi on germination speed of barley



شکل ۳- اثر قارچ بر درصد جوانه‌زنی گیاه جو
Figure 3- Effect of fungi on percentage of germination of barley

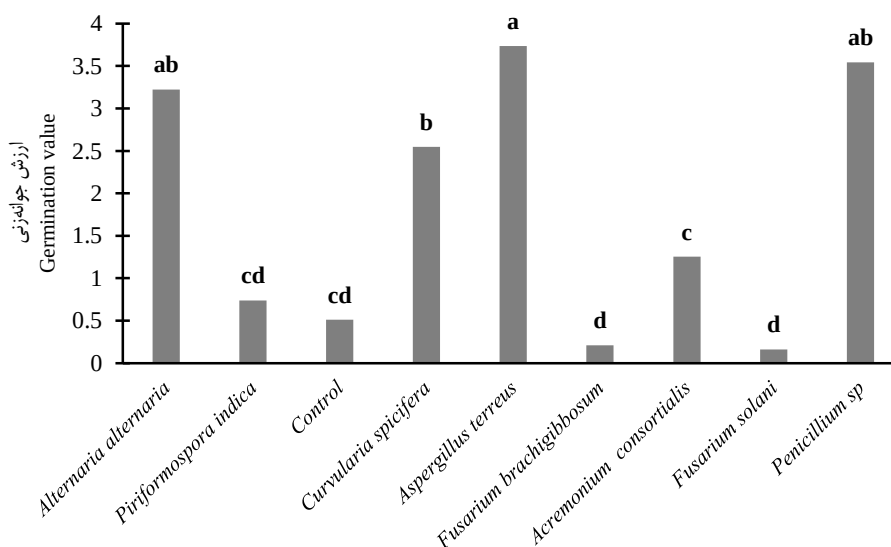
ویژگی‌های رشدی و میزان فسفر در شاخساره

میزان کلروفیل، مساحت برگ، وزن خشک شاخساره و مساحت برگ تحت تأثیر قارچ‌ها معنی‌دار شدند (جدول ۴).

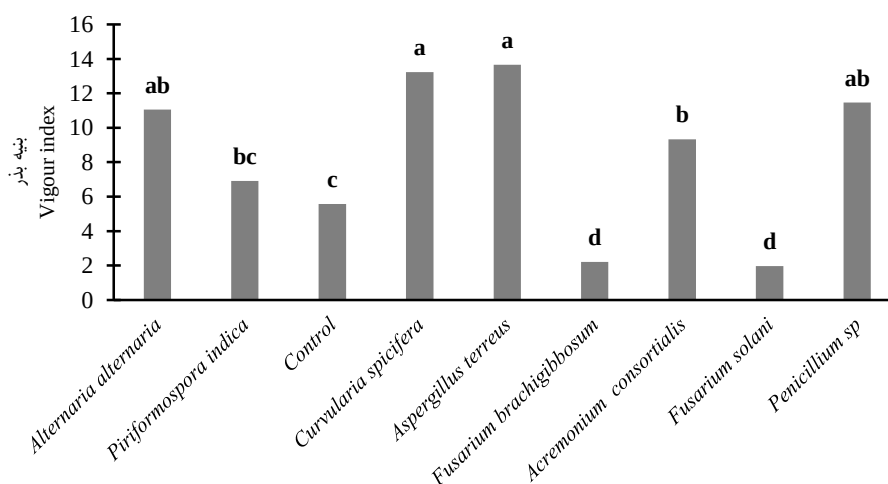
درصد فسفر برگ در تیمار با *A. terreus* (۰/۵۱۶ درصد) و *P. indica* (۰/۴۹۹ درصد) بیشتر از دیگر تیمارهای قارچی و شاهد بود (شکل ۶). *A. terreus* توانایی حل کردن فسفات در خاک را دارد (Ahadi et al., 2020) و قارچ‌های حل‌کننده فسفات، جذب فسفر در

تیمار *A. terreus* تمام شاخص‌های جوانه‌زنی را بهبود داد و این افزایش از گونه شاهد *P. indica* بیشتر بود. این افزایش در جوانه‌زنی می‌تواند به علت تولید متابولیت‌های ثانویه باشد (Mathur, Chaturvedi, & Sharma, 2022). ایجاد کشت مایع فیلترشده (محلول فیلترشده حاصل از محیط کشت مایعی که قارچ در آن رشد کرده است) از این قارچ‌ها، اثر متابولیت‌های ثانویه بر جوانه‌زنی را بیشتر نشان می‌دهد (Sadeghi, Farsi, Taheri, & Safari, Sanjani, 2022).

گیاه و در پی آن عملکرد را افزایش می‌دهند (Sembiring, 2017).



شکل ۴- اثر قارچ بر ارزش جوانه‌زنی گیاه جو
Figure 4- Effect of fungi on germination value of barley

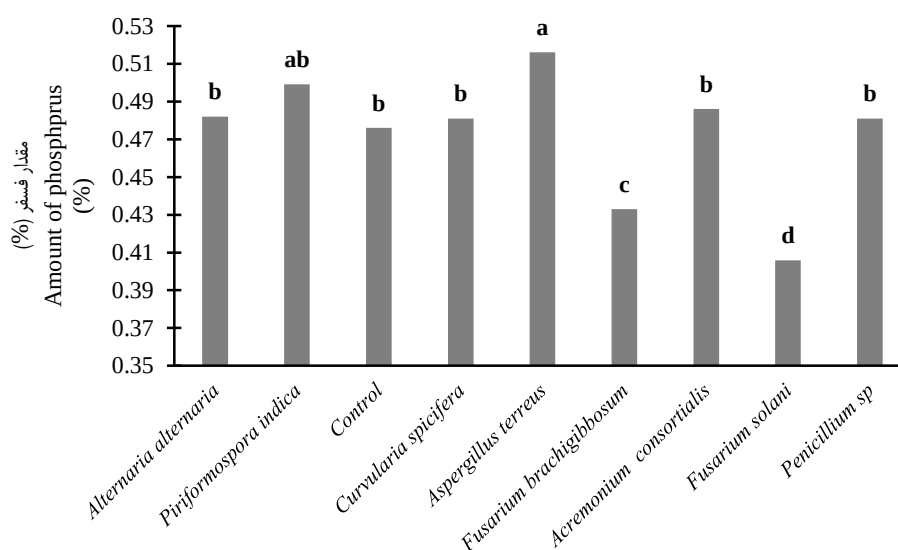


شکل ۵- اثر قارچ بر بنیه بذر گیاه جو
Figure 5- Effect of fungi on vigour index of barley

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تلقیح قارچ‌های اندوفیت بر صفات رشدی و درصد فسفر در شاخساره گیاه جو
Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of inoculation of endophytic fungi on growth traits and percentage of phosphorus in barley shoots

منابع تغییرات S.O.V	کلروفیل Chlorophyll a	مساحت برگ Leaf area	مقدار فسفر Phosphorus	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight
گونه‌های قارچی Fungi species	4.19*	0.245*	0.0034*	0.408*
خطا Error	0.049	0.0094	0.00002	0.0033
ضریب تغییرات CV	2.3	3.6	1.8	4.5

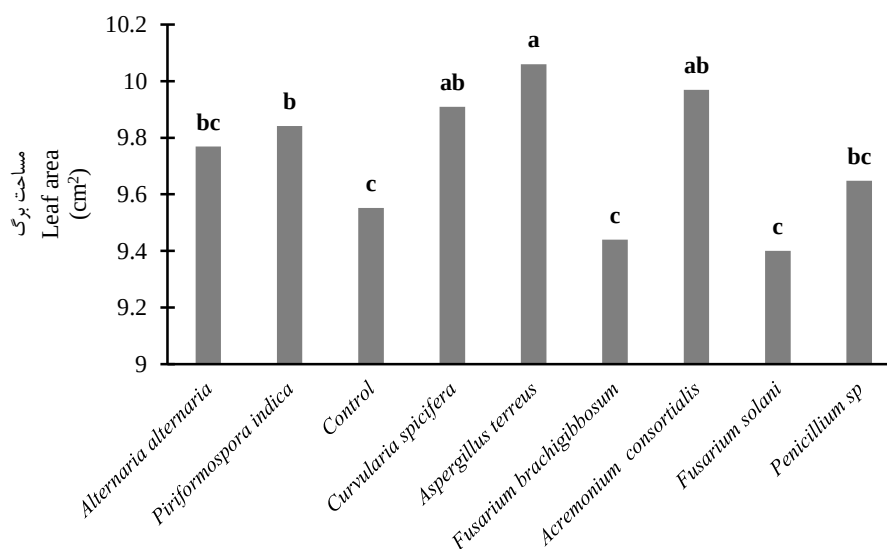
* معنی‌داری در سطح پنج درصد
* Significance at the %5 level



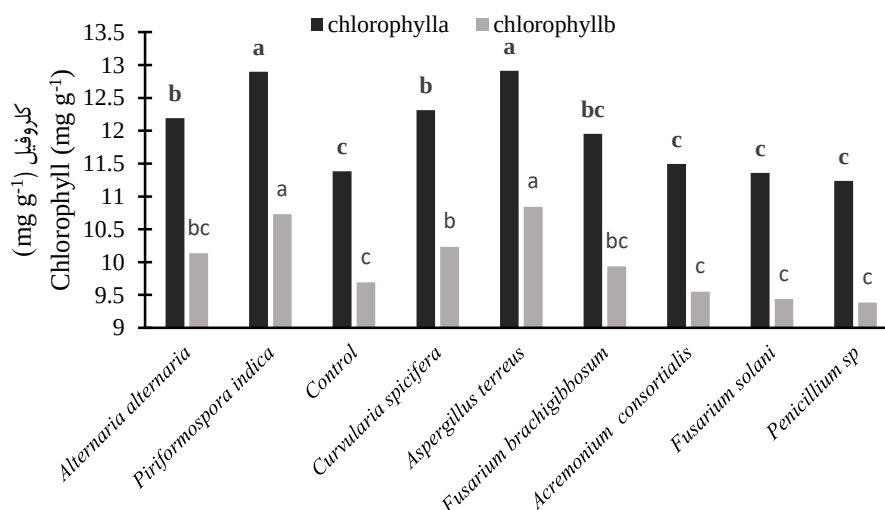
شکل ۶- اثر تیمار قارچ بر درصد فسفر برگ گیاه جو
Figure 6- Effect of fungi treatment on leaf phosphorus of barley

می‌آید، در دیگر گزارش‌ها توسط قارچ شاهد *P. indica* افزایش یافته است (Ahmadvand & Hajinia, 2018).
کلروفیل a و b در تیمار با *A. terreus* و *P. indica* بیشترین مقدار بود. علاوه بر این تیمار با *C. spicifera* و *A. alternaria* نسبت به شاهد، کلروفیل a و b بیشتری به‌طور معنی‌دار داشته است ($P \leq 0.05$) (شکل ۸).

مساحت برگ (Leaf area) در تیمار با *A. terreus* (۱۰/۰۶ سانتی‌متر مربع) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار با دیگر قارچ‌ها و قارچ شاهد *P. indica* (۹/۸۴) بود ($P \leq 0.05$). همچنین در تیمار با قارچ‌های *A. consortialis* (۹/۹۶ سانتی‌متر مربع)، *C. spicifera* (۹/۹۱ سانتی‌متر مربع) و *P. indica* (۹/۸۴ سانتی‌متر مربع) مساحت برگ (Leaf area) به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود ($P \leq 0.05$) (شکل ۷). مساحت برگ که یکی از صفات فیزیولوژیک مهم به‌حساب



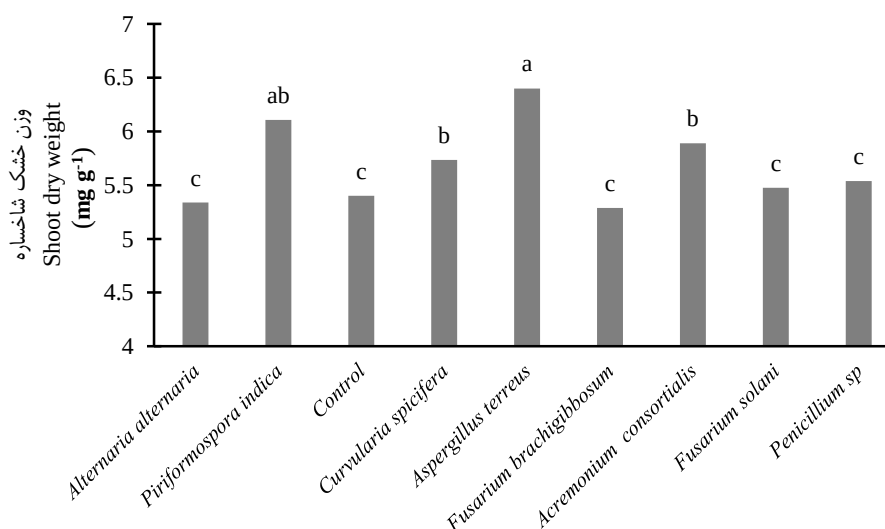
شکل ۷- اثر تیمار قارچ بر مساحت برگ گیاه جو
Figure 7- Effect of fungi treatment on leaf area of barley



شکل ۸- اثر تیمار قارچی بر میزان کلروفیل برگ گیاه جو
Figure 8- Effect of fungi treatment on amount of chlorophyll of barley

دو قارچ، قارچ‌های *C. spicifera* و *A. consortialis* باعث افزایش وزن خشک نسبت به شاهد شدند (شکل ۹).

وزن خشک شاخساره در هر بوته با تیمار قارچ‌های *A. terreus* (۶/۴۰ میلی گرم بر گرم) و *P. indica* (۶/۱۰ میلی گرم بر گرم) بیشترین افزایش را نسبت به دیگر تیمارها داشتند. علاوه بر این



شکل ۹- اثر تیمار قارچی بر وزن خشک شاخساره گیاه جو (mg g⁻¹)
Figure 9- Effect of fungi on shoot dry weight of barley (mg g⁻¹)

Aspergillus terreus و (Pamphile, & Azevedo, 2023 Ghoniemy, El-Khawaga, El-Aziz, Marwa, & Abulila, 2020) و *Penicillium sp* (Gu et al., 2023) توان تولید هورمون ایندول استیک اسید و جیبرلین را دارند و این هورمون‌ها اثر مثبت بر جوانه‌زنی دارند (Zhao & Zhong, 2013). تأثیر سویه‌های فوزاریوم (*Fusarium sp.*) در بهبود جوانه‌زنی بذر توسط دیگر محققان

سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، بنیه بذر و ارزش جوانه‌زنی بذور گیاه جو در تیمار تلقیح با قارچ‌های اندوفیت *Aspergillus terreus*، *Curvularia spicifera*، *Penicillium sp.*، *Fusarium brachigibbosum*، *Alternaria alternaria*. نشان داد (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵). قارچ‌های *alternaria* (Ferreira, dos Santos Oliveira, Polonio,)

گزارش شده است (Vujanovic, St-Arnaud, Barabe, & Thibeault, 2000). قارچ‌های اندوفیت می‌توانند جذب درشت مغذی‌ها مانند فسفر، نیتروژن، پتاسیم و منیزیم یا ریزمغذی‌هایی مانند روی، آهن و مس را از خاک و مواد آلی بهبود بخشند و انتقال این مواد مغذی به میزبان گیاهی را افزایش دهند (Rana et al., 2020). فسفر در فرآیندهایی مانند فتوسنتز، تولید انرژی، سنتز قند و تجزیه آن و همچنین در هسته‌های کوانتومی، فسفوپروتئین‌ها و فسفولیپیدها کاربرد دارد (Jahandideh et al., 2019). قارچ *P. indica* دارای توانایی انتقال مواد معدنی از جمله فسفات‌ها به گیاهان میزبان است (Card, Johnson, Teasdale, & Caradus, 2016). اورتگا و همکاران (Ortega et al., 2015) نشان دادند که تلقیح *Trichoderma asperellum* به‌طور قابل‌توجهی استفاده از کود فسفر در پیاز (*Allium cepa*) را کاهش داد. به‌طور مشابه، بارون و همکاران (Baron, Costa, Mochi, & Rigobelo, 2018) پژوهشی مزرعه‌ای انجام دادند و ذرت (*Zea mays*) را توسط *Aspergillus sydowii* تلقیح کردند و گیاهانی که با قارچ همزیست شدند، مقادیر قابل‌توجهی فسفر را در بافت‌های خود انباشته کردند. داسیلا و همکاران (Dasila et al., 2024) نیز با بررسی قارچ‌های اندوفیت حل‌کننده فسفر نشان دادند که جوانه‌زنی و رشد بهبود می‌یابد. در این پژوهش، درصد فسفات در برگ گیاه جو در تیمار با *A. terreus* (۵۱۶/۰ درصد) بیشتر از تیمار با قارچ شاهد *P. indica* (۴۹۹/۰ درصد) و شاهد بود که نشان‌دهنده جذب بیشتر فسفر است. قارچ‌های اندوفیت، افزایش جذب فسفات را از طریق تغییر ساختار ریشه، افزایش بیان ژن ترانسپورتر فسفات در گیاه و افزایش ترشح فسفاتاز در محیط ریشه (Cao et al., 2022) و یا تغییر در هورمون‌های گیاهی (Jiang, Zhao, & Pan, 2022) انجام می‌دهند.

افزایش میزان کلروفیل، فتوسنتز گیاه را افزایش می‌دهد و فتوسنتز نقش مهمی در متابولیسم گیاهان دارد (Qi et al., 2022). زنگ و همکاران (Zeng, Dong, Lin, Zhou, & Xu, 2024) با تلقیح قارچ *Talaromyces verruculosus* روی بذور خیار (*sativus Cucumis*) نشان داد که این قارچ با افزایش میزان کلروفیل و بهبود شرایط فتوسنتز، رشد گیاهچه‌ها را افزایش داده است. در این آزمایش، تلقیح بذور گیاه جو با قارچ *A. terreus* باعث تجمع بیشتر فسفر در برگ و افزایش سطح برگ، میزان کلروفیل و وزن خشک گیاه شد. بادر و همکاران (Bader, Salerno, Covacevich, & Kumar et al., 2021). نیز سویه‌های تریکودرما را با بذور گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) تلقیح کردند که با جذب بیشتر مواد مغذی و تولید هورمون‌های گیاهی توانستند ارتفاع گیاه، وزن تازه و خشک ریشه‌ها و اندام‌های هوایی و محتوای کلروفیل برگ را بیشتر کنند.

کودهای زیستی، محتوای موجودات زنده‌ای هستند که توانایی حل کردن فسفات و افزایش رشد گیاه را دارند (Kumar et al., 2021). در این مطالعه، قارچ‌هایی با توانایی حل کردن فسفات (Ahadi et al., 2020) مورد بررسی قرار گرفتند و نشان داده شد که گونه *A. terreus* علاوه بر افزایش میزان فسفر برگ گیاه، توانایی بهبود شاخص‌های رشدی گیاه و جوانه‌زنی را دارد. یائو و همکاران (Yoo, Shin, Won, Song, & Sang, 2018) نیز گزارش کرده‌اند که *A. terreus* علاوه بر بهبود رشد گیاه، می‌تواند مقاومت به باکتری‌های بیماری‌زا را در گیاه ایجاد کند. این نتایج، پتانسیل این گونه را برای استفاده در کودهای رایج نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

با توجه به کلونیزه شدن ریشه گیاه جو با قارچ‌های اندوفیت از گیاهان خانواده کنوپودیاسه و بهبود خصوصیات رشدی گیاه کلونیزه شده، می‌توان از تنوع قارچ‌های اندوفیت بیشتر برای بررسی روی دیگر گیاهان زراعی استفاده کرد. بذور گیاه جو با اسپورهای قارچ بذرمار شدند و جوانه‌زنی گیاه بهبود یافت، استفاده از اسپورهای قارچ *A. terreus* برای بررسی بیشتر به‌عنوان بذرمار را می‌توان پیشنهاد کرد. تلقیح ریشه‌های جو با اسپور قارچ *A. terreus*، جذب فسفات و صفات رشدی گیاه را بهبود بخشید، به این علت پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های بعدی در سطح مزرعه از اسپورهای این قارچ همراه با مواد آلی استفاده شود تا توانایی این قارچ اندوفیت به‌عنوان کود زیستی مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه فردوسی مشهد جهت فراهم کردن امکانات لازم برای اجرای طرح، از گروه گیاه‌پزشکی و خاک‌شناسی دانشگاه فردوسی به‌علت ارائه سویه قارچی شاهد و تجهیزات لازم و کارشناس اصلاح ارقام جو در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سپاسگزاری می‌شود.

References

- Ahadi, N., Safari Sinegani, A. A., & Aletaha, R. S. (2021). Evaluation of capability of fifteen isolates of mycorrhiza-like endophytic fungi on release of phosphorous from phosphorite mineral in the aquatic culture medium. *Applied Soil Research*, 9(2), 87-101.
- Ahmadvand, G., & Hajinia, S. (2018) Effect of endophytic fungus *Piriformospora indica* on yield and some

- physiological traits of millet (*Panicum miliaceum*) under water stress. *Crop and Pasture Science*, 69(6), 594-605. <https://doi.org/10.1071/CP17364>
3. Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdiscip Toxicol*, 2, 1-12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
 4. Aletaha, R., Safari Sinegani, A. A., & Zafari, D. (2018). A survey on endophytic fungi within roots of *Chenopodiaceae* species under different environmental conditions. *Mycosphere*, 9(4), 618-634. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/9/4/1>
 5. Aletaha, R., & Sinegani, A. A. S. (2020). Water availability in soil affect performance of different root fungal colonizers on metabolism of wheat. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 44(4), 919-931.
 6. Aly, A. H., Debbab, A., & Proksch, P. (2011). Fungal endophytes: unique plant inhabitants with great promises. *Applied Microbiol and Biotechnology*, 90, 1829-45. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/9/4/1>
 7. Bader, A. N., Salerno, G. L., Covacevich, F., & Consolo, V. F. (2020). Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3 acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of King Saud University-Science*, 32(1), 867-873. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.04.002>
 8. Baron, N. C., Costa, N. T. A., Mochi, D. A., & Rigobelo, E. C. (2018). First report of *Aspergillus sydowii* and *Aspergillus brasiliensis* as phosphorus solubilizers in maize. *Annals of Microbiology*, 68(12), 863-870. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1392-5>
 9. Bouzouina, M., Kouadria, R., & Lotmani, B. (2021). Fungal endophytes alleviate salt stress in wheat in terms of growth, ion homeostasis and osmoregulation. *Journal of Applied Microbiology*, 130(3), 913-925. <https://doi.org/10.1111/jam.14804>
 10. Brazhnikova, Y. V., Shaposhnikov, A. I., & Sazanova, A. L. (2022). Phosphate mobilization by culturable fungi and their capacity to increase soil P availability and promote barley growth. *Current Microbiology*, 79, 240 <https://doi.org/10.1007/s00284-022-02926-1>
 11. Cao, M. A., Liu, R. C., Xiao, Z. Y., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Alsayed, M. F., Harsonowati, W., & Wu, Q. S. (2022). Symbiotic fungi alter the acquisition of phosphorus in *Camellia oleifera* through regulating root architecture, plant phosphate transporter gene expressions and soil phosphatase activities. *Journal of Fungi*, 8, 800. <https://doi.org/10.3390/jof8080800>
 12. Card, S., Johnson, L., Teasdale, S., & Caradus, J. (2016). Deciphering endophyte behaviour: The link between endophyte biology and efficacious biological control agents. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(8), 19. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw114>
 13. Dasila, H., Sah, V. K., Jaggi, V., Kumar, A., Tewari, L., Taj, G., ... & Sahgal, M. (2023). Cold-tolerant phosphate-solubilizing *Pseudomonas* strains promote wheat growth and yield by improving soil phosphorous (P) nutrition status. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1135693.
 14. Diene, O., Wang, W., & Narisawa, K. (2013). *Pseudosigmoidea ibarakiensis* sp. nov., a dark septate endophytic fungus from a cedar forest in Ibaraki, Japan. *Journal of Microbes and Environments*, 13002, 387. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME13002>
 15. Ferreira, A. P., dos Santos Oliveira, J. A., Polonio, J. C., Pamphile, J. A., & Azevedo, J. L. (2023). Recombinants of *Alternaria alternata* endophytes enhance inorganic phosphate solubilization and plant growth hormone production. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 51: 102784. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102784>
 16. Ghoniemy, E. A., El-Khawaga, M. A., El-Aziz, A., Marwa, A., & Abulila, H. I. (2020). Biosynthesis of Plant Growth Hormones (Indol Acetic Acid and Gibberellin) By Salt-Tolerant Endophytic Fungus *Aspergillus terreus* SQU14026. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, G. Microbiology*, 12(2), 111-129. <http://doi.org/10.21608/eajbsg.2020.214043>
 17. Gu, K., Chen, C. Y., Selvaraj, P., Pavagadhi, S., Yeap, Y. T., Swarup, S., & Naqvi, N. I. (2023). *Penicillium citrinum* provides transkingdom growth benefits in choy sum (*Brassica rapa* var. *parachinensis*). *Journal of Fungi*, 9(4), 420.
 18. Habibi, S., Maskarbashi, M., & Farzaneh, M. (2015). Effect of mycorrhizal fungus (*Glomus spp*) on wheat (*Triticum aestivum*) yield and yield components with regard to irrigation water quality. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(3), 85-100. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v13i3.51155>
 19. Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., Berg, G., Pirttilä, A. M., Compant, S., Campisano, A., Döring, M., & Sessitsch, A. (2015). The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 79(3), 293-320. <https://doi.org/10.1128/mmb.00050-14>
 20. Jahandideh, A., Barani Motlagh, M., Dordipoor, E., Ghorbani Nasr Abadi, R., & Nazari, T. (2019). The effects of Co-application of Humic acid and phosphorous fertilizer on vegetative growth indices and phosphorous availability in canola. *Applied Soil Research*, 8, 68-78. <https://doi.org/10.1007/BF00000098>
 21. Jiang, H. J., Zhao, Y. Y., & Pan, Y. T. (2022). The endophytic fungus *Phomopsis liquidambaris* promotes

- phosphorus uptake by *Arachis hypogaea* L. by regulating host auxin, gibberellins, and cytokinins signaling pathways. *J Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 4913-4927. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00970-1>
22. Khare, E. J., & Mishra, N. K. (2018). Multifaceted interactions between endophytes and plant: Developments and prospects. *Frontier of Microbiology*, 9, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02732>
23. Knapp, D. G., Kovács, G. M., Zajta, E., Groenewald, J. Z., & Crous, P. W. (2015). Dark septate endophytic pleosporalean genera from semiarid areas. *Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 35, 87. <https://doi.org/10.3767/003158515X687669>
24. Kobae, Y., & Ohtomo, R. (2015). An improved method for brightfield imaging of arbuscular mycorrhizal fungi in plant roots. *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(1), 27-30. <https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1106923>
25. Kumar A., Maurya, B. M., & Raghuwanshi, R. (2021). The microbial consortium of indigenous rhizobacteria improving plant health, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Nutrition*, 44, 1942-1956. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1884706>
26. Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159, 89-102. <https://doi.org/10.1007/BF00000098>
27. Mathur, P., Chaturvedi, P., & Sharma, C. (2022). Improved seed germination and plant growth mediated by compounds synthesized by endophytic *Aspergillus niger* (isolate 29) isolated from *Albizia lebbeck* (L.) Benth. 3 *Biotech* 12, 271. <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03332-x>
28. Ortega-Garcia, J. G., Montes-Belmont, R., Rodriguez-Monroy, M., Ramirez-Trujillo, J. A., Suarez-Rodriguez, R., & Sepulveda-Jimenez, G. (2015). Effect of trichoderma asperellum applications and mineral fertilization on growth promotion and the content of phenolic compounds and flavonoids in onions. *Scientia Horticulturae (Amsterdam)*, 195, 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.027>
29. Paharvi, H. N., Rafiya, L., & Rashid, S. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. In: GH Dar, KR Hakeem, MA Mehmood, & RA Bhat (eds.). *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2. New York: Springer, New York. 1–20. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1
30. Qi, S., Wang, J., Wan, L., Dai, Z., da Silva Matos, D. M., Du, D., Egan, S., Bonser, S. P., Thomas, T., & Moles, A. T. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorous uptake and allocation strategies of *solidago canadensis* in a phosphorous-deficient environment. *Frontiers in Plant Science*, 13, 831654. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.831654>
31. Rana, K. L., Kour, D., Kaur, T., Devi, R., Yadav, A. N., Yadav, N., Dhaliwal, H. S., & Saxena, A. K. (2020). Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability. *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology*, 113(8), 1075-1107. <https://doi.org/10.1007/s10482-020-01429->
32. Sadeghi, A., Farsi, M., Taheri, P., & Safari Sanjani, A. (2022). *Priming of barley seeds with filtered culture of fungal species to increase tolerance to salinity (sodium chloride) in the germination stage*. 8th International Knowledge Conference and Technology of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran, Tehran. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1651909>
33. Sembiring, M. (2017). Bacterial and fungi phosphate solubilization effect to increase nutrient uptake and potatoes (*Solanum tuberosum* L.) production on Andisol Sinabung area. *Journal Agronomy*, 16, 131-137. <https://doi.org/10.3923/ja.2017.131.137>
34. Vujanovic, V., St-Arnaud, M., Barabe, D., & Thibeault, G. (2000). Viability testing of orchid seed and the promotion of colouration and germination. *Annals of Botany*, 86, 79-86. <https://doi.org/10.3390/plants8010005>
35. Waqas, M., Khan, A. L., Hamayun, M., Kamran, M., Kang, S. M., Kim, Y. H., & Lee, I. J. (2012). Assessment of endophytic fungi cultural filtrate on soybean seed germination. *African Journal of Biotechnology*, 11(85), 15135-15143.
36. Weggler- Beaton, R. D., & Graham, M. J. (2003). The influence of low rates of arid- dried on yield and phosphorus and zinc nutrition of wheat and barley. *Australian Journal of Soil Research*, 41, 293-308. <https://doi.org/10.1071/SR02074>
37. Yoo, S., Shin, D., Won, H., Song, J., & Sang, M. (2018) *Aspergillus terreus* JF27 promotes the growth of tomato plants and induces resistance against *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*. *Mycobiology*, 46(2), 147-153. <https://doi.org/10.1080/12298093.2018.1475370>
38. Zeng, Q., Dong, J., Lin, X., Zhou, X., & Xu, H. (2024). Isolation and Identification of *Acer truncatum* Endophytic Fungus *Talaromyces verruculosus* and evaluation of its effects on insoluble phosphorus absorption capacity and growth of cucumber seedlings. *Journal of Fungi*, 10(2), 136. <https://doi.org/10.3390/jof10020136>
39. Zhao, G., & Zhong, T. (2013). Influence of exogenous IAA and GA on seed germination, vigor and their endogenous levels in *Cunninghamia lanceolata*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28(6), 511-517. <https://doi.org/10.1080/02827581.2013.783099>

The Effect of Planting Dates and Distances on the Quality Characteristics and Biomass of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz)

F. Zaefarian^{1*}, H. R. Ghorbani², P. Majidian², M. Kaveh³

1- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran

3- PhD. Graduated Student, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(*- Corresponding Author Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir)

Received: 06 January 2024

Revised: 13 May 2024

Accepted: 10 June 2024

Available Online: 07 December 2024

How to cite this article:

Zaefarian, F., Ghorbani, H. R., Majidian, P., & Kaveh, M. (2025). The Effect of Planting Dates and Distances on the Quality Characteristics and Biomass of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(4), 373-384. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.86264.1295>

Introduction

Fodder supply in Iran is considered as one of the most important limiting factors in the field of livestock breeding and production. Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) plant from the Brassicaceae family is able to grow in different weather and soil conditions and needs less water, fertilizer, and pesticides than other oilseeds. This medicinal-oil product is a rich source of oil (28 to 40 percent) and omega-3 fatty acids, which can also be consumed in human diets. On the other hand, about 90 percent of the fatty acids in camelina oil are unsaturated, and due to its high alpha-tocopherols and vitamin E content, it does not require any additives to increase the shelf life of the oil, which is why it can be considered a high-quality edible oil. This research was conducted to introduce camelina and to evaluate the effects of planting date and spacing on oil yield and the quality of camelina fodder in Mazandaran Province.

Materials and Methods

This experiment was carried out as factorial based on a randomized complete block design in three replications at Bayekola Agricultural Research Station (Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Training Center). Five planting dates (November 5, November 21, December 5, December 21, and January 4) and five planting distances (15, 20, 25, 30, and 35 cm) were selected as the study factors. Each treatment was planted in a plot consisting of six lines, and the distance between the plots was determined as one unplanted line. At the 50% flowering stage, biomass yield was determined by harvesting four square meters from the middle rows of each plot. Additionally, forage quality traits were assessed, including oil percentage, neutral detergent fiber percentage (NDF%), acid detergent fiber percentage (ADF%), crude protein percentage (CP%), nitrogen percentage (N%), and ash percentage.

Results and Discussion

The results of analysis variance of the studied traits showed that the interaction between planting distance and



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.86264.1295>

planting date had a significant effect on most of the traits of camelina. The results indicated that the planting date of December 5 produced the highest oil percentages at planting distances of 25 cm, 20 cm, and 30 cm (6.1%, 6.0%, and 6.0%, respectively). Oil content increased from the November 5 planting date to the December 5 planting date, but declined with the January 4 planting date. The lowest values for neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were observed in the 30 cm planting distance treatment with the December 5 planting date (60.7%) and the November 21 planting date (39.8%), respectively. Planting distance of 25 cm and planting date of December 5 showed the highest percent of crude protein (15.8), while, the treatment of planting distance of 25 cm and planting date of November 5 showed the highest plant ash percent (10.0), which had no significant difference with the treatment of 30 cm planting distance and planting date of December 5 (9.3). The highest biomass yield of camelina was obtained in the treatment with a planting date of November 21 and a planting distance of 25 cm (1778 g m⁻²). In all planting distances, the biomass yield reached its maximum on the planting date of November 21, and with a delay in planting, a downward trend in the trait was observed, when the lowest value was obtained in the treatment of planting date of January 4 and a planting distance of 35 cm (972 g m⁻²).

Conclusion

In general, according to the obtained results, planting distance of 25 to 30 cm and planting date of November 21 to December 5 with high oil and protein content and low NDF and ADF and can be a suitable candidate for the production of high quality and quantity camellia fodder.

Keywords: ADF, Ash percentage, Crude protein, Forage quality, Oil percentage

مقاله پژوهشی

جلد ۲۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص ۳۷۳-۳۸۴

اثر تاریخ و فاصله کاشت بر خصوصیات کیفی و زیست توده کاملینا (*Camelina sativa* L. Crantz)

فائزه زعفریان^{۱*}، حمیدرضا قربانی^۲، پرستو مجیدیان^۳، محمد کاوه^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

چکیده

پژوهش حاضر با هدف معرفی کاملینا و ارزیابی خصوصیات کیفی علوفه این گیاه در سال ۱۳۹۹ به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بایع کلا (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران) اجرا شد. پنج تاریخ کاشت (۱۵ آبان، ۱ و ۱۵ آذر، ۱ و ۱۵ دی ماه) و پنج فاصله کاشت (۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متر) به عنوان عامل‌های مورد مطالعه انتخاب شدند. نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد مطالعه نشان داد که اثر متقابل فاصله کاشت و تاریخ کاشت، اثر بخشی معنی‌داری در سطح یک درصد در اغلب ویژگی‌های کاملینا داشت. براساس نتایج به دست آمده، ترکیب تیماری تاریخ کاشت ۱۵ آذر ماه در فواصل ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متر (۱/۶ و ۶ درصد) بیشترین درصد چربی را داشت. میزان چربی از تاریخ کاشت ۱۵ آبان تا تاریخ کاشت ۱۵ آذر ماه افزایش و سپس، در تاریخ کاشت ۱۵ دی ماه کاهش یافت. در فاصله کاشت ۳۰ سانتی‌متر، کمترین میزان فیبر حل‌شونده در محلول خنثی (NDF) و فیبر حل‌شونده در محلول اسیدی (ADF) به ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۱۵ آذر (۶۰/۷ درصد) و ۱ آذر (۳۹/۸ درصد) مشاهده شد، در حالی که در فاصله کاشت ۲۵ سانتی‌متر، بیشترین درصد پروتئین خام (۱۵/۸) در تاریخ کاشت ۱۵ آذر ماه و بیشترین درصد خاکستر بوته (۱۰ درصد) در تاریخ کاشت ۱۵ آبان به دست آمد که با ترکیب تیماری فاصله کاشت ۳۰ سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۱۵ آذر (۹/۳) اختلاف معنی‌داری نداشت. به طور کلی، با توجه به نتایج به دست آمده، فاصله کاشت ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۱ تا ۱۵ آذر با میزان چربی و پروتئین بالا و نیز NDF و ADF پایین، می‌تواند تیمار مناسبی در جهت تولید علوفه با کیفیت و کمیت مطلوب کاملینا باشد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین خام، درصد چربی، درصد خاکستر، فیبر حل‌شونده در محلول اسیدی، کیفیت علوفه

مقدمه

می‌شود. با وجود این، گیاهان روغنی رایج نظیر سویا (*Glycine max* L.)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) علی‌رغم مزیت‌های فراوانی که دارند، دارای محدودیت‌هایی از جنبه‌های مختلف کشت و شرایط اقلیمی می‌باشند و نیازهای بالایی نسبت به آب و نهاده‌ها دارند (Mohammadi-Nejad, Bahramian, & Kahrizi, 2018). در این راستا، کمبود دانه‌های روغنی و حجم بالای واردات روغن در ایران به همراه صرف مبالغ چشمگیر ارز و علاوه بر آن کمبود منابع آبی جهت تولید دانه‌های روغنی، نیاز مبرم به شناسایی گونه‌ها و واریته‌های سازگار با شرایط خشکی در مقایسه با گیاهان روغنی متداول را در بر خواهد داشت. تولید علوفه با کیفیت، متنوع و دارای میزان انرژی و پروتئین مناسب، غنی از ویتامین‌ها و مواد معدنی، می‌تواند راهکار مناسبی جهت افزایش تولید، اقتصادی نمودن پرورش دام در مناطق شالیزاری

در ایران، اراضی قابل کشت وسیع و زمینه‌های مساعد برای کشت دانه‌های روغنی وجود دارد، اما متأسفانه بخش زیادی از روغن مورد نیاز کشور به عنوان کالای اساسی در سبد خانوار از خارج تأمین

۱- استاد، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*)- نویسنده مسئول:
Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.86264.1295>

شمال کشور، کاهش وابستگی و خروج ارز از کشور باشد. ذرت (*Zea mays*) سیلو شده و یونجه (*Medicago sativa* L.) بهترین علوفه برای پرورش نشخوارکنندگان می‌باشند، اما به دلیل شرایط اقلیمی و رطوبت بالا در استان مازندران، تولید یونجه محدود می‌باشد. در خصوص ذرت علوفه‌ای نیز به دلیل رواج کشت برنج و اهمیت اقتصادی آن، امکان رقابت با زراعت استراتژیک برنج غیرممکن می‌باشد. در این خصوص، کشت گیاهان علوفه‌ای پاییزه که از بارش‌های فصلی استفاده می‌نمایند و از طرفی، رقیب زراعت‌های اصلی نظیر برنج نیز نمی‌باشند، مورد استقبال عمومی بیشتری قرار خواهند گرفت.

کاملینا (*Camelina sativa* Crantz L.) یکی از گیاهان دانه روغنی رایج در آسیا و اروپا و متعلق به خانواده Brassicaceae است که شناخت کمی در مورد آن وجود دارد. این گیاه، منبعی پایدار برای تولید انرژی به‌شمار می‌رود (Chaturvedi, Bhattacharya, Khare, 2018) و توانایی رشد در اقلیم‌ها و خاک‌های مختلف را دارد و نسبت به سایر محصولات دانه روغنی به آب، کود و آفت‌کش کمتری نیاز دارد (Kurasiak-Popowska et al., 2018; Moser, 2010; Zanetti et al., 2017). این محصول دارویی-روغنی، منبعی غنی از روغن (۲۸ تا ۴۰ درصد) و اسیدهای چرب امگا-۳ به‌شمار می‌رود که قابلیت مصرف در رژیم‌های غذایی بشر را نیز دارد. از سوی دیگر، حدود ۹۰ درصد از اسیدهای چرب روغن کاملینا، اسباع نشده هستند و به دلیل داشتن آلفا-توکوفرول‌ها و ویتامین E بالا نیاز به هیچ‌گونه افزودنی برای افزایش ماندگاری روغن ندارد، به همین دلیل می‌تواند به‌عنوان روغن خوراکی با کیفیت بالا در نظر گرفته شود (Ghamkhar et al., 2019). کنجاله کاملینا نیز پس از استخراج روغن حاوی ۱۱-۱۰ درصد فیبر، ۱۴-۱۰ درصد روغن و حدود ۴۰ درصد پروتئین می‌باشد که آن را محصولی ارزشمند برای تغذیه دام می‌نماید (Iskandarov, Kim, & Cahoon, 2013).

ترکیبات اسید چرب در کاملینا تحت تأثیر ارقام و شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Raziei Kahrizi, Rostami-Ahmadvandi, 2016). در بین جنبه‌های مختلف مدیریت زراعی، تاریخ کاشت بیشتر از همه در معرض تغییر می‌باشد و اهمیت به‌سزایی برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و افزایش کمیت و کیفیت روغن در گیاه کاملینا دارد (Toncea et al., 2013). تاریخ‌های مختلف کاشت سبب برخورد مراحل رشد رویشی و زایشی گیاه با دما، تشعشع خورشیدی و طول روز متفاوت می‌گردد و از این طریق بر رشدونمو و عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارد (Khajehpour, 2012). انتخاب درست تاریخ کاشت، سبب انطباق مراحل رشد گیاه با شرایط مطلوب محیطی شده که در نهایت، موجب افزایش فتوسنتز و ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه می‌شود. طی پژوهشی، محققان اظهار داشتند که کشت پاییزه کاملینا، عملکرد دانه بیشتر و کیفیت روغن

بهتری نسبت به کشت زمستانه داشته است و تأخیر در کاشت، به‌ویژه در کشت زمستانه، باعث مصادف شدن مرحله پر شدن دانه‌ها با گرمای انتهای فصل و کاهش عملکرد روغن دانه شد، در عین حال کشت زود هنگام زمستانه بیشترین بهره‌وری آب را داشت (Ahmadian Kooshkghazi & Madandoust, 2022). بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد بذری و کیفیت روغن گیاه کاملینا، مشاهده شد که با کاشت کاملینا در اواخر اسفند ماه، میزان چربی، اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه و غلظت‌های اسید لینولیک نسبت به کشت در فروردین ماه افزایش یافت (Obeng et al., 2019). همچنین در تحقیقی دیگر که اثر تاریخ‌های کاشت مختلف و دو روش کاشت بر عملکرد گیاه کاملینا ارزیابی شد، نتایج حاکی از آن بود که مناسب‌ترین زمان کاشت گیاه کاملینا، اسفند ماه بود که به دلایل عملکرد بهینه، کنترل مؤثر علف‌های هرز زمستانه پهن‌برگ یک‌ساله توسط علف‌کش قبل از کاشت و عمق کم کاشت بود (Schillinger, Wysocki, Chastain, Guy, & Karow, 2012).

یکی از عوامل مهم در کاشت موفق گیاهان روغنی، تعیین فاصله مناسب بین ردیف‌های کاشت می‌باشد، زیرا موجب فراهم‌سازی ترکیب مناسبی از عوامل محیطی جهت دستیابی به حداکثر عملکرد گیاه می‌گردد (Ijoyah, Idoko, & Iorlamen, 2015). محققان اظهار داشتند که اگر تعداد بوته در واحد سطح مناسب باشد، شرایط رشد و دریافت نهاده‌های رشد مناسب‌تر شده و به‌دنبال آن گرده‌افشانی و تلقیح به‌طور کامل انجام می‌گردد، همچنین دانه‌بندی بهتر صورت گرفته و در نتیجه، تعداد کل دانه یعنی ظرفیت جمععی مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابد (Badvan & Alavi Fazel, 2021). در مطالعه‌ای، نتایج نشان داد که در کشت یک ردیفه کنجد (*Sesamus indicum* L.)، حداکثر عملکرد ژنوتیپ محلی بهبهان (۱۰۶۸ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع حاصل شد و افزایش تراکم باعث کاهش معنی‌دار عملکرد این ژنوتیپ در آرایش کاشت یک ردیفه شد. در کشت دو ردیفه، افزایش تراکم تا ۴۰ بوته در مترمربع موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه آن شد (Gholamhoseini, Danaie, & Fallah Toosi, 2023).

معرفی گونه‌های جدید گیاهی و ارزیابی پتانسیل عملکرد و سازگاری کشت آن‌ها در مقایسه با ارقام زراعی موجود در استان مازندران می‌تواند راهکار مناسبی در جهت برطرف‌سازی مشکلات مرتبط با دانه‌های روغنی و تغییر احتمالی الگوی کشت به‌شمار آید. لذا، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تاریخ و فاصله کاشت بر کیفیت علوفه کاملینا در استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر تاریخ و فاصله کاشت بر کیفیت علوفه گیاه کاملینا در استان مازندران، این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل و

طبیعی مازندران، کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم هر یک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پیش کاشت و همچنین میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به صورت سرک در اسفند ماه، به خاک اضافه شد. هر تیمار در کرتی شامل شش خط به طول شش متر در سال زراعی ۱۳۹۹ کشت شده و فاصله کرت‌ها از یکدیگر به صورت یک خط نکاشت تعیین شد. فاصله ردیف (۲۵ سانتی‌متر) براساس تیمارهای مورد مطالعه و با تراکم چهار کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت به کار برده شد. عملیات داشت شامل آبیاری (نزولات جوی در پاییز) و مراقبت از محصول طبق دستورالعمل و به موقع انجام شد.

در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بایع کلا (شهرستان نکا) وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران اجرا شد. بذر کاملینا رقم سهیل از بانک بذر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران تهیه شد. پنج تاریخ کاشت (۱۵ آبان، ۱ آذر، ۱۵ آذر، ۱ دی ماه) و پنج فاصله کاشت (۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متر) به عنوان عوامل مورد مطالعه انتخاب شدند. عملیات تهیه بستر مطابق معمول و عرف منطقه در زمان کاشت با مساعد شدن هوا انجام گردید و سپس براساس آزمون خاک (جدول ۱) و طبق توصیه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در ایستگاه تحقیقات زراعی بایع کلا

Table 1- Soil physico-chemical characteristics at the Agricultural Research Stations of Bayekola

بافت خاک Soil texture	روی Zn	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	ماده آلی Organic matter	کربن آلی Organic carbon	ماده خشتی شونده TNV	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH
سیلتی رسی Silty clay	1.13	121	5.9	0.04	2.30	1.34	26.5	0.52	7.6

اندازه‌گیری درصد فیبرهای غیرمحلول در شوینده اسیدی، ابتدا محلول شوینده اسیدی تهیه و سپس یک گرم از نمونه به داخل کروسبیل ریخته شد. پس از قراردادن در دستگاه فایبرتک، مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول شوینده اسیدی به آن اضافه شد. سپس تا جوش آمدن محلول حرارت داده شد. بعد از گذشت پنج دقیقه دما کم شد و به مدت ۶۰ دقیقه در حالت جوش نگه داشته شد. پس از آن، محلول باقی‌مانده توسط پمپ خلأ خارج شده و پس از سه بار شستشو با آب مقطر گرم و دو بار شستشو با استون، نمونه‌ها جهت خشک شدن به مدت هشت ساعت در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از توزین نمونه‌های خشک شده برای تعیین میزان خاکستر آن‌ها، کروسبیل‌های حاوی نمونه‌های خشک شده به مدت سه ساعت در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و در نهایت، میزان دیواره سلولی فاقد همی سلولز نمونه محاسبه گردید. برای تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD سطح احتمال پنج درصد از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات کیفی مورد مطالعه نشان داد که اثر متقابل فاصله و تاریخ کاشت بر تمامی صفات به جز درصد نیتروژن در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما درصد نیتروژن تنها تحت تأثیر اثر ساده فاصله ردیف کاشت قرار گرفت (جدول ۲).

برای تعیین عملکرد زیست‌توده در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی، در هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای از ردیف‌های میانی، چهار مترمربع برداشت شد. سپس نمونه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. در نهایت، پس از توزین نمونه‌ها، عملکرد زیست‌توده محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری صفات کیفی علوفه، مقدار یک کیلوگرم زیست‌توده خشک از هر تیمار انتخاب و پس از آسیاب نمودن، مقدار ۱۰۰ گرم انتخاب و برای تعیین خصوصیات کیفی گیاه استفاده شد. نیتروژن (N) موجود در هر نمونه به روش کج‌لدال اندازه‌گیری و از رابطه زیر که توسط اددی و همکاران (Oddy, Robards, & low, 1983) پیشنهاد گردید، محاسبه شد.

$$DMD\% = 83.58 - 0.824 ADF\% + 2.262 N\% \quad (1)$$

که در آن، DMD: درصد ماده خشک قابل هضم نمونه‌ها می‌باشد که بر مبنای درصد نیتروژن و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) نمونه‌ها محاسبه گردید. درصد پروتئین خام (CP) هر گونه از طریق معادله ۲ برآورد شد:

$$\%CP = 6.25 \times N\% \quad (2)$$

به منظور تعیین درصد چربی موجود در علوفه از روش استاندارد (AOAC, 1990) استفاده گردید. اندازه‌گیری درصد خاکستر با استفاده از کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. برای سنجش عوامل کیفی علوفه از قبیل درصد فیبرهای غیرمحلول در شوینده اسیدی، درصد فیبرهای غیرمحلول در شوینده خشی از روش ون‌سوست (Van Soest, 1990) استفاده شد. برای

درصد چربی: بررسی تغییرات درصد چربی نمونه‌های گیاه کاملینا نشان داد که اثر متقابل ترکیبات تیماری مورد بررسی بر میزان چربی گیاه اثر معنی‌داری در سطح یک درصد گذاشته و بیشترین مقدار آن در تاریخ کشت ۱۵ آذر ماه با فواصل کاشت ۲۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر (۶/۱، ۶ و ۶ درصد) مشاهده شد (جدول ۳). کمترین درصد چربی نیز در تاریخ‌های کشت ۱۵ دی و آبان در فواصل ردیف کشت مختلف مشاهده شد. به‌طور کلی، درصد چربی از تاریخ کاشت ۱۵ آبان تا تاریخ کاشت ۱۵ آذر ماه افزایش یافته و پس از این تاریخ شروع به کاهش می‌یابد (جدول ۳). درصد چربی، صفتی ژنتیکی است که تا حدودی تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله دما قرار می‌گیرد. در همین راستا، سلیمانی و همکاران (Solymani, Kamkar, Zinali, Mokhtarpur, 2010) در بررسی اثر پنج تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت، ۴ خرداد، ۲۴ خرداد، ۱۳ تیر و ۲ مرداد بر ویژگی‌های کیفی

علوفه ارزن نوتریفید (*Pennisetum glaucum*) گزارش کردند که بیشترین عملکرد چربی ۲۴۳/۶ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت اول و ۲۴۵/۷ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت دوم به‌دست آمد و کمترین عملکرد چربی خام (۱۰۵/۷ کیلوگرم در هکتار) به آخرین تاریخ کاشت تعلق داشت. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که بین پروتئین خام و چربی خام همبستگی مثبتی وجود دارد. بر این اساس، با توجه به کاهش درصد پروتئین خام علوفه کاملینا در تاریخ کاشت ۱۵ دی (جدول ۳)، پایین بودن درصد چربی نیز در این تاریخ کاشت مورد انتظار است. براساس نتایج پژوهش حاضر، با افزایش فاصله کاشت از ۱۵ سانتی‌متر تا ۲۵ سانتی‌متر بر میزان درصد چربی افزوده شد و سپس در فاصله کاشت ۳۰ سانتی‌متر تا ۳۵ سانتی‌متر از میزان درصد چربی کاسته شد (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به کاملینا تحت تأثیر فاصله و تاریخ کاشت

Table 2- Analysis of variance of camelina traits as affected by planting distance and date

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد چربی Oil (%)	درصد فیبر حل‌شونده در محلول خنثی NDF (%)	درصد فیبر حل‌شونده در محلول اسیدی ADF (%)	درصد پروتئین خام CP%	درصد نیتروژن Nitrogen (%)	درصد خاکستر Ash (%)
تکرار Replication	2	0.004	1.2	3.1	1.1	0.2	0.5
فاصله کاشت Planting distance	4	14.8**	93.5**	3.2**	6.9**	0.4*	2.6**
تاریخ کاشت Planting date	4	1.4**	38.2**	7.8**	1.3 ^{ns}	0.1 ^{ns}	7.3 ^{ns}
فاصله ردیف × تاریخ کاشت Planting distance × Planting date	16	3.3**	23.7**	7.6**	5.9**	0.2 ^{ns}	4.3**
خطا Error	48	0.1	1.2	1.5	0.6	0.1	0.5
ضریب تغییرات CV (%)	-	15.9	16.3	12.8	15.8	14.8	12.8

ns, *, ** و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار.

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

فیبر حل‌شونده در محلول خنثی (NDF) و محلول

اسیدی (ADF): با کاشت در فاصله ۳۰ سانتی‌متری، کمترین میزان فیبر حل‌شونده در محلول خنثی (۶۰/۷ درصد) و فیبر حل‌شونده در محلول اسیدی (۳۹/۸ درصد) به ترتیب در تاریخ کاشت ۱۵ آذر و ۱ آذر مشاهده شد (جدول ۳). الیاف قابل حل در محلول اسیدی نشان‌دهنده سهم دیواره سلولی شامل سلولز و لیگنین (به‌استثنای همی‌سلولز) در جیره دام بوده و بیانگر قابلیت هضم علوفه توسط دام است که با افزایش این شاخص از قابلیت هضم علوفه کاسته می‌شود، از سوی دیگر، الیاف قابل حل در محلول خنثی نشان‌دهنده پتانسیل مصرف

علوفه توسط دام بوده و هر قدر مقدار آن افزایش یابد، مصرف ماده خشک به‌دلیل افزایش میزان ماده سیرکنندگی علوفه، کاهش می‌یابد (Pouramir, Nassiri Mahallati, Koocheki, & Ghorbani, 2010). شرفی و رمرودی (Sharafi & Ramroudi, 2022) در بررسی اثر تاریخ کاشت بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه یونجه حلزونی (*Medicago scutellata* L.) تحت تأثیر عمق کاشت و میزان بذر مصرفی، اظهار داشتند که بیشترین درصد الیاف قابل حل در محلول‌های اسیدی و خنثی در تاریخ کشت دوم، یعنی ۳۱ تیر ماه (به ترتیب ۳۲/۹ و ۴۶/۵ درصد) به‌دست آمد و تفاوت معنی‌داری با تاریخ کاشت اول یعنی ۱۵ تیر ماه نشان داد. در بررسی اثر فاصله

موجب کاهش معنی‌دار درصد پروتئین خام شد (Ramezani & Rezaei Souck Abandani, 2010). زیرا سایه و تراکم بالا، آنزیم نیترات ردوکتاز که آنزیم مهمی در تبدیل نیتروژن نیترا به نیتريت در سیکل سنتز اسیدهای آمینه محسوب می‌شود را کاهش می‌دهد که از این طریق، درصد پروتئین خام گیاه نیز ممکن است کاهش یابد (Minbashi Moeini, 1996).

درصد خاکستر: بیشترین درصد خاکستر بوته (۱۰ درصد) در فاصله کشت ۲۵ سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۱۵ آبان مشاهده شد که علی‌رغم اختلاف معنی‌دار با دیگر ترکیبات تیماری، با تیمار فاصله کشت ۳۰ سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۱۵ آذر (۹/۳) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کمترین درصد خاکستر در تیمار فاصله کاشت ۳۵ سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۱۵ آذر مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با ترکیبات تیماری فواصل مختلف کاشت در تاریخ کاشت ۱۵ دی ماه نداشت (جدول ۳). درصد خاکستر علوفه نشان‌دهنده‌ی حضور مواد معدنی در بافت‌های گیاهی است؛ بنابراین، هر قدر درصد خاکستر بیشتر باشد، سبب بهبود فرآیندهای تولید ویتامین‌ها، هورمون‌ها و آنزیم‌ها در گیاه می‌شود و مواد معدنی بیشتری در اختیار دام قرار خواهد گرفت؛ در نهایت، ارزش غذایی علوفه برای دام بیشتر خواهد بود (Sarkees & Tahir, 2016). طی پژوهشی گزارش شد که بالاترین میزان خاکستر (۱۰/۲۱ درصد) علوفه گلرنگ در تاریخ کاشت اول (۹ آذر) مشاهده شد و تأخیر در کاشت (۲۹ آذر) باعث کاهش معنی‌دار این صفت گردید. آن‌ها دلیل این افزایش را شرایط آب‌وهوایی مناسب و طول دوره رشدی بیشتر در تاریخ کاشت ۹ آذر عنوان کردند (Badvan & Alavi Fazel, 2021).

درصد نیتروژن: بیشترین درصد نیتروژن گیاه در فاصله کاشت ۳۵ سانتی‌متری مشاهده شد (۲/۵ درصد) و اختلاف معنی‌داری با فاصله کاشت ۳۰ سانتی‌متری (۲/۳ درصد) نداشت (شکل ۱). کمترین درصد نیتروژن نیز در تیمارهای ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متری مشاهده شد که اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۱). نحوه توزیع و تراکم بوته در مزرعه می‌تواند بر جذب و بهره‌وری از عوامل محیطی مؤثر بر رشد و نیز رقابت برون و درون‌گونه‌ای تأثیر گذارد (Naibi Hajilar & Hassanzadeh, 2016). افزایش بیش‌ازحد تراکم بوته، رقابت برای جذب مواد غذایی، از جمله نیتروژن را افزایش می‌دهد. این افزایش رقابت، منجر به کاهش نیتروژن موجود در زیست‌توده می‌گردد (Fuladvand & Yadavi, 2015).

عملکرد زیست‌توده: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل فاصله و تاریخ کاشت بر عملکرد زیست‌توده در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین عملکرد زیست‌توده کاملینا در تیمار تاریخ کاشت ۱ آذر و فاصله کاشت ۲۵ سانتی‌متر (۱۷۷۸ گرم در مترمربع) به‌دست آمد (شکل ۲).

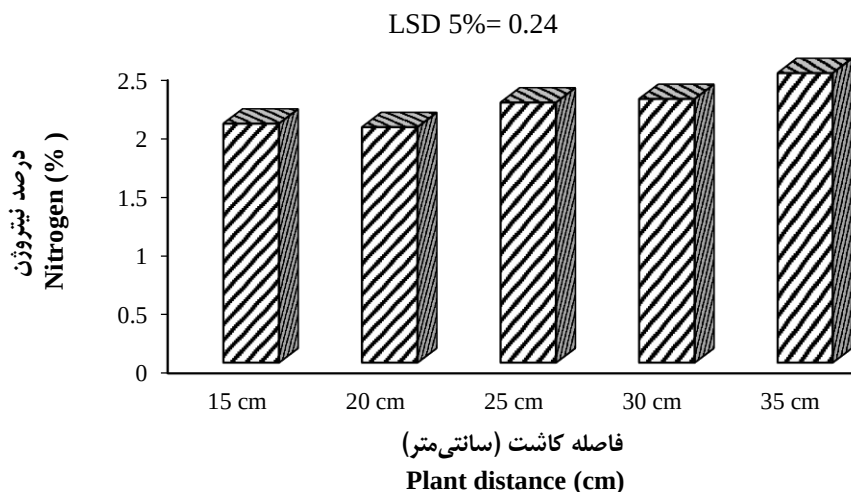
ردیف (۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متر) بر کیفیت علوفه ذرت گزارش شد که کاهش میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی با افزایش تراکم بوته در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر به‌علت کاهش بافت‌های خشبی تک بوته می‌باشد (Iptas & Acar, 2006).

درصد پروتئین خام: بیشترین میزان پروتئین خام در بوته (۱۵/۸ درصد) با فاصله کاشت ۲۵ سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۱۵ آذر ماه مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با کاشت در تاریخ ۱ آذر در فواصل کاشت ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متر (به‌ترتیب ۱۴/۱ و ۱۵/۰ درصد) و همچنین کشت در ۱۵ آذر ماه با فواصل کاشت ۲۰، ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متر (به‌ترتیب ۱۵/۰، ۱۴/۵ و ۱۵/۱ درصد) نداشت (جدول ۳). کمترین میزان پروتئین خام نیز در بیشترین فاصله کاشت (۳۵ سانتی‌متر) و تاریخ کاشت ۱۵ دی ماه (۱۰/۹ درصد) مشاهده شد (جدول ۳). بیشتر بودن درصد پروتئین خام در تاریخ کاشت ۱۵ آذر ماه، نسبت به تاریخ کاشت ۱۵ دی ماه را می‌توان مرتبط با افزایش طول دوره رشد و نمو دانست؛ در همین راستا نجفی‌نژاد و همکاران (Najafinezhad, Shakeri, & Amirpour Robat, 2020) گزارش کردند که طول دوره رشد رویشی طولانی‌تر و مواجه شدن مرحله رشد رویشی گیاه با دمای مناسب و هوای خنک تأثیر معنی‌داری بر افزایش محتوای پروتئین خام علوفه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) داشت. زیزی و همکاران (Zizi, Nematalh, & Abo-Feteih, 2017) گزارش کردند که کاشت زود هنگام (۱۲ فروردین ماه) گیاه لوبیای خوشه‌ای (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) درصد پروتئین بیشتری نسبت به کاشت دیر هنگام (۲۵ اردیبهشت ماه) تولید کرد و علت را به کاهش عملکرد ماده خشک علوفه در تاریخ کاشت آخر نسبت دادند. حیدرزاده و همکاران (Heydarzade, Ehteshami, & Rabiee, 2022) در بررسی اثر تاریخ کاشت (۲۲ اردیبهشت ماه، ۵ و ۱۹ خرداد ماه، ۲ تیر ماه) و تراکم بوته (۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ هزار بوته در هکتار) بر ویژگی‌های کیفی علوفه گوار (*Cluster beans*) اظهار داشتند که بیشترین (۱۹/۰۲ درصد) و کمترین (۱۵/۲۳ درصد) میزان پروتئین خام به‌ترتیب در تاریخ کاشت ۵ خرداد ماه و ۲ تیر ماه مشاهده شد. در بررسی تأثیر فاصله ردیف (۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر) و فاصله بوته روی ردیف (۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) بر میزان پروتئین گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گزارش شد که بیشترین میزان پروتئین (۱۷/۵ درصد) در آرایش کاشت ۱۰×۳۰ سانتی‌متر (تراکم پایین) می‌باشد (Naseri, Fasihi, Hatami, & Poursyabidi, 2010). کاهش درصد پروتئین خام با افزایش تراکم بوته احتمالاً به‌دلیل رقابت بین گیاهان برای نیتروژن باشد. محققان در بررسی تأثیر فاصله بین ردیف (۶۵، ۷۵ و ۸۵ سانتی‌متر)، تراکم (۷۰ و ۸۰ هزار بوته در هکتار) و الگوی کاشت (تک ردیف و دو ردیفه زیگزاگی) بر شاخص‌های کیفی ذرت سیلویی اظهار داشتند که افزایش تراکم

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر فاصله و تاریخ کاشت بر درصد چربی، فیبر حل‌شونده در محلول خنثی و اسیدی، پروتئین خام و خاکستر در کاملینا

Table 3- Mean comparison of effect of distance and planting date on oil%, NDE, ADF, CP and ash in camelina

تیمار Treatment		درصد چربی Oil (%)	درصد فیبر حل‌شونده در محلول خنثی NDF (%)	درصد فیبر حل‌شونده در محلول اسیدی ADF (%)	درصد پروتئین خام CP (%)	درصد خاکستر Ash (%)
فاصله کاشت Planting distance (cm)	تاریخ کاشت Planting date					
15	۱۵ آبان November 5	3.1	65.2	42.1	13.2	7.0
	۱ آذر November 21	3.0	68.7	46.1	14.1	7.7
	۱۵ آذر December 5	4.1	62	41.7	14.0	8.3
	۱ دی December 21	3.2	65.3	41.1	12.4	7.3
	۱۵ دی January 4	2.2	67.3	42.1	11.6	5.7
	۱۵ آبان November 5	3.9	67.4	44.7	12.2	6.7
	۱ آذر November 21	5.1	69.0	41.9	14.2	8.7
20	۱۵ آذر December 5	6.0	68.0	42.3	15.0	5.7
	۱ دی December 21	4.1	68.0	40.3	13.2	7.7
	۱۵ دی January 4	2.1	71.8	41.6	12.3	5.7
	۱۵ آبان November 5	4.8	71.4	44.3	14.3	10.0
	۱ آذر November 21	6.0	69.8	45.3	15.0	7.3
	۱۵ آذر December 5	6.1	70.2	42.3	15.8	6.3
	۱ دی December 21	5.7	72.1	42.4	13.9	7.3
25	۱۵ دی January 4	5.0	71.8	42.4	13.0	5.7
	۱۵ آبان November 5	4.1	63.5	43	11.2	7.7
	۱ آذر November 21	5.0	69.2	39.8	13.2	6.3
	۱۵ آذر December 5	6.0	60.7	43.2	14.5	9.3
	۱ دی December 21	5.8	61.7	41.1	12.2	8.0
	۱۵ دی January 4	4.2	74.0	44.3	11.8	5.7
	۱۵ آبان November 5	3.0	71.7	42.3	13.4	7.3
30	۱ آذر November 21	4.1	70.0	42.3	13.0	6.3
	۱۵ آذر December 5	5.1	71.0	41.2	15.1	5.0
	۱ دی December 21	4.1	70.0	43.0	12.9	6.7
	۱۵ دی January 4	2.3	68.0	44.0	10.9	6.7
	۱۵ آبان November 5	3.0	71.7	42.3	13.4	7.3
	۱ آذر November 21	4.1	70.0	42.3	13.0	6.3
	۱۵ آذر December 5	5.1	71.0	41.2	15.1	5.0
35	۱ دی December 21	4.1	70.0	43.0	12.9	6.7
	۱۵ دی January 4	2.3	68.0	44.0	10.9	6.7
	۱۵ آبان November 5	3.0	71.7	42.3	13.4	7.3
	۱ آذر November 21	4.1	70.0	42.3	13.0	6.3
	۱۵ آذر December 5	5.1	71.0	41.2	15.1	5.0
	۱ دی December 21	4.1	70.0	43.0	12.9	6.7
	۱۵ دی January 4	2.3	68.0	44.0	10.9	6.7
LSD (%)		0.56	1.82	1.98	1.26	1.13



شکل ۱- تأثیر فاصله کاشت بر درصد نیتروژن کاملینا

Figure 1- The effect of planting distance on the nitrogen percentage of camelina

همچنین نتایج گویای این مطلب است که فاصله کاشت ۲۵ سانتی متر منجر به توزیع مطلوب تر شاخص سطح برگ و بهره‌وری بهتر جامعه گیاهی از نور و در نتیجه، تولید ماده خشک بیشتر در واحد سطح گردیده است. عملکرد هر گیاه زراعی حاصل رقابت برون و درون بوته‌ای برای عوامل محیطی است. حداکثر عملکرد زمانی حاصل می‌شود که رقابت به حداقل خود برسد و گیاه بتواند حداکثر استفاده را از عوامل محیطی موجود بنماید. فواصل مناسب بین بوته‌ها، تعیین کننده فضای رشد قابل استفاده برای هر بوته است. تراکم مناسب و توزیع متعادل بوته‌ها در واحد سطح موجب استفاده بهتر از رطوبت، مواد غذایی و نور و به تبع آن، افزایش عملکرد می‌شود (Sarmadnia & Kochaki, 1999).

در تمامی فواصل کاشت، میزان عملکرد زیست توده در تاریخ کاشت ۱ آذر به حداکثر خود رسیده و با تأخیر در کاشت، روند نزولی میزان صفت مشاهده شده و کمترین مقدار در ترکیب تیماری تاریخ کاشت ۱۵ دی ماه و فاصله کاشت ۳۵ سانتی متر (۹۷۲ گرم در مترمربع) به دست آمد (شکل ۲). به نظر می‌رسد که با تأخیر در کاشت، از طول دوره رویشی گیاه و دوره فتوسنتز فعال گیاه کاسته شده و در نتیجه، ماده خشک کمتری در گیاه تجمع می‌یابد. در همین راستا، در بررسی اثر نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دانه روغنی کاملینا در تاریخ‌های مختلف کاشت گزارش شد که کشت دیرهنگام به دلیل برخورد مرحله زایشی با دمای بالای آخر فصل باعث کوتاه شدن دوره رشد کاملینا در تاریخ کاشت‌های دوم و سوم (۱۵ آبان و ۱۵ دی) شد (Zarei, Hassibi, Kahrizi, & Safieddin).

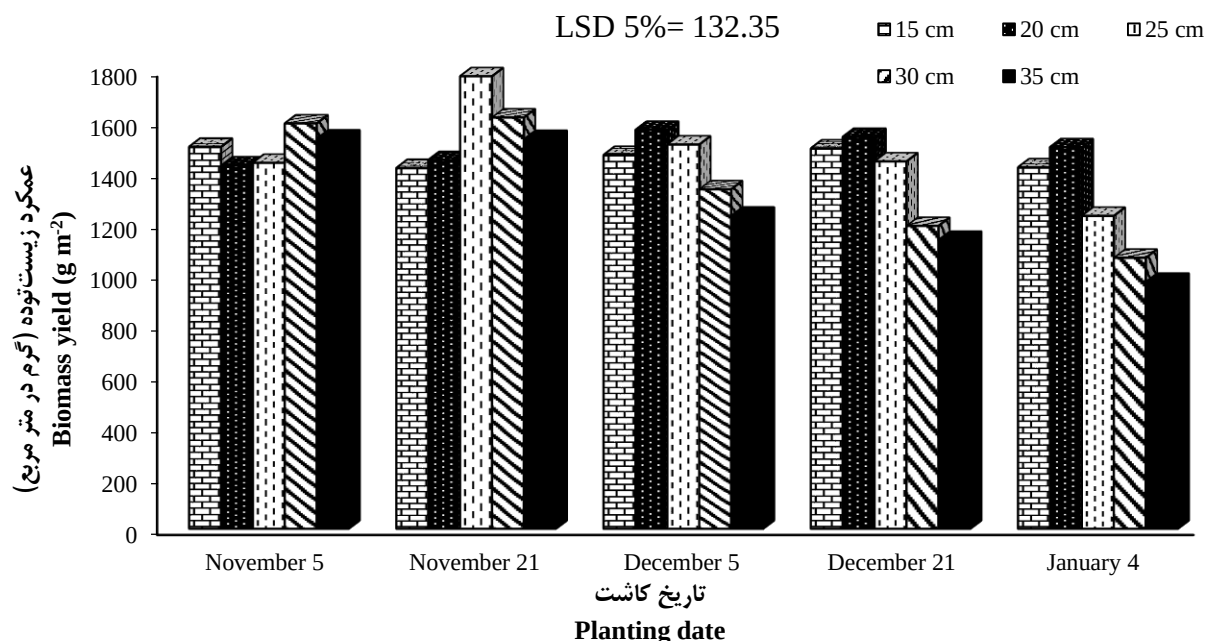
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس عملکرد زیست توده کاملینا تحت تأثیر فاصله و تاریخ کاشت

Table 4- Analysis of variance of biomass yield of camelina as affected by planting distance and date

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد زیست توده
S.O.V	df	Biomass yield
تکرار	2	14420.89
Replication		
فاصله کاشت	4	127538.45**
Planting distance		
تاریخ کاشت	4	232785.82**
Planting date		
فاصله ردیف × تاریخ کاشت	16	64938.49**
Planting date × planting distance		
خطا	48	6182.94
Error		
ضریب تغییرات	-	5.55
CV		

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

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



شکل ۲- تأثیر فاصله و تاریخ کاشت بر عملکرد زیست توده کاملینا
Figure 2- The effect of planting distance and date on biomass yield of camelina

نتیجه گیری

جهت تولید علوفه مطلوب کاملینا باشد. با این وجود، به منظور بررسی دقیق تر کیفیت علوفه کاملینا تحت تأثیر فاصله و تاریخ کاشت های مختلف، انجام دو سال آزمایش روی این طرح توصیه می شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند که مراتب قدردانی و تشکر خود را از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به دلیل پشتیبانی مالی از این پژوهش در قالب طرح تحقیقاتی با شماره طرح ۰۵-۱۴۰۰-۰۱ و همچنین از تمام افرادی که در انجام این طرح پژوهشی ما را یاری کردند، به عمل آورند.

به طور کلی، با توجه به نتایج به دست آمده میزان چربی از تاریخ کاشت ۱۵ آبان تا تاریخ کاشت ۱۵ آذر ماه افزایش یافته و سپس در تاریخ کاشت ۱۵ دی ماه مجدداً کاهش می یابد. بیشترین میزان پروتئین خام در بوته در تیمار فاصله کاشت ۲۵ سانتی متر و تاریخ کاشت ۱۵ آذر ماه مشاهده شد. همچنین در فاصله کاشت ۳۰ سانتی متر، کمترین میزان فیبر حل شونده در محلول خنثی (NDF) و فیبر حل شونده در محلول اسیدی (ADF) به ترتیب در تاریخ کاشت ۱۵ آذر و ۱ آذر مشاهده شد. در مجموع، با توجه به نتایج آزمایش یک ساله، فاصله کاشت ۲۵ تا ۳۰ سانتی متر و تاریخ کاشت ۱ تا ۱۵ آذر با میزان پروتئین بالا و نیز ADF پایین، می تواند تیمار مناسبی در

References

- Ahmadian Kooshkghazi, M. E., & Madandoust, M. (2022). Effect of planting date on growth, seed yield and oil quality of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 24(1), 19-33. (in Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1401.24.1.1.2>
- AOAC. (1990). Official methods of analysis, 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Badvan, H., & Alavi Fazel, M. (2021). Assessment of the low irrigation and change in plant density on water use efficiency and yield and yield components of maize (S.C 704). *Plant Productions*, 44(2), 271-282. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.30499.1797>
- Chaturvedi, S., Bhattacharya, A., Khare, S. K., & Kaushik, G. (2018). *Camelina sativa: An Emerging Biofuel Crop*. In: Hussain C. (eds), *Handbook of Environmental Materials Management*. (pp. 1-38) Springer, Cham.
- Fuladvand, M., & Yadavi, A. (2015). Effect of plant density, rate and split application of nitrogen fertilizer on quality characteristics and nitrogen use efficiency of safflower under weed competition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(2), 358-368. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V13I2.31709>
- Ghamkhar, K., Croser, J., Aryamanesh, N., Campbell, M., Kon'kova, N., & Francis, C. (2019). Camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) as an alternative oilseed: Molecular and ecogeographic analysis. *Genome*, 53(7),

- 558-567. <https://doi.org/10.1139/g10-034>
7. Gholamhoseini, M., Danaie, A. K., & Fallah Toosi, A. (2023). Determining the most suitable planting arrangement, plant density and genotype of sesame in Behbahan region. *Plant Productions*, 45(4), 575-587. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2022.40492.2023>.
8. Heydarzade, M., Ehteshami, M. R., & Rabiee, M. (2022). Effect of planting date and plant density on quantitative and qualitative characteristics of Guar forage (*Cluster beans*). *Journal of Crops Improvement*, 24(3), 919-931. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2021.324335.2557>
9. Ijoyah, M. O., Idoko, J. A., & Iorlamen, T. (2015). Effects of intra-row spacing of sesame (*Sesamum indicum* L.) and frequency of weeding on yields of maize-sesame intercrop in makurdi, Nigeria. *International Letters of Natural Sciences*, 38, 16-26. <https://doi.org/10.56431/p-hu2w34>
10. Iptas, S., & Acar, A. A. (2006). Effects of hybrid and row spacing on maize forage yield and quality. *Plant Soil Environment*, 52(11), 515-522. <https://doi.org/10.17221/3543-PSE>
11. Iskandarov, U., Kim, H. J., & Cahoon, E. B. (2014). Camelina: An emerging oilseed platform for advanced biofuels and bio-based materials. In *Plants and Bioenergy* (pp. 131-140). Springer, New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9329-7-8>
12. Khajehpour, H. R. (2012). *Fundamentals and foundations of Agriculture*. Jahad University Press. Isfahan University of Technology, Iran. 398 p. (in Persian).
13. Kurasiak-Popowska, D., Tomkowiak, A., Człopińska, M., Bocianowski, J., Weigt, D., & Nawracała, J. (2018). Analysis of yield and genetic similarity of Polish and Ukrainian *Camelina sativa* genotypes. *Industrial Crops and Products*, 123, 667-675. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.001>
14. Minbashi Moeini, M. (1996). The effects of planting date and plant density on the yield and quality of corn forage. M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, 132 pp.
15. Mohammadi-Nejad, R., Bahramian, S., & Kahrizi, D. (2018). Evaluation of physicochemical properties, fatty acid composition and oxidative stability of *Camelina sativa* (DH 1025) oil. *Journal of Food Science Technology*, 15(17), 261-269. (in Persian with English abstract).
16. Moser, B. R. (2010). Camelina (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: Golden opportunity or false hope? *Lipid Technology*, 22, 270-273. <https://doi.org/10.1002/lite.201000068>
17. Naibi Hajilar, S., & Hassanzadeh, A. (2016). Effects of plant population and planting pattern on vegetative and reproductive characteristics of castor bean (*Ricinus communis* L.) plant. *Applied Field Crops Research*, 29(2), 83-94. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/AJ.2016.109609>
18. Najafinezhad, H., Shakeri, P., & Amirpour Robat, M. (2020). Effect of planting date and plant density on forage yield and quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) varieties in cold temperate region of Kerman province in Iran. *Seed and Plant Journal*, 36(4), 439-460. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/SPPI.2021.123894>
19. Naseri, R., Fasihi, K., Hatami, A., & Poursayehbidi, M. M. (2010). Effect of planting pattern on yield, yield components, oil and protein contents in winter safflower cv. Sina under rainfed conditions. *Iranian Journal of Crop Science*, 12(3), 227-238. (in Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1389.12.3.1.2>
20. Obeng, E., Obour, A. K., Nelson, N. O., Moreno, J. A., Ciampitti, I. A., Wang, D., & Durrett, T. P. (2019). Seed yield and oil quality as affected by camelina cultivar and planting date. *Journal of Crop Improvement*, 33(2), 1-21. <https://doi.org/10.1080/15427528.2019.1566186>
21. Oddy, V. U., Robards, G. E., & Low, S. G. (1983). Prediction of *in-vivo* dry matter digestibility from the fiber and nitrogen content of a feed, In *Feed Information and Animal production*. G. E. Robards and R. G Packham (eds). Commonwealth Agricultural Bureaux. Australia, p. 295-298.
22. Pouramir, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Ghorbani, R. (2010). Assessment of sesame and chickpea yield and yield components in the replacement series intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(5), 747-757. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V8I5.8016>
23. Ramezani, M., & Rezaei Souck Abandani, R. (2010). Investigating the density and arrangement of planting on the quality indicators of silage corn in the second crop of Mazandaran. *Crop Physiology Journal*, 3(10), 49-66. (in Persian with English abstract).
24. Raziei, Z., Kahrizi, D., Rostami -Ahmadvandi Falah, H. F., & Karami, F. (2016). *Production and fatty acid characterization of DH1025 a doubled haploid Camelina sativa line*. International Conference on Researches in Science and Engineering. 28 July 2016. Istanbul University, Turkey.
25. Sarkees, N. A., & Tahir, D. S. H. (2016). Seed yield and oil content of safflower as affected by genotypes and sowing dates. *The Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 47, 56-65.
26. Sarmadnia, G. R., & Kochaki, A. (1999). *Physiology of Agricultural Plants*. Jihad Deneshgahi of Mashhad, Mashhad, Iran.
27. Schillinger, W. F., Wysocki, D. J., Chastain, T. G., Guy, S. O., & Karow, R. S. (2012). Camelina: Planting date and method effects on stand establishment and seed yield. *Field Crops Research*, 130, 138-144.

- <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.019>
28. Sharafi, S., & Ramroudi, M. (2022). Evaluation of quantitative and qualitative of *Medicago scutellata* affected by sowing date, sowing depth, and seeding rate. *Journal of Agroecology*, 13(4), 689-704. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V13I4.85812>
29. Solymani, A. A., Kamkar, B., Zinali, A., & Mokhtarpur, H. (2010). Effects of planting date and harvesting time on the quality characteristics of pear millet forage (*Pennisetum glaucum*). *Crop Production*, 3(4), 143-160. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1389.3.4.9.0>
30. Toncea, I., Necseriu, D., Prisecaru, B., Balint, L. N., Ghilvacs, M. I., & Popa, M. (2013). The seed's and oil composition of camelia - first camelina (*Camelina sativa* L. Crantz), Rom. *Romanian Biotechnology Letters*, 18(5), 8594-8602.
31. Van Soest, P. J. (1990). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds, II, A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, 73(4), 491-497. <https://doi.org/10.1093/jaoac/73.4.491>
32. Zanetti, F., Eynck, C., Christou, M., Krzyżaniak, M., Righini, D., Alexopoulou, E., & Monti, A. (2017). Agronomic performance and seed quality attributes of camelina (*Camelina sativa* L. crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada. *Industrial Crops and Products*, 107, 602-608. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.022>
33. Zarei, S., Hassibi, P., Kahrizi, D., & Safieddin Ardebili, S. M. (2022). Effect of nitrogen application on camelina (*Camelina sativa*) oil seed yield and yield components at different planting dates. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(4), 311-325. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JCESC.2021.37179.0>
34. Zizy, A., Nematallah, Y. O. M., & Abo-Feteih, S. S. M. (2017). Influence of irrigation intervals under different sowing dates on water relations, yield and quality nutrition of guar forage crop. *Egyptian Journal of Agronomy*, 39(3), 293-305. <https://doi.org/10.21608/agro.2017.1447.1072>



Research Article

Vol. 22, No. 4, Winter 2025, p. 385-399

Investigation of Methanolic Sodium Nanosilicate and Glycine on Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.)

H. Rezaei¹, F. Paknejad^{1b2*}, M. N. Ilkaee³, D. Habibi³, M. Sadeghi-Shoae^{1b4}

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

4- Assistant Professor, Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: Farzadpaknejad@gmail.com)

Received: 26 January 2024

Revised: 05 August 2024

Accepted: 07 August 2024

Available Online: 07 December 2024

How to cite this article:Rezaei, H., Paknejad, F., Ilkaee, M. N., Habibi, D., & Sadeghi-Shoae, M. (2025). Investigation of Methanolic Sodium Nanosilicate and Glycine on Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(4), 385-399. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86567.1303>

Introduction

Sugar beet is one of the most important industrial plants cultivated under diverse weather conditions. Nutrition management plays an important role in the yield and quality of sugar beet. Nowadays, foliar spraying of nano fertilizers is an effective method of agricultural products. Methanol foliar spraying reduces photorespiration, also increases carbon dioxide and ultimately improves photosynthesis of plants. The application of glycine protects plant cells by regulating osmosis, stabilizing proteins, protecting the photosynthetic apparatus, and reducing reactive oxygen species. There is not enough studies about the effect of methanolic sodium nanosilicate on plants, especially under different weather conditions. Therefore, regarding the application of methanol, especially methanolic sodium nanosilicate, and the effect of glycine on plant yield, the present study was conducted to investigate the foliar application of methanol and glycine and their interaction effect, also introduce the best level of application of foliar application on the yield and quality of sugar beet in two regions with different weather conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the 2018-2019 cropping year as a factorial randomized complete block design with three replicates at the research field of the Karaj and Qom two different climate locations. Karaj is a cold and mountainous region with mild summer and Qom is a dry and desert region with hot and dry summer. Treatments were 6 levels of methanol (0 (no use), 15 and 30% v v⁻¹, 5, 10 and 15 % v v⁻¹ methanolic sodium nanosilicate) as well as 3 levels of glycine amino acid (0 (no use), 2 and 4 g l⁻¹). Sugar beet yield and quality were measured. Foliar spraying was done 3 times during the plant growth season with 14 day intervals on the aerial parts of the sugar beet plant and the control plots were sprayed with water. Data were analyzed using SAS (Ver. 9.4) software and the means were separated by the Duncan test at a 5% probability level.

Results and Discussion

The results demonstrated that sugar beet yield and quality in the Karaj region were better than in Qom. Spraying methanol and also glycine increased the yield and quality of sugar beet compared to the control (no



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86567.1303>

application). The application of 15% methanolic sodium nanosilicate improved the quality and yield of sugar beet compared to 30% methanol. The consumption of methanolic sodium nanosilicate 15% v v⁻¹+ glycine 4 g l⁻¹ increased the yield of root dry matter 65% and the yield of white sugar 50% compared to the control. Methanol is a source of carbon and glycine improved plant growth by increasing carbon efficiency. Also, with the increase of auxin hormone, it has produced more sugar substances and expanded the transfer of sucrose from the aerial parts to the roots. Therefore, the sugar percentage increased and the root impurities decreased. Among the methanol treatments, increasing the concentration of methanol up to 30% v.v⁻¹ not only did not improve the quality of sugar beet, but also reduced the quality and yield compared to methanolic sodium nanosilicate 15% v v⁻¹. Methanolic sodium nanosilicate treatment of 15% v v⁻¹ was much more effective than other treatments. Thus the yield of this treatment was better than the 30% v v⁻¹ treatment. Because nano technology has provided suitable conditions for plant growth due to its high potential and better absorption by plants. In addition to nutrition, sugar beet production is greatly influenced by weather and environmental conditions. Sugar beet cultivation in Karaj was more satisfactory than in Qom, which can be said to be due to the presence of more soil organic matter, as well as more suitable weather conditions, especially at the end of the growing period in the Karaj region.

Conclusion

Based on the results of this study, spraying methanolic sodium nanosilicate 15% v v⁻¹ and glycine 4 g l⁻¹ were recommended to improve the yield and quality of sugar beet in climatic conditions similar to the Karaj region.

Keywords: Alkalinity coefficient, Root dry matter yield, Root impurities, Sugar percentage, White sugar yield

بررسی اثرات نانو سیلیکات سدیم متانولی و گلايسين بر عملکرد و کیفیت چغندر قند (*Beta vulgaris* L.)

حسین رضایی^۱، فرزاد پاک‌نژاد^{۲*}، محمد نبی ایلکایی^۳، داود حبیبی^۳، مهدی صادقی شعاع^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷

چکیده

چغندر قند از پراهمیت‌ترین گیاهان صنعتی است که در شرایط آب‌وهوایی متنوع کشت می‌شود و مدیریت تغذیه به‌ویژه کاربرد نانو فناوری نقش به‌سزایی در عملکرد و کیفیت این محصول دارد. بنابراین، به‌منظور بررسی تأثیر نانو سیلیکات سدیم متانولی و اسید آمینه گلايسين در عملکرد و کیفیت چغندر قند، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در سه تکرار، در دو منطقه کرج و قم اجرا شد. تیمارها شامل شش سطح متانول (صفر (عدم مصرف)، ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی و نانو سیلیکات سدیم متانولی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی)، همچنین سه سطح اسید آمینه گلايسين (صفر (عدم مصرف)، دو و چهار گرم در لیتر) بود. نتایج مطالعه حاضر بیانگر برتری کشت چغندر قند در منطقه کرج نسبت به قم بود. محلول‌پاشی متانول و گلايسين موجب افزایش عملکرد و ویژگی‌های کیفی چغندر قند نسبت به شاهد (عدم مصرف) شد. علاوه‌براین، کاربرد نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد در بهبود کیفیت و عملکرد چغندر قند نسبت به متانول ۳۰ درصد نقش مؤثرتری داشت. مصرف نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی + گلايسين چهار گرم در لیتر، ۶۵ درصد عملکرد ماده خشک ریشه و ۵۰ درصد عملکرد شکر سفید را نسبت به شاهد افزایش داد. بنابراین، کشت چغندر قند در شرایط آب‌وهوایی مشابه با منطقه کرج و محلول‌پاشی نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی و گلايسين چهار گرم در لیتر در بهبود عملکرد و کیفیت چغندر قند مؤثرتر از سایر تیمارها بود.

واژه‌های کلیدی: درصد قند، ضریب قلیائیت، عملکرد شکر سفید، عملکرد ماده خشک ریشه، ناخالصی‌های ریشه

مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) از محصولات صنعتی مهم در بخش کشاورزی می‌باشد و دو ویژگی عملکرد ریشه و درصد قند آن مورد توجه است. این گیاه با تأمین حدود ۳۵ درصد از تقاضای شکر جهان، نقش مهمی را در تأمین قند و شکر ایفا می‌کند. همچنین تفاله

و ملاس آن در تغذیه دام کاربردهای فراوانی دارد (Lubova et al., 2018). چغندر قند گیاهی دارای دوره رشد طولانی است و هیچ‌گونه خودتنظیمی جهت افزایش تجمع ساکاروز ندارد و به همین دلیل، وابسته به شرایط محیطی و محرک‌های خارجی است (Bayomi, El-Hashash, & Moustafa, 2019).

امروزه محلول‌پاشی کودهای نانو روشی مؤثر و کارآمد جهت بهره‌وری مناسب از محصولات کشاورزی می‌باشد. استفاده از تکنولوژی نانو در کشاورزی به‌ویژه کاربرد ذرات نانو (ذرات ۱-۱۰۰ نانومتر)، به‌علت پتانسیل بالا و ویژگی‌های منحصر به فرد آن و همچنین به‌دلیل اینکه شبیه مولکول‌های بیولوژیکی مانند پروتئین‌ها بوده و قادر به عبور از غشاء سلولی هستند، می‌تواند گزینه مناسبی جهت افزایش عملکرد و کیفیت محصولات باشد (Babo et al., 2022; Elemike, Uzoh, Onwudiwe, & Babalola, 2019). یکی از راهکارهای افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در گیاهان، استفاده از الکل‌ها است که در این میان، کاربرد متانول از جایگاه ویژه‌ای

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
 - ۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
 - ۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
 - ۴- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- (*) نویسنده مسئول: Email: Farzadpaknejad@gmail.com
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86567.1303>

گلايسين و اثر متقابل آن‌ها و معرفي بهترين سطح محلول‌پاشي بر عملکرد و كيفيت چغندرقد در دو منطقه با شرايط آب‌وهوای متفاوت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر متانول و اسید آمینه گلايسين در عملکرد کمی و كيفي چغندرقد، پژوهشي به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در سه تکرار، در دو منطقه کرج و قم با شرايط آب‌وهوایی متفاوت (کرج منطقه‌ای سرد و کوهستانی با تابستان معتدل و قم منطقه‌ای خشک و کویری با تابستان گرم و خشک) اجرا شد. اراضي کشاورزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب واقع در کمال آباد شهرستان کرج (عرض جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی) مرکز استان البرز و همچنین ایستگاه تحقیقات کشاورزی جعفریه قم (عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی) دو مکان اجرای تحقیق بودند. تیمارها شامل شش سطح متانول (صفر (عدم مصرف)، ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی متانول و ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی نانو سیلیکات سدیم متانولی) همچنین سه سطح اسید آمینه گلايسين (صفر (عدم مصرف)، دو و چهار گرم در لیتر) بود. برای اعمال تیمارهای نانو سیلیکات سدیم متانولی در پژوهش حاضر از پلی‌اتیلن سیلیکاتی که حاوی ذرات نانو سیلیکا با ضخامت ۳۱۰ میکرون و غلظت ذرات نانو در هر بسته ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام که حاوی ماده آنتی‌باکتریال و دارای نفوذپذیری ۲۰ میلی‌لیتر بر مترمربع در ۲۴ ساعت برای دی‌اکسیدکربن و ۳۵ میلی‌لیتر بر مترمربع در ۲۴ ساعت برای اکسیژن و غیر قابل نفوذ برای ورود و خروج بخار آب است، استفاده گردید. پلی‌اتیلن سیلیکاتی از شرکت نانو بسپار آیتک تهران واقع در اطراف شهر تهران تهیه شد. نانو متاسیلیکات سدیم یا نانو سیلیکات سدیم به‌عنوان یک ترکیب شیمیایی با فرمول Na_2SiO_3 شناخته می‌شود. این ترکیب دارای خواص و کاربردهای متنوعی است. به‌علت خاصیت چسبندگی و پایداری متاسیلیکات سدیم، این ترکیب می‌تواند به مولکول‌های متانول چسبیده شود و مانع ریزش متانول از روی برگ‌ها و جذب بهتر می‌شود و به‌علت خاصیت ضدآبی که دارد مانع از آبشویی متانول از روی برگ‌ها می‌شود (Epstein, 1999; Elliot & Snyder, 1991).

هر کرت شامل پنج خط کاشت شش متری با فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. تراکم بوته ۱۰۰ هزار بوته در هکتار و عمق کاشت بذر ۳-۲ سانتی‌متر بود. در پاییز جهت تهیه بستر کاشت نسبت به شخم عمیق اقدام گردید، در ادامه عملیات کشاورزی زمین در بهار

برخوردار است. محلول‌پاشی متانول با افزایش دی‌اکسیدکربن موجب کاهش تنفس نوری و در نهایت، افزایش فتوسنتز در گیاهان می‌شود، به‌طوری‌که متانول به‌کار برده‌شده روی گیاهان سه‌کربنه به‌ویژه در شرایطی که تنفس نوری در گیاهان به مقدار زیادی در حال انجام است، می‌تواند بخشی از تلفات کربن تثبیت‌شده توسط فتوسنتز را جبران نماید و از این طریق، افزایش فتوسنتز خالص در واحد سطح و بالارفتن تولید ماده خشک در گیاهان زراعی سه‌کربنه را به همراه داشته باشد (Dorokhov, Sheshukova, & Komarova, 2018). علاوه‌براین، موجب جذب نیتروژن در گیاهان می‌شود که با افزایش جذب نیتروژن در گیاه، تعداد و اندازه برگ‌ها در گیاهان و همچنین مقدار نور جذب‌شده توسط گیاه افزایش می‌یابد (Leonzio Zondervan, & Foscolo, 2019; Roode-Gutzmer, Kaiser, Bertau, 2019). پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد متانول سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum*) شد (Nassirpour & Khademi, 2020). پژوهشگران بیان داشتند که بیشترین عملکرد ریشه، عملکرد بخش هوایی و عملکرد شکر سفید در چغندرقد متعلق به تیمار ۲۱ درصد حجمی متانول به‌ترتیب با ۳/۰۳، ۵۳/۹۲ و ۱۳/۷۲ تن در هکتار بود (Nadali et al., 2010). علاوه‌براین گزارش شده است که کاربرد متانول (۱۳/۳۱ درصد) مقدار قند چغندرقد را افزایش داد. همچنین بیشترین عملکرد ریشه چغندرقد (۵۳/۲۵ تن در هکتار) مربوط به تیمار متانول هفت درصد و تنش خشکی (۶۵ درصد تخلیه رطوبتی) بود (Nadali Paknejad, & Ghafari, 2014).

گلايسين بتائين نیز نوعی ترکیب آمونیومی است که در ریزجانداران مختلف، گیاهان عالی و حیوانات وجود دارد و در بین بسیاری از ترکیبات آمونیومی چهارگانه شناخته شده است. گلايسين بتائين، مولکول آلی محلول در آب است که می‌تواند با حفاظت از سلول‌های گیاهی به‌وسیله تنظیم اسمزی، پایدار کردن پروتئین‌ها، حفاظت از دستگاه فتوسنتزی و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن، نقشی حفاظتی در برابر تنش‌های محیطی ایفا نماید (Gupta & Thind, 2017; Ahmad et al., 2019). در همین راستا، پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد متانول و گلايسين اثر مثبتی بر عملکرد چغندرقد نشان داده و افزایش عملکرد و صفات فیزیولوژیک این گیاه را به همراه داشت (Haghighi, Habibi, Mozafari, Sani, & Sadeghishoe, 2021). همچنین گزارش شد که گلايسين موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم شده است (Gupta & Thind, 2017; Ahmed et al., 2019). در خصوص تأثیر نانو سیلیکات سدیم متانولی و اثر آن بر گیاهان به‌ویژه در شرایط آب‌وهوایی متفاوت، تحقیقات کافی صورت نگرفته است. بنابراین، با توجه به اثرات نانو سیلیکات سدیم متانولی و گلايسين بر عملکرد گیاهان، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی محلول‌پاشی متانول،

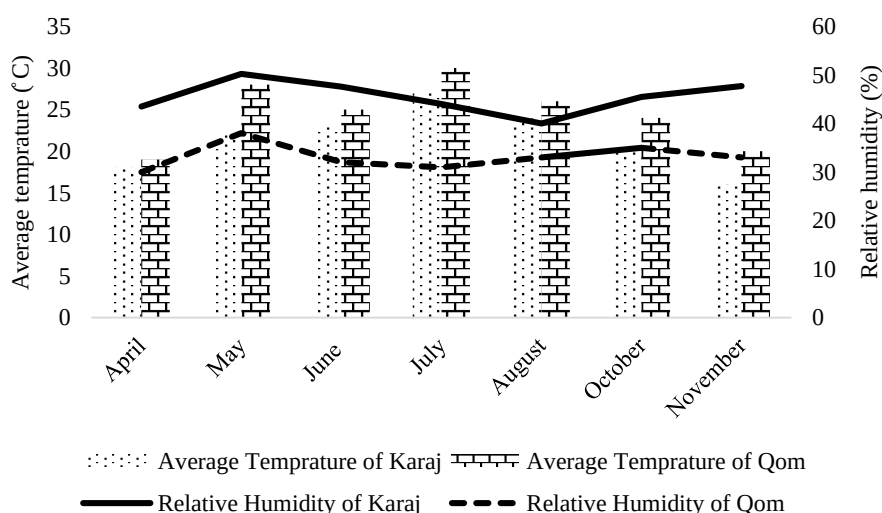
تنک و استقرار بوته‌ها و مابقی در سه ماهه دوم در زمان بسته شدن تاج‌پوشش اضافه شد. همچنین همزمان با کاشت، ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل به زمین داده شد. آبیاری‌ها پس از ۸۰ میلی‌متر (هشت سانتی‌متر) تبخیر از تشتک تبخیر انجام شد و آبیاری به‌وسیله نوارهای آبیاری صورت گرفت (Paknejad, Majidiheravan, Noor (Mohammadi, Siyadat, & Vazan, 2007). در طول دوره رشد گیاهان، اطلاعات هواشناسی از ایستگاه‌های هواشناسی مناطق مورد مطالعه جمع‌آوری و ثبت گردید (شکل ۱).

نسبت به اجرای شخم سبک، دیسک و لولر اقدام گردید. زمان کاشت بذر در کرج و جعفریه قم، اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ بود. بذور چغندرقد از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج به‌صورت تک جوانه (منوژرم) تهیه شدند. رقم استفاده شده، رقم رسول بود. قبل از کاشت، جهت تعیین مقادیر کود مورد نیاز، نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری گرفته شد و به آزمایشگاه تجزیه کیفی ارسال شد و مقدار کودهای مورد نیاز تعیین شد (جدول ۱). مقدار ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره حاوی ۴۶ درصد ازت خالص به‌صورت دست‌پاش اضافه گردید. نصف کود را بعد از

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی کمال‌آباد کرج و جعفریه قم در سال ۱۳۹۸

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil in two test areas

منطقه Region	اسیدیته pH	مواد آلی Organic materials (%)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	NO ₃ (mg kg ⁻¹)	NH ₄ (mg kg ⁻¹)	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	بافت خاک Soil texture
کرج Karaj	7.85	1.04	568	12.16	15.23	6.21	1.03	رسی - لومی Clay-loam
قم Qom	7.82	0.28	559	8.34	14.64	5.95	1.82	رسی Clay



شکل ۱- روند تغییرات دما و رطوبت در ماه‌های فروردین تا مهر در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی کمال‌آباد کرج و جعفریه قم در سال ۱۳۹۸
Figure 1- Temperature and humidity changes in the months of April to October in Kamal Abad Karaj and Jafarieh Qom agricultural research stations in 2018

بوته جاری شد و محلول‌پاشی بوته‌ها تا زمان جاری شدن قطره‌های محلول مورد استفاده روی گیاه ادامه یافت. کرت‌های مربوط به شاهد با آب محلول‌پاشی شدند. وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

در ۱۴ آبان، عملیات برداشت ریشه‌های چغندرقد با رعایت اثرات حاشیه‌ای صورت گرفت و از مزرعه جمع‌آوری شد. نمونه‌ها پس از جدا کردن اندام هوایی در مزرعه، توزین شد و جهت تجزیه کیفی به آزمایشگاه منتقل گردید. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در

سطوح حجمی متانول مصرفی براساس هر ۱۰۰ لیتر آب محاسبه شد. به عبارت دیگر، در سطح متانول ۱۵ درصد حجمی به‌ازای هر ۱۰۰ لیتر آب ۱۵ لیتر متانول استفاده شد. محلول‌پاشی سه بار طی فصل رشد گیاه با فواصل ۱۴ روز روی قسمت‌های هوایی بوته چغندرقد انجام شد. اولین محلول‌پاشی، دو ماه پس از کاشت در مرحله رشدی ۱۶ برگی چغندرقد در تاریخ ۱۹ تیر آغاز شد. محلول‌پاشی‌ها با محلول‌پاش کوله‌ای (پشتی) در اوایل روز (صبح) با نازل ریزپاش صورت گرفت. قطرات محلول روی تمام قسمت‌های

درصد قند به روش پلاریمتری توسط دستگاه ساکاریمتر (ICUMSA, 2007)، سدیم و پتاسیم به روش فلیم فتومتری، نیتروژن مضره به روش عدد آبی و از دستگاه بتالایزر استفاده شد (Kubadinow & Weininger, 1972). برای محاسبه قند ملاس (MS) از رابطه (۱) استفاده شد (Buchholz, Marlander, Puke, Glattkowski, & Thielecke, 1995).

$$MS = 0.12 (K + Na) + 0.24 (\alpha\text{-amino N}) + 0.48 \quad (1)$$

که در آن، K: میزان پتاسیم، Na: میزان سدیم و $\alpha\text{-amino N}$: میزان نیتروژن مضره برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم ریشه است. با توجه به غلظت ناخالصی‌های موجود، مقدار شکر سفید یا شکر قابل استحصال برحسب گرم شکر در ۱۰۰ گرم چغندر قند و درصد قند ملاس برحسب گرم شکر در ۱۰۰ گرم چغندر قند و برحسب تن در هکتار براساس رابطه (۲) محاسبه شد (Abdollahian Noghabi, Sheykhoul Eslami, & Babayi, 2005).

$$(2) \quad \left(\frac{0}{6} + \text{ملاس} \right) - \text{درصد قند} = \text{شکر قابل استحصال}$$

آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. ریشه‌های برداشت شده از هر کرت شسته شد و پس از وزن کردن از مجموع آن‌ها به طور تصادفی توسط دستگاه اتوماتیک، خمیر تهیه گردید و در ظروف مخصوص قرار داده شد و روی نمونه‌ها با پوشش نایلونی پوشیده شد. سپس سینی‌های مخصوص بلافاصله به فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل گردید و به محل استحصال قند واقع در کمال آباد کرج انتقال یافت. صفات اندازه‌گیری شده شامل عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد قند ناخالص، عملکرد شکر سفید، ناخالصی‌های ریشه شامل سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره، ضریب قلیائیت (آلکالیت)، درصد شکر قابل استحصال، ضریب استحصال شکر، درصد قند ملاس، نسبت سدیم به شکر، نسبت پتاسیم به شکر و نسبت نیتروژن مضره به شکر بود. جهت آنالیز کیفی هر نمونه، پس از خارج شدن از حالت انجماد از هر نمونه ۲۶ گرم خمیر با ۱۷۷ میلی‌لیتر سواستات سرب توسط همزن به مدت سه دقیقه مخلوط شد و پس از عبور از فیلترهای خاص، شربت زلالی به دست آمد که در آن

جدول ۲- نتایج آزمون بارتلت

Table 2- Bartlett test results

صفات Traits	P	chi-square
عملکرد ریشه Root dry matter yield	0.4752	0.7216
درصد قند Sugar percentage	0.6691	0.9345
عملکرد قند ناخالص Sugar yield	0.8274	0.7956
عملکرد شکر سفید White sugar yield	0.4353	0.3118
سدیم Na	0.4199	0.8627
پتاسیم K	0.7264	0.3425
نیتروژن N	0.8042	0.6683
ضریب قلیائیت یا آلکالیت Alkalinity coefficient (AIC)	0.3657	0.6911
درصد شکر قابل استحصال White sugar content (WSC)	0.2785	0.9534
ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar (ESC)	0.3852	0.2596
درصد قند ملاس Molasses Sugar (MS)	0.9417	0.7328
نسبت سدیم به شکر NaSR	0.8263	0.9054
نسبت پتاسیم به شکر KSR	0.4436	0.6281
نسبت نیتروژن مضره به شکر $\alpha\text{-NSR}$	0.6395	0.3578

(جدول ۳). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، اثرات متقابل متانول و گلیسین بر عملکرد ریشه، محلول پاشی متانول و گلیسین موجب بهبود عملکرد ریشه چغندر قند نسبت به شاهد شد و با افزایش غلظت متانول و همچنین گلیسین، عملکرد ماده خشک ریشه نیز افزایش یافت. کاربرد نانو سیلیکات سدیم متانولی در بهبود عملکرد ماده خشک ریشه نسبت به متانول تأثیر به سزایی داشت، به طوری که چغندر قند در تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی با غلظت ۱۵ درصد حجمی نسبت به تیمار متانول با غلظت ۳۰ درصد حجمی، عملکرد ماده خشک ریشه بیشتری داشت. برهم کنش نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی + گلیسین چهار گرم در لیتر، ۶۵ درصد عملکرد ماده خشک ریشه را نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۲). گیاهان تیمار شده با متانول می توانند فتوسنتز خالص خود را افزایش داده و سبب بهبود عملکرد خود شوند. در واقع، متانول در گیاه به فرمالدئید و دی اکسید کربن تبدیل شده و در نهایت، سبب تولید ساکاروز و آمینو اسید بیشتر در گیاه می شود که با افزایش غلظت متانول، این مکانیسم عملکرد افزایش می یابد (Dorokhov *et al.*, 2018). علاوه بر این، متانول به علت تأثیر مثبت روی باکتری های محرک رشد و همچنین هورمون های رشد گیاهی نظیر اکسین سبب افزایش عملکرد گیاهان می شود (Roode-Gutzmer *et al.*, 2019). فناوری نانو با جذب بهتر توسط گیاه سبب افزایش عملکرد ماده خشک ریشه شد (Babu *et al.*, 2022).

ضایعات شکر کارخانه قند معادل ۰/۶ در نظر گرفته شد. مقدار قند ملاس براساس مقدار پتاسیم، سدیم و نیتروژن مضره بیان شد. ضریب استحصال شکر (مقدار شکر سفید قابل استحصال از ساکارز موجود در ریشه چغندر قند) نیز از طریق رابطه (۳) محاسبه شد (واحد درصد):

(۳)

$100 \times (\text{درصد قند} \div \text{شکر قابل استحصال}) = \text{ضریب استحصال شکر}$

ضریب قلیائیت یا آلکالیت (Alk) براساس رابطه (۴) محاسبه شد

(Wieninger & Kubadinow, 1971).

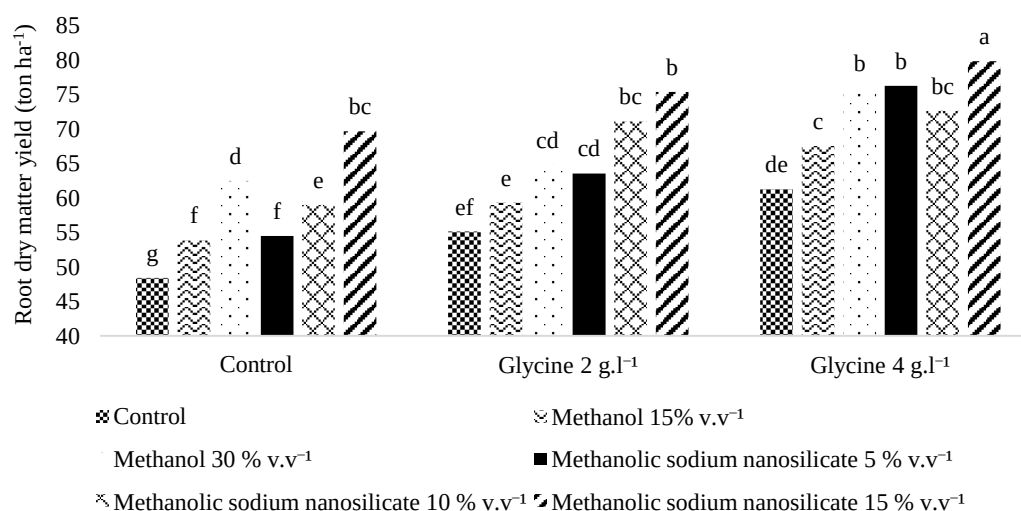
$$\text{Alk} = (\text{K} + \text{Na}) / (\alpha\text{-amino N}) \quad (4)$$

در این پژوهش، پس از اطمینان از نرمال بودن داده ها، آزمون بارتلت جهت اطمینان از یکنواختی توزیع خطاهای آزمایشی انجام شد (جدول ۲). تجزیه و تحلیل آماری به روش مرکب با استفاده از نرم افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. مقایسه میانگین ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن با احتمال خطای پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد ماده خشک ریشه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر متانول، گلیسین و همچنین اثرات متقابل متانول و گلیسین با احتمال خطای یک درصد بر عملکرد ماده خشک ریشه معنی دار است



شکل ۲- اثرات متقابل متانول و گلیسین بر عملکرد ماده خشک ریشه چغندر قند

Figure 2- Interaction effects of methanol and glycine on root dry matter yield of sugar beet

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار هستند (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

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

عملکرد قند ناخالص

اثر منطقه، گلايسين و اثرات متقابل آنان با احتمال خطای یک درصد بر عملکرد قند ناخالص معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج برهم‌کنش منطقه و گلايسين حاکی از آن است که عملکرد قند ناخالص در منطقه قم بیشتر از کرج بود و کاربرد گلايسين نسبت به عدم مصرف آن، عملکرد قند ناخالص را کاهش داد. تیمار عدم مصرف گلايسين در قم نسبت به تیمار مصرف گلايسين با غلظت چهار گرم در لیتر در کرج، ۲۵/۲۷ درصد عملکرد قند ناخالص را افزایش داد (شکل ۳). میزان هدایت الکتریکی خاک محل اجرای آزمایش در منطقه قم بیشتر از کرج بود و از آنجایی که سدیم یکی از عناصری است که به‌صورت ناخالص در ریشه وجود دارد، بنابراین افزایش این عنصر میزان عملکرد قند ناخالص را افزایش داده و از خلوص قند می‌کاهد (Bashiri, Mir Mahoudi, & Fotouhi, 2015). کاربرد گلايسين از طریق تنظیم نسبت سدیم به پتاسیم، نقش مهمی در کاهش عملکرد قند ناخالص دارد (Kurepin et al., 2015).

عملکرد شکر سفید

اثر متانول و گلايسين با احتمال خطای یک درصد و اثرات متقابل متانول و گلايسين با احتمال خطای پنج درصد بر عملکرد شکر سفید معنی‌دار شد (جدول ۳). برهم‌کنش متانول و گلايسين بیانگر آن است که نانو سیلیکات سدیم متانولی در افزایش عملکرد شکر سفید نقش مؤثرتری نسبت به متانول داشت، به‌طوری‌که اثرات متقابل تیمارهای نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی + گلايسين چهار گرم در لیتر، عملکرد شکر سفید را ۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۴). محلول‌پاشی ترکیبات نانو، ماندگاری بالاتری روی برگ‌های گیاه نسبت به مواد غیر نانو دارند. بنابراین، گیاه فرصت بیشتری برای جذب آن دارد و همچنین به‌علت اندازه کوچکی که دارند، گیاه آن‌ها را راحت‌تر جذب می‌کند (Babu et al., 2022). متانول با بهبود فتوسنتز و باکتری‌های محرک رشد و تولید ساکاروز بیشتر در گیاه سبب افزایش عملکرد شکر سفید می‌شود (Dorokhov et al., 2018). گلايسين با افزایش راندمان تبدیل کربن سبب انتقال ساکارز از برگ‌ها به ریشه شده و عملکرد شکر سفید را افزایش می‌دهد (Haghighi et al., 2021). نتایج مطالعه حاضر با سایر پژوهشگران مطابقت داشت، آنان اظهار داشتند که کاربرد متانول سبب افزایش عملکرد شکر سفید چغندر قند شد (Nadali et al., 2010).

به نظر می‌رسد که کاربرد گلايسين با افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان احتمالاً از طریق تثبیت ساختار پروتئین‌های آنزیمی و به‌دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش فتوسنتز، تورژسانس سلولی و به دنبال آن، افزایش طولی شدن سلول موجب افزایش عملکرد ریشه چغندر قند شده است (Gupta & Thind, 2017). پیرو این امر، محققان گزارش کردند که کاربرد متانول و گلايسين موجب افزایش عملکرد ماده خشک ریشه چغندر علفه‌ای شده است (Haghighi et al., 2021).

درصد قند ناخالص

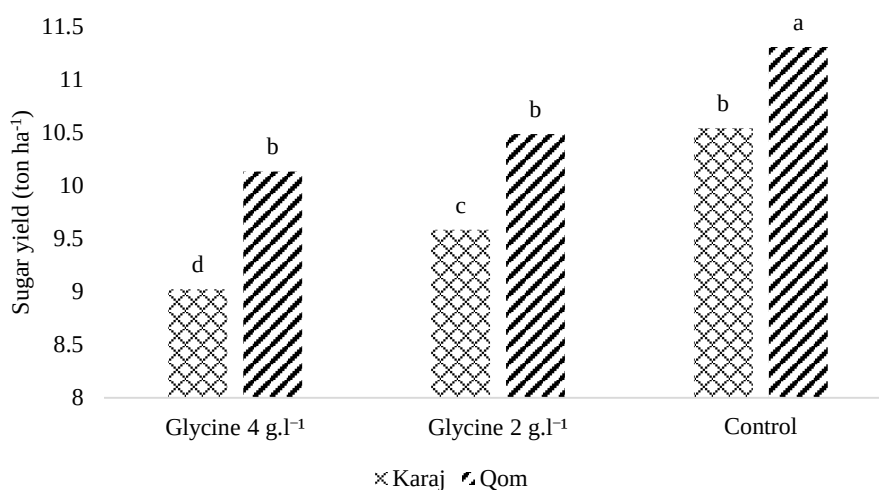
اثر منطقه و گلايسين با احتمال خطای یک درصد و اثر متانول با احتمال خطای پنج درصد بر درصد قند معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین بیانگر آن است که درصد قند در منطقه کرج ۱۰/۷۳ درصد بیشتر از قم بود که می‌توان گفت به‌دلیل وجود ماده آلی خاک بیشتر (جدول ۱) و همچنین شرایط آب‌وهوایی مناسب‌تر، خصوصاً در اواخر دوره رشد در منطقه کرج باشد (شکل ۱)، زیرا دمای پایین‌تر در منطقه کرج، شرایط مطلوبی را برای تجمع مواد قندی در ریشه چغندر قند فراهم می‌آورد (Bagheri Shirvan, Asadi, & Koochecki, 2020). از طرف دیگر، محلول‌پاشی گیاهان با تیمار گلايسين به‌علت افزایش هورمون اکسین و افزایش انتقال ساکاروز از برگ‌ها به ریشه چغندر قند سبب افزایش درصد قند در ریشه می‌شود. در میان تیمارهای متانول، درصد قند ناخالص ریشه در تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی و همچنین تیمار متانول ۳۰ درصد حجمی نسبت به شاهد ۱۵ درصد افزایش یافت. همچنین تیمار گلايسين چهار گرم در لیتر نیز سبب بهبود درصد قند به‌میزان ۱۵/۷۹ درصد شد (جدول ۵). محلول‌پاشی اسیدهای آمینه نظیر گلايسين باعث افزایش راندمان تبدیل کربن می‌شود. بنابراین، افزایش درصد قند در تیمار گلايسين را می‌توان به افزایش هورمون اکسین و افزایش انتقال ساکارز از برگ به ریشه نسبت داد (Haghighi et al., 2021). از آنجایی که درصد قند جزئی از عملکرد ماده خشک ریشه است، کاربرد متانول با افزایش فتوسنتز و باکتری‌های محرک رشد و تولید ساکاروز بیشتر در گیاه سبب افزایش درصد قند شد (Dorokhov et al., 2018). در همین راستا، گزارش شد که محلول‌پاشی متانول و گلايسين، درصد قند در غده چغندر علفه‌ای را افزایش داد و پژوهشگران اظهار داشتند که قند موجود در گیاه با کاربرد متانول بهبود می‌یابد که علت آن را می‌توان از طریق افزایش تورژسانس سلولی، افزایش سطح برگ و سرعت رشد محصول در گیاهان تیمار شده، عنوان کرد (Haghighi et al., 2021).

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و خصوصیات کیفی چغندر قند
Table 3- Variance analysis of yield and qualitative characteristics of sugar beet

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		عملکرد ماده خشک ریشه Root dry matter yield	درصد قند Sugar percentage	عملکرد قند ناخالص Sugar yield	عملکرد شکر سفید White sugar yield	سدیم Na	پتاسیم P	نیترژن N
منطقه Region (R)	1	6.12 ^{ns}	68.11 ^{**}	79.32 ^{**}	2.92 ^{ns}	26.87 [*]	42.62 [*]	36.41 [*]
تکرار در منطقه Replication in R	4	18.88	2.02	2.17	3.15	5.71	2.53	1.68
متانول Methanol (M)	5	2925.55 ^{**}	752.28 [*]	1.91 ^{ns}	279.16 ^{**}	81.75 ^{**}	26.18 ^{**}	11.54 ^{**}
منطقه × متانول R × M	5	34.47 ^{ns}	4.36 ^{ns}	1.35 ^{ns}	2.85 ^{ns}	4.23 ^{ns}	4.12 ^{ns}	0.85 ^{ns}
گلیسین Glycine (G)	2	1626.37 ^{**}	609.52 ^{**}	459.69 ^{**}	824.12 ^{**}	56.35 ^{**}	37.51 ^{**}	9.49 [*]
منطقه × گلیسین R × G	2	8.89 ^{ns}	1.54 ^{ns}	25.41 ^{**}	5.35 ^{ns}	6.14 ^{ns}	1.86 ^{ns}	1.12 ^{ns}
متانول × گلیسین M × G	10	1958.07 ^{**}	179.25 ^{ns}	1.87 ^{ns}	334.72 [*]	3.82 ^{ns}	2.35 ^{ns}	4.76 ^{ns}
منطقه × متانول × گلیسین R × M × G	10	32.25 ^{ns}	1.98 ^{ns}	1.05 ^{ns}	3.89 ^{ns}	4.13 ^{ns}	1.84 ^{ns}	2.97 ^{ns}
خطا Error	68	9.47	5.82	2.76	1.12	7.56	5.79	3.83
ضریب تغییرات CV		10.5	8.9	11.2	13.6	10.9	12.1	11.4

** و *: به ترتیب معنی دار با احتمال خطای یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی دار.

ns: not significant, * and **: significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

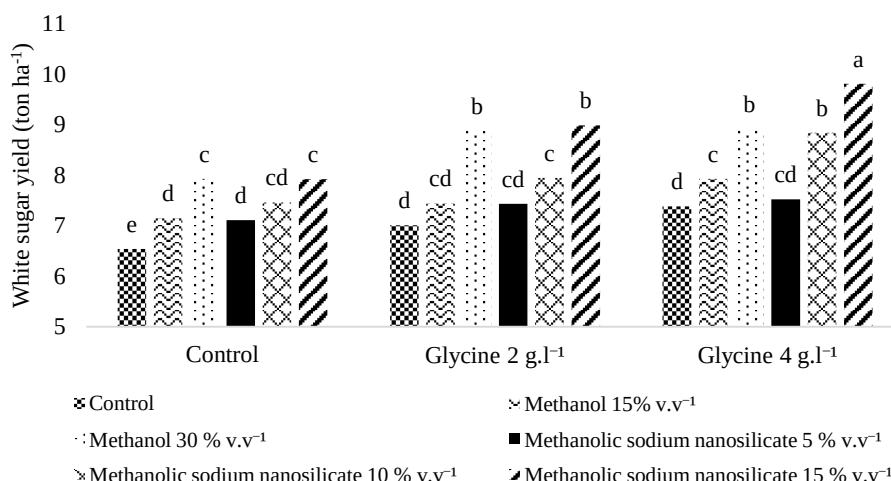


شکل ۳- اثرات متقابل منطقه و گلیسین بر عملکرد قند ناخالص چغندر قند

Figure 3- Interaction effects of region and glycine on sugar yield of sugar beet

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار هستند (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

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



شکل ۴- اثرات متقابل متانول و گلیسین بر عملکرد شکر سفید چغندر قند

Figure 4- Interaction effects of methanol and glycine on white sugar yield of sugar beet

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

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

میزان ناخالصی‌های ریشه (سدیم، پتاسیم، نیتروژن)

اثر منطقه و اثر متانول با احتمال خطای یک درصد، اثر گلیسین بر سدیم و پتاسیم با احتمال خطای یک درصد و بر نیتروژن با احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن است که در مجموع، ناخالصی‌های ریشه (سدیم، پتاسیم، نیتروژن) در قم بیشتر از کرج بود، به‌طوری‌که میزان سدیم در منطقه قم ۴۵/۰۳ درصد بیشتر از کرج بود و میزان پتاسیم در منطقه کرج ۳۱/۲۱ درصد و نیتروژن ۶۵/۱۶ درصد بیشتر از قم بود. به‌طور کلی، افزایش غلظت متانول و گلیسین موجب کاهش ناخالصی‌های ریشه چغندر قند شد. میزان سدیم در تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد ۵۶/۰۶ درصد بیشتر از شاهد بود. تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی پنج درصد ۴۶/۱۸ درصد و همچنین تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۰ درصد ۴۷/۹۳ درصد موجب افزایش پتاسیم نسبت به شاهد شد. نیتروژن در تیمار متانول ۳۰ درصد و نانو سیلیکات سدیم متانولی پنج درصد ۶۹/۴۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در تیمارهای گلیسین نیز بیشترین مقدار سدیم مربوط به شاهد بود که سبب افزایش ۳۱/۲۳ درصدی سدیم ریشه نسبت به تیمار چهار گرم در لیتر شد. همچنین بیشترین مقدار پتاسیم مربوط به تیمار دو گرم در لیتر بود که پتاسیم ریشه را ۲۵/۵۲ درصد نسبت به تیمار چهار گرم در لیتر افزایش داد. بیشترین نیتروژن ریشه هم در شاهد و دو گرم در لیتر مشاهده شد که موجب افزایش ۷۳ درصدی نیتروژن ریشه نسبت به تیمار چهار گرم در لیتر شدند (جدول ۵). می‌توان اظهار داشت که افزایش مقدار نیتروژن در منطقه کرج به‌علت بیشتر بودن نیتروژن و پتاسیم خاک در این منطقه باشد. همچنین هدایت الکتریکی خاک در

منطقه قم بیشتر از کرج بود که می‌توان آن را دلیل افزایش سدیم در منطقه قم دانست (جدول ۱). علت افزایش نیتروژن در تیمار متانول ۳۰ درصد، شاید به‌دلیل جذب عناصر برای تنظیم فشار اسمزی در گیاه چغندر قند به‌منظور افزایش آماس، رشد و تجمع ماده خشک باشد. بعد از محلول‌پاشی متانول، گیاه بر اثر فعالیت متابولیکی بالا، جذب عناصری نظیر نیتروژن را افزایش می‌دهد (Zbiec, Karczmarczyk, Koszanskin, & 1999). بهبود کیفیت محصول چغندر قند، از طریق ارتقای درصد قند قابل‌استحصال و کاهش مواد غیرقندی به‌ویژه نیتروژن و سدیم، مورد هدف است، زیرا افزایش این ناخالصی‌ها، باعث جلوگیری از کریستالیزه شدن ساکارز شده و قابلیت‌استحصال قند را کاهش داده و موجب افزایش میزان ملاس می‌شود. افزایش فراهمی عناصر معدنی توسط کاربرد گلیسین و متانول سبب افزایش نیتروژن و پتاسیم در تیمارهای دارای گلیسین و متانول شده است، علت این افزایش احتمالاً به‌دلیل جذب عناصر برای تنظیم فشار اسمزی در گیاه چغندر قند به‌منظور افزایش آماس و رشد و تجمع ماده خشک می‌باشد، اما از آنجایی‌که میزان ناخالصی‌های ریشه رابطه عکس با درصد قند ریشه و درصد قند ملاس دارد، پس می‌توان اظهار داشت که کاربرد گلیسین چهار گرم در لیتر و نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی، تیمار مفیدی برای چغندر قند بوده است، زیرا این تیمارها، عناصر معدنی جذب‌شده توسط گیاه را به تولید قند و افزایش آن اختصاص داده‌اند و درصد ناخالصی‌های ریشه در این تیمارها نسبت به سایر سطوح کاهش یافته است (Nemeata Alla, Nemeata Alla, & Zalata, 2016). کاربرد گلیسین، میزان اسیدهای آمینه را تحت تأثیر قرار داده و موجب افزایش میزان پروتئین و کاهش غلظت نیترات در بافت‌های گیاهی می‌گردد (Yamada et al., 2015). نتایج

تیمارها می‌باشد. پیرو این امر گزارش شد که متانول، کاهش ضریب قلیائیت چغندر قند را به همراه داشت (Nemeata Alla et al., 2016).

درصد شکر قابل استحصال

درصد شکر قابل استحصال، شاخص اقتصادی مهمی در تولید چغندر قند است. اثر منطقه و اثر متانول با احتمال خطای یک درصد و اثر گلیسین با احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). درصد شکر قابل استحصال در منطقه کرج، ۱۹/۲۷ درصد بیشتر از منطقه قم بود. در تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد نیز درصد شکر قابل استحصال را ۲۵/۶۷ درصد نسبت به شاهد متانول افزایش داد. همچنین تیمار گلیسین چهار گرم در لیتر این شاخص را ۱۶/۴۰ درصد نسبت به شاهد و تیمار گلیسین دو گرم در لیتر بهبود داد (جدول ۵). استخراج قند از ریشه به مواد غیرقندی به‌ویژه ترکیبات نیتروژن، سدیم و پتاسیم بستگی دارد. از نظر فناوری، مقدار نیتروژن جذب‌شده در گیاه تأثیر به‌سزایی بر تجمع ناخالصی‌های سدیم و پتاسیم داشته و می‌تواند عامل اصلی کاهش درصد قند و افزایش میزان آب ریشه باشد.

مطالعه حاضر با پژوهش سایر محققان مطابقت داشت. آنان گزارش کردند که کاربرد متانول سبب افزایش درصد قند و کاهش ناخالصی‌های ریشه چغندر قند شد (Nemeata Alla et al., 2016).

ضریب قلیائیت یا آلکالیت

اثر منطقه و اثر متانول با احتمال خطای یک درصد و اثر گلیسین با احتمال خطای پنج درصد بر ضریب قلیائیت معنی‌دار شد (جدول ۴). ضریب قلیائیت در منطقه قم ۵۹/۷۰ درصد بیشتر از کرج بود. در شاهد متانول نیز ضریب قلیائیت ۴۵/۴۵ درصد بیشتر از متانول ۳۰ درصد بود. همچنین تیمار گلیسین چهار گرم در لیتر این شاخص را ۴۱/۲۰ درصد نسبت به شاهد و تیمار گلیسین دو گرم در لیتر افزایش داد (جدول ۵). با توجه به اینکه ضریب قلیائیت یا آلکالیت عبارت است از نسبت مجموع سدیم و پتاسیم به نیتروژن مضره موجود در ریشه چغندر قند، بنابراین هرچه میزان نیتروژن مضره بیشتر باشد، ضریب قلیائیت کاهش می‌یابد (Orojnina et al., 2011). احتمالاً کمتر بودن ضریب قلیائیت در منطقه کرج، تیمار متانول ۳۰ درصد و همچنین گلیسین چهار گرم در لیتر به دلیل پایین‌تر بودن میزان سدیم و پتاسیم و بالاتر بودن نیتروژن مضره نسبت به سایر

جدول ۴- تجزیه واریانس سایر خصوصیات کیفی چغندر قند
Table 4- Variance analysis of other quality characteristics of sugar beet

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		ضریب قلیائیت یا آلکالیت Alcalinity	درصد شکر قابل استحصال White sugar content	ضریب استحصال شکر Extraction sugar coefficient	درصد قند ملاس Molasses sugar	نسبت سدیم به شکر Na sugar ⁻¹	نسبت پتاسیم به شکر K sugar ⁻¹	نسبت نیتروژن مضره به شکر α -N sugar ⁻¹
منطقه Region (R)	1	46.75**	117.45**	850.36**	6.68**	122.18 ^{ns}	59.27 ^{ns}	61.12 ^{ns}
تکرار در منطقه Replication in R	4	3.69	4.85	85.16	2.38	547.52	124.19	105.24
متانول Methanol (M)	5	59.09**	98.43**	740.84**	88.24**	35380.61**	6508.38**	4973.68**
R × M	5	1.69 ^{ns}	1.84 ^{ns}	15.75 ^{ns}	2.31 ^{ns}	375.27 ^{ns}	204.68 ^{ns}	204.59 ^{ns}
گلیسین Glycine (G)	2	42.86*	124.72*	367.93**	93.21**	82346.69**	9058.43**	2081.73**
R × G	2	2.25 ^{ns}	4.35 ^{ns}	6.41 ^{ns}	0.97 ^{ns}	397.44 ^{ns}	91.29 ^{ns}	142.56 ^{ns}
M × G	10	3.01 ^{ns}	1.83 ^{ns}	30.01 ^{ns}	3.24 ^{ns}	265.81 ^{ns}	324.59 ^{ns}	281.25 ^{ns}
R × M × G	10	2.79 ^{ns}	1.01 ^{ns}	17.55 ^{ns}	2.86 ^{ns}	172.45 ^{ns}	413.81 ^{ns}	349.51 ^{ns}
خطا Error	68	5.64	2.28	26.35	8.73	571.83	917.36	1034.28
ضریب تغییرات CV		9.8	12.7	7.8	10	13.5	11.2	12.7

** و * به ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی‌دار

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

قند ملاس

اثر منطقه، متانول و گلايسين با احتمال خطای یک درصد بر قند ملاس معنی‌دار شد (جدول ۴). قند ملاس در منطقه قم ۳۶/۶۲ درصد بیشتر از منطقه کرج بود. تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد ۳۱/۶۷ درصد و تیمار متانول ۳۰ درصد ۲۸/۶۲ درصد نسبت به شاهد موجب افزایش قند ملاس شد. همچنین تیمار گلايسين چهار گرم در لیتر قند ملاس را ۲۳/۶۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). تمامی قند موجود در چغندر قند قابل استحصال نبوده و نسبت به املاح موجود در ریشه، مقداری از آن به صورت قند ملاس از دسترس خارج می‌شود. مواد آلی خاک در منطقه قم کمتر کرج بود (جدول ۱)، در این شرایط، گیاه دچار نقصان مواد غذایی شده و این امر باعث افزایش ناخالصی‌ها و کاهش عیار قند و به دنبال آن کاهش میزان شکر قابل استحصال می‌شود. از آنجایی که میزان قند ملاس ریشه متأثر از میزان ناخالصی‌های ریشه و ضریب قلیائیت است، افزایش قند ملاس در تیمارهای دارای ناخالصی‌های بیشتر، قابل انتظار بود. عوامل متعددی نظیر شرایط آب‌وهوایی و مواد آلی موجود در خاک در قند ملاس اثرگذار هستند که باعث افزایش میزان اسیدهای آمینه، ترکیبات نیتروژن‌دار و قند اینورت می‌شوند. در همین راستا، گزارش شد که کاربرد گلايسين موجب افزایش شکر قابل استحصال و کاهش درصد قند ملاس شد (Yamada et al., 2015).

نسبت ناخالصی‌های ریشه به شکر

اثر متانول و گلايسين با احتمال خطای یک درصد بر نسبت ناخالصی‌های ریشه به شکر معنی‌دار شد (جدول ۴). کاربرد متانول و گلايسين، نسبت ناخالصی‌های ریشه به شکر را کاهش داد. در میان تیمارهای متانول، شاهد ۵۵/۹۴ درصد نسبت سدیم به شکر را در مقایسه با تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد، افزایش داد. تیمار متانول ۳۰ درصد نیز ۲۱/۷۵ درصد موجب افزایش نسبت پتاسیم به شکر در مقایسه با تیمار نانو متانول ۱۰ درصد شد. شاهد نسبت نیتروژن مضره به شکر را ۷۳/۶۶ درصد در مقایسه با تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی افزایش داد. در تیمارهای گلايسين نیز شاهد نسبت سدیم به شکر را ۴۵/۷۵ درصد نسبت به تیمار گلايسين چهار گرم در لیتر افزایش داد. تیمار گلايسين دو گرم در لیتر نیز موجب افزایش ۱۳/۳۹ درصدی نسبت پتاسیم به شکر در مقایسه با تیمار گلايسين چهار گرم در لیتر شد. همچنین شاهد نیز نسبت نیتروژن مضره به شکر را ۵۵/۵۹ درصد در مقایسه با تیمار گلايسين چهار گرم در لیتر افزایش داد (جدول ۵). افزایش مقدار ناخالصی‌های ریشه سبب کاهش درصد قند ریشه و افزایش درصد قند ملاس می‌شود.

کاربرد گلايسين با تنظیم نسبت سدیم به پتاسیم در تحمل گیاه به نمک نقش مهمی دارد. به دلیل هدایت الکتریکی بیشتر خاک در منطقه قم (جدول ۱)، تجمع سدیم در گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافت. از آنجایی که درصد شکر قابل استحصال مرتبط با عملکرد ماده خشک ریشه و همچنین درصد قند خالص ریشه است، افزایش درصد شکر قابل استحصال در تیمارهای متانول و گلايسين قابل توجیه است. کاربرد متانول و گلايسين با افزایش فتوسنتز سبب افزایش رشد گیاه و حفظ سطح برگ مطلوب در گیاه چغندر قند می‌شوند. در نتیجه، مواد قندی بیشتری تولید و به ریشه انتقال می‌یابد و باعث افزایش میزان شکر قابل استحصال در تیمارهای محلول‌پاشی نسبت به شاهد می‌شود (Nemeata Alla et al., 2016; Yamada et al., 2015). هم‌راستا با مطالعه حاضر، سایر پژوهشگران اعلام کردند که متانول میزان شکر قابل استحصال چغندر قند را افزایش داد (Nadali et al., 2010).

ضریب استحصال شکر

اثر منطقه، متانول و گلايسين با احتمال خطای یک درصد بر ضریب استحصال شکر معنی‌دار شد (جدول ۴). ضریب استحصال شکر در منطقه کرج ۸/۸۴ درصد بیشتر از منطقه قم بود. تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد نیز ضریب استحصال شکر را ۲۶/۳۸ درصد نسبت به شاهد متانول افزایش داد. همچنین تیمار گلايسين چهار گرم در لیتر ۱۲/۷۶ درصد سبب افزایش این شاخص نسبت به شاهد شد (جدول ۵). در مطالعه حاضر، ضریب استحصال شکر رابطه عکس با مقدار ناخالصی‌های ریشه (نیتروژن، سدیم و پتاسیم) داشت، به طوری که در تیمارهایی که نیتروژن، سدیم و پتاسیم بیشتری داشتند، ضریب استحصال شکر کاهش داشت. سایر محققان نیز رابطه معکوس ضریب استحصال شکر با نیتروژن، سدیم و پتاسیم را گزارش کردند (Bagheri Shirvan et al., 2020; Fotouhi, Majidi, Rajabi, & Azizinejad, 2017). افزایش ناخالصی‌های ریشه موجب ممانعت از کریستاله شدن ساکارز می‌شود که پیرو این امر، ضریب استحصال شکر کاهش می‌یابد (Draycott, 2006). کاهش ضریب استحصال شکر در منطقه قم دور از انتظار نبود، زیرا افزایش هدایت الکتریکی در این منطقه نسبت به کرج (جدول ۱)، و همچنین افزایش ضریب قلیائیت در منطقه قم نسبت به کرج، عواملی هستند که سبب کاهش ضریب استحصال شکر می‌شوند. متانول منبع قوی کربن است و محلول‌پاشی گیاهان با گلايسين، سبب افزایش راندمان تبدیل کربن می‌شود. بنابراین، افزایش درصد قند در تیمارهای گلايسين و متانول را می‌توان به علت افزایش هورمون‌های رشد نظیر اکسین، افزایش تولید قند و نهایتاً افزایش انتقال ساکارز از برگ‌ها به ریشه دانست (Nadali et al., 2010; Yamada et al., 2015).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر منطقه، متانول و گلیسین بر خصوصیات کیفی چغندر قند

Table 5- Comparison of the average effect of region, methanol and glycine on quality characteristics of sugar beet										
تیمارها Treatments	درصد قند Sugar percentage (%)	سدیم Na (meq. 100 g sugar ⁻¹)	پتاسیم P (meq. 100 g sugar ⁻¹)	نیترژن N (meq. 100 g sugar ⁻¹)	ضریب قلیائیت یا الکالین Alcalinity	ضریب استحصال شکر Extraction sugar coefficient (%)	درصد قند ملاس Molasses sugar	نسبت سدیم به شکر Na sugar ⁻¹ (%)	نسبت پتاسیم به شکر K sugar ⁻¹	نسبت نیترژن مضره به شکر α-N sugar ⁻¹
منطقه										
Region										
کرج Karaj	16.30 ^a	3.02 ^b	6.18 ^a	2.94 ^a	3.25 ^b	78.64 ^a	2.43 ^b	241.28 ^a	320.80 ^a	123.66 ^a
قم Qom	14.72 ^b	4.38 ^a	4.71 ^b	1.78 ^b	5.19 ^a	72.25 ^b	3.32 ^a	248.43 ^a	321.84 ^a	112.15 ^b
متانول										
Methanol										
Methanolic sodium nanosilicate 15 % v.v ⁻¹	16.23 ^a	3.05 ^d	6.15 ^b	1.97 ^c	4.65 ^b	78.04 ^a	2.93 ^c	197.42 ^c	338.73 ^c	117.73 ^f
Methanolic sodium nanosilicate 10 % v.v ⁻¹	15.41 ^b	4.18 ^b	6.79 ^a	2.33 ^b	4.69 ^b	72.35 ^c	3.45 ^a	215.79 ^d	311.68 ^d	156.49 ^e
Methanolic sodium nanosilicate 5 % v.v ⁻¹	14.93 ^c	4.16 ^b	6.71 ^a	2.87 ^a	3.78 ^d	68.08 ^d	3.27 ^b	289.02 ^b	359.28 ^b	195.82 ^b
Methanol 30 % v.v ⁻¹	16.19 ^a	3.59 ^c	6.12 ^b	2.88 ^a	3.35 ^c	75.26 ^b	3.37 ^{ab}	217.43 ^d	379.81 ^a	123.44 ^c
Methanol 15 % v.v ⁻¹	15.38 ^b	4.11 ^b	5.63 ^c	2.32 ^b	4.19 ^c	67.93 ^d	3.22 ^b	257.80 ^c	361.49 ^b	141.89 ^d
شاهد Control	14.07 ^d	4.76 ^a	4.59 ^d	1.70 ^d	5.51 ^a	61.75 ^e	2.62 ^d	307.86 ^a	335.75 ^c	204.45 ^a
گلیسین										
Glycine										
4 g.l ⁻¹	16.35 ^a	3.07 ^c	5.72 ^b	1.52 ^b	5.14 ^a	77.31 ^a	3.02 ^b	204.75 ^c	331.95 ^c	115.34 ^c
2 g.l ⁻¹	15.07 ^b	3.51 ^b	6.54 ^a	2.61 ^a	3.78 ^b	72.42 ^b	3.35 ^a	237.94 ^b	376.42 ^a	153.79 ^b
شاهد Control	14.12 ^c	4.16 ^a	5.21 ^c	2.63 ^a	3.69 ^b	68.56 ^c	2.71 ^c	298.43 ^a	352.83 ^b	179.46 ^a

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)
* Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level

تیمارهای متانول، افزایش غلظت تیمار متانول تا ۳۰ درصد حجمی نه تنها موجب بهبود کیفیت چغندر قند نشد، بلکه کاهش کیفیت را رقم زد. تیمار نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی بسیار کارآمدتر از سایر تیمارها بود. به طوری که عملکرد این تیمار از تیمار متانول ۳۰ درصد حجمی بسیار بهتر بود. زیرا فناوری نانو به علت پتانسیل بالا و جذب بهتر توسط گیاه، موجب فراهمی شرایط مناسب برای رشد گیاه شده است. علاوه بر تغذیه، تولید چغندر قند بسیار تحت تأثیر آب و هوا و شرایط محیطی است. کشت چغندر قند در کرج رضایت بخش تر از قم بود که می توان اظهار داشت این امر به دلیل وجود ماده آلی خاک بیشتر، همچنین شرایط آب و هوایی مناسب تر، به ویژه در اواخر دوره رشد در منطقه کرج رخ داده است. بنابراین، عملکرد و کیفیت چغندر قند با کاربرد نانو سیلیکات سدیم متانولی ۱۵ درصد حجمی و گلیسین چهار گرم در لیتر در شرایط آب و هوای کرج نسبت به سایر تیمارها مطلوب تر بود.

متانول به عنوان یک منبع کربن و کاهنده تعرق در گیاه توانسته است سبب افزایش بازدهی شکر و کاهش ناخالصی های ریشه شود. مصرف گلیسین نیز با افزایش مقدار هورمون اکسین، مواد قندی بیشتری تولید کرده و انتقال ساکارز از اندام هوایی به ریشه را گسترش داده است (Nemeata Alla & Zalati, 2016; Yamada et al., 2015).

نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که کاربرد متانول و گلیسین موجب افزایش عملکرد و کیفیت چغندر قند نسبت به شاهد شد. متانول، منبع کربن است و گلیسین با افزایش راندمان کربن سبب بهبود رشد گیاه شد و مواد قندی بیشتری تولید کرد. همچنین انتقال ساکارز از اندام های هوایی به ریشه را گسترش داده است. بنابراین، درصد قند بالا رفته و ناخالصی های ریشه کاهش یافته است. در میان

References

1. Abdollahian-Noghabi, M., Sheykhhol Eslami, R., & Babayi, B. (2005). Terms and definitions of quality and quantity of sugar beet, technological, technical abbreviations. *Sugar Beet Journal*, 21(1), 101-104. (in Persian with English abstract).
2. 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>
3. Babu, S., Singh, R., Yadav, D., Rathore, S. S., Raj, R., Avasthe, R., Yadav, S. K., Das, A., Yadav, V., & Yadav, B. (2022). Nano fertilizers for agricultural and environmental sustainability. *Chemosphere Journal*, 292(1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133451>
4. Bagheri Shirvan, M., Asadi, G. A., & Koochecki, A. (2020). Evaluation of quantity and quality characteristics of sugar beet varieties in different sowing date of direct sowing and transplanting in Shirvan and Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(4), 551-565. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.20081472.1398.17.4.4.8>
5. Bashiri, B., Mir Mahoudi, T., & Fotouhi, K. (2015). Evaluation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes for their trait associations under saline conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(2), 243-258. (in Persian with English abstract).
6. Bayomi, K. E. M., El-Hashash, E. F., & Moustafa, E. S. A. (2019). Comparison of genetic parameters in non-segregating and segregating populations of sugar beet in Egypt. *Asian Journal of Crop Science*, 3(1), 1-12. (in Persian with English abstract).
7. Buchholz, K., Marlander, B., Puke, H., Glatkowski, H., & Thielecke, K. (1995). Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. *Zuckerindustrie*, 120(1), 113-121.
8. Dorokhov, Y. L., Sheshukova, E. V., & Komarova, T. V. (2018). Methanol in plant life. *Frontiers in Plant Science*, 9(1), 1623. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01623>
9. Draycott, A. P. (2006). *Sugar beet*. Blackwell Publishing Ltd. United Kingdom. 514 pp.
10. Elemike, E. E., Uzoh, I. M., Onwudiwe, D. C., & Babalola, O. O. (2019). The Role of Nanotechnology in the Fortification of Plant Nutrients and Improvement of Crop Production. *Applied Sciences*, 9(3), 499. <https://doi.org/10.3390/app9030499>
11. Elliot, C. L., & G. H. Snyder. (1991). Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Agricultural and Food Chemistry*, 39, 1118-1119.
12. Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641-664.
13. Fotouhi, K., Majidi, E., Rajabi, A., & Azizinejad, R. (2017). Study of genetic variation for drought tolerance in sugar beet half-sib families. *Journal of Sugar Beet*, 33(1), 1-16. (in Persian with English abstract).
14. 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>

15. Haghighi, P., Habibi, D., Mozafari, H., Sani, B., & Sadeghishoae, M. (2021). Impact of methanol and glycine betaine on yield and quality of fodder beet genotypes (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*). *Agronomy*, 11(1), 2122. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112122>
16. ICUMSA Method GS6-5. (2007). The determination of α -amino nitrogen in sugar beet by the copper method ('blue number')—after defecation with basic lead acetate—official—after defecation with aluminium sulphate—official: 3 pp.
17. Kubadinow, N., & Wieninger, L. (1972). Bestimmung des alpha-aminostickstoffs in zuckerrüben und betriebsstoffen der zuckerproduktion. *Zucker*, 25, 43-47.
18. Kurepin, L. V., Ivanov, A. G., Zaman, M., Pharis, R. P., Allakhverdiev, S. I., Hurry, V., & Hüner, N. P. (2015). Stress-related hormones and glycine betaine interplay in protection of photosynthesis under abiotic stress conditions. *Photosynthesis Research*, 126(1), 221-235. <https://doi.org/10.1007/s11220-015-0125-x>
19. Leonzio, G., Zondervan, E., & Foscolo, P. U. (2019). Methanol production by CO₂ hydrogenation: Analysis and simulation of reactor performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(16), 7915-7933. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.02.056>
20. Lubova, T. N., Islamgulov, D. R., Ismagilov, K. R., Ismagilov, R. R., Mukhametshin, A. M., & Alimgafarov, R. R. (2018). Economic efficiency of sugar beet production. *Journal of Engineering and Applied Science*, 13(1), 6565-6569. <https://doi.org/10.3923/jeasci.2018.6565.6569>
21. Nadali, I., Paknejad, F., Moradi, F., Vazan, S., Tookalo, M., Jami Al-Ahmadi, M., & Pazoki, A. (2010). Effects of methanol on sugar beet (*Beta vulgaris*). *Australian Journal of Crop Science*, 4(1), 398-401.
22. Nadali, I., Paknejad, F., & Ghafari, M. (2014). The effect of methanol as a carbon source on quantitative and qualitative traits of sugar beet under drought stress conditions. *Agricultural Research Journal*, 6(3), 232-246. (in Persian with English abstract).
23. Nassirpour, M., & Khademi, M. H. (2020). Evaluation of different cooling technologies for industrial methanol synthesis reactor in terms of energy efficiency and methanol yield: An economic-optimization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 113(1), 302-314. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.08.029>
24. Nemeata Alla, H. E. A., Nemeata Alla, E. A. E., & Zalati, S. S. (2016). Sugar beet yield and quality as affected by concentration of boron and methanol application. *Annals of Agricultural Science*, 54(1), 25-34. <https://doi.org/10.21608/ASSJM.2016.103906>
25. Orojnia, S., Habibi, D., Fethullah Taleghani, D., Safari Dolatabadi, S. A., Pazoky, A., Moaveni, P., Rahmani, M., & Farshidi, M. (2011). Evaluation of sugar beet yield and yield components of different genotypes under drought stress. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, 8(1), 144-127. (in Persian with English abstract).
26. Paknejad, F., Majidiheravan, E., Noor Mohammadi, Q., Siyadat, A., & Vazan, S. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 5(4), 162-169.
27. Roode-Gutzmer, Q. I., Kaiser, D., & Bertau, M. (2019). Renewable methanol synthesis. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 6(6), 209-236. <https://doi.org/10.1002/cben.201900012>
28. Wieninger, L., & Kubadinow, N. (1971). Beziehungen zwischen rubenanalysen und technischer bewertung von zuckerruben. *Zucker*, 24(1), 599-604.
29. Yamada, N., Takahashi, H., Kitou, K., Sahashi, K., Tamagake, H., Tanaka, Y., & Takabe, T. (2015). Suppressed expression of choline mono oxygenase in sugar beet on the accumulation of glycine betaine. *Plant Physiology and Biochemistry*, 96(1), 217-221.
30. Zbiec, I., Karczmarczyk, S., & Koszanskin, Z. (1999). Influence of methanol on some cultivated plants. Department of Plant Production and Irrigation. *Agricultural University of Szczecin Poland*, 73, 217-220.

Investigation the Response of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grain Yield to Foliar Application of *Azospirillum*, Zn and 6-Banzylaminopurine

M. J. Zarea ^{1*}

1- Associate Professor, Department of Agronomy and Crop Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

(*- Corresponding Author Email: mj.zarea@ilam.ac.ir)

Received: 21 February 2024

Revised: 22 May 2024

Accepted: 27 May 2024

Available Online: 07 December 2024

How to cite this article:

Zarea, M. J. (2025). Investigation the Response of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grain Yield to Foliar Application of *Azospirillum*, Zn and 6-Banzylaminopurine. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(4), 401-418. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.86853.1309>

Introduction

Many millions of hectares of wheat-cultivated lands are located in semi-arid areas, and cereal crops such as wheat grown under such conditions frequently face drought events during their life cycle. A considerable amount of rainfall in the semi-arid areas of Iran occurs in winter; thus, the critical growth period (grain filling) receives little to no rainfall. Studies have shown that micronutrients, plant growth regulators, and plant growth-promoting bacteria are able to improve plant performance under drought conditions. The present study aimed to elucidate the effect of foliar application of Zn, exogenous application of 6-benzylaminopurine, and foliar inoculation with *Azospirillum* on wheat performance under rain-fed conditions.

Materials and Methods

The present study consisted of two field experiments, carried out in a semi-arid area. Experiment 1 was conducted during the 2020/21 and the second one during 2022-2023 wheat growing season. The effect of four different levels of Zn application (0, 2, 3, and 4 kg Zn ha⁻¹) via foliar application was investigated on wheat yield, yield components, and seed Zn content under exogenous application of two levels of 6-benzylaminopurine (0 and 10 mg L⁻¹) under rain-fed conditions. The experimental design was a 4×2 factorial combination of Zn application and 6-benzylaminopurine exogenous application arranged in a randomized complete block design with three replications. The experimental plot size was 1 m × 2 m, and the wheat cultivar *Sardari* was used in the experiments. Foliar application was applied at the flowering stage (Zadok's growth stage 65). Based on the results obtained from the first experiment, a subsequent field study (second experiment) was performed to elucidate the efficacy of the foliar application of Zn (3 kg Zn ha⁻¹) and 6-benzylaminopurine (10 mg L⁻¹) in the presence and absence of foliar inoculation with *Azospirillum*. The second experiment was conducted in the 2022-2023 wheat growing season. Wheat response to foliar application of 0.3% (w v⁻¹) ZnSO₄, 10 mg L⁻¹ 6-benzylaminopurine, and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* Sp7 was investigated under rain-fed conditions. The plant canopy was inoculated with 10% of 108 colony-forming units of *Azospirillum* strain Sp7. All foliar applications were applied at anthesis (Zadok's growth stage 65). The experimental design for this experiment was a factorial scheme based on a randomized complete block design with three replications. The wheat variety used for the experiments was *Sardari*.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.86853.1309>

Results and Discussion

The application of zinc (Zn) significantly affected the seed number, whereas the application of 6-BAP and its interaction with Zn did not have a significant impact. The highest seed number per head was observed with Zn application at 3 kg ha⁻¹, followed by 2 kg ha⁻¹. The highest Zn application had a negative effect on seed number per head. The effect of foliar application level and 6-BAP and their interaction on grain weight and grain yield was significant. Application of 3% (w v⁻¹) (3 kg Zn ha⁻¹) yielded the highest grain weight and grain yield, and higher application of Zn had a negative effect on grain weight and yield. Foliar-applied 6-benzylaminopurine (10 mg L⁻¹) significantly improved grain weight and grain yield. Improved grain weight and grain number per spike affected total grain yield. The highest grain yield was achieved with 3 kg Zn ha⁻¹ (0.3% (w v⁻¹) Zn plus 10 mg L⁻¹ 6-BAP). Applied Zn significantly increased Zn content in grains. The highest grain Zn content was obtained in plants that were sprayed with 4 kg Zn ha⁻¹ and 10 mg L⁻¹ 6-BAP. Results of the second experiment revealed the efficacy of *Azospirillum* in the improvement of grain weight and grain yield. In the second year of the study, the effect of exogenous application of 6-BAP on yield and yield components was not significant, which might be attributed to the precipitation rate. However, foliar inoculation with *Azospirillum* and foliar application of Zn significantly affected grain yield. The highest grain yield was obtained from plants foliar-applied with Zn plus *Azospirillum*.

Conclusion

Micronutrients, plant growth regulators, and biofertilizers have the ability to improve plant performance, especially under environmental constraints. The present study, carried out under rain-fed conditions, investigated the effect of *Azospirillum brasilense*, Zn nutrition, and 6-benzylaminopurine applied foliarly on the wheat cultivar *Sardari*. Overall, the application of Zn at a rate of 3 kg per ha combined with foliar inoculation with **Azospirillum** produced the best results for wheat performance. Additionally, Zn also improved Zn content in the grain. As a result, farmers can improve the productivity of winter wheat yield by utilizing a small amount of zinc fertilizer (3% (w v⁻¹) (3 kg Zn ha⁻¹) and the plant-growth promoting bacteria *Azospirillum* at the flowering stage.

Keywords: Foliar application, Grain yield and component, Grain Zn content, Rain-fed condition

مقاله پژوهشی

جلد ۲۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص ۴۱۸-۴۰۱

بررسی پاسخ عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) به محلول پاشی با باکتری آزوسپیریوم، هورمون بنزیل آمینو پورین و روی

محمدجواد زارع^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷

چکیده

بخش قابل توجهی از گندم تحت شرایط دیم تولید می‌شود. بنابراین، حفظ عملکرد و افزایش کیفی دانه گندم تحت کشت دیم ضروری است. دو آزمایش مزرعه‌ای جهت ارزیابی تأثیر محلول پاشی با روی، هورمون بنزیل آمینو پورین و محلول پاشی با باکتری *آزوسپیریوم* بر گندم رقم سرداری تحت کشت دیم انجام گرفت. در آزمایش اول که به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی اجرا گردید، تأثیر چهار سطح روی (۰، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد) و دو سطح هورمون (۰ و ۱۰ میلی گرم در لیتر) بر عملکرد و محتوای روی دانه بررسی گردید. محلول پاشی پس از مرحله گرده افشانی انجام گرفت. براساس بهترین ترکیب تیماری حاصل از آزمایش اول، تأثیر کاربرد ۰/۳ درصد روی به تنهایی و یا در انواع ترکیب‌های مختلف با *آزوسپیریوم* و بنزیل آمینو پورین در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. تأثیر هورمون بر افزایش عملکرد فقط در سال اول انجام آزمایش معنی دار بود. میزان عملکرد دانه تحت کاربرد غلظت‌های ۰، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد روی به ترتیب ۲۶۷۳، ۲۹۳۰، ۲۹۹۷ و ۳۰۸۶ کیلوگرم دانه در هکتار بود. محلول پاشی با روی، محتوای روی دانه را از ۲۳/۳ (شاهد) به ۲۷/۹ میلی گرم در کیلوگرم افزایش داد. در بررسی نتایج تلفیق هورمون با روی و باکتری، بیشترین میزان عملکرد دانه از تلفیق باکتری با روی حاصل گردید. بنابراین، کاربرد باکتری و روی از طریق محلول پاشی جهت افزایش عملکرد و محتوای روی گندم می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: دیم کاری، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، محتوای روی دانه، محلول پاشی برگی

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از محصولات استراتژیک کشور است. کشت این گیاه تحت هر دو شرایط آبی و دیم در کشور رواج دارد. توجه به حفظ و افزایش کیفیت دانه گندم به دلیل جایگاه مهمی که این گیاه در تغذیه جوامع انسانی دارد از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با وجود تلاش‌های انجام گرفته در چند دهه اخیر جهت افزایش محتوای روی دانه گندم، هنوز هم مشکل فقر روی دانه کاملاً برطرف نگردیده است (Cakmak & Kutman, 2018; Ning et al., 2021). روش‌های مختلفی جهت افزایش میزان روی دانه طی چند دهه اخیر معرفی شده است. در این ارتباط، یکی از روش‌های

ساده و کم هزینه، محلول پاشی روی است. محلول پاشی با روی نه تنها بر افزایش عملکرد دانه مؤثر است، بلکه محتوای روی دانه را نیز افزایش می‌دهد (Karim et al., 2012; Sattar et al., 2022; Zarea & Karimi, 2023a). بررسی تأثیر هورمون‌های رشد گیاهی بر افزایش عملکرد گندم نیز مبحث مطالعاتی بسیاری از تحقیقات اخیر بوده است (Wu et al., 2024). تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و هورمون‌های سنتزی در افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی و نیز افزایش رشد و عملکرد آن‌ها مؤثر هستند. در دهه‌های اخیر، استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه جهت افزایش رشد و عملکرد گندم نیز مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، بررسی تأثیر محلول پاشی با روی به همراه هورمون رشد گیاهی و باکتری القاکننده رشد می‌تواند اطلاعات بیشتری در خصوص امکان استفاده از آن‌ها جهت افزایش عملکرد و میزان روی دانه گندم در اختیار قرار دهد. بخش قابل توجهی از جوامع انسانی کشورهای در حال توسعه و

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

(*) نویسنده مسئول: (Email: mj.zarea@ilam.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86853.1309>

به‌خصوص آن بخشی که غلات رژیم اصلی غذایی آن‌ها را تشکیل می‌دهد، در معرض کمبود عناصر غذایی به‌خصوص روی قرار دارند (Desta et al., 2023). کمبود روی و عدم دریافت کافی آن در رژیم غذایی روزانه منجر به ایجاد بیماری‌های مختلفی در بزرگسالان و کودکان می‌گردد. سالانه تعداد قابل‌توجهی از کودکان زیر پنج سال جهان جان خود را به‌علت کمبود روی در رژیم غذایی از دست می‌دهند (Xia et al., 2018). بنابراین، افزایش محتوای عناصر غذایی محصولات کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. در چند دهه اخیر، روش‌های ساده‌ای جهت افزایش میزان روی دانه گندم معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است (Cakmak, 2008). پرایم بذر با روی، کاربرد روی به‌صورت مخلوط آن با خاک و یا کاربرد آن از طریق محلول‌پاشی برگ، از متداول‌ترین روش‌هایی است که مورد بررسی قرار گرفته‌اند. کاربرد روی از طریق محلول‌پاشی برگ جهت افزایش محتوای روی دانه مؤثرتر از روش‌های دیگر گزارش شده است (Cakmak & Kutman, 2018; Zou et al., 2012). محلول‌پاشی با روی، محتوای روی دانه را به‌صورت معنی‌داری در دانه گندم (Zarea & Karimi, 2023a) و برنج (*Oryza sativa* L.) (Saha et al., 2020) افزایش داده است. البته مقدار افزایش میزان روی دانه از طریق محلول‌پاشی روی می‌تواند تحت تأثیر محیط و ژنوتیپ قرار گیرد (Ning et al., 2022).

روی، دارای نقش‌های مختلفی در گیاه است. این عنصر به‌عنوان کوفاکتور در بیش از ۳۰۰ آنزیم نقش دارد (Broadley, White, Hammond, Zelko, & Lux, 2007; Coleman, 1998). میزان جوانه‌زنی دانه، پایداری غشاء سلولی، تجمع اسمولیت‌های سازگار، تنظیمات روزه‌ای و کارایی مصرف آب و فتوسنتز را تحت تنش خشکی بهبود می‌بخشد (Umair Hassan et al., 2020). گزارش‌هایی در خصوص افزایش عملکرد دانه گندم در اثر محلول‌پاشی با روی منتشر شده است (Karim et al., 2012; Sattar et al., 2022; Zarea & Karimi, 2023a). بنابراین، استفاده از روی نه‌تنها موجب افزایش محتوای روی دانه می‌گردد، بلکه ممکن است بر افزایش عملکرد دانه نیز مؤثر باشد.

امروزه استفاده از هورمون‌های گیاهی و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه جهت افزایش رشد، نمو و عملکرد گیاهان به‌خصوص در بوم‌نظام‌های زراعی تحت تنش مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. بنزیل آمینو پورین (Benzylaminopurine) نوعی تنظیم‌کننده رشد سنتزی است که تأثیر آن در گیاه گندم مورد مطالعه قرار گرفته است. این هورمون میزان تقسیمات سلولی مانند تقسیمات سلول‌های آندوسپرم دانه و انتقال مواد پرورده فتوسنتزی به سمت دانه را افزایش داده و تحمل گیاه به تنش‌های محیطی را بیشتر می‌کند (Zhang et al., 2022). بنزیل آمینو پورین، پیری برگ را به تأخیر انداخته

میزان فتوسنتز برگ را افزایش داده است (Lian et al., 2023). استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه جهت افزایش محصول گیاهان زراعی مورد توجه بسیاری از محققان در سرتاسر جهان بوده است. این باکتری‌ها از طریق مستقیم و غیرمستقیم، میزان رشد گیاه را افزایش می‌دهند. این باکتری‌ها، میزان فتوسنتز برگ و جذب عناصر خاک به گیاه را به‌خصوص تحت رخدادهای تنش‌های محیطی افزایش می‌دهند (Kashif et al., 2023). گزارش‌های متعددی در خصوص تأثیر این باکتری‌ها بر افزایش عملکرد گندم به‌خصوص تحت وجود تنش خشکی منتشر شده است (Zarea, 2017). این گروه از باکتری‌ها دارای جایگاه مهمی در اکوسیستم خاک هستند (Yuan, Li, Shan, Tong, & Zhao, 2023) و به‌دلیل ارتباط نزدیکی که با ریشه گیاهان برقرار می‌کنند، امکان بهره‌برداری از آن‌ها را جهت افزایش تولیدات زراعی امکان‌پذیر ساخته است (Zhang, Zhao, Yin, & Zhu, 2021). باکتری جنس *آزوسپیریوم* (*Azospirillum*) جزو مهم‌ترین گروه‌های باکتری‌های القاکننده رشد گیاهان هستند. *آزوسپیریوم*، آزادزیست و تثبیت‌کننده نیتروژن اتمسفری است. سودمندی این باکتری‌ها بر گیاهان تحت هر دو شرایط تنش و عدم تنش‌های محیطی مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است (Omer, Osman & Badawy, 2022). *آزوسپیریوم* از طریق مستقیم و غیرمستقیم تحمل گیاه به تنش خشکی را افزایش می‌دهد (Omer et al., 2022). تلقیح با بذر و یا مخلوط کردن با خاک از روش‌های متداول کاربرد این باکتری‌ها است. البته در سالیان اخیر، پژوهش‌هایی در خصوص کاربرد این باکتری‌ها به‌صورت محلول‌پاشی انجام گرفته

است (Cardozo et al., 2022).

پژوهش حاضر از دو آزمایش مزرعه‌ای تشکیل شده بود. هدف اصلی آزمایش اول، بررسی تأثیر محلول‌پاشی با مقادیر مختلف روی (۰، ۲، ۳ و چهار کیلوگرم در هکتار) در مرحله گرده‌افشانی بر افزایش محتوای روی و عملکرد دانه گندم بود. با توجه به نقش مثبت ۶- بنزیل آمینو پورین در افزایش رشد گیاهان، کاربرد مقادیر مختلف روی در تلفیق با این هورمون در سال اول آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایش سال دوم که براساس نتایج سال اول طراحی گردید، تأثیر روی (سه کیلوگرم در هکتار) به همراه هورمون بنزیل آمینو پورین (۱۰ میلی گرم در لیتر) در تلفیق با باکتری *آزوسپیریلوم برازیلینس* (*Azospirillum brasilense*) مورد مطالعه قرار گرفت. گزارش شده است که سیتوکنین می‌تواند میزان قدرت مخزن (دانه) را از طریق افزایش تقسیمات سلول‌های آندوسپرم افزایش دهد. بنابراین، فرضیه استفاده از بنزیل آمینو پورین در این مطالعه به علت نقش این تنظیم‌کننده رشد در افزایش قدرت مخزن (دانه) بود. همچنین با توجه به گزارش‌های منتشرشده در خصوص تأثیر مثبت محلول‌پاشی با باکتری‌های الفاکنده رشد در گیاهان زراعی، از باکتری *آزوسپیریلوم برازیلینس* سویه Sp7 در تلفیق با روی و هورمون در مطالعه حاضر استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از دو مطالعه مزرعه‌ای تشکیل شده بود. در مطالعه سال اول، چهار سطح میزان روی به صورت محلول‌پاشی در ترکیب با دو سطح هورمون بنزیل آمینو پورین بر عملکرد و محتوای روی دانه گندم مورد بررسی قرار گرفت. در سال دوم، کاربرد سه کیلوگرم روی، ۱۰ میلی گرم بر لیتر هورمون بنزیل آمینو پورین و تلقیح برگی با *آزوسپیریلوم برازیلینس* بر میزان عملکرد دانه ارزیابی گردید. هر دو آزمایش تحت شرایط دیم انجام گرفت. از گندم رقم سرداری در هر دو مطالعه استفاده گردید. میزان متوسط دمای کمینه و بیشینه و همچنین میانگین بارش ماهانه در هر دو سال آزمایش در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ تأثیر محلول‌پاشی با روی در چهار سطح مختلف ۰، ۲/۳، ۴/۳ و ۴ درصد (نسبت وزنی/حجمی) از منبع سولفات روی در تلفیق با دو سطح هورمون ۶- بنزیل آمینو پورین (۰ و ۱۰ میلی گرم در لیتر) بر عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای روی دانه ارزیابی شد. رقم گندم انتخاب‌شده، رقم سرداری و کشت آن تحت شرایط دیم انجام گرفت. آزمایش در قطعه زمینی متعلق به یکی از گندم‌کاران منطقه دهگلان استان کردستان انجام گرفت. شرایط آب‌وهوایی منطقه در سال انجام آزمایش در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل

تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. ابعاد هر کرت آزمایشی، دو متر در یک متر در نظر گرفته شد. فاصله بین واحدهای آزمایشی، یک متر و فاصله بین بلوک‌ها، ۵/۰ متر بود. تمام عملیات کاشت، داشت و اعمال کودهای پایه مطابق روش مرسوم کشاورزان منطقه انجام گرفت. برای تهیه محلول روی از سولفات روی ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)، شرکت مرک) استفاده گردید. محلول‌های روی با میزان‌های دو، سه و چهار گرم در لیتر آب مقطر تهیه گردید. برای تهیه محلول ۶- بنزیل آمینو پورین، ابتدا محلول پایه هورمون تهیه گردید. به این منظور، هورمون در اتانول (۱/۰ گرم در یک میلی لیتر) حل گردید و سپس غلظت مورد نظر (۱۰ میلی گرم در لیتر) با رقیق کردن محلول پایه در آب مقطر تهیه گردید. در تمام محلول‌ها تهیه‌شده از توئین ۲۰- با غلظت ۰/۰۲ درصد (نسبت حجمی/حجمی) به عنوان موایان استفاده گردید. از آب مقطر حاوی اتانول و توئین ۲۰- با غلظت ۰/۰۲ درصد (نسبت حجمی به حجمی) نیز به عنوان شاهد استفاده شد. انجام محلول‌پاشی در عصر و هنگامی که وزش باد متوقف گردید، به شکل محلول‌پاشی دستی انجام گرفت. محلول‌پاشی پس از گرده‌افشانی انجام گرفت. حجم محلول‌پاشی به میزان هزار لیتر در هکتار (۱۰۰ میلی لیتر در مترمربع) بود. حجم محلول به گونه‌ای انتخاب شد که کل برگ‌ها و سنبله را مرطوب کند. نمونه‌برداری جهت تعیین عملکرد، محدود به یک مترمربع مرکز کرت‌های آزمایشی بود و از برداشت ردیف‌های حاشیه خودداری گردید. وزن سنبله از میانگین‌گیری ۱۵ سنبله که تصادفی انتخاب شده بود، تعیین شد. از پنج سنبله جهت تعیین اجزای عملکرد دانه (تعداد دانه در سنبله و وزن دانه) استفاده گردید. جهت اندازه‌گیری میزان عنصر روی، ابتدا مقدار یکسانی از بذرها در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی خاکستر شدند و سپس هضم آن‌ها در مخلوطی اسیدی (اسید نیتریک و اسید کلریدریک) انجام گرفت. جذب اتمی نمونه‌ها به روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۴۶ نانومتر قرائت گردید (Jones, 2001).

در سال دوم آزمایش (سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱) اثر سه تیمار روی، ۶- بنزیل آمینو پورین و باکتری *آزوسپیریلوم برازیلینس* سویه Sp7 بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفت. محلول‌پاشی با روی در دو سطح (۰ و ۳/۰ درصد (نسبت وزنی به حجمی))، هورمون ۶- بنزیل آمینو پورین با دو غلظت ۰ و ۱۰ میلی گرم در لیتر و تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم برازیلینس* سویه Sp7 (کاربرد و عدم کاربرد آن) پس از مرحله گرده‌افشانی انجام گرفت. تهیه محلول‌های روی و هورمون مطابق روش سال اول آزمایش بود. باکتری استفاده‌شده در این آزمایش *آزوسپیریلوم برازیلینس* سویه Sp7 بود که توسط پروفسور فیلیپ فرانکن در اختیار قرار داده شد. از کشت تازه باکتری برای تهیه مایه تلقیح استفاده گردید. جهت تهیه مایه تلقیح، از باکتری که قبلاً روی پلیت به مدت چهار روز کشت داده شده بود استفاده شد. ابتدا پنج عدد کلونی از باکتری به شیشه ارلن مایر

باکتری در ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید تا غلظت ۱۰ درصد باکتری حاصل گردد. میزان محلول‌پاشی در سال دوم آزمایش مانند سال اول آزمایش (۱۰۰۰ لیتر در هکتار) بود. انجام محلول‌پاشی به‌علت وزش باد در هنگام عصر پس از غروب آفتاب انجام گرفت. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثرات ساده و یا متقابل، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

یک لیتری حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر محیط غذای بدون نیتروژن (NFb) تحت شرایط استریل انتقال داده شد. سپس ارلن‌های کشت روی شیکر با تعداد ۱۲۰ دور در دقیقه در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد در طول شب شیک شدند. تعداد باکتری در هر میلی‌لیتر محلول کشت با استفاده از بافر فسفات به 1×10^7 سلول باکتری (واحد تشکیل کلنی) در میلی‌لیتر رقیق گردید. جهت محلول‌پاشی از غلظت ۱۰ درصد مایه تلقیح رقیق‌شده (1×10^7 واحد تشکیل کلنی) استفاده شد. به عبارتی دیگر، ۱۰ میلی‌لیتر از محیط کشت باکتری حاوی 1×10^7 سلول

جدول ۱- میانگین بارش ماهیانه و متوسط درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه در طول فصل رشد گندم در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰
Table 1- Average monthly rainfall and average monthly maximum and minimum temperatures during wheat growing season in 2021-22

ماه Month	دما Temperature (°C)		بارندگی Rainfall (mm)
	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	
November آبان	-0.8	12.2	50.2
December آذر	-2.9	10.8	27.4
January دی	-6.5	6.2	33.6
February بهمن	-11	4	26.6
March اسفند	-2.1	10.1	72
April فروردین	0.5	17.6	13.4
May اردیبهشت	3.3	19.3	40
June خرداد	7.3	28.9	0.4
July تیر	9.9	33.5	0

جدول ۲- میانگین بارش ماهیانه و متوسط درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه در طول فصل رشد گندم در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱
Table 2- Average monthly rainfall and average monthly maximum and minimum temperatures during wheat growing season in 2022-23

ماه Month	دما Temperature (°C)		بارندگی Rainfall (mm)
	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	
November آبان	-0.8	15.4	18.2
December آذر	-2.3	7.3	34.8
January دی	-8.5	0.8	51.8
February بهمن	-13.2	1.4	33.8
March اسفند	-1.5	11.9	92
April فروردین	1.2	14.9	70.6
May اردیبهشت	3.1	19.9	87.2
June خرداد	7.3	26.4	19
July تیر	26.5	45.8	0

نتایج و بحث

محلول‌پاشی با روی انجام گرفت. در سال اول، مطالعه تأثیر چهار سطح مختلف روی و دو غلظت هورمون بنزیل آمینو پورین پس از گرده‌افشانی بر عملکرد و روی دانه گندم رقم سرداری تحت شرایط

دو پژوهش مزرعه‌ای تحت شرایط دیم جهت بررسی تأثیرگذاری

دیم بررسی گردید. در سال دوم، کاربرد سه کیلوگرم روی به صورت محلول پاشی در تلفیق با هورمون و باکتری *آزوسپیریلوم* بر عملکرد دانه ارزیابی گردید.

آزمایش اول

نتایج تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی با چهار غلظت مختلف روی (۰، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد) و دو سطح هورمون بنزیل آمینو پورین (۰ و ۱۰ میلی گرم در لیتر) بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم رقم سرداری در جدول ۳ نشان داده شده است.

اثر روی و هورمون بر میزان متوسط وزن تک سنبله معنی دار بود (جدول ۳). اثر متقابل این دو تیمار بر وزن تک سنبله معنی دار نگردید. سنبله در گیاهان محلول پاشی شده با هورمون، ۱/۴۴ و در گیاهان شاهد، ۱/۳۹ گرم بود. محلول پاشی با روی، وزن سنبله را به صورت معنی داری افزایش داد. هرچند که غلظت های مختلف استفاده شده، تأثیر متفاوتی بر وزن سنبله داشتند. بیشترین میزان وزن سنبله (۱/۴۵ گرم) از کاربرد سه کیلوگرم روی در هکتار (۰/۳ درصد سولفات روی) حاصل گردید و کاربرد مقدار بالاتر آن (چهار کیلوگرم در هکتار) تأثیری بر افزایش بیشتر وزن سنبله نداشت (شکل ۱). محلول پاشی با غلظت ۰/۴ درصد (چهار کیلوگرم در هکتار) وزن سنبله را کاهش داد (شکل ۱) که نشان دهنده تأثیر منفی سطوح بالای روی بر این صفت در گندم بود. کاهش میزان وزن سنبله در اثر محلول پاشی با بالاترین غلظت روی را می توان به تأثیرات سمی غلظت های بالای این عنصر در گیاه مرتبط دانست (Andrejic, Gajic, Prica, Dzeletović, & Rakić, 2018). تأثیرات منفی سطوح بالای روی بر میزان فتوسنتز، هدایت روزنه ای، تعرق و میزان غلظت دی اکسید کربن فضای بین سلولی داخل برگ قبلاً گزارش شده است (Andrejic et al., 2018). وزن سنبله، شاخصی از میزان وزن دانه، تعداد دانه و کاه سنبله است. در این مطالعه، میزان وزن کاه سنبله اندازه گیری شد. اثر محلول پاشی با روی بر وزن کاه سنبله معنی دار، اما اثر متقابل آن با هورمون بنزیل آمینو پورین و نیز کاربرد به تنهایی هورمون، تأثیری معنی دار بر آن نداشتند (جدول ۳). بنابراین، افزایش میزان وزن سنبله در اثر کاربرد هورمون به علت افزایش وزن دانه بوده و هورمون تأثیری بر وزن کاه سنبله نداشته است. هورمون بنزیل آمینو پورین نوعی سیتوکینین سنتزی است که موجب افزایش تقسیمات سلولی می شود و از تجزیه کلروفیل و زوال برگ جلوگیری می کند (Vylicilova et al., 2020). گزارش شده است که بنزیل آمینو پورین، تجمع نشاسته در دانه گندم را افزایش داده است (Zhang et al., 2022). بیان شده است که این هورمون از طریق افزایش طول دوره پر شدن دانه باعث افزایش وزن هزار دانه گندم شده است (Zhang et al., 2022). با توجه به نقش بنزیل آمینو پورین در القای تقسیمات سلولی (سلول های آندوسپرم

دانه) (Mangena, 2022)، به نظر می رسد که علت افزایش وزن دانه به دلیل بیشتر شدن قدرت مخزن (افزایش تقسیم سلول آندوسپرم دانه) باشد. بنابراین، در این مطالعه، افزایش میزان وزن سنبله در اثر کاربرد هورمون به علت افزایش وزن دانه بوده است و هورمون تغییری در میزان کاه سنبله ایجاد نکرده است. در این آزمایش، بیشترین میزان کاه سنبله از شاهد (۰/۳۸ گرم در سنبله) حاصل گردید و محلول پاشی با روی، میزان آن را کاهش داد (شکل ۲). در گندم، اجزای غیر برگی دیگری مانند سنبله و ساقه نیز در فتوسنتز مشارکت دارند و از ارگان های فتوسنتزی گیاه محسوب می شوند. بین وزن تک سنبله و متوسط سرعت پر شدن دانه گندم، همبستگی مثبتی وجود دارد (Chen, Zhang, & Deng, 2019). بنابراین، افزایش وزن سنبله در اثر کاربرد روی و هورمون می تواند صفتی مثبت جهت افزایش عملکرد دانه فرض گردد.

براساس نتایج تجزیه واریانس انجام شده (جدول ۳)، تأثیر روی بر تعداد دانه در سنبله معنی دار بود. محلول پاشی با هورمون تأثیری معنی دار بر تعداد دانه در سنبله نداشت (جدول ۳). بیشترین (۲۸ عدد) و کمترین تعداد دانه در سنبله (۲۵/۸ عدد) به ترتیب از کاربرد سه کیلوگرم سولفات روی و عدم کاربرد آن (شاهد) حاصل گردید (شکل ۳). تعداد دانه در سنبله نشان دهنده قدرت مخزن است که می تواند تحت تأثیر منبع (فتوسنتز جاری و مواد ذخیره شده فتوسنتزی) قرار گیرد. عنصر روی در افزایش میزان فتوسنتز مؤثر است (Karmollachaab & Gharineh, 2013; Luo et al., 2019). با افزایش میزان فتوسنتز و انتقال مواد ساخته شده فتوسنتزی به گلچه های تشکیل شده، بقای گلچه و شکل گیری دانه افزایش خواهد یافت. به عبارتی دیگر، شکل گیری دانه پس از مرحله گرده افشانی تحت تأثیر میزان مواد منتقل شده فتوسنتزی به سمت دانه قرار می گیرد و هرگونه عاملی که موجب کاهش میزان فتوسنتز و یا انتقال آن به گلچه های تشکیل شده گردد، مانع از تشکیل دانه خواهد شد (Zhang et al., 2020; Zhang et al., 2019). تعداد دانه در سنبله (پتانسل تولید تعداد دانه) بستگی به تعداد گلچه در زمان گل دهی دارد (Zhu, Chu, Dai, & He, 2019)، اما تعداد نهایی دانه در مراحل پس از گرده افشانی مشخص می گردد. عوامل نامساعد محیطی و شرایط تغذیه ای پس از مرحله گرده افشانی نقش تعیین کننده ای بر تعداد گلچه ای که می تواند به مرحله دانه بندی برسد، دارند (Zhang et al., 2020). میزان بقای گلچه ها به محتوای کربن و انتقال آن ها بین ارگان های مختلف گیاه بستگی دارد (Zhang et al., 2020; Zhang et al., 2019). بنابراین، ممکن است که افزایش تعداد دانه در اثر محلول پاشی روی در این مطالعه به علت افزایش میزان فتوسنتز و یا تسهیل انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه افتاده باشد. اثر محلول پاشی با روی، کاربرد خارجی بنزیل آمینو پورین و اثر متقابل این دو تیمار بر وزن دانه در سنبله معنی دار بود (جدول ۳).

شکل ۴: تأثیر متقابل تیمار روی و بنزیل آمینو پورین بر وزن هزار دانه را نشان می‌دهد. بیشترین میزان وزن دانه در سنبله (۱/۲۲ گرم) از کاربرد محلول پاشی روی با غلظت ۰/۳ درصد آن + کاربرد ۶- بنزیل آمینو پورین (۱۰ میلی گرم در لیتر) حاصل شد. سطوح بالاتر روی (۰/۴ درصد)، تأثیر منفی بر وزن دانه در سنبله داشت (شکل ۳). عوامل مختلفی در تعیین وزن نهایی دانه گندم نقش دارند. وزن هزار دانه، صفتی ژنتیکی است و براساس نوع رقم متفاوت است، هرچند که عوامل محیطی مانند خشکی و نیز میزان انتقال مواد ساخته شده فتوسنتزی از برگ به سمت دانه‌ها تأثیری مهم در تعیین وزن نهایی دانه دارند. مواد پرورده (آسیمیلات) حاصل از فتوسنتز جاری و ذخیره شده قبل از گل دهی، نقش مهمی در پر شدن دانه گندم دارند. میزان فتوسنتز می‌تواند تحت تأثیر میزان محتوای روی گیاه قرار گیرد. سطح مناسب روی داخل گیاه منجر به افزایش میزان فتوسنتز می‌گردد (Luo et al., 2019). بنابراین، مواد پرورده بیشتری در اختیار دانه‌ها قرار خواهد گرفت. روی دارای نقش‌های مختلفی در گیاه است. این عنصر، کارایی مصرف آب (Anwar et al., 2021)، کارایی فتوسنتز ۲، محتوای کلروفیل و هدایت روزنه‌ای (Pavia et al., 2019) را افزایش می‌دهد. نقش عنصر روی در افزایش میزان کلروفیل برگ در مطالعات انجام شده مورد تأیید قرار گرفته است (Adil et al., 2022; Ma et al., 2017); بنابراین، ممکن است

روی از طریق افزایش فتوسنتز و انتقال مواد پرورده فتوسنتزی به سمت دانه، زمینه افزایش وزن دانه را فراهم کرده باشد. این یافته‌ها با نتایج گزارش‌های قبلی مبنی بر این که محلول پاشی با روی، تأثیری مثبت بر افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در گندم داشته است، مطابقت دارد (Sattar et al., 2022; Zarea, 2023). همچنین تأثیر مثبت کاربرد بنزیل آمینو پورین بر افزایش وزن هزار دانه گندم نیز گزارش شده است (Zarea & Karimi, 2023a). این هورمون موجب افزایش تقسیمات سلول‌های آندوسپرم دانه می‌شود، همچنین انتقال مواد ساخته شده فتوسنتزی از منبع (برگ و ساقه) به مخزن (دانه‌ها) را افزایش می‌دهد (Mangena, 2022). گزارش شده است که با افزایش سطح ستیوکین داخل گیاه، میزان عملکرد دانه، تعداد دانه و اندازه دانه افزایش پیدا کرده است (Cortleven et al., 2019). سهم اجزای غیربرگی (ساقه و سنبله) در افزایش وزن دانه گندم تحت شرایطی که گیاه با کمبود آب قابل دسترس مواجه است، برجسته‌تر می‌گردد (Miralles, Richards, & Slafer, 2000; Ferrante, Savin, & Slafer, 2012; Ferrante, Savin, Slafer, 2013). بنابراین، به نظر می‌رسد که کاربرد روی و بنزیل آمینو پورین از طریق تداوم فتوسنتز و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه، وزن دانه را افزایش داده‌اند.

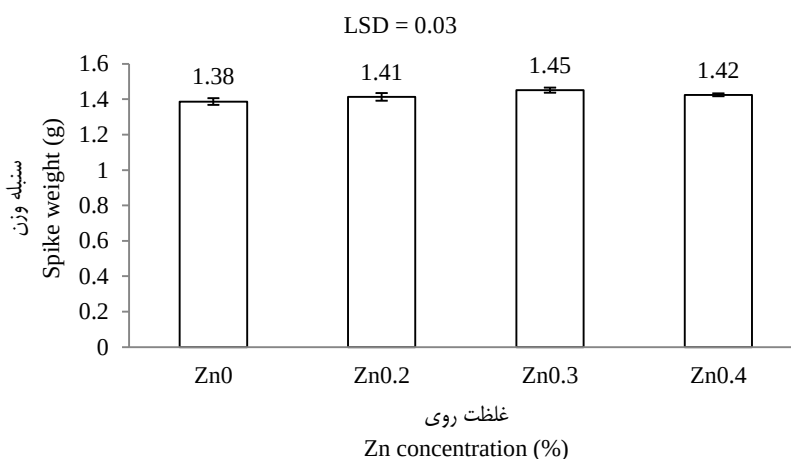
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد محلول پاشی برگی با روی و کاربرد خارجی ۶- بنزیل آمینو پورین بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم زمستانه رقم سرداری تحت کشت دیم

Table 3- Analysis of variance for the effect of foliar application of Zn and exogenous application of 6-banzyl amino purine on grain yield and yield component of a winter wheat cv. Sardari under rain-fed condition

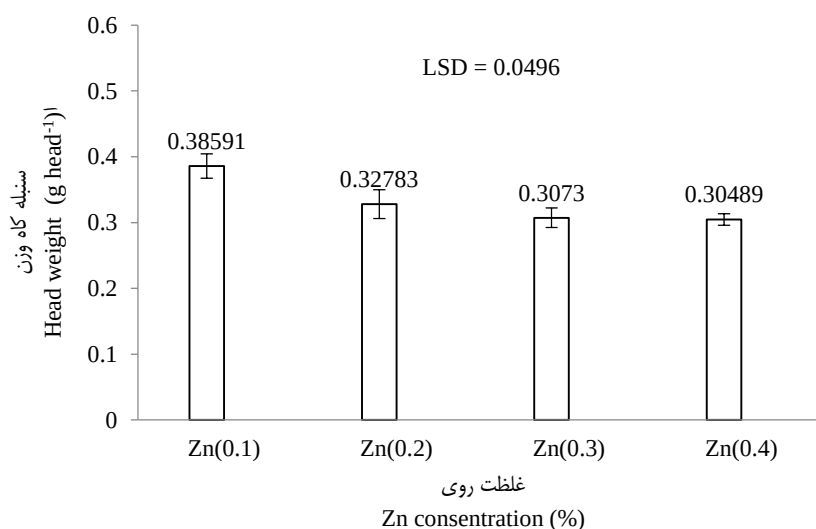
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares				
		وزن تک سنبله Spike weight	وزن کاه در سنبله Spike straw weight	تعداد دانه در سنبله Seed no per spike	وزن دانه در سنبله Seed weight per spike	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.005*	0.01*	9.49*	0.011**	50195**
روی Zn	1	0.0043**	0.0085**	5.86**	0.040**	198079**
بنزیل آمینوپورین 6-BAP	3	0.01**	0.000014 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.028**	264084**
روی × بنزیل آمینوپورین Zn × 6-BAP	3	0.0003 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.103 ^{ns}	0.0026*	23393**
اشتباه Error	14	0.0006	0.0016	0.65	0.0007	2547
ضریب تغییرات (%) CV (%)		1.75	12.08	5.33	2.43	2.12

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

ns, * and **: indicate non-significant and significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively



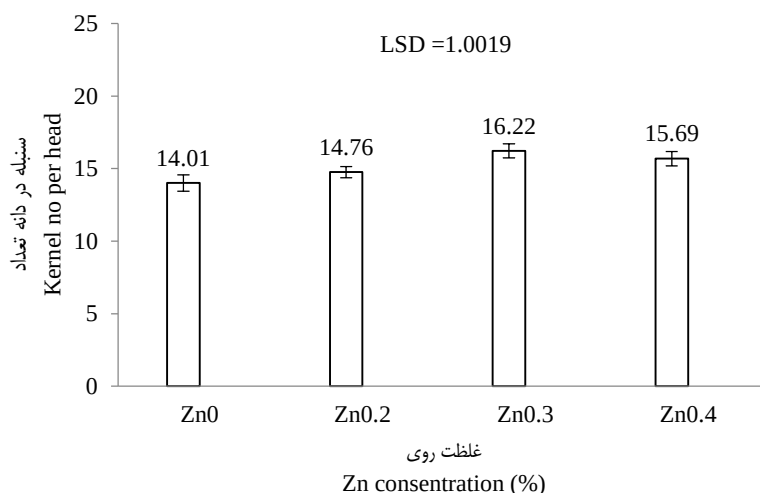
شکل ۱- تأثیر محلول پاشی برگ با غلظت‌های مختلف روی بر وزن تک سنبله
Figure 1- Effect of foliar application with different concentration of Zn on spike weight



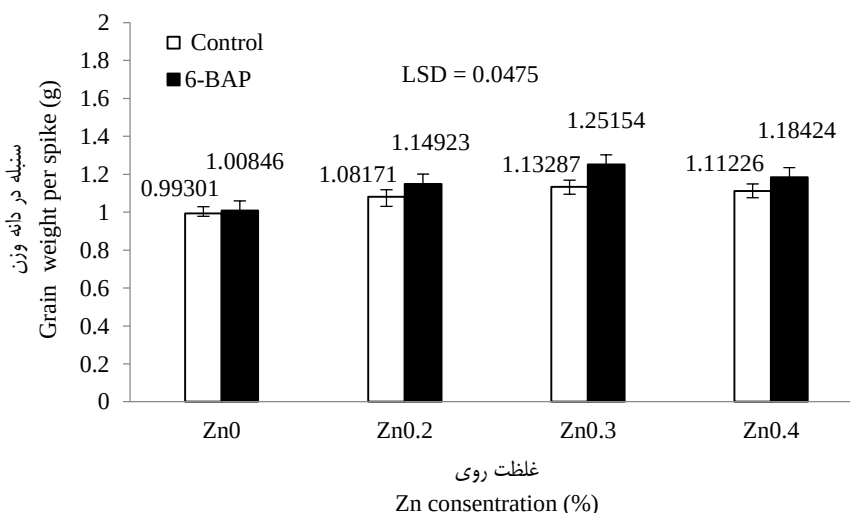
شکل ۲- تأثیر محلول پاشی برگ با غلظت‌های مختلف روی بر وزن کاه سنبله
Figure 2- Effect of foliar application with different concentration of Zn on spike chaff

گندم توسط محققان مختلف از کشورهای متفاوت گزارش شده است (Karim *et al.*, 2012; Sattar *et al.*, 2021; Kloface, Antosovsky, & Skarpa, 2023; Zarea & Karimi, 2023b) کاربرد روی به صورت مخلوط با خاک، از طریق پرایم بذر با آن و یا به صورت محلول پاشی، مبحث پژوهش‌های بسیاری طی چند دهه اخیر بوده است. البته در سال‌های اخیر افزایش محتوای روی دانه از طریق محلول پاشی روی بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. آزمایش حاضر تحت شرایط دیم انجام گرفت. متوسط تولید گندم سرداری در مزارع مجاور تا بیش از ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار هم ثبت گردید که دلیل آن می‌تواند متوسط دماهای کم در طول مراحل پر شدن دانه باشد.

نتایج تجزیه واریانس تأثیر روی و بنزیل آمینو پورین بر عملکرد دانه در جدول ۳ نشان داده شده است. تأثیر تیمار روی، بنزیل آمینو پورین و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). میزان عملکرد دانه در شاهد (عدم کاربرد روی) و تحت کاربرد غلظت‌های ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد محلول روی به ترتیب ۲۶۷۳، ۲۹۳۰، ۲۹۹۷ و ۳۰۸۶ کیلوگرم دانه در هکتار بود (شکل ۵). بیشترین عملکرد دانه از کاربرد غلظت ۰/۳ درصد محلول روی (معادل سه کیلوگرم سولفات روی در هکتار) و در تلفیق آن با بنزیل آمینو پورین حاصل گردید (شکل ۵). این ترکیب تیماری، میزان عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد روی) به میزان ۷/۱ درصد افزایش داد. تأثیر مثبت کاربرد روی از طریق محلول پاشی آن بر عملکرد دانه



شکل ۳- تأثیر محلول پاشی برگی با غلظت‌های مختلف روی بر میزان تعداد دانه در سنبله
Figure 3- Effect of foliar application with different concentration of Zn on seed number per spike

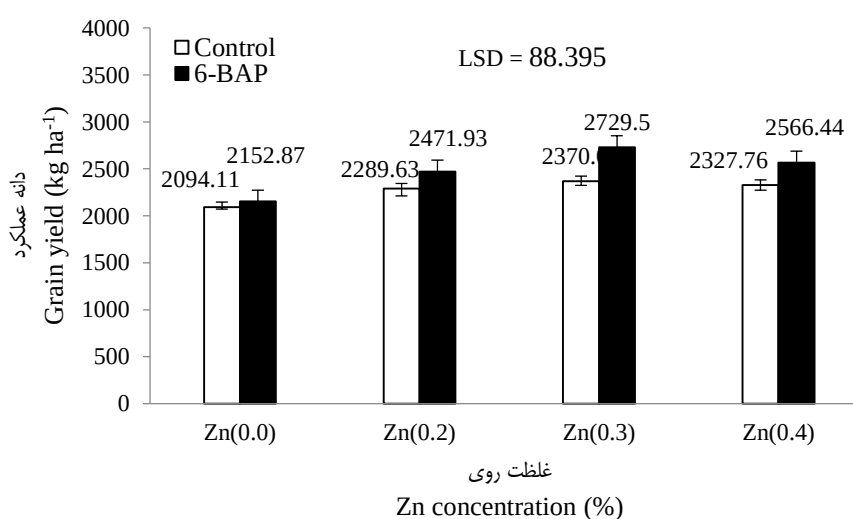


شکل ۴- تأثیر محلول پاشی برگی با غلظت‌های مختلف روی و ۶- بنزیل آمینو پورین بر میزان وزن کل دانه در سنبله
Figure 4- Effect of foliar application with different concentration of Zn and 6-BANZYLAMINOPURINE (6-BAP) on total seed grain weight per spike

افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد (Anwar et al., 2021). بنابراین، شاید در مطالعه انجام گرفته روی محلول پاشی شده تأثیری مثبت در افزایش کارایی مصرف آب گیاه داشته و در نهایت، باعث افزایش میزان عملکرد دانه شده باشد. در این مطالعه، سطح چهارم روی (۴/۰ درصد) تأثیری بر افزایش بیشتر عملکرد دانه نداشت و حتی اثر منفی بر آن داشت. عنصر روی جزو عناصر کم مصرف گیاه طبقه بندی می‌گردد و نیاز گیاه به آن در مقایسه با عناصر پر مصرف بسیار اندک است. هرچند این عنصر رشد و عملکرد گیاه را افزایش دهد، اما میزان بالای مصرف آن برای گیاه سمیت ایجاد می‌کند. گزارش شده است که محتوای بالای روی، میزان فتوسنتز و عملکرد

دماهای پایین، طول دوره پر شدن دانه گندم را افزایش می‌دهد. هرچند که کمبود بارش در زمان گرده افشانی و به خصوص در مراحل پر شدن دانه می‌تواند به عنوان یک عامل محدود کننده عملکرد دانه عمل کند (Farooq, Hussain, & Siddique, 2014). در این آزمایش، گیاهان تغذیه شده با روی، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه بالاتری در مقایسه با گیاهان شاهد داشتند. افزایش عملکرد گندم تحت شرایط محدودیت آبی گیاه (تنش خشکی) در اثر محلول پاشی با روی قبلاً گزارش شده است (Karim et al., 2012; Sattar et al., 2021; Kloface, Kloface, Antosovsky, & Skarpa, 2023). محلول پاشی با روی موجب کاهش اثر سوء تنش خشکی از طریق

سیتوکنین در چند گیاه مورد تأیید قرار گرفته است. به عبارتی، بین میزان سیتوکنین دانه و افزایش عملکرد دانه ارتباط وجود دارد. با خاموش کردن ژن کدکننده آنزیم مسئول تجزیه سیتوکنین، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) افزایش پیدا کرد (Zalewski, Orczyk, Gasparis & Nadolska-Orczyk, 2012). بنابراین، ممکن است تلفیق بنزیل آمینو پورین (نوعی سیتوکنین سنتزی) با محلول روی، از طریق افزایش سطح سیتوکنین داخل دانه، میزان عملکرد دانه را افزایش داده است.



شکل ۵- تأثیر محلول پاشی برگی با غلظت‌های مختلف روی و ۶- بنزیل آمینو پورین بر عملکرد دانه گندم

Figure 5- Effect of foliar application with different concentration of Zn and 6-Banzylaminopurine (6-BAP) on wheat grain yield

۵۵ میلی گرم در کیلوگرم افزایش داده است (Ozturk et al., 2006). در بررسی دیگری، محلول پاشی با روی با استفاده از سولفات روی، محتوای روی دانه را از ۲۸ میلی گرم در کیلوگرم به ۵۸ میلی گرم در کیلوگرم افزایش داد (Cakmak et al., 2010). بیان شده است که محلول پاشی با روی در زمان پر شدن دانه، محتوای روی دانه گندم را از ۱۵/۹ به ۲۰/۵ در سال اول آزمایش و از ۲۶/۴ به ۳۲/۶ در سال دوم آزمایش افزایش داده است (Ivanović et al., 2021). بنزیل آمینو پورین، یک نوع هورمون سنتزی از نوع سیتوکنین است. هورمون سیتوکنین دارای نقش کلیدی در پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی دارد (Cortleven et al., 2019). سیتوکنین، مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (Cortleven et al., 2019). این هورمون، تجمع عناصری مانند روی را در دانه افزایش داده است (Prasad, 2022). مطالعات میکروسکوپی براساس پروتوهای

گندم را کاهش داده است (Li, Li, Rengel, Liu, & Zhao, 2020). میزان بالای روی منجر به کاهش تقسیمات سلولی آندوسپرم دانه می‌شود. سطوح بالای روی از تولید شدن سلولی جلوگیری می‌کند که نتیجه آن کاهش زیست‌توده گیاهی است (Tsonev & Lidon, 2012). در این تحقیق، تلفیق روی با هورمون بنزیل آمینو پورین، عملکرد دانه را در مقایسه با کاربرد به‌تنهایی روی به‌میزان بیشتری افزایش داد. تأثیر مثبت بنزیل آمینو پورین بر عملکرد دانه گندم قبلاً هم گزارش شده است (Zarea & Karimi, 2023a). ارتباط بین میزان سطح سیتوکنین دانه با افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم با خاموش کردن ژن کدکننده آنزیم مسئول تجزیه

نتیجه تجزیه واریانس اثر هورمون و روی بر میزان روی دانه در جدول ۴ نشان داده شده است. تأثیر هورمون و روی بر محتوای روی دانه معنی‌دار شد، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۴). تأثیر محلول پاشی با روی بر افزایش محتوای روی دانه از کاربرد هورمون مؤثرتر بود. محلول پاشی با ۶- بنزیل آمینو پورین، میزان روی دانه را از ۲۵/۰۷ (شاهد) به ۲۵/۹۹ میلی گرم در کیلوگرم افزایش داد. شکل ۶، میزان محتوای روی دانه تحت تأثیر محلول پاشی با غلظت‌های مختلف روی را نشان می‌دهد. بیشترین محتوای روی دانه از کاربرد بالاترین سطح غلظت روی (۴/۰ درصد) حاصل گردید. (شکل ۶). افزایش محتوای روی دانه با استفاده از محلول پاشی روی توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Sattar et al., 2022; Zarea & Karimi, 2023a). گزارش شده است که محلول پاشی با روی، محتوای روی دانه گندم را از ۴۵ میلی گرم در کیلوگرم (در شاهد) به

آوندها بارگیری می‌گردد (Li et al., 2022). براساس یک مطالعه انجام شده، در نهایت، روی جذب‌شده به دانه منتقل می‌گردد (Kamran et al., 2023). بنابراین، افزایش محتوای روی دانه در اثر محلول‌پاشی با روی در آزمایش حاضر می‌تواند مربوط به جذب و انتقال روی محلول‌پاشی‌شده از سطح برگ به دانه‌ها باشد.

فلورسانس اشعه X نشان داده است که روی محلول‌پاشی شده به داخل برگ نفوذ پیدا می‌کند (Xie et al., 2020)، هرچند میزان نفوذپذیری از سطح به داخل برگ بسته به میزان سطح برگ متفاوت خواهد بود (Xie et al., 2020). روی وارد شده از سطح برگ به داخل برگ در ابتدا در سلول‌های اپیدرم بالایی و سپس در سلول‌های اپیدرم پایینی برگ تجمع پیدا می‌کند و سپس با گذشت زمان به

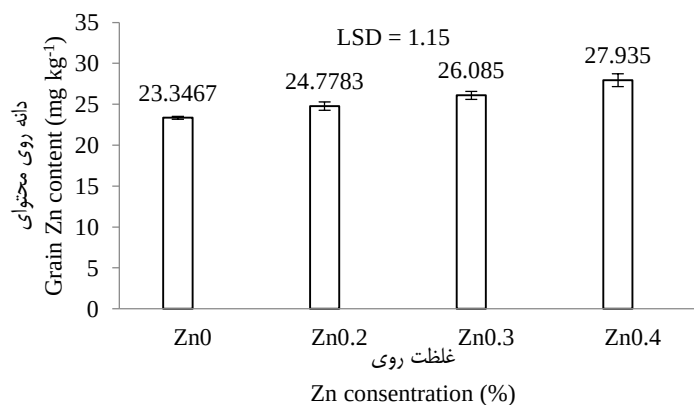
جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی برگ با روی و کاربرد خارجی هورمون ۶- بنزیل آمینو پورین بر محتوای روی دانه گندم تحت شرایط دیم

Table 4- Analysis of variance for the effect of foliar application of Zn and exogenous application of 6-banzyl amino purine on wheat grain Zn content under rain-fed condition

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای روی دانه
S.O.V	df	Grain Zn content
Block	2	8.35**
بلوک		
Zn	3	22.84**
روی		
6-BAP	1	5.14*
بنزیل آمینوپورین		
Zn × 6-BAP	3	0.2 ^{ns}
روی × بنزیل آمینوپورین		
Error	14	0.86
اشتباه		
CV (%)		3.66
ضریب تغییرات (%)		

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

ns, * and **: indicate non-significant and significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively



شکل ۶- تأثیر محلول‌پاشی برگ با غلظت‌های مختلف روی بر محتوای روی دانه گندم

Figure 6- Effect of foliar application with different concentration of Zn on grain Zn content of wheat

۵ ارائه شده است.

آزمایش دوم

تأثیر روی و تلقیح با آزوسپیریلوم بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار، اما اثر بنزیل آمینو پورین معنی‌دار نبود (جدول ۵). در هر دو مطالعه انجام شده (آزمایش سال اول و دوم)، تأثیر روی بر تعداد دانه معنی‌دار بود. روی محلول‌پاشی‌شده موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله

خلاصه نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد روی (سه کیلوگرم روی در هکتار) از طریق محلول‌پاشی آن به‌تنهایی و در تلقیح با هورمون ۶- بنزیل آمینو پورین و تلقیح برگ با باکتری آزوسپیریلوم برآزینس سویه Sp7 بر تعداد دانه در سنبله، وزن دانه و عملکرد دانه در جدول

که سطح هورمون داخل گیاه را به اندازه کافی افزایش دهد. دلیل دوم می‌تواند مربوط به شرایط مطلوب‌تر (میزان بارش‌های بیشتر) دوره پر شدن دانه باشد. در سال دوم، میزان بارش در اواخر دوره رشد گیاه بیش از سال اول آزمایش بود. بنابراین، اثرگذاری هورمون بر افزایش وزن و تعداد دانه کمتر بوده است.

اثر محلول‌پاشی با روی و تلقیح برگی با باکتری و اثر متقابل این دو تیمار بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). اثر بنزیل آمینو پورین بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۵). کاربرد روی در مقایسه با شاهد، میزان عملکرد دانه را ۱۲/۸ درصد افزایش داد. افزایش عملکرد دانه در اثر تلقیح با باکتری، ۶/۶ درصد بود. بالاترین عملکرد دانه از کاربرد تلقیحی باکتری و روی حاصل شد (شکل ۸). تأثیر مثبت محلول‌پاشی با باکتری *آزوسپیریوم برازیلنس* در دو گیاه ذرت (*Zea mays* L.) (Cardozo et al., 2021) و سویا (*Glycine max* L.) (Puente et al., 2020) نیز گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

افزایش کیفی دانه گندم ضمن حفظ عملکرد کمی آن در بوم‌نظام‌های زراعی که با تنش‌های مختلف محیطی مواجه هستند، از اهمیت بالایی برخوردار است. بخش قابل‌توجهی از گندم تولیدشده داخل کشور مربوط به اراضی کشاورزی دیم است. تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی، طول دوره‌های خشکی و تکرار رخداد‌های آن را افزایش داده است. در اثر کم‌بارشی‌های ناشی از تغییر اقلیم، ثبات عملکرد گندم با خطر مواجه شده است. براساس گزارش‌های منتشرشده، افزایش محتوای روی دانه از طریق محلول‌پاشی روی در گندم امکان‌پذیر است، هرچند میزان و زمان کاربرد آن منجر به پاسخ‌های متفاوت در عملکرد و محتوای روی دانه می‌گردد. در دهه‌های اخیر، تلاش‌های بسیاری از سوی پژوهشگران علوم زراعی جهت افزایش محتوای روی دانه غلات به‌خصوص گندم انجام گرفته است. از طرفی، شرایط اقلیمی، نوع زراعت (دیم و یا آبی) و نوع رقم بر انتخاب میزان روی جهت افزایش محتوای روی دانه تأثیرگذار هستند. در تحقیق حاضر، کاربرد ۰/۳ درصد روی (سه کیلوگرم سولفات روی در هکتار) به‌صورت محلول‌پاشی در اواخر مرحله گرده‌افشانی، میزان عملکرد و محتوای روی دانه گندم را افزایش داد. روی از طریق افزایش تعداد و وزن دانه، عملکرد دانه را افزایش داد. تلقیح روی با باکتری *آزوسپیریوم برازیلنس* (*Azospirillum brasilense* Sp7) موجب دستیابی به عملکرد بالاتری گردید.

(۷/۹۷ درصد) در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد روی) گردید. باکتری در مقایسه با روی، تأثیر کمتری بر افزایش تعداد دانه در سنبله داشت. تعداد دانه در سنبله در اثر محلول‌پاشی با باکتری به‌میزان ۵/۳۷ درصد در مقایسه با عدم کاربرد آن (شاهد) افزایش یافت. هیچ‌کدام از اثرات متقابل تیمارها بر تعداد دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۵). در سال‌های اخیر، تلقیح برگی، جایگاه قابل‌قبولی را در بین روش‌های استفاده از این باکتری در زراعت گیاهان زراعی پیدا کرده است (Puente et al., 2020)، هرچند در این روش (تلقیح برگی) از جمعیت باکتری در سطح برگ به‌سرعت کاسته می‌گردد. البته مطالعات انجام‌گرفته نشان داده است که این باکتری از سطح برگ به داخل برگ نفوذ کرده و ابتدا در سلول‌های اپیدرم بالایی و سپس در سلول‌های اپیدرم پایینی تجمع و در نهایت، وارد آوند چوبی می‌شوند (Puente et al., 2020). بنابراین، این امکان وجود دارد که باکتری واردشده به داخل برگ منجر به تأثیرات مثبت در گیاه گردد (Cardozo et al., 2021; Puente et al., 2020). در مطالعه حاضر، تلقیح برگی با باکتری باعث افزایش تعداد دانه در سنبله گردید. تأثیر مثبت این باکتری از طریق کاربرد محلول‌پاشی آن مورد تأیید قرار گرفته است (Cardozo et al., 2021; Puente et al., 2020). هرچند سازوکار اثر مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است. در مطالعه‌ای انجام‌گرفته روی ذرت، تلقیح برگی این باکتری، میزان کلروفیل برگ را افزایش داد (Cardozo et al., 2021). بنابراین، امکان افزایش میزان فتوسنتز در اثر کاربرد محلول‌پاشی این باکتری وجود دارد. باکتری استفاده‌شده در این آزمایش، قادر به تولید میزان قابل‌توجهی هورمون اکسین است. بنابراین، این امکان وجود دارد که باکتری از طریق تولید هورمون اکسین باعث ایجاد تغییرات مثبت در گیاه شده باشد (Puente et al., 2020).

تأثیر کاربرد روی و باکتری به‌تنهایی و در تلفیق با هم بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). محلول‌پاشی با روی، وزن هزار دانه را به‌میزان ۴/۷۲ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (شکل ۷). تأثیر باکتری بر افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با کاربرد روی کمتر (۱/۶۶ درصد) بود (شکل ۷). اثر متقابل بین این دو تیمار (روی و باکتری) بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). بالاترین میزان وزن دانه از تلفیق روی و باکتری حاصل شد (شکل ۷). برخلاف سال اول آزمایش، تأثیر هورمون بر وزن دانه معنی‌دار نبود. علت عدم تأثیرگذاری هورمون در سال دوم آزمایش را می‌توان به غلظت استفاده شده آن ارتباط داد (Zarea & Karimi, 2023a). رشد و عملکرد گندم در سال دوم به‌دلیل میزان بیشتر بارش بیش از سال اول آزمایش بود. بنابراین، غلظت مورد استفاده به اندازه‌ای نبوده است

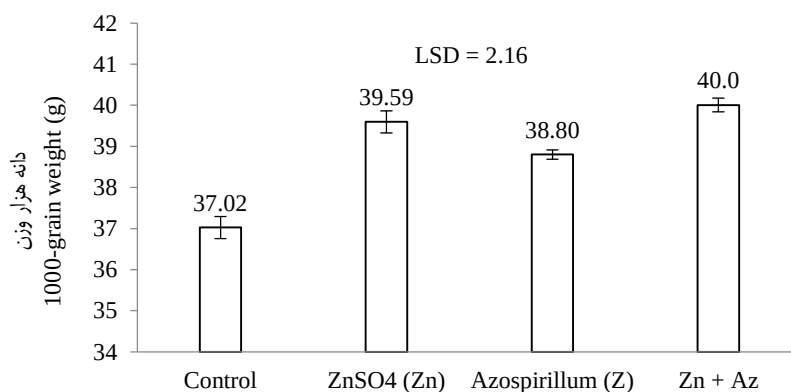
جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی بعد از گرده افشانی با روی، کاربرد خارجی هورمون ۶- بنزیل آمینو پورین و تلقیح باکتری *آزوسپیریلام* بر تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم تحت کشت دیم

Table 5- Analysis of variance for the effect of foliar application of Zn, exogenous application of 6-banzyl amino purine and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* after anthesis on the number of grain per spike, grain weight and yield in wheat under rain-fed condition

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد دانه در سنبله Seed no. per spike	وزن هزار دانه 1000-Grain weight	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.36 ^{ns}	0.11 ^{ns}	20559 ^{ns}
روی Zn	1	14.24 ^{**}	20.1 ^{**}	940677 ^{**}
بنزیل آمینوپورین 6-BAP	1	0.03 ^{ns}	0.37 ^{ns}	18.19 ^{ns}
<i>آزوسپیریلام</i> <i>Azospirillum</i> (Az)	1	6.61 ^{**}	2.48 ^{**}	267383 ^{**}
روی × بنزیل آمینوپورین Zn × BAP	1	1.47 ^{ns}	0.45 ^{ns}	26058 ^{ns}
روی × <i>آزوسپیریلام</i> Zn × Az	1	1.73 ^{ns}	7.72 ^{**}	170133 ^{**}
<i>آزوسپیریلام</i> × بنزیل آمینوپورین Az × BAP	1	0.006 ^{ns}	0.88 ^{ns}	12272 ^{ns}
روی × بنزیل آمینوپورین × <i>آزوسپیریلام</i> Zn × BAP × Az	1	0.84 ^{ns}	0.47 ^{ns}	37453 ^{ns}
اشتباه Error	14	0.54	0.27	14382
ضریب تغییرات (%) CV (%)		3.66	3.51	3.65

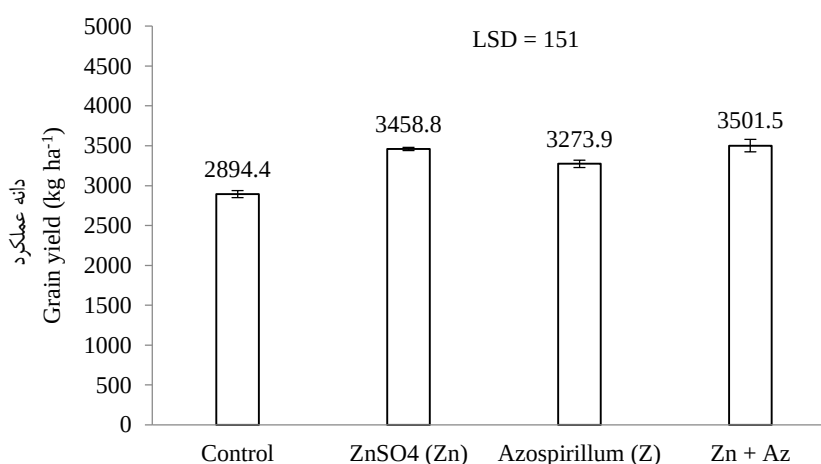
ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: indicate non-significant and significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively



شکل ۷- تأثیر محلول پاشی برگی با روی و *آزوسپیریلام* بر وزن دانه گندم

Figure 7- The effect of foliar spraying with zinc and *Azospirillum brasilense*, both singly and in combination, on 1000- grain weight of wheat



شکل ۸- تأثیر محلول پاشی برگی با روی و آزوسپیریوم برازیلنس به صورت جداگانه و در کاربرد تلفیقی آن‌ها بر عملکرد دانه گندم
Figure 8- The effect of foliar spraying with zinc and *Azospirillum brasilense*, both singly and in combination, on wheat grain yield

سپاسگزاری

هزینه‌های انجام این پژوهش در قالب طرح شماره IRILU-Ag-000214-23-04 معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه ایلام تأمین شده است، که بدین وسیله قدردانی می‌گردد. علاوه بر این نویسنده مقاله از نظرات ارائه شده توسط داوران محترم تشکر و قدردانی می‌نماید.

با توجه به نتایج دو مطالعه انجام گرفته، محلول پاشی با روی به تنهایی و یا در تلفیق با باکتری آزوسپیریوم در مرحله گل‌دهی نه تنها عملکرد دانه را توانست افزایش دهد، بلکه محتوای روی دانه را نیز افزایش داد. این نتایج می‌تواند جهت بالابردن عملکرد و افزایش محتوای روی دانه گندم مورد توجه قرار گیرد. با تأکید بر این که نوع زراعت، نوع رقم و شرایط اقلیمی در دوره پر شدن دانه می‌تواند در انتخاب میزان مصرف روی تأثیرگذار باشند.

References

- Adil, M., Bashir, S., Bashir, S., Aslam, Z., Ahmad, N., Younas, T., Asghar, R. M. A., Alkahtani, J., Dwiningsih, Y., & Elshikh, M. S. (2022). Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters, and wheat yield under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, 932861. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.932861>
- Andrejic, G., Gajic, G., Prica, M., Dzeletović, Ž., & Rakić, T. (2018). Zinc accumulation, photosynthetic gas exchange, and chlorophyll a fluorescence in Zn-stressed miscanthus × Giganteus plants. *Photosynthetica*, 56(4), 1249-1258. <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0827-3>
- Anwar, S., Khalilzadeh, R., Khan, S., Zaib-un-Nisa, Bashir, R., Pirzad, A., & Malik, A. (2021). Mitigation of drought stress and yield improvement in wheat by zinc foliar spray relates to enhanced water use efficiency and zinc contents. *International Journal of Plant Production*, 15(3), 377-389. <https://doi.org/10.1007/s42106-021-00136-6>
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, 173(4), 677-702. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with Zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1), 1-17.
- Cakmak, I., & Kutman, U. B. (2018). Agronomic biofortification of cereals with zinc: A review. *European Journal of Soil Science*, 69(7), 172-180. <https://doi.org/10.1111/ejss.12437>
- Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A. M., Gokmen, O. O., Ozturk, L., & Horst, W. J. (2010). Biofortification and localization of zinc in wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(16), 9092-9102. <https://doi.org/10.1021/jf101197h>
- Cardozo, P. W., Di Palma, A., Martín, S., Cerliani, C., Espósito, G., Reinoso, H., & Travaglia, C. (2021). Improvement of maize yield by foliar application of *Azospirillum brasilense* Az39. *Journal of Plant Growth Regulation* 41(1), 1032-1040. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10356-9>
- Chen, W., Zhang, J., & Deng, X. (2019). The spike weight contribution of the photosynthetic area above the upper internode in a winter wheat under different nitrogen and mulching regimes. *The Crop Journal*, 7(1), 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.10.004>

10. Coleman, J. E. (1998). Zinc enzymes. *Current Opinion in Chemical Biology*, 2(2), 222-234. [https://doi.org/10.1016/s1367-5931\(98\)80064-1](https://doi.org/10.1016/s1367-5931(98)80064-1)
11. Cortleven, A., Leuendorf, J. E., Frank, M., Pezzetta, D., Bolt, S., & Schmölling, T. (2019). Cytokinin action in response to abiotic and biotic stresses in plants. *Plant Cell and Environment*, 42(3), 998-1018. <https://doi.org/10.1111/pce.13494>
12. Desta, M. K., Broadley, M. R., McGrath, S. P., Hernandez-Allica, J., Hassall, K. L., Gameda, S., Amedem, T., & Haefele, S. M. (2023). Linking oil adsorption-desorption characteristics with grain zinc concentrations and uptake by teff, wheat and maize in different landscape positions in Ethiopia. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1285880. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1285880>
13. Farooq, M., Hussain, M., & Siddique, K. H. (2014). Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(4), 331-349. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291>
14. Ferrante, A., Savin, R., & Slafer, G. A. (2012). Differences in yield physiology between modern, well adapted durum wheat cultivars grown under contrasting conditions. *Field Crops Research*, 136, 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.015>
15. Ferrante, A., Savin, R., & Slafer, G. A. (2013). Is floret primordia death triggered by floret development in durum wheat? *Journal of Experimental Botany*, 64(10), 64, 2859-69. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert129>
16. Ivanović, D., Dodig, D., Đurić, N., Kandić, V., Tamindžić, G., Nikolić, N., & Savić, J. (2021). Zinc biofortification of bread winter wheat grain by single zinc foliar application. *Cereal Research Communications*, 49(4), 673-679. <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00144-2>
17. Jones, J. N. (2001). *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press.
18. Kamran, A., Ghazanfar, M., Khan, J. S., Pervaiz, S., Siddiqui, M. H., & Alamri, S. A. (2023). Zinc absorption through leaves and subsequent translocation to the grains of bread wheat after foliar spray. *Agriculture*, 13(9), 1775. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091775>
19. Karim, M. R., Zhang, Y., Zhao, R., Chen, X., Zhang, F., & Zou, C. (2012). Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(1), 142-151. <https://doi.org/10.1002/jpln.201100141>
20. Karmollachaab, A., & Gharineh, M. H. (2013). Effect of zinc element on growth, yield components and some physiological characteristics of maize under NaCl salinity stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(3), 446-453. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v11i3.29744>
21. Kashif, M., Sang, Y., Mo, S., Rehman, S. U., Khan, S., Khan, M. R., He, S., & Jiang, C. (2023). Deciphering the biodesulfurization pathway employing marine mangrove bacillus aryabhatai strain NM1-A2 according to whole genome sequencing and transcriptome analyses. *Genomics* 115(3), 110635. <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2023.110635>
22. Klofac, D., Antosovsky, J., & Skarpa, P. (2023). Effect of zinc foliar fertilization alone and combined with trehalose on maize (*Zea mays* L.) growth under the drought. *Plants*, 12(13), 2539. <https://doi.org/10.3390/plants12132539>
23. Li, C., Wang, L., Wu, J., Blamey, F. P. C., Wang, N., Chen, Y., Ye, Y., Wang, L., Paterson, D. J., Read, T. L., Wang, P., Lombi, E., Wang, Y., & Kopittke, P. M. (2022). Translocation of foliar absorbed Zn in sunflower (*Helianthus annuus*) leaves. *Front Plant Science*, 13, 757048. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.757048>
24. Li, G., Li, C., Rengel, Z., Liu, H., & Zhao, P. (2020). Excess Zn-induced changes in physiological parameters and expression levels of *TaZips* in two wheat genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 177(2), 104133. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104133>
25. Li, L. L., Wei, M. M., Li, X., & Wang, X. Y. (2019a). Effects of exogenous 6-BA on the yield of wheat after rice in the Jiangnan plain under different shading treatments. *Chinese The Journal of Applied Ecology*, 30(11), 3753-3761. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201911.024>
26. Li, S., Song, M., Duan, J., Yang, J., Zhu, Y., & Zhou, S. (2019b). Regulation of spraying 6-BA in the late jointing stage on the fertile floret development and grain setting in winter wheat. *Agronomy*, 9, 546. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090546>
27. Lian, X., Liu, S., Sikandar, A., Kang, Z. L., Feng, Y., Jiang, L., & Wang, Y. (2023). The influence of 6-benzylaminopurine (BAP) on yield responses and photosynthetic physiological indices of soybean. *Kuwait Journal of Science*, 50(2), 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2022.12.002>
28. Luo, H., Du, B., He, L., He, J., Hu, L., Pan, S., & Tang, X. (2019). Exogenous application of zinc (Zn) at the heading stage regulates 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) biosynthesis in different fragrant rice genotypes. *Scientific Report*, 9, 19513. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56159-7>
29. Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y., & Guo, T. (2017). Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 8, 860. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00860>
30. Mangena, P. (2022). Evolving role of synthetic cytokinin 6-benzyl adenine for drought stress tolerance in soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 992581.

- <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.992581>
31. Miralles, D. J., Richards, R., & Slafer, G. A. (2000). Duration of the Stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27(10), 931-940. <https://doi.org/10.1071/PP00021>
32. Moore, K. G., & Leach, R. W. (1968). The Effect of 6-Benzylaminopurine (benzyladenine) on senescence and chocolate spot (*Botrytis fabae*) of winter beans (*Vicia faba*). *Annals of Applied Biology*, 61, 65-76. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1968.tb04510.x>
33. Ning, P., Fei, P., Wu, T., Li, Y., Qu, C., Li, Y., Shi, J., & Tian, X. (2021). Combined foliar application of zinc sulphate and selenite affects the magnitude of selenium biofortification in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Food and Energy Security*, 11(1), e342. <https://doi.org/10.1002/fes3.342>
34. Omer, A. M., Osman, M. S., & Badawy, A. A. (2022). Inoculation with *Azospirillum brasilense* and/or *Pseudomonas geniculata* reinforces flax (*Linum usitatissimum*) growth by improving physiological activities under saline soil conditions. *Botanical Studies*, 63(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40529-022-00345-w>
35. Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Özkan, H., Braun, H., Sayers, Z., & Cakmak, I. (2006). Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum*, 128(1), 144-152. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00737.x>
36. Pavia, I., Roque, J., Rocha, L., Ferreira, H., Castro, C., Carvalho, A., Silva, E., Brito, C., Gonçalves, A., Lima-Brito, J., & Correia, C. (2019). Zinc priming and foliar application enhances photoprotection mechanisms in drought-stressed wheat plants during anthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 140, 27-42. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.028>
37. Prasad, R. B. (2022). Cytokinin and its key role to enrich the plant nutrients and growth under adverse conditions- An update. *Frontiers in Genetics*, 13, 1-4. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.883924>
38. Puente, M. L., Maroniche, G. A., Panepucci, M., Sabio, Y., García, J., Garcia, J. E., Criado, M. V., Molina, R. M., & Cassan, F. D. (2020). Localization and survival of *Azospirillum brasilense* Az39 in soybean leaves. *Letters in Applied Microbiology*, 72(5), 626-633. <https://doi.org/10.1111/lam.13444>
39. Ren, B., Zhang, J., Dong, S., Liu, P., & Zhao, B. (2017). Regulations of 6-Benzyladenine (6-BA) on leaf ultrastructure and photosynthetic characteristics of waterlogged summer maize. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(1-2), 743-754. <https://doi.org/10.1007/s00344-017-9677-7>
40. Saha, B. N., Saha, S., Saha, S., Deb Roy, P., Bhowmik, A., & Hazra, G. C. (2020). Zinc (Zn) application methods influences Zn and iron (Fe) bioavailability in brown rice. *Cereal Research Communications*, 48(93), 293-299. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00038-9>
41. Sattar, A., Wang, X., Abbas, T., Sher, A., Ijaz, M., Ul-Allah, S., Irfan, M., Butt, M., Wahid, M. A., Cheema, M., Fiaz, S., Qayyum, A., Ansari, M. J., Alharbi, S. A., Wainwright, M., Ahmad, F., Xie, K., & Zuan, A. T. (2021). Combined application of zinc and silicon alleviates terminal drought stress in wheat by triggering morpho-physiological and antioxidants defense mechanisms. *PLoS ONE*, 16, e0256984. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256984>
42. Sattar, A., Wang, X., Ul-Allah, S., Sher, A., Ijaz, M., Irfan, M., Abbas, T., Hussain, S., Nawaz, F., Al-Hashimi, A., Al Munqedhi, B. M., & Skalicky, M. (2022). Foliar application of zinc improves morpho-physiological and antioxidant defense mechanisms, and agronomic grain biofortification of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3), 1699-1706. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.061>
43. Tsonev, T., & Lidon, F. J. C. (2012). Zinc in plants-An overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(4), 322-333.
44. Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Tang, H., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y., & Huang, G. (2020). The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture*, 10(9), 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>
45. Vylicilova, H., Bryksova, M., Matuskova, V., Dolezal, K., Plihalova, L., & Strnad, M. (2020). Naturally occurring and artificial N9-cytokinin conjugates: From synthesis to biological activity and back. *Biomolecules*, 10(6), 832. <https://doi.org/10.3390/biom10060832>
46. Wu, X., Gong, D., Zhao, K., Chen, D., Dong, Y., Gao, Y., Wang, Q., & Hao, G. (2024). Research and development trends in plant growth regulators. *Advanced Agrochem. Advanced Agrochem*, 3(1), 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.aac.2023.11.005>
47. Xia, H., Xue, Y., Liu, D., Kong, W., Xue, Y., Tang, Y., Li, J., Li, D., & Mei, P. (2018). Rational application of fertilizer nitrogen to soil in combination with foliar Zn spraying improved Zn nutritional quality of wheat grains. *Frontiers in Plant Science*, 9, 677. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00677>
48. Xie, R., Zhao, J., Lu, L., Brown, P. H., Guo, J., & Tian, S. (2020). Penetration of foliar-applied Zn and its impact on apple plant nutrition status: *in vivo* evaluation by synchrotron-based X-ray fluorescence microscopy. *Horticulture Research*, 7(1), 147. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00369-y>
49. Yang, D. Q., Luo, Y. L., Dong, W. H., Yin, Y. P., Li, Y., & Wang, Z. L. (2018). Response of photosystem II performance and antioxidant enzyme activities in stay-green wheat to cytokinin. *Photosynthetica* 56(2), 567-577.

- <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0708-1>
50. Yuan, J., Li, Y., Shan, Y., Tong, H., & Zhao, J. (2023). Effect of magnesium ions on the mechanical properties of soil reinforced by microbially induced carbonate precipitation. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 35(11). <https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-15080>
 51. Zalewski, W., Orczyk, W., Gasparis, S., & Nadolska-Orczyk, A. (2012). *HvCKX2* gene silencing by biolistic or agrobacterium-mediated transformation in barley leads to different phenotypes. *BMC Plant Biology*, 12(1), 206. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-206>
 52. Zarea, M. J. (2023). Effect of foliar application of zinc and exogenous application of proline on yield and grain Zn and P content in a wheat durum cultivar Saji under drought stress condition. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 2(3), 269-287. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22126/cbb.2024.9987.1061>
 53. Zarea, M. J. (2017). *Azospirillum* and wheat production. in V. Kumar, M. Kumar, S. Sharma and R. Prasad (eds.) *Probiotics in Agroecosystem*. Springer, Singapore. Pp. 329-348. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4059-7_17
 54. Zarea, M. J., & Karimi, N. (2023a). Grain yield and quality of wheat are improved through post-flowering foliar application of zinc and 6-benzylaminopurine under water deficit condition. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1068649. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1068649>
 55. Zarea, M. J., & Karimi, N. (2023b). Zinc-Regulated *P5CS* and sucrose transporters *SUT1B* expression to enhance drought stress tolerance in wheat. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(9), 5831-5841. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-10968-3>
 56. Zhang, G., Zhao, Z., Yin, X., & Zhu, Y. (2021). Impacts of biochars on bacterial community shifts and biodegradation of antibiotics in an agricultural soil during short-term incubation. *The Science of The Total Environment* 771(6), 144751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144751>
 57. Zhang, W., Wang, B., Zhang, A., Zhou, Q., Li, Y., Li, L., Ma, S., Fan, Y., & Huang, Z. (2022). Exogenous 6-benzylaminopurine enhances waterlogging and shading tolerance after anthesis by improving grain starch accumulation and grain filling. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1003920. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1003920>
 58. Zhang, W., Wang, J., Huang, Z., Mi, L., Xu, K., Wu, J., Fan, Y., Ma, S., & Jiang, D. (2019). Effects of low temperature at booting stage on sucrose metabolism and endogenous hormone contents in winter wheat spikelet. *Frontiers in Plant Science*, 10, 498. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00498>
 59. Zhang, Z., Huang, J., Gao, Y., Liu, Y., Li, J., Zhou, X., Yao, C., Wang, Z., Sun, Z., & Zhang, Y. (2020). Suppressed ABA signal transduction in the spike promotes sucrose use in the stem and reduces grain number in wheat under water stress. *Journal of Experimental Botany*, 71(22), 7241-7256. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa380>
 60. Zhu, Y., Chu, J., Dai, X., & He, M. (2019). Delayed sowing increases grain number by enhancing spike competition capacity for assimilates in winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 104, 49-62. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.01.006>
 61. Zou, C., Zhang, Y., Rashid, A., Ram, H., Savaşlı, E., Arısoy, R. Z., Ortiz-Monasterio, I., Simunji, S., Wang, Z., Sohu, V. S., Hassan, M., Kaya, Y., Onder, O., Lungu, O. I., Mujahid, M. Y., Joshi, A. K., Joshi, A. K., Zelenskiy, Y., Zhang, F., & Cakmak, I. (2012). Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. *Plant and Soil*, 361(1-2), 119-130. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1369-2>



The Effect of Sowing Date on Yield and Quality Characteristics of Autumn Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars in Gonbad Kavous

E. Paserakloo¹, A. Biabani^{2*}, S. Yarahamdi³, A. Saberi⁴, M. Naeemi⁵, F. Taliei⁵

1- Ph.D. Student, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

2- Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

3- Assistant Professor, Horticulture-Crops Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

4- Associate Professor, Horticulture-Crops Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

5- Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

(*- Corresponding Author Email: abbas.biabani@gonbad.ac.ir)

Received: 29 February 2024

Revised: 18 May 2024

Accepted: 20 May 2024

Available Online: 08 December 2024

How to cite this article:

Paserakloo, E., Biabani, A., Yarahamdi, S., Saberi, A., Naeemi, M., & Taliei, F. (2025). The effect of Sowing Date on Yield and Quality Characteristics of Autumn Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars in Gonbad Kavous. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(4), 419-439. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87077.1311>

Introduction

In many countries of the world, sugar production is one of the essential aspects of their agricultural economy, and in the meantime, the sugar beet plant, which is cultivated exclusively as a source of sucrose, plays an important role. In recent years, many studies have been conducted in Iran on various aspects of crop, breed, quality and other agricultural characteristics of autumn sugar beet. The results of this research confirm that sugar beet can be introduced as an important and effective autumn crop in the susceptible periodic system. One of the important factors in sugar beet root production is the sowing date, which affects the duration of the vegetative and reproductive growth period and the balance between them, and ultimately affects its quantitative and qualitative yield, so one of the general policies of the agricultural sector is to increase the production of this product. Several factors affect the formation of sugar beet yield. One of them is the bolting phenomenon. Flower formation is a phenomenon that in the sugar beet plant, it is known as bolting. In bolting root yield and root quality of flowering plants are reduced. The cultivars differ in bolting response. The genotype is important factor in Occurrence of the bolting phenomenon. Also, bolting rate between sowing dates is different.

Materials and Methods

The aim of the present study was to investigate the quality and strength changes in the sugar beet in order to assess effect of different sowing dates and cultivars on sugar and root yield. To investigate the effect of planting date on yield, a field trial was conducted during 2021-2022 in Gonbad Kavous. The experiment followed a split-



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87077.1311>

plot arrangement with three cultivars and three replications- Iran. The experimental treatments were sowing dates and cultivars. Sowing date was the main factor and varied as follows: 4 October (D1), 18 October (D2), 3 November (D3), 19 November (D4), and 1 December (D5) and cultivars: Monatunno (C1), Rosagold (C2), 061 (C3) as sub-plot was considered. The origin of cultivars Monatunno, Rosagold and SBSI 061 is Kuhn & Co, Hilleshog and SBSI, respectively, also all cultivars are monogerm and bolting resistance with high yield potential. In analysis of traits first, the data were tested for normal distribution and variance homogeneity. A variance uniformity test was performed using the Bartlett's test (Arsham and Lovric, 2011). Statistical analysis was carried out with Statistical Analysis Software (SAS Institute Inc., Version 9.4). The means were compared with least significant difference test at the 5% level. Correlation test and Biplot analysis performed with XLSTAT. Ver. 2016.

Results and Discussion

The results of the research showed that the yield was affected by the planting date and variety. Monatono and Rosagold cultivars had the highest sugar yield on the first and second planting dates, because timely cultivation by absorbing maximum solar radiation leads to an increase in yield.

Conclusion

Comparison of the experimental treatment averages revealed that all cultivars achieved the highest sugar yield on the first and second planting dates. Timely planting optimizes the vegetative and reproductive growth periods, allowing maximum sunlight absorption, which in turn enhances root and sugar yield. Based on the findings and the analysis of quality trait changes, it is recommended that beet growers in Golestan Province cultivate the Rosagold and Monatuno cultivars during the first two planting dates to achieve maximum sugar yield per unit area.

Keywords: Sugar beet, Production efficiency, Solar radiation, Sowing date, Yield

مقاله پژوهشی

جلد ۲۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص ۴۳۹-۴۱۹

اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و خصوصیات کیفی ارقام چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) پاییزه در منطقه گنبد کاووس

انسبه پسرکلو^۱، عباس بیابانی^{۲*}، سعید یاراحمدی^۳، علیرضا صابری^۴، معصومه نعیمی^۵، فاخرک طلیعی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۳۱

چکیده

یکی از سیاست‌های کلی کشاورزی در جهت افزایش عملکرد، تنظیم عوامل مؤثر بر تولید، از قبیل تاریخ کاشت است که بر طول دوره رشد رویشی و زایشی و تعادل بین آن‌ها و در نهایت، بر عملکرد کمی و کیفی آن تأثیر می‌گذارد. بنابراین هدف از این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت و سازگارترین رقم در منطقه گنبد به‌عنوان عوامل زراعی مؤثر در افزایش راندمان تولید شکر است. به‌منظور بررسی اثر تاریخ کاشت پاییزه چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) بر عملکرد آن، آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. عامل اصلی تاریخ کاشت در پنج سطح (۱۰ مهر، ۲۵ مهر، ۱۰ آبان، ۲۵ آبان و ۵ آذر) و عامل فرعی رقم در سه سطح (موناتونو، روزاگلد و SBSI 061) بود. نتایج پژوهش نشان داد که عملکرد تحت تأثیر تاریخ کاشت و رقم قرار گرفت. ارقام موناتونو و روزاگلد، بیشترین عملکرد را داشتند. میانگین‌های تیمارهای آزمایشی نشان داد که تمامی ارقام کشت‌شده، بیشترین عملکرد قند را در تاریخ کاشت اول و دوم داشتند. عملکرد ریشه در رقم رزاگلد در تاریخ کاشت اول، بیشترین مقدار (به‌میزان ۱۳۰ تن در هکتار) و رقم ۰۶۱ در تاریخ‌های کاشت چهارم و پنجم، کمترین مقدار (به‌میزان ۳۶/۲۵ تن در هکتار) بود. بالاترین مقدار عملکرد شکر سفید طی هر دو سال زراعی مورد مطالعه، در دو تاریخ کاشت اول در رقم رزاگلد (۲۴/۲۶ و ۱۳/۸ تن در هکتار) حاصل شد، درحالی‌که کمترین میزان شکر سفید در رقم ۰۶۱ با مقادیر ۵/۷۴ و ۵/۵۰ تن در هکتار به‌دست آمد. در نهایت، براساس بررسی نتایج این آزمایش و تجزیه و تحلیل اطلاعات تغییرات صفات کیفی، کشت ارقام روزاگلد و موناتونو در دو تاریخ کاشت اول به‌منظور دستیابی به حداکثر عملکرد قند در واحد سطح به چغندرکاران شرق استان گلستان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، تشعشع خورشیدی، چغندر قند، راندمان تولید، عملکرد

مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) به‌عنوان گیاه زراعی صنعتی مهم، یکی از دو منبع استحصال شکر در جهان به‌شمار می‌رود. در بسیاری از کشورهای جهان، تولید شکر یکی از جنبه‌های ضروری اقتصاد کشاورزی آن‌ها بوده و در این بین، گیاه چغندر قند که منحصراً به‌عنوان منبع ساکارز کشت می‌شود، نقش مهمی را ایفا می‌کند (Lubova et al., 2018). ایران یکی از شش کشور جهان محسوب می‌شود که شرایط رشد و تولید شکر از هر دو محصول چغندر قند و نیشکر را دارا است. برنامه‌ریزی برای افزایش تولید این گیاهان زراعی به‌منظور دستیابی به خودکفایی و جلوگیری از واردات شکر ضروری

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
 - ۲- استاد، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
 - ۳ و ۴- به‌ترتیب استادیار و دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
 - ۵- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
- (*)- نویسنده مسئول: (Email: abbas.biabani@gonbad.ac.ir)

است (Bayomi, El-Hashash, & Moustafa, 2019). یکی از عوامل مهم در تولید چغندر، تاریخ کاشت می‌باشد که بر طول دوران رشد رویشی و زایشی و توازن بین آن‌ها و در نهایت، بر عملکرد کمی و کیفی تأثیر می‌گذارد (Grimmer et al., 2007). مطالعات مختلفی در چغندرقند، تأثیر ژنوتیپ و محیط بر عملکرد آن را بررسی کرده‌اند (Wolfgang et al., 2020).

طی سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در ایران روی جنبه‌های مختلف به‌زراعی، به‌نژادی، کیفیت و سایر خصوصیات زراعی چغندرقند پاییزه انجام شده است. نتایج این تحقیقات مؤید آن است که می‌توان چغندرقند را به‌عنوان یک محصول پاییزه مهم و اثرگذار در سیستم تناوبی مستعد معرفی کرد. مهم‌ترین عاملی که می‌توان آن را به‌عنوان شاخصی بارز برای اولویت و برتری کشت پاییزه چغندرقند نسبت به کشت بهاره معرفی کرد، استفاده بهینه از نزولات آسمانی در طول دوره رشد و کارایی مصرف آب بالاتر در زراعت چغندرقند پاییزه است. این موضوع هنگامی اهمیت بیشتری می‌یابد که در ایران، آب عامل اصلی محدودکننده کشاورزی قلمداد می‌شود (Langden & Thomas, 1989). محصولات پاییزه پیش از ورود به دوره زمستان، شاخص سطح برگ خود را به‌طور قابل توجهی توسعه می‌دهند، این امر باعث می‌شود که دریافت تشعشع خورشیدی در بهار سال بعد بیشتر شود. بر همین اساس، کاشت پاییزه چغندرقند می‌تواند مناسب‌تر باشد (Hoffmann & Kluge-Severin, 2010).

ریچتر و همکاران (Richter, Semenov, & Jaggard, 2006) توسعه فصل رشد از طریق کاشت زود هنگام و برداشت دیر هنگام چغندرقند را به‌عنوان راهکاری جهت مقابله با کاهش تولید شکر معرفی نمودند.

ناخالصی‌های غیرقندی مانند سدیم (Na)، پتاسیم (K) و نیتروژن مضره (α -amino N) موجود در چغندرقند بر کیفیت آن و همچنین فرآیند استخراج قند تأثیر می‌گذارد. نیاز است که به‌منظور افزایش قند قابل استحصال، میزان این ناخالصی‌ها کاهش یابد (Pi et al., 2014). میزان سدیم و پتاسیم، جزو شاخص‌های بسیار مهم کیفیت چغندرقند می‌باشند، این ترکیبات به لحاظ تکنولوژی تولید قند و شکر از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت چغندرقند هستند، زیرا این ترکیبات به‌شدت ملاس‌زا بوده و راندمان تولید را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهند. با تأخیر در تاریخ کاشت و گرم شدن هوا، رشد رویشی گیاه مجدداً شروع می‌شود و نیتروژن مورد نیاز را مجدداً از خاک جذب می‌نماید که منجر به تجمع نیتروژن مضره در گیاه می‌شود (Kandil, 2004).

رشد، عملکرد و کیفیت چغندر تحت تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت قرار می‌گیرد. گزارش شده است که کاشت زود هنگام چغندر (در ماه‌های شهریور تا مهر)، عملکرد قند و محتوای ساکارز بالاتری در واحد سطح در مصر ایجاد کرد. کاشت دیر هنگام چغندرقند در ماه

آبان باعث کاهش عملکرد، طول و قطر و همچنین محتوای قند در مقایسه با کاشت زود هنگام در اکتبر شد (Zarski, Vark, Houba, 2020). کندیل و همکاران (Kandil, Badawi, 2004) و Vanderlee, 2020). صفات وزن خشک ریشه، شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی و میزان جذب خالص را در تاریخ‌های کاشت متفاوت اندازه‌گیری کردند که مطلوب‌ترین تاریخ کاشت آن‌ها، ۱۵ مهر اعلام شد. طی مطالعه‌ای نشان داده شد که ترکیبات جامد محلول کل، درصد قند کل و درصد قند ساکارز به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار دارند. در مطالعه‌ای که در نزدیکی ریاض (عربستان سعودی) انجام شد نیز، تاریخ کاشت مطلوب ۱۵ مهر اعلام شد که در این تاریخ، بالاترین عملکرد ریشه و مطلوب‌ترین کیفیت حاصل شد. اثر متقابل بین تاریخ کاشت و تراکم نیز با عملکرد ریشه ارتباط معنی‌دار داشت (Refay, 2010). کاهش عملکرد ناشی از تأخیر در زمان کاشت با تفاوت دوره دمایی موجود در بین دو تاریخ کاشت مطلوب و تأخیری قابل توجیه است.

در پژوهشی، عملکرد پنج رقم در تاریخ کشت‌هایی از شهریور تا آذر مورد بررسی قرار گرفتند. با افزایش طول فصل رشد، عملکرد چغندرقند افزایش یافت. اولین تاریخ‌های کاشت، بیشترین عملکرد را داشتند. کمترین میزان عملکرد (۴۲ تا ۶۹ تن در هکتار) در تاریخ کشت‌های اواخر آذر ۲۰۱۲ و اواسط آبان ۲۰۱۳ به‌دست آمد (Richter et al., 2006). طی پژوهشی نشان داده شد که تاریخ کاشت، تاریخ برداشت و اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت با عملکرد قند در سطح یک درصد ارتباط معنی‌دار داشتند، همچنین گزارش شد که با تأخیر در برداشت، اختلاف میزان قند حاصل در تاریخ‌های کاشت متفاوت کاهش می‌یابد. عوامل اصلی که در این مطالعه بر عملکرد قند تأثیرگذار بودند، درجه روز رشد (GDD) و تعداد روز از کاشت تا برداشت بود (Rinaldi & Vonella, 2006). به‌منظور بررسی تأثیر تاریخ کاشت (مهر، آبان و آذر) و رقم (موناتونو و Kaweinterpoly) بر رشد، عملکرد و کیفیت شکر، مطالعه‌ای در جنوب اسپانیا انجام شد که نشان داد شرایط آب‌وهوایی بر تجمع ماده خشک و رشد برگ تأثیر می‌گذارد، بنابراین کاشت زودتر چغندرقند (کاشت در مهر ماه) که موجب قرارگیری آن در شرایط دمایی مطلوب‌تر می‌شود، سبب تولید مقدار بیشتری ماده خشک می‌گردد که این امر منجر به افزایش عملکرد ریشه و قند شد (Garcia & Bellido, 1986).

جهانی‌مقدم و همکاران (Jahani Moghadam, Parsa, 2015) در ارزیابی اثر ارقام و تاریخ کاشت بر خصوصیات کیفی و کمی چغندرقند در خراسان رضوی گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد ریشه در تاریخ کاشت اول (اول مهر) در ارقام مراک و موناتونو به‌ترتیب با ۵۴/۲ و ۵۴/۳ تن در هکتار و کم‌ترین آن در تاریخ کاشت دوم (بیستم مهر) در ارقام شریف و موناتونو مشاهده شد. همچنین بیش‌ترین عملکرد قند ناخالص و قند

یوسف‌آبادی (Yousefabadi, 2013) در مقایسه عملکرد کمی و کیفی ارقام مقاوم به بولتینگ (ساقه‌روی) چغندر قند در شرایط استان گلستان مشاهده نمودند که ارقام مختلف از نظر ضریب استحصال با یکدیگر تفاوت دارند و دامنه ضریب استحصال نه رقم مورد آزمایش در این تحقیق از ۶۷/۹ تا ۷۵/۵ درصد متغیر بود. آن‌ها همچنین گزارش نمودند که در دو منطقه آق‌قلا و گنبد علاوه‌بر پایین بودن ضریب استحصال، مناطق مذکور نیز از این بُعد نیز با یکدیگر تفاوت داشتند، به‌طوری‌که مقدار ضریب استحصال برای این دو منطقه به‌ترتیب ۶۷/۴ و ۷۶/۶ درصد بوده است. آن‌ها علت اصلی پایین بودن ضریب استحصال در این مناطق را بالا بودن ناخالصی‌های ریشه (سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره) اعلام نمودند.

براساس مطالعه انجام‌شده توسط وحیدی و همکاران (Vahidi, Sadeghzadeh Hamaiti, Rajabi & Yarnia, 2016) با موضوع بررسی اثر دو تاریخ کاشت (اواسط فروردین و اواخر خرداد) و شش رقم بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند در کرج، اعلام شد که عملکرد بالقوه ریشه و عملکرد قند به‌دلیل تأخیر در کاشت حدود ۳/۵-۳/۸ درصد در هفته کاهش یافتند.

حسین‌پور و بابایی (Hosseinpour & Babaei, 2017) در بررسی علت پایین بودن ضریب استحصال شکر در کشت پاییزه چغندر قند استان گلستان توصیه نمودند که با توجه به تأثیر منطقه و رقم بر عملکرد، عیار و ناخالصی ریشه، بهتر است که در این خصوص، مطالعه بیشتری به عمل آید و تولید چغندر قند در مناطق مستعدتر استان و با استفاده از ارقام با کیفیت بهتر انجام شود.

تعیین مناسب‌ترین زمان کاشت چغندر قند، یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی کشت این محصول است. محدودیت اصلی در کشت زودهنگام چغندر قند بهاره، خطر بروز یخبندان بعد از سبز شدن و در مرحله گیاهچه‌ای می‌باشد. بر این اساس، جلیلیان و نجفی (Jalilian & Najafi, 2016) مطالعه‌ای را بر روی تاریخ کشت در سه منطقه اسلام‌آباد غرب، کنگاور و کرمانشاه (شامل شهرستان‌های صحنه، بیستون و ماهدشت) انجام دادند، نتایج حاصل نشان داد که زودترین تاریخ کشت قابل توصیه که کمترین خطر خسارت یخ‌زدگی (کمتر از ۲۰ درصد) برای گیاهچه چغندر قند را داشته باشد، در کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب و کنگاور به‌ترتیب در محدوده ۲۷ اسفند، دوم و بیستم فروردین ماه است.

چغندر قند گیاهی دوساله است که در سال اول، ریشه و در سال دوم، بذر تولید می‌کند. بعضی از بوته‌ها در سال اول به‌دلیل کاهش دما، ساقه گل‌دهنده تولید می‌کنند که به آن ساقه‌روی یا بولتینگ می‌گویند. در سال‌هایی که میانگین درجه حرارت ماه‌های زمستان به کمتر از ۲۹ درجه سانتی‌گراد برسد، گیاه ورنالیزه شده و در بهار به‌دلیل ظهور ساقه گل‌دهنده، ریشه‌ها خشبی و فیبری می‌شوند. طبق مطالعات صادقیان مطهر (Sadeghian Motahar, 1994) وجود

سفید در رقم مراک در تاریخ کاشت اول (اول مهر) به‌دست آمد، همچنین بیش‌ترین درصد قند نیز در رقم موناتونو در تاریخ کاشت دوم (بیستم مهر) به‌میزان ۲۲/۱ درصد بود.

صادق‌زاده حمایتی و همکاران (Sadegh Zadeh Hemaia et al., 2013) آزمایشی با سه تاریخ کاشت (پانزدهم شهریور، مهر و آبان) و پنج رقم (رسول، مونوتونا، ۹۵۹۷ (شاهد حساس)، SBSI002 و SBSI003) در جیرفت انجام دادند و نتایج آن حاکی از تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت بر عملکرد شکر سفید بود، به‌نحوی‌که کاهش طول دوره رشد به‌مدت دو ماه (ناشی از تأخیر در زمان کاشت) موجب کاهش عملکرد شکر سفید به‌میزان ۷۲/۵ درصد شد.

توسعه کشت پاییزه چغندر قند یکی از راهکارهای مهم جهت تأمین شکر مورد نیاز کشور محسوب می‌شود. ارقام جدید مقاوم به پدیده ساقه رفتن (بولتینگ)، امکان توسعه کشت پاییزه چغندر قند در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر کشور را فراهم می‌کنند. بر این اساس، مطالعه‌ای توسط طالقانی و همکاران (Taleghani, Mohammadian & Sadeghzadeh Saghadi, 2012) انجام شد که در آن به بررسی اثر سه سطح تاریخ کاشت (اوایل مهر، نیمه مهر و اوایل آبان) روی سه رقم (مقاوم، نیمه‌مقاوم و حساس به پدیده ساقه رفتن) در مغان انجام شد و نتایج نشان داد که اثر رقم بر میزان ساقه رفتن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. میزان ساقه روی رقم حساس (۸۹/۷۵ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم‌های متحمل (۱۲/۲۳ درصد) و نیمه‌متحمل (۴۱/۷۸ درصد) به ساقه رفتن بود. از طرفی، اثر زمان کاشت بر عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید معنی‌دار نشد. بنابراین، می‌توان از طریق تنظیم دو عامل تاریخ کاشت و انتخاب رقم مقاوم و حتی تولید بذر در مناطق معتدل تا حدودی مانع از ساقه رفتن بوته‌های چغندر قند شد.

نتایج آزمایش‌های طالقانی و صادق‌زاده (Taleghani & Sadegh Zadeh, 2012) در استان گلستان نشان داده است که موفقیت کشت پاییزه چغندر قند علاوه‌بر وجود ارقام با مقاومت بالا به بولتینگ، به شاخص‌های کیفی به‌ویژه ضریب استحصال بستگی دارد، همچنین طی آزمایش‌های سه ساله در شهرستان آق‌قلا استان گلستان مشاهده شد که ضریب استحصال چغندر قند پاییزه پایین و مقدار آن در دامنه ۴۵ تا ۷۲ درصد متغیر بوده است.

در مطالعه انجام‌شده توسط عبداللهی و همکاران (Abdullahi, Hatami, Yusufabadi, & Ashraf, 2018) با چهار سطح تاریخ کاشت (۱ مهر، ۲۰ مهر، ۱۰ آبان و ۳۰ آبان) و روی دو رقم (شریف و اسپارتاک)، تاریخ کاشت بر عملکرد ریشه، عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید اثر معنی‌دار داشت. اوایل مهرماه، مطلوب‌ترین تاریخ کاشت معرفی شد که عملکرد شکر سفید در این تاریخ، حدود ۱۴/۰۸ تن در هکتار بود و رقم اسپارتاک نیز به‌عنوان رقم مناسب جهت کاشت معرفی شد.

افزایش راندمان تولید شکر است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس واقع در استان گلستان در طول جغرافیایی ۱۰ دقیقه و ۱۲ درجه شرقی و عرض ۳۷ دقیقه و ۱۶ درجه شمالی و با ۴۵ متر ارتفاع از سطح دریای آزاد انجام شد. اقلیم گنبد، نیمه‌خشک و نیمه‌گرمسیر است و متوسط بلندمدت بارش آن، حدود ۴۰۰ میلی‌متر است. طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. بذور مورد نیاز از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند کشور تهیه گردید. تیمارهای آزمایشی شامل دو عامل اصلی و فرعی در این طرح مورد بررسی قرار گرفتند. عامل اصلی تاریخ کاشت در پنج سطح مختلف شامل ۱۰ مهر، ۲۵ مهر، ۱۰ آبان، ۲۵ آبان و ۵ آذر و عامل فرعی رقم در سه سطح شامل موناتونو، رزآگلد و SBSI 061 بودند که در مجموع، تعداد ۱۵ تیمار در هر تکرار کشت شد. سه رقم مورد مطالعه همگی مونوزرم و مقاوم به ساقه‌روی (بولتینگ) و دارای پتانسیل عملکرد بالا برای انجام آزمایش بودند. دو رقم موناتونو و رزآگلد، ارقام خارجی و رقم 061 ایرانی بود. ارقام مورد مطالعه، محل آزدسازی و خصوصیات ارقام در جدول ۱ آمده است.

بیش‌ازحد ساقه‌های گل‌دهنده موجب پایین آمدن درصد قند، عملکرد ریشه و خلوص شربت خام می‌شود، بنابراین یکی از عوامل مهم در توسعه کشت پاییزه استفاده از ارقام مقاوم به ساقه‌روی است. محققان تحقیقات به‌نژادی چغندر قند، اصلاح ارقام پاییزه مقاوم به ساقه‌روی که یکی از محدودیت‌های اصلی کشت چغندر قند پاییزه می‌باشد را در برنامه‌های اصلاحی خود قرار داده‌اند، زیرا کشت پاییزه چغندر قند از نظر کاهش مصرف آب و هزینه‌های تولید بسیار به‌صرفه‌تر از کشت بهاره است، بنابراین تلاش در جهت توسعه کشت پاییزه این گیاه حائز اهمیت است.

در مطالعه‌ای، نبی‌پور و همکاران (Nabipour, Habibi, Ahmadi, Taleghani, & Kashani, 2017) با بررسی اثر دو تاریخ کاشت ۷ و ۲۷ مهر ماه بر روی پنج رقم چغندر قند پاییزه گزارش کردند که رقم شریف، بیش‌ترین درصد ساقه‌روی (۱۶/۶۲ درصد) و رقم گیادا کم‌ترین میزان ساقه‌روی (۰/۱۲ درصد) را داشتند. همچنین میزان ساقه‌روی در تاریخ کاشت ۷ مهر به‌طور معنی‌داری بیشتر از تاریخ کاشت ۲۷ مهر بود.

با توجه به این که کشت چغندر قند پاییزه طی چند سال اخیر در استان گلستان رواج یافته است و از طرفی، چغندر از لحاظ اقتصادی محصولی ارزشمند است، لذا یکی از سیاست‌های کلی بخش کشاورزی، افزایش تولید این محصول در نظر گرفته شده است. بنابراین، هدف از این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت و سازگارترین رقم در منطقه گنبد به‌عنوان عوامل زراعی مؤثر در

جدول ۱- ویژگی ارقام مورد مطالعه چغندر قند در آزمایش بررسی تاریخ کاشت پاییزه چغندر قند و محل آزدسازی آن‌ها

Table 1- Characteristics of sugar beet cultivars studied in the experiment to check the date of autumn sowing of sugar beet and their release location

رقم Cultivar	تیپ رشدی Growth type	کشور مبدا The origin country	طول دوره رشد Length of growth period (Day)	درصد قند Sugar percentage	عملکرد شکر سفید White sugar yield (t ha ⁻¹)	عملکرد ریشه Root yield (t ha ⁻¹)
موناتونو Monatunno	قندی- پاییزه Sugary-autumn	سوئد Sweden	220-240	کم Low	زیاد High	زیاد High
رزآگلد Rosagold	قندی- پاییزه Sugary-autumn	هلند Netherlands	220-240	زیاد High	متوسط Average	متوسط Average
061 SBSI 061	قندی- پاییزه Sugary-autumn	ایران Iran	220-240	کم Low	متوسط Average	زیاد High

قبلی و نهایتاً دیسک زده شد. پس از تسطیح، کود مرغی پلیت‌شده به‌میزان یک تن پخش گردید. براساس توصیه بخش تحقیقات خاک و آب، مقدار کودهای اصلی به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات (از منبع سوپر فسفات تریپل) و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (از منبع سولفات پتاسیم) به‌ازای کل مساحت زمین، قبل از کاشت به‌طور یکنواخت در کرت‌ها توزیع گردید. پس از آن، میزان ۱/۴۴ کیلوگرم در

قطعات مورد نظر برای انجام کاشت در هر دو سال زیر کشت گندم بودند. قبل از اجرای آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۲). در شهریور ماه جهت تهیه بستر کاشت اقدام گردید. مراحل تهیه و آماده‌سازی زمین شامل تسطیح لیزری و زیرشکن در جهت طولی انجام شد. زیرشکن دوم در جهت طولی بین ردیف‌های

شدند و طی یک تا دو روز پس از کاشت، آبیاری توسط آبیاش بارانی انجام شد و تا زمان سبز شدن، رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی حفظ شد و آبیاری براساس نیاز گیاه و مرحله رشدی، هر ۱۰ تا ۱۵ روز تکرار شد.

هکتار فسفات آمونیوم به صورت سرک طی دو مرحله اعمال شد. همچنین عملیات کولتیوایسون، مبارزه با علف هرز، مبارزه با آفات طوری انجام شد تا مزرعه عاری از علف هرز و آفت باشد. پس از تصادفی کردن تیمارها برای هر سال به طور جداگانه، کرت‌ها براساس تقویم زمانی به صورت دستی و خشکه کاری کشت

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر)
Table 2- Physical and chemical properties of the soil of the test site in Gonbad kavous agricultural research (depth 0-30 cm)

بافت خاک Soil texture	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن کل N (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic C (%)	آهک Lime (%)
سیلت-لومی Silt-loam	895	11.4	9.52	1.2	7.7	1	18-19

سرب مخلوط شد. پس از انتقال مخلوط به کیف صافی، شربت زلالی حاصل گردید. درصد قند (SC) به روش پلاریمتری^۲ (Russell, Alexander John, Rush George, & Hawkes George, 1971) با استفاده از دستگاه ساکاریمتر اندازه گیری شد. همچنین عملکرد قند ناخالص (SY)^۳ و میزان سدیم (Na)^۴ توسط دستگاه بتالایزر صفاتی اندازه گیری شد.

همچنین نیتروژن مضره (α-amino-N)^۵ به روش فلیم فتومتری^۶ (Dutton & Bowler, 1984) و پتاسیم (K)^۷ به روش نشر شعله ای (فلیم فتومتری) (Waling, Vark, Houba, & Vanderlee, 1989) اندازه گیری شد. نتایج حاصله جهت محاسبه میزان قند ملاس (MS)^۸ (Reinefeld, Emmerich, Baumgarten, Winner, & Beiss, 1974)، درصد قند سفید (قند قابل استحصال) (WSC)^۹، راندمان درصد قند قابل استحصال (ECS)^{۱۰} و ضریب قلیائیت (ALC)^{۱۱} به کار رفت.

ابتدا داده‌ها از نظر توزیع نرمال و همگنی واریانس مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمون یکنواختی واریانس با استفاده از آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام شد و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

پس از آماده سازی زمین به طرز مطلوب، کاشت انجام شد. فاصله بین بوته‌ها در ردیف ۲۰ سانتی متر، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی متر و عمق کاشت حدود دو سانتی متر در نظر گرفته شد. بین کرت‌ها، یک خط به صورت نکاشت به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. هر کرت اصلی شامل ۱۱ ردیف کاشت به طول هشت متر بود. عرض هر کرت ۵/۵ متر، مساحت کرت ۴۴ مترمربع، فاصله بین تکرارها یک متر و فاصله بین کرت‌ها از یکدیگر ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. تمامی ارقام با تراکم بالا در تاریخ‌های ذکر شده کشت شدند و پس از حصول اطمینان از استقرار بوته‌ها (مرحله چهار تا شش برگ حقیقی) عملیات تنک به صورت دستی توسط کارگر ماهر با در نظر گرفتن تراکم مطلوب بوته در هر مترمربع یعنی ۱۰ بوته با فاصله ۱۷-۲۰ سانتی متری انجام شد. همچنین پس از سبز شدن علف‌های هرز، از علف کش Betanal Progress (۷/۵ میلی لیتر در هکتار) و برای مهار آفات از سم دسیس (۲ میلی لیتر در هکتار) استفاده شد.

ریشه‌های چغندر قند پس از گذشت ۲۴۰ روز از کاشت آن‌ها، برداشت شدند. در برداشت نهایی با حذف دو ردیف کناری و حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه ای، از هفت ردیف وسط کرت یعنی در سطحی معادل ۴۲ مترمربع صورت گرفت. عملیات برداشت (شامل کندن و سرزنی چغندر قند) به صورت دستی و توسط نیروی کارگری انجام شد. اطلاعات تکمیلی هر کرت در کارتهای مخصوص درج و درون کیسه‌های مربوط به آزمایشگاه تهیه خمیر قرار گرفت. با توجه به نحوه انتخاب تصادفی بوته‌ها از نیم مترمربع از هر کرت، وزن مجموع تک ریشه‌های انتخابی اندازه گیری و نتایج عملکرد ریشه برحسب وزن تک ریشه گزارش شد. از مجموع ریشه‌های برداشت شده در هر حالت به ساقه رفته و به ساقه نرفته جداگانه با استفاده از دستگاه خمیرگیری به طور تصادفی تک‌آره‌ای (Venema Co., Netherland) نمونه خمیر تهیه شد. برای تجزیه کیفی هر نمونه خمیر تهیه شده، ۲۶ گرم خمیر با ۱۷۷ میلی لیتر استات

- 1- Sugar content
- 2- Polarimetry
- 3- Sugar yield
- 4- Sodium
- 5- α-amino-nitrogen
- 6- Flame photometry
- 7- Potassium
- 8- Molasses sugar
- 9- White sugar content
- 10- Extraction coefficient of sugar
- 11- Alkalinity

شرایط آب‌وهوایی

۱۴۰۱ به‌ترتیب ۷۱۵ و ۵۲۱ میلی‌متر بود. داده‌های آب‌وهوایی در دو سال اجرای آزمایش نشان داد که میانگین دمای حداقل روزانه در سال اول نسبت به سال دوم پایین‌تر بود و باعث طولانی‌تر شدن مرحله رشد رویشی گیاه در سال اول گردید، از طرف دیگر بیش‌تر بودن مجموع بارندگی و میزان تشعشع در این مرحله رشدی، شرایط را برای تولید و تجمع بیش‌تر مواد فتوسنتزی در اندام‌های ذخیره‌ای ریشه مهیا نمود (جدول ۳).

مقایسه داده‌های هواشناسی نشان داد که میانگین دماهای حداقل به‌ترتیب برای فصول زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ معادل ۱۲/۶ و ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد بود که در سال اول آزمایش ۰/۶ درجه سانتی‌گراد کمتر از سال دوم بود. میانگین دمای حداکثر نیز در فصول زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ به‌ترتیب ۲۳/۹ و ۲۴/۱ درجه سانتی‌گراد بود که در سال اول آزمایش کم‌تر از سال دوم بود. همچنین مجموع بارندگی طی فصول زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱

جدول ۳- جدول داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی گنبد کاووس در فاصله سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۰۲
Table 3- Meteorological data table of Kavous dome meteorological station between 1400-1402

ماه Month	ساعات آفتابی Sunny hours (mm)			میزان بارندگی Rainfall (h)		
	Long time (1984- 2019)	2021	2022	Long time (1984- 2019)	2021	2022
مهر September	162.3	223	226.7	50.8	55.5	51.8
آبان October	195.8	161.9	162.5	43.0	37.3	136.2
آذر November	253.4	117.3	159.6	19.4	48.8	10.2
دی December	232.7	136.4	156.1	24.2	126.3	9.7
بهمن January	250.9	147.6	196.5	19.0	127.3	84.4
اسفند February	225.6	175.9	136	31.0	121.4	59.3
فروردین March	205.2	133.4	119.1	56.5	74.7	64
اردیبهشت April	167.1	239.9	190.3	61.1	51.2	47.1
خرداد May	136.4	296.7	308.6	53.4	0.6	2.4
تیر June	140.7	196.5	301.1	45.7	39.6	28.6
مرداد July	138.7	225.6	232.1	59.1	7.8	8.2
شهریور August	133.7	222.7	285.1	58.1	24.5	19.5
مجموع Sum	2242.5	2276.9	2273.7	521.4	715	521
میانگین Average	186.9	189.7	206.1	80.20	110	80.18

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در این آزمایش نشان داد که تیمار تاریخ‌های کاشت چغندر قند طی هر دو سال زراعی مطالعه شده در تمام صفات کیفی اختلاف معنی‌داری از خود نشان دادند (جدول ۴)؛ ولی تیمار ارقام چغندر قند در تمام صفات به غیر از میزان نیتروژن مضره، اختلاف معنی‌داری از خود نشان دادند (جدول ۵).

۵). اثر متقابل ارقام و تاریخ کاشت در سال اول فقط در صفت میزان نیتروژن مضره و در سال دوم در صفت درجه قلیائیت معنی‌دار نشد و در مابقی صفات معنی‌دار گردید (جدول ۶ و ۷).

عملکرد ریشه: عملکرد ریشه، خصوصیت مهمی است که در عملکرد شکر تولیدشده در واحد سطح (هکتار) تأثیر به‌سزایی دارد. اثر اصلی تاریخ کاشت و ارقام مورد استفاده در این آزمایش بر صفت

سوم، چهارم و پنجم (۱۰ آبان، ۲۵ آبان و ۵ آذر) مشاهده شد (جدول ۸). بیشترین عملکرد ریشه در ارقام موناتونو و رزاگلد مشاهده شد و کمترین آن در نیز در رقم ۰۶۱ مشاهده شد (جدول ۹).

عملکرد ریشه چغندر قند معنی دار شدند ($P < 0.01$) (جدول ۶). کاشت به هنگام موجب افزایش معنی دار عملکرد ریشه شد. طی هر دو سال زراعی مورد مطالعه، بیشترین عملکرد ریشه در تاریخ کاشت اول و دوم (۱۰ و ۲۵ مهر) مشاهده شد و کمترین آن در تاریخ های کاشت

ادامه جدول ۳- جدول آب و هوای منطقه مورد آزمایش

Table 3 continues- Weather table of the region

ماه Month	میانگین حداکثر دما Average of maximum temperature (°C)			میانگین حداقل دما Average of minimum temperature (°C)		
	Long time (1984- 2019)			Long time (1984- 2019)		
	2021	2022		2021	2022	
مهر September	19.7	27.9	28.7	8.9	15.8	15.4
آبان October	25.1	21.4	20.6	13.8	10	10.9
آذر November	31.1	16.3	15.9	18.9	5.4	7.2
دی December	32.6	14.5	15.5	22.8	4.2	3.6
بهمن January	33.5	14.5	15.9	23.7	3.1	4.2
اسفند February	31.5	17.4	16.8	21.3	6.1	5.6
فروردین March	27.0	19.4	17.6	15.6	8.5	10
اردیبهشت April	20.9	26.8	25.6	10.4	13.5	13.8
خرداد May	15.2	32	33.7	5.5	19.4	20.5
تیر June	13.0	33.2	34.2	3.4	22.6	24
شهریور August	15.0	30.9	32.4	5.3	19.8	20.5
مجموع Sum						
میانگین Average	23.1	23.9	24.1	12.7	12.6	13.2

(Sarhan, & Fateh, 2012). افزایش عملکرد ریشه در تاریخ کاشت اول به دلیل کاهش یافتن درصد ماده خشک برگ و انتقال مواد به سمت ریشه است.

عملکرد قند ناخالص: عملکرد قند ناخالص، حاصل ضرب

عملکرد ریشه در عیار (درصد قند ناخالص) است. اثر اصلی تاریخ کاشت، رقم و اثر متقابل آن ها بر عملکرد قند ناخالص معنی دار شد ($P < 0.01$) (جدول ۶). بیشترین عملکرد قند ناخالص در طی دو سال زراعی در تاریخ کاشت اول و دوم (۱۰ و ۲۵ مهر) و کمترین آن در سال اول در تاریخ کاشت چهارم و پنجم (۲۵ آبان و ۵ آذر) و در سال دوم در سه تاریخ کاشت آخر (۱۰ آبان، ۲۵ آبان و ۵ آذر) مشاهده شد (جدول ۸). با بالا بودن طول دوره رشد و افزایش عملکرد ریشه، میزان عملکرد قند ناخالص نیز افزایش می یابد. کوتاه بودن طول دوره

اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نیز طی هر دو سال بر عملکرد ریشه معنی دار شد ($P < 0.01$) (شکل ۱). بهترین عملکرد ریشه در سال اول در تاریخ کاشت اول در رقم رزاگلد با مقدار ۱۳۰ تن در هکتار مشاهده شد. کمترین آن نیز در رقم 061 در تاریخ کاشت چهارم و پنجم به مقدار برابر ۳۶/۲۵ مشاهده شد (شکل ۱). در تمامی ارقام، عملکرد ریشه در تاریخ های کاشت اول نسبت به دو تاریخ کاشت آخر بیشتر بود. به نظر می رسد که در تاریخ کاشت ۱۰ مهرماه به دلیل این که گرمای کافی وجود دارد، گیاه سریعاً جوانه زده و بلافاصله شروع به رشد می کند و تا شروع فصل سرما، رشد گیاه قابل توجه می باشد، در حالی که با تأخیر در کاشت، فاصله زمانی برای رشد گیاه تا شروع فصل سرما کم شده و گیاه رشد کمتری داشته و با کاهش عملکرد مواجه می گردد (A-Sayed, Abd El-Razek,)

رشد باعث کاهش عیار قند و کاهش عملکرد قند ناخالص می‌شود (Leilah, Badawi, Said, Ghonema, & Abdou, 2005). در سال اول، رقم رزاگلد در تاریخ کاشت اول دارای بیشترین عملکرد قند ناخالص با مقدار ۱۲۹/۷۵ تن در هکتار و رقم 061 در تاریخ کاشت پنجم دارای کمترین عملکرد قند ناخالص با مقدار ۳۷/۵۰ تن در هکتار بودند (شکل ۲). اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نیز بر عملکرد قند ناخالص معنی‌دار شد ($P < 0.01$) (جدول ۶). در سال دوم، رزاگلد در

تاریخ کاشت اول، بیشترین عملکرد قند ناخالص با مقدار ۱۷/۴ کیلوگرم در هکتار را داشت، درحالی‌که رقم ۰۶۱ در تاریخ کاشت پنجم، کمترین میزان عملکرد قند ناخالص با مقدار ۲/۶ کیلوگرم در هکتار را داشت (جدول ۹). پس استقرار زود هنگام محصول در سطح مزرعه با افزایش سطح برگ و ایجاد امکان دریافت حداکثر تشعشع سبب افزایش عملکرد ریشه و عملکرد قند می‌شود (Tahisin & Hali, 2004).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات عملکرد و کیفیت ارقام چغندر قند در پنج تیمار تاریخ کاشت در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳
Table 4- Variance analysis table (ANOVA) of yield and quality traits of sugar beet cultivars in five sowing date treatments during 2020-2022

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	Mean of squares میانگین مربعات					
		RY	SY	SC	WSY	WSC	ESC
تکرار Replication	3	ns	ns	**	ns	**	**
تاریخ کاشت Sowing date (S)	4	**	**	**	**	**	**
خطا Error	12	195.45	3.66	4.36	2.94	9.06	81.1
رقم Cultivar (C)	2	**	**	**	**	**	**
اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم C×S	8	**	**	**	**	**	**
خطا Error	162	149.50	4.19	0.81	2.78	1.16	8.72
ضریب تغییرات Cv (%)	-	16.60	13.71	5.25	16.38	7.85	3.71
تکرار Replication	3	**	**	**	**	**	**
تاریخ کاشت Sowing date	4	**	**	**	**	**	**
خطا Error	12	320.31	6.96	2.17	4.75	6.01	134.92
رقم Cultivar	2	**	**	**	**	**	**
اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم C×S	8	**	**	**	**	**	**
خطا Error	162	237.01	4.31	1.57	2.22	2.68	33.01
ضریب تغییرات Cv (%)	-	20.0	18.7	5.2	18.7	7.5	3.5

ns, * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

RY: عملکرد ریشه، SY: عملکرد قند ناخالص، SC: درصد قند، WSY: عملکرد قند سفید، WSC: شکر قابل استحصال، ESC: ضریب استحصال شکر

RY: root yield, SY: sugar yield, SC: sugar content, WSY: white sugar yield, WSC: white sugar content, ESC: extraction coefficient of sugar.

درصد قند ریشه معنی‌دار شد (جدول ۶). از نظر صفت درصد قند، تاریخ کاشت دوم در هر دو سال زراعی مطالعه شده مطلوب‌ترین تاریخ کاشت بود. در سال دوم، تاریخ کاشت سوم نیز تفاوت معنی‌داری با

درصد قند: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارقام تجاری با تیمارهای تاریخ کاشت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. همچنین ارتباط متقابل رقم و تاریخ کاشت بر

داشت (جدول ۹). در سال اول رقم رزاگلد در تاریخ کاشت دوم بیشترین درصد قند را به خود اختصاص داد، درحالی که رقم موناتونو در تاریخ کاشت پنجم کمترین درصد قند را داشت (شکل ۳).

تاریخ کاشت دوم نداشت، اما در هر دو سال، در تاریخ کاشت پنجم کمترین میزان درصد قند مشاهده شد (جدول ۸). بیشترین درصد قند طی هر دو سال زراعی مربوط به رقم رزاگلد بود، درحالی که در سال اول، کمترین درصد قند را رقم ۰۶۱ و در سال دوم، رقم موناتونو

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات عملکرد و کیفیت ارقام چغندر قند در پنج تیمار تاریخ کاشت در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۰
Table 5- Variance analysis table (ANOVA) of yield and quality traits of sugar beet cultivars in five sowing date treatments during 2020-2022

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	Mean of squares میانگین مربعات				
		Na	K	N	ALC	MS
تکرار Replication	3	**	**	**	*	**
تاریخ کاشت Sowing date (S)	4	**	**	**	**	**
خطا Error	12	4.21	1.61	3.56	0.89	1.07
رقم Cultivar (C)	2	**	**	ns	**	**
اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم C × S	8	**	**	ns	**	ns
خطا Error	162	24.29	0.39	0.22	0.16	0.14
ضریب تغییرات Cv (%)	-	0.39	11.02	14.44	15.43	13.55
تکرار Replication	3	**	**	**	**	**
تاریخ کاشت Sowing date	4	**	**	**	**	**
خطا Error	12	6.35	2.00	4.04	3.80	2.18
رقم Cultivar	2	**	**	**	**	**
اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم C × S	8	**	**	**	ns	**
خطا Error	162	1.28	0.41	0.61	0.59	0.38
ضریب تغییرات Cv (%)	-	15.5	8.2	15.8	15.8	9.4

ns, * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

Na: سدیم، K: پتاسیم، α-N: نیتروژن مضره، ALC: ضریب قلیائیت، MS: قند ملاس

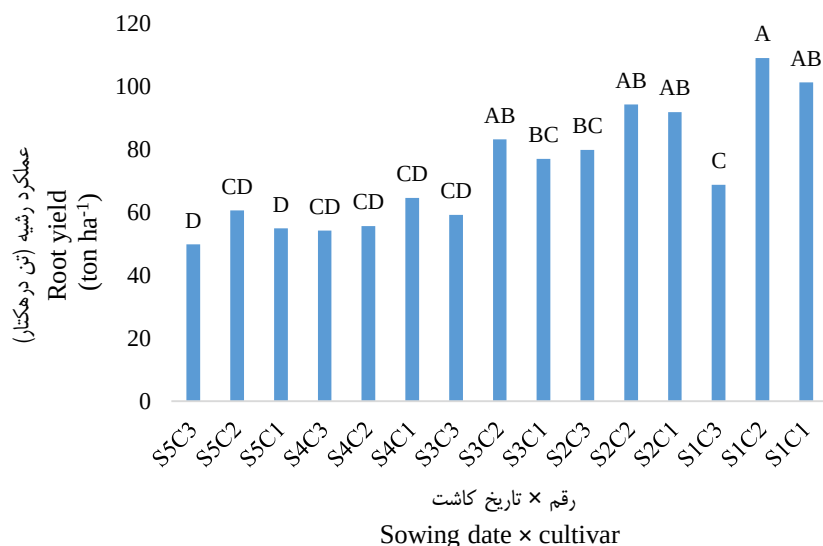
Na: sodium, K: potassium, α-N: α-amino-nitrogen, Alc: alkalinity, MS: molasses sugar

عملکرد قند سفید را به خود اختصاص داد (شکل ۴). در سال اول، تاریخ کاشت دوم دارای عملکرد قند سفید بالاتری بود و تاریخ کاشت پنجم کمترین عملکرد قند سفید را داشت، درحالی که در سال دوم بین تاریخ‌های کاشت دوم، سوم و چهارم تفاوت معنی‌داری نبود و هر سه تاریخ بیشترین عملکرد قند سفید را داشتند و تاریخ کاشت اول کمترین میزان آن را به خود اختصاص داد (جدول ۸). طی هر دو سال زراعی، رقم رزاگلد بیشترین عملکرد قند سفید با مقدار ۲۴/۲۶ و ۱۳/۸

عملکرد قند سفید (خالص): نتایج تجزیه واریانس، اثر تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد قند سفید چغندر اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان داد. هم‌چنین اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نیز بر عملکرد قند سفید معنی‌دار شد ($P < 0.01$) (جدول ۶). در سال اول، رقم رزاگلد در تاریخ کاشت دوم بالاترین عملکرد قند سفید را داشت، درحالی که رقم ۰۶۱ در تاریخ کاشت پنجم، کمترین میزان

رشد باعث کاهش عملکرد ریشه، عیار قند و عملکرد قند خالص و ناخالص می‌گردد (Tahisin & Hali, 2004)، بنابراین در تاریخ کاشت اول و دوم به دلیل طولانی‌تر بودن دوره رشد و داشتن درصد قند بالا، عملکرد قند سفید افزایش می‌یابد.

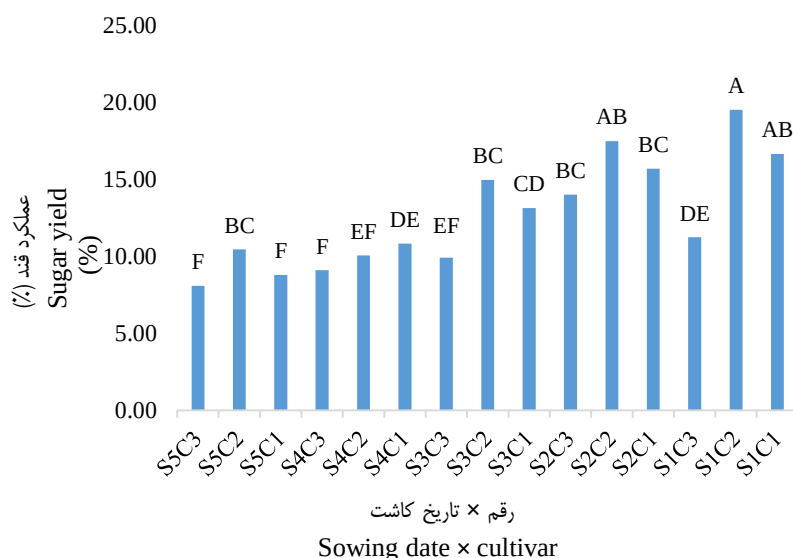
تن در هکتار داشت، درحالی‌که کمترین عملکرد قند سفید را در سال اول ۰۶۱ و موناتونو به ترتیب با مقادیر ۵/۷۴ و ۵/۵۰ تن در هکتار و در سال دوم موناتونو با مقدار ۱/۹ تن در هکتار داشت. بنابراین، در بین ارقام، رزاگلد از موناتونو و 061 موفق‌تر بود و بین هر سه رقم اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۹).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد ریشه چغندر قند (LSD=0.8)

SBSI 061: C3: روزاگلد و C2: موناتونو، C1: آذر، S5: ۵ آبان، S4: ۲۵ آبان، S3: ۱۰ مهر، S2: ۲۵ مهر، S1: ۱۰ مهر

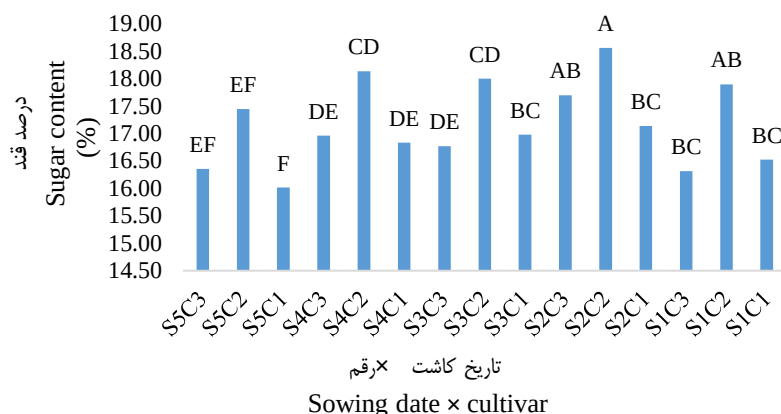
Figure 1- Comparison of the average interaction effect of planting date of sugar beet in cultivar on root yield (LSD=0.8)
C1: Monatunno, C2: Rosagold, C3: SBSI 061, S1: 4 October, S2: 18 October, S3: 3 November, S4: 19 November, S5: 1 December)



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت چغندر قند در رقم بر عملکرد قند ناخالص (LSD=0.8)

SBSI 061: C3: روزاگلد و C2: موناتونو، C1: آذر، S5: ۵ آبان، S4: ۲۵ آبان، S3: ۱۰ مهر، S2: ۲۵ مهر، S1: ۱۰ مهر

Figure 2- Comparison of the average interaction effect of planting date of sugar beet in cultivar on sugar yield (LSD=0.8)
C1: Monatunno, C2: Rosagold, C3: SBSI 061, S1: 4 October, S2: 18 October, S3: 3 November, S4: 19 November, S5: 1 December)

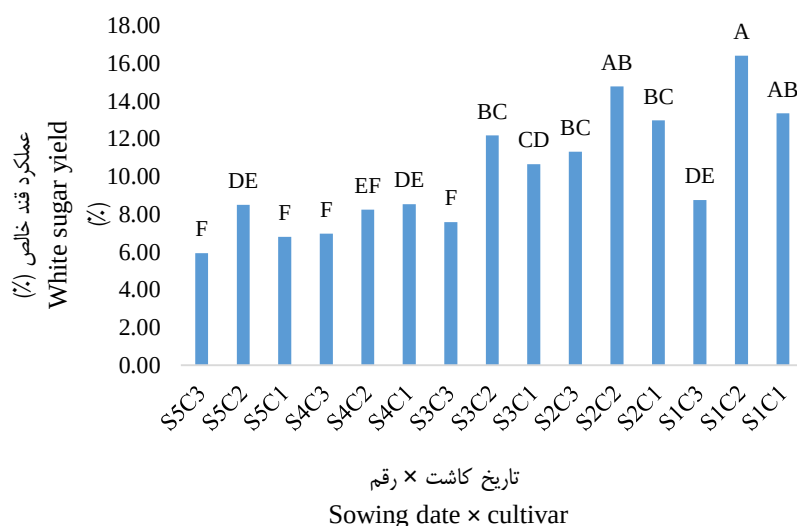


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت چغندر قند در رقم بر درصد قند (LSD=0.8)

SBSI 061: C3: روزاگلد و C2: موناتونو، C1: ۵ آذر، S5: ۲۵ آبان، S4: ۱۰ آبان، S3: ۲۵ مهر، S2: ۱۰ مهر، S1: ۴ مهر

Figure 3- Comparison of the average interaction effect of planting date of sugar beet in cultivar on sugar content (LSD=0.8)

C1: Monatunno, C2: Rosagold, C3: SBSI 061, S1: 4 October, S2: 18 October, S3: 3 November, S4: 19 November, S5: 1 December



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت چغندر قند در رقم بر عملکرد قند خالص (LSD=0.8)

SBSI 061: C3: روزاگلد و C2: موناتونو، C1: ۵ آذر، S5: ۲۵ آبان، S4: ۱۰ آبان، S3: ۲۵ مهر، S2: ۱۰ مهر، S1: ۴ مهر

Figure 4- Comparison of the average interaction effect of planting date of sugar beet in cultivar on white sugar yield (LSD=0.8)

C1: Monatunno, C2: Rosagold, C3: SBSI 061, S1: 4 October, S2: 18 October, S3: 3 November, S4: 19 November, S5: 1 December

معنی‌داری را نشان داد. هم‌چنین اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نیز بر ضریب استحصال معنی‌دار شد ($P < 0.01$) (جدول ۶). در سال اول پژوهش، بیشترین ضریب استحصال شکر در تاریخ کشت دوم و کمترین آن در تاریخ کاشت پنجم مشاهده شد. بین سه تاریخ کاشت دیگر، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۸).

ضریب استحصال شکر: ضریب استحصال (خلوص عصاره)

عبارت است از نسبت قند به کل مواد جامد محلول به‌صورت درصد. بالا بودن این ضریب بیانگر کیفیت بالا در میزان استخراج قند از شیرۀ خواهد بود. طی هر دو سال مورد مطالعه، تجزیه واریانس اثر تاریخ کاشت و رقم بر ضریب استحصال شکر در سطح یک درصد اختلاف

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر صفات مطالعه شده در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۰

Table 6- Mean comparison the effect of sowing date on the studied traits during 2021-2022

	S.O.V	RY	SY	WSY	SC	WSC	ESC
2021	۱۰ مهر 4 October	93.02a*	15.8a	12.82a	16.90ab	13.64ab	80.07ab
	۲۵ مهر 18 October	88.6a	15.7a	13.00a	17.79a	14.71a	82.40a
	۱۰ آبان 3 November	73.1b	12.6b	10.12b	17.24ab	13.72ab	79.19ab
	۲۵ آبان 19 November	58.1c	10.0c	7.90c	17.30ab	13.74ab	78.82ab
	۵ آذر 1 December	55.1c	9.11c	7.07c	16.60b	12.85b	76.59b
	LSD	7.17	0.98	0.88	1.07	1.54	4.62
2022	۱۰ مهر 4 October	70.60a	10.02a	7.26a	14.22ab	10.25b	71.50b
	۲۵ مهر 18 October	60.29b	8.94a	6.82a	14.83a	11.36a	76.34a
	۱۰ آبان 3 November	46.92c	7.00b	5.34b	15.07a	11.59a	76.33a
	۲۵ آبان 19 November	42.73c	6.46b	5.04b	15.17ab	11.81a	77.62ab
	۵ آذر 1 December	42.87c	6.42b	4.95b	15.29b	11.90ab	77.30ab
	LSD						

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک می‌باشند، اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letters are not significantly different.

RY: عملکرد ریشه، SY: عملکرد قند ناخالص، SC: درصد قند، WSY: عملکرد قند سفید، WSC: شکر قابل استحصال، ESC: ضریب استحصال شکر

RY: root yield, SY: sugar yield, SC: sugar content, WSY: white sugar yield, WSC: white sugar content, ESC: extraction coefficient of sugar

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر رقم بر صفات مطالعه شده در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۰

Table 7- Mean comparison of effect of cultivars on the studied traits during 2021-2022

	S.O.V	RY	SY	WSY	SC	WSC	ESC
2021	موناتونو Monatunno	77.93a*	13.02b	10.45b	16.69b	13.35b	79.58b
	رز اگلد Rosagold	80.54a	14.50a	12.01a	18.00a	14.86a	82.29a
	۰۶۱ SBSI 061	62.38b	10.47c	8.09c	16.81b	12.99b	76.37c
	LSD	5.16	0.87	0.74	0.38	0.54	1.83
2022	موناتونو Monatunno	54.17a	7.59b	5.61b	14.15c	10.54c	74.10b
	رز اگلد Rosagold	56.96a	8.76a	6.95a	15.06a	12.42a	79.56a
	۰۶۱ SBSI 061	46.91b	6.96b	5.09b	16.81b	11.19b	73.80b
	LSD	5.74	0.77	0.55	0.46	0.61	2.14

* میانگین با حرف یکسان تفاوت معنی‌داری ندارد

* Means with the same letter are not significantly different

RY: عملکرد ریشه، SY: عملکرد قند ناخالص، SC: درصد قند، WSY: عملکرد قند سفید، WSC: شکر قابل استحصال، ESC: ضریب استحصال شکر

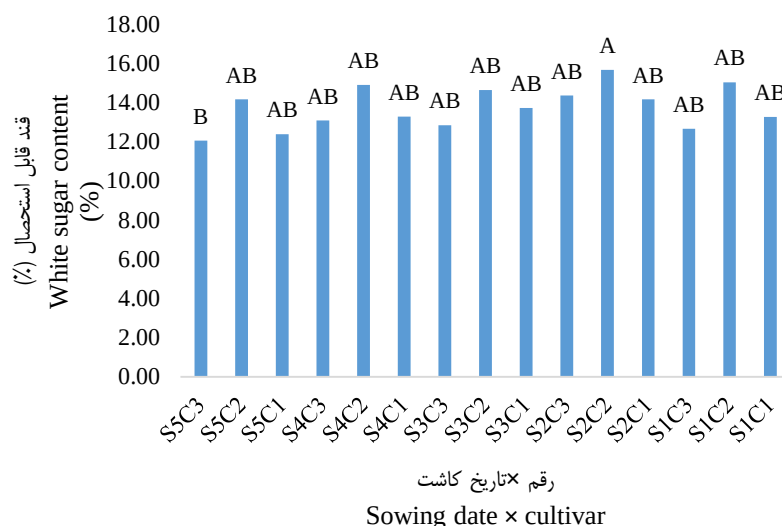
RY: root yield, SY: sugar yield, SC: sugar content, WSY: white sugar yield, WSC: white sugar content, ESC: extraction coefficient of sugar

ضریب استحصال را داشت (جدول ۹). بالا بودن میزان پتاسیم، سدیم و نیتروژن مضره در ریشه، سبب افزایش میزان قند موجود در ملاس شده و در نتیجه، باعث کاهش ضریب استحصال می‌شود (Javaheri،

طی هر دو سال زراعی، بهترین رقم از نظر ضریب استحصال شکر رز اگلد بود، در حالی که در سال اول بین دو رقم دیگر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما در سال دوم، رقم موناتونو پایین‌ترین

(Toth, Tancik, & Cagan, 2006). در سال اول، رقم رزاگلد در تاریخ کاشت دوم بالاترین ضریب استحصال را داشت، در حالی که رقم موناتونو در تاریخ کاشت پنجم کمترین میزان ضریب استحصال را به خود اختصاص داد (شکل ۵).

(Zainodini, & Najafinejad, 2006). در شرایطی که گیاه چغندر قند مقادیر زیادی عناصر ناخالصی جذب نماید، قابلیت استحصال شکر یا راندمان استحصال آن کاهش می‌یابد که به دلیل عدم کریستالیزاسیون ساکارز طی فرآیند استخراج می‌باشد



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت چغندر قند در رقم بر ضریب استحصال شکر (LSD=0.8)

SBSI 061: C3: روزاگلد و C2: موناتونو، C1: آذر، S5: ۵ آبان، S4: ۲۵ آبان، S3: ۱۰ آبان، S2: ۲۵ مهر، S1: ۱۰ مهر

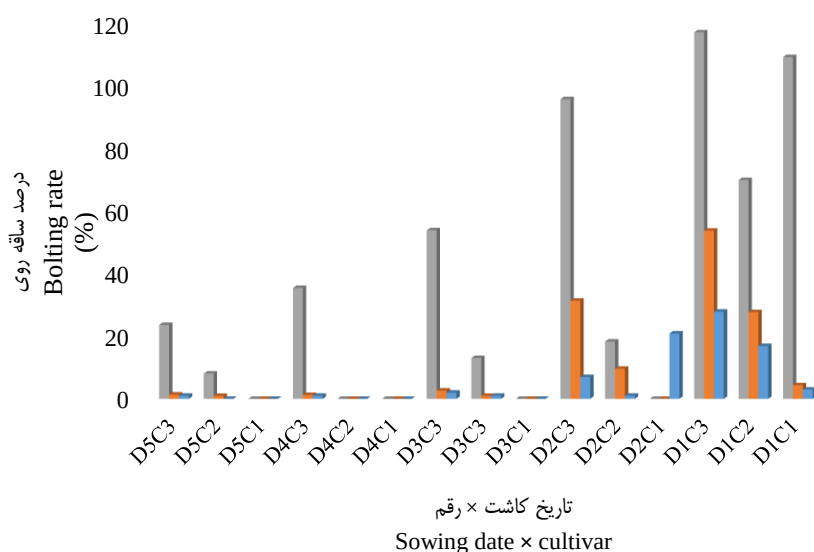
Figure 5- Comparison of the average interaction effect of planting date of sugar beet in cultivar on Extraction Coefficient of Sugar (LSD=0.8)

C1: Monatunno, C2: Rosagold, C3: SBSI 061, S1: 4 October, S2: 18 October, S3: 3 November, S4: 19 November, S5: 1 December)

ناخالصی‌ها مشاهده شد (جدول ۵). با توجه به این که کاهش دما در ابتدای دوره رشد به‌ویژه در ماه‌های آذر و دی و وقوع بارندگی‌های منطقه سبب توقف یا کند شدن رشد گردید، بنابراین گیاه قادر به تکمیل پوشش برگ خود نبوده و نیتروژن مضره در ریشه تجمع یافته است. با گرم شدن هوا، رشد رویشی گیاه مجدداً شروع می‌شود و نیتروژن مورد نیاز را مجدداً از خاک جذب می‌نماید که منجر به تجمع نیتروژن مضره در گیاه می‌شود (Kandil, 2004). طبق پژوهش انجام‌شده، هرچه ناخالصی‌های ریشه کمتر و درصد قند خالص بالاتر باشد، عملکرد قند قابل استحصال افزایش خواهد یافت. درصد ساقه‌روی در تاریخ کاشت اول، بیشترین مقدار بود (شکل ۶)، بنابراین با انتخاب رقم مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی هر منطقه می‌توان میزان ساقه‌روی را کاهش داد (Taleghani et al., 2012). در برخی مطالعات نیز تفاوت معنی‌دار بین ارقام و تاریخ‌های کاشت تأیید شده است، به‌طوری که در تاریخ کاشت‌های زودتر در پاییز، درصد ساقه‌روی بیشتر بود (Adibifard et al., 2019). میزان پتاسیم در رقم 061، حداکثر مقدار بود و بین دو رقم موناتونو و رزاگلد، میزان پتاسیم حداقل بود و تفاوت معنی‌داری بین این دو رقم مشاهده نشد (جدول ۵).

میزان سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره: طی دو سال

زراعی، اثر متقابل ارقام در تاریخ کاشت در صفات یادشده معنی‌دار گردید ($P < 0.01$) (جدول ۶). در سال اول، تیمار ارقام چغندر قند و تاریخ کاشت اختلاف معنی‌داری از لحاظ سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره از خود نشان دادند. در سال دوم، تیمار تاریخ کاشت در میزان سدیم معنی‌دار بود و در میزان پتاسیم و نیتروژن مضره تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). ساقه‌روی ارقام چغندر قند منجر به افزایش میزان ناخالصی در ریشه می‌گردد. در رقم 061، افزایش ساقه‌روی باعث افزایش ناخالصی و در نتیجه، کاهش کیفیت چغندر قند شده است (شکل ۶). طول ساقه به بولت رفته نیز در این رقم بالاترین مقدار بود (شکل ۶). طی دو سال مطالعه‌شده، تیمار رقم تنها در صفت میزان سدیم در سال اول معنی‌دار نبود و در مابقی صفات تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۴). در سال اول، بیشترین میزان سدیم در رقم 061 با مقدار ۸/۵۱ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر چغندر قند و کمترین میزان سدیم در رقم رزاگلد با مقدار ۰/۶۷ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر چغندر قند مشاهده شد. طی هر دو سال، در بین سه رقم مطالعه شده، در رقم 061 بالاترین میزان



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت چغندر قند در رقم بر میزان ساقه‌روی (LSD=0.8)

SBSI 061: C3: روزاگلد و C2: موناتونو، C1: ۵ آذر، S5: ۲۵ آبان، S4: ۱۰ آبان، S3: ۲۵ مهر، S2: ۱۸ اکتبر، S1: ۴ اکتبر

Figure 6- Comparison of the average interaction effect of planting date of sugar beet in cultivar on Bolting (LSD=0.8)
C1: Monatunno, C2: Rosagold, C3: SBSI 061, S1: 4 October, S2: 18 October, S3: 3 November, S4: 19 November, S5: 1 December

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر صفات مطالعه شده در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۰

Table 8- Mean comparison the effect of sowing date on the studied traits during 2021-2022

	S.O.V	Na	K	N	ALC	MS
2021	۱۰ مهر	2.61ab	5.35c	2.57c	3.15a	2.66a
	4 October					
	۲۵ مهر	1.81b	5.57ab	2.71bc	2.75ab	2.47b
	18 October					
	۱۰ آبان	2.53ab	5.92ab	3.55ab	2.43b	2.92ab
	3 November					
	۲۵ آبان	2.72ab	5.82ab	3.66ab	2.39b	2.96ab
	19 November					
	۵ آذر	3.19a	5.77a	3.98a	2.42b	3.14c
	1December					
	LSD	1.05	0.65	0.96	0.48	0.53
2022	۱۰ مهر	4.16a	5.89a	2.37a	4.48a	3.36a
	4 October					
	۲۵ مهر	2.93ab	5.76a	2.07a	4.47a	2.87a
	18 October					
	۱۰ آبان	2.96ab	5.64a	2.52a	3.85a	2.88a
	3 November					
	۲۵ آبان	2.72b	5.57a	2.33a	3.91a	2.75a
	19 November					
	۵ آذر	2.85b	5.47a	2.58a	3.50a	2.79a
	1December					

میانگین‌ها براساس روش LSD در سطح پنج درصد با حرف یکسان تفاوت معنی‌داری ندارد

Means with the same letter are not significantly different

Na: سدیم، K: پتاسیم، α-N: نیتروژن مضره، ALC: ضریب قلیائیت، MS: قند ملاس

Na: sodium, K: potassium, α-N: α-amino-nitrogen, Alc: alkalinity, MS: molasses sugar

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر رقم بر صفات مطالعه شده در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 9- Mean comparison of effect of cultivars on the studied traits during 2021-2022

2021	S.O.V	Na	K	N	ALC	MS
	موناتونو Monatunno	2.44b*	5.55b	3.25a	2.56b	2.74b
	رزاکلد Rosagold	1.97c	5.44b	3.24a	2.38b	2.54b
	۰۶۱ SBSI 061	3.30a	6.06a	3.40a	2.94a	3.22a
	LSD	0.42	0.23	0.25	0.22	0.20
2022	موناتونو Monatunno	3.21a	5.77b	2.41ab	4.07ab	3.00b
	رزاکلد Rosagold	2.58b	5.10c	2.16b	3.85b	2.52c
	۰۶۱ SBSI 061	3.58a	6.14a	2.55a	4.21a	3.26a
	LSD	0.42	0.23	0.29	0.28	0.23

* میانگین‌ها براساس روش LSD در سطح پنج درصد با حرف یکسان تفاوت معنی‌داری ندارند

* Means with the same letter are not significantly different

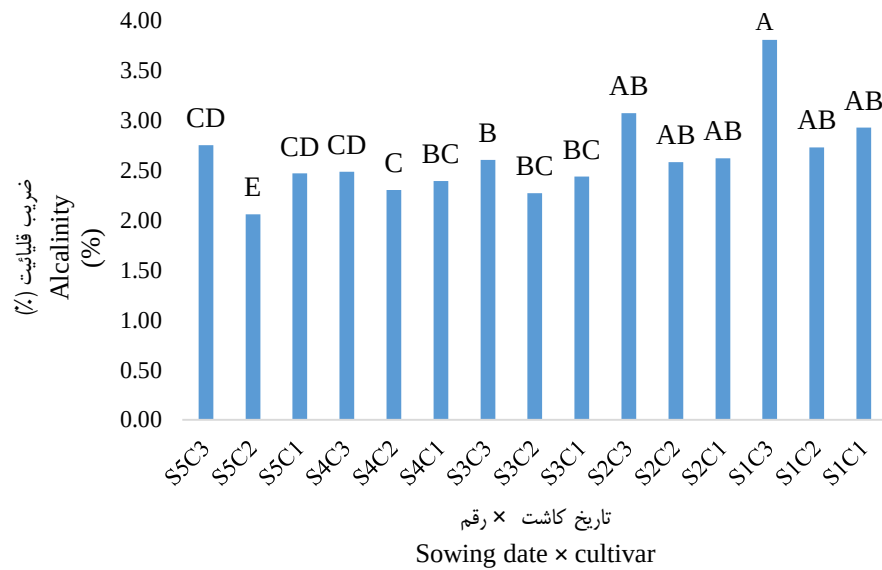
Na: سدیم، K: پتاسیم، α -N: نیتروژن مضره، ALC: ضریب قلیائیت، MS: قند ملاسNa: sodium, K: potassium, α -N: α -amino-nitrogen, Alc: alcalinity, MS: molasses sugar

2016). نتایج تجزیه واریانس سال اول اثر تاریخ کاشت و رقم بر میزان قند ملاس اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان داد، اما اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر میزان قند ملاس معنی‌دار نشد (جدول ۶). طی سال اول، بیشترین مقدار قند ملاس در تاریخ کشت اول با مقدار پنج درصد به‌دست آمد و کمترین مقدار قند ملاس در تاریخ کاشت پنجم با مقدار ۱/۰۷ درصد حاصل شد. بین سه تاریخ کاشت دیگر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۹). طی هر دو سال زراعی، بالاترین میزان قند ملاس در رقم 061 مشاهده شد. همچنین در سال اول بین ارقام رزاکلد و موناتونو از نظر مقدار قند ملاس تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و پایین‌ترین میزان قند ملاس در این دو رقم دیده شد، بنابراین از این نظر نسبت به رقم 061 برتری داشتند (شکل ۱۰). در سال دوم، رقم موناتونو پایین‌ترین میزان قند ملاس را داشت (جدول ۴- شکل ۸). به نظر می‌رسد که با افزایش محتوای ناخالصی‌ها میزان قند ملاس نیز افزایش یافته است. تفاوت موجود بین ارقام در خصوص این صفات ممکن است به تفاوت در ویژگی‌های ژنتیکی هر رقم و پاسخ آن به شرایط محیطی نسبت داده شود. این نتایج با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Enan, El-Sheikh, & Khaled, 2009; Gobarah & Mekki, 2005; Shalaby, Osman, & Allabbody, 2011). در سال دوم، اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر میزان قند ملاس معنی‌دار شد (جدول ۶). در سال دوم، بالاترین میزان قند ملاس در تاریخ کاشت اول در رقم ۰۶۱ با مقدار ۵/۳ درصد و کمترین میزان قند ملاس در تاریخ کاشت چهارم و پنجم و رقم رزاکلد با مقادیر ۱/۵ درصد مشاهده شد (شکل ۱۰).

آلکالیت (ضریب قلیائیت): نتایج تجزیه واریانس سال اول اثر

تاریخ کاشت و رقم بر ضریب قلیائیت اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان داد. همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نیز بر ضریب قلیائیت معنی‌دار شد ($P < 0.01$) (جدول ۶) و در سال دوم، اثر تاریخ کاشت بر میزان ضریب قلیائیت معنی‌دار نشد (جدول ۵). در سال اول، بیشترین ضریب قلیائیت در تاریخ کاشت اول با مقدار ۷/۵۹ درصد به‌دست آمد و تاریخ کاشت پنجم، کمترین ضریب قلیائیت با مقدار ۱/۳۷ درصد را داشت (جدول ۵). اثر رقم بر میزان ضریب قلیائیت در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). طی هر دو سال زراعی، بیشترین ضریب قلیائیت در رقم 061 مشاهده شد. در بین ارقام موناتونو و رزاکلد از نظر ضریب قلیائیت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). بالاترین درصد ضریب قلیائیت در تاریخ کاشت اول در رقم ۰۶۱ و کمترین درصد ضریب قلیائیت در تاریخ کاشت پنجم در رقم رزاکلد مشاهده شد (شکل ۷). نتایج این مطالعه با نتایج حاصل از مطالعه جواهری و همکاران (Javaheri et al., 2006) مطابقت داشت، درحالی‌که در ارقام بین ارقام و تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه اشرف و همکاران (Ashraf, Sharifi, & Hamdi, 2013) از نظر ضریب قلیائیت با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند.

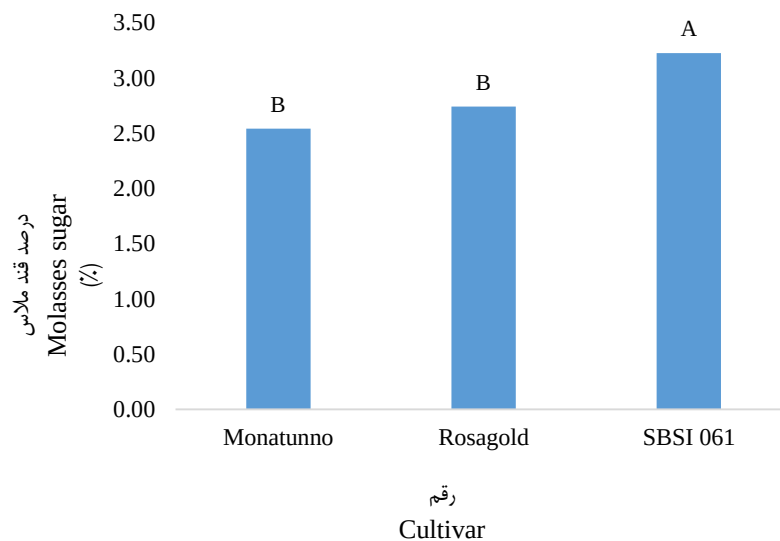
قند ملاس: در صنعت قند ملاس، آخرین پس‌آبی است که در پایان عملیات چند مرحله‌ای کریستاله شدن شکر تشکیل می‌شود که نمی‌توان به‌روش تبخیر و تغلیظ، ساکارز بیشتری به‌صورت کریستال از آن جدا کرد (Atabak, al-Islami, Molavi, & Honarvar, 2013).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت چغندر قند در رقم بر ضریب قلیائیت (LSD=0.8)

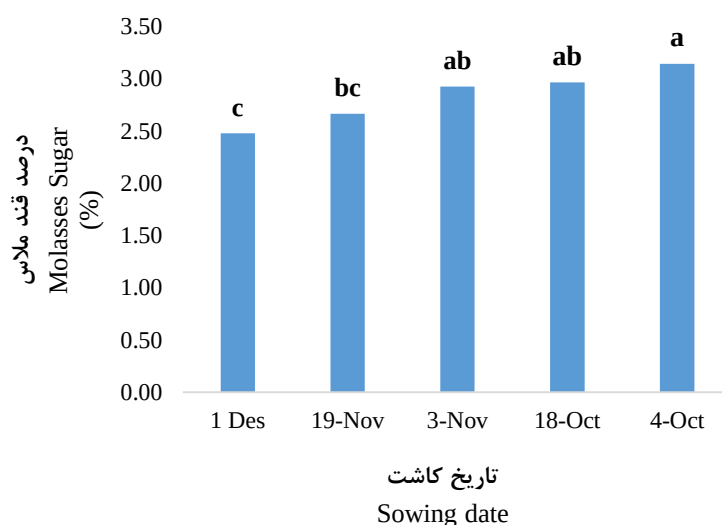
SBSI 061 :C3: روزاگلد و C2: موناتونو، C1: ۵ آذر، S5: ۲۵ آبان، S4: ۱۰ آبان، S3: ۲۵ مهر، S2: ۱۰ مهر، S1: ۴ آبان

Figure 7- Comparison of the average interaction effect of planting date of sugar beet in cultivar on alkalinity (LSD=0.8)
C1: Monatunno, C2: Rosagold, C3: SBSI 061, S1: 4 October, S2: 18 October, S3: 3 November, S4: 19 November, S5: 1 December

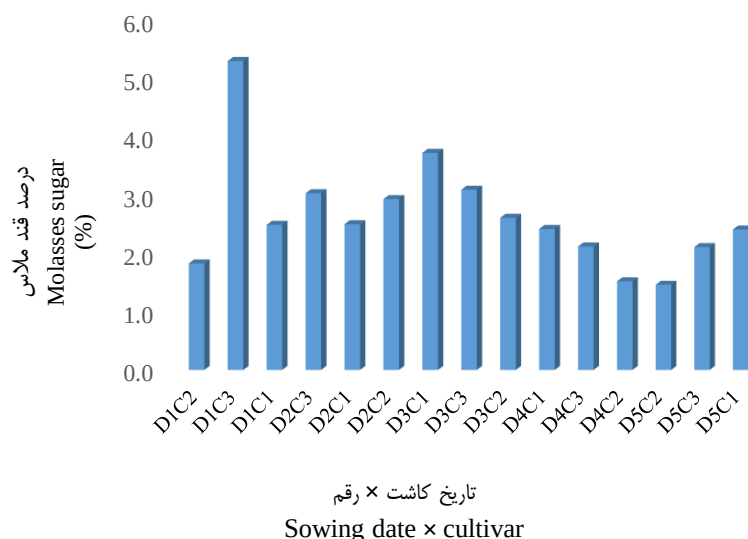


شکل ۸- اثر ارقام چغندر قند بر قند ملاس (LSD=0.8)

Figure 8- Effect of cultivars of sugar beet on molasses sugar (LSD=0.8)



شکل ۹- اثر تاریخ کاشت چغندر قند بر قند ملاس (LSD=0.8)
Figure 9- Effect of planting date of sugar beet on molasses sugar (LSD=0.8)



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت چغندر قند در رقم بر قند ملاس در ۱۴۰۱-۱۴۰۲ (LSD=0.8)

S1: ۱۰ مهر، S2: ۲۵ مهر، S3: ۱۰ آبان، S4: ۲۵ آبان، S5: ۵ آذر، C1: موناتونو، C2: روزاگلد و C3: SBSI 061

Figure 10- Comparison of the average interaction effect of planting date of sugar beet in cultivar on molasses sugar (LSD=0.8) in 2021-2022

C1: Monatunno, C2: Rosagold, C3: SBSI 061, S1: 4 October, S2: 18 October, S3: 3 November, S4: 19 November, S5: 1 December)

نتیجه گیری

خالص را داشتند، زیرا کشت به هنگام با اثر بر طول دوره رشد رویشی و زایشی سبب جذب حداکثر تشعشع خورشیدی خواهد بود که منجر به افزایش عملکرد ریشه و قند خواهد شد. بنابراین، در کشت پاییزه، کشت زود هنگام موجب افزایش عملکرد ریشه و تأخیر در کاشت، سبب کاهش عملکرد و افزایش ناخالصی های ریشه می شود.

نتایج این آزمایش نشان داد که در هر دو سال زراعی مطالعه شده، بیشترین عملکرد ریشه، عملکرد شکر، درصد قند، میزان قند قابل استحصال، ضریب استحصال شکر و عملکرد قند خالص در رقم روزاگلد مشاهده شد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که عملکرد ریشه، قند و عملکرد قند خالص تحت تاثیر تاریخ کاشت قرار گرفت و تاریخ کاشت اول و دوم بالاترین عملکرد ریشه، قند و عملکرد قند

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر طالقانی ریاست محترم مؤسسه اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، جناب آقای دکتر حسین پور و جناب آقای دکتر فرجی

ریاست مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان به خاطر انجام تجزیه صفات کیفی و همچنین به پاس همراهی و تأمین امکانات اجرای آزمایش تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Abdullahi, S. A., Hatami, A., Yusufabadi, V. A., & Ashraf, A. (2018). The effect of cultivation, planting and harvesting date on the yield and water consumption efficiency of autumn sugar beet. *Sugar Beet*, 35(2), 191-175.
2. Adibi Fard, N., Habibi, D., Bazarafshan, M., Taleghani, A., & Nabi, M. (2017). Studying the climatic conditions of Fars province for the development of autumn sugar beet cultivation using geographic information system (GIS). *Sugar Beet*, 35(1), 13-31.
3. Ashraf, M., Sharifi, M., & Hamdi, M. (2013). Investigating the possibility of autumn sugar beet cultivation in Fasa region. *Sugar Beet*, 29(1), 71-84.
4. Al-Sayed, H. M., Abd El-Razek, U. A., Sarhan, H. M., & Fateh, S. (2012). Effect of harvest dates on yield and quality of sugar beet varieties. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(9), 525-529.
5. Atabek, S., Al-Islami, M. H., Molavi, H., & Hanrro, M. (2015). Investigating factors affecting the viscosity and rheological behavior of sugar beet molasses. *International Conference on Recent Trends in Engineering and materials Science*, 6 pp.
6. Bayomi, K. E. M., El-Hashash, E. F., & Moustafa, E. S. A. (2019). Comparison of genetic parameters in non-segregating and segregating populations of sugar beet in Egypt. *Asian Journal of Crop Science*, 3, 1-12. <https://doi.org/10.9734/AJRCS/2019/v3i430055>
7. Dutton, J., & Bowler, G. (1984). Money is still being wasted on nitrogen fertilizer. *British Sugar Beet Review*, 52, 75-77.
8. Enan, S. A. A. M., El-Sheikh, S. R. E., & Khaled, K. A. M. (2009). Evaluation of some sugar beet varieties under different levels of N and Mo fertilization. *Journal of Biological Chemistry*, 4(1), 345-362. <https://doi.org/10.21608/jacb.2009.90288>
9. Garcia, J. C., Bellido, L. L. (1986). Growth and yield of autumn-sown sugar beet: Effects of sowing time, plant density and cultivar. *Field Crops Research*, 14, 1-14.
10. Gobarah, M. E., & Mekki, B. B. (2005). Influence of boron application on yield and juice quality of some sugar beet cultivars grown under saline soil conditions. *Journal of Applied Sciences Research*, 1(5), 373-379.
11. Grimmer, M. K. S., Trybush, S., Hanley, S. A., Francis, A., Karp, M. & Asher, J. C. (2007). An anchored linkage map for sugar beet based on AFLP, SNP and RAPD markers and QTL mapping of a new source of resistance to beet necrotic yellow vein virus. *Theoretical and Applied Genetics*, 114, 1151-1160. <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0507-3>
12. Hoffmann, C. M., & Kluge-Severin, S. (2010). Light absorption and radiation use efficiency of autumn and spring sown sugar beets. *Field Crops Research*, 119, 238-244. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.014>
13. Hosseinpour, M., & Babaei, B. (2017). Investigating the reason for the low sugar extraction rate in autumn sugar beet cultivation in Golestan province in 2018. Joyn sugar factory. *The Final Report of the Research Project of the Sugar Beet Research Institute*.
14. Jahani Moghadam, A., Parsa, S., Mahmoudi, S., & Ahmadi, M. (2015). Evaluation of the effects of planting date and cultivar on yield and stem on sugar beet cultivars under autumn cultivation conditions. *Plant Cultivation and Breeding*. 13(2), 43-57.
15. Jalilian, A., & Najafi, R. V. (2016). Estimation of the most suitable time for planting sugar beet using climatic parameters in different regions of Kermanshah province. *Sugar Beet*, 33(2), 133-121.
16. Kandil, A. A. (2004). Effect of planting dates, nitrogen, levels and bio-fertilization on growth attributes of sugarbeet. *Scientific Journal of King Faisal University*, 5(2), 227-237.
17. Kandil, A. A., Badawi, M. A., El-Moursy, S. A., & Abdou, U. M. A. (2004). Effect of planting dates, nitrogen levels and biofertilization treatments on 1: Growth attributes of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences)*, 5(2), 227-237.
18. Leilah, A. A., Badawi, M. A., Said, E. M., Ghonema, M. H. & Abdou, M. A. E. (2005). Effect of planting dates, plant population and nitrogen fertilization on sugar beet productivity under the newly reclaimed sandy soils in Egypt. *Scientific of King Faisal University*, 6(1), 95-110. <https://doi.org/10.21608/jpp.2017.40480>
19. Longden, P. C., & Thomas, T. H. (1989). Why not autumn sowing sugar beet. *British Sugar Beet Review*, 57(3), 30-38.
20. Lubova, T. N., Islamgulov, D. R., Ismagilov, K. R., Ismagilov, R. R., Mukhametshin, A. M., & Alimgafarov, R. R. (2018). Economic efficiency of sugar beet production. *Journal of Engineering and Applied Science*, 13, 6565-6569. <http://doi.org/10.36478/jeasci.2018.6565.6569>

21. Nabipour, Z., Habibi, D., Ahmadi, M., Taleghani, D., & Kashani, A. (2017). Assessing the suitability of the climatic conditions of North, Razavi and South Khorasan provinces for the autumn cultivation of sugar beet using the geographic information system. *Sugar Beet*, 34(2), 165-179.
22. Pavlů, K., Chochola, J., Pulkrábek, J., & Urban, J. (2017). Influence of sowing and harvest dates on production of two different cultivars of sugar beet. *Plant Soil and Environment*, 63, 76-81. <https://doi.org/10.17221/614/2016-PSE>
23. Pi, Z., Stevanato, P., Yv, L. H., Geng, G., Guo, X. L., Yang, Y., Peng, C. X., & Kong, X. S. (2014). Effects of potassium deficiency and replacement of potassium by sodium on sugar beet plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 61, 224-230. <https://doi.org/10.1134/S1021443714020101>
24. Reinefeld, E., Emmerich, B., Baumgarten, G., Winner, C., & Beiss, U. (1974). Zur voraussage des melassezuckers aus rubenanalysen. *Zucker*, 27, 2-15.
25. Refay, Y. A. (2010). Root yield and quality traits of three sugar beet (*Beta vulgaris* L.) varieties in relation to sowing date and stand densities. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6(5), 589-594. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.27.11.13732>
26. Richter, G. M. A., Semenov, Q. M. A., & Jaggard, K. W. (2006). Modelling the variability of UK sugar beet yields under climate change and husbandry adaptations. *Soil Use and Management*, 22(1), 39-47. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00018.x>
27. Rinaldi, M., & Vonella, A. V. (2006). The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrigation in Southern Italy: Water and radiation use efficiency. *Field Crops Research*, 95(2-3), 103-114.
28. Russell, T., Alexander John, T., Rush George, E., & Hawkes George, R. J. (1971). Advance in sugar beet production: *Principles and Practices*, 470.
29. Sadeghzadeh, D. S., Shirzadi, M. H., Aghaeizadeh, M., Fathullah Taleghani, D., Javaheri, M. A., & Ali Asgari, A. (2012). The effect of planting and harvesting dates on the quantitative and qualitative yield of five sugar beet cultivars in fall cultivation in Jiroft region. *Sugar Beet Research Institute, Karaj*, 28(1), 25-42.
30. Sadeghian Motahar, S. Y. (1994). Use of one-year gene (B) to screen bolting-resistant lines in sugar beet. *Sugar Beet*, 10(1), 1-7.
31. Sadegh Zadeh Hemaiati, S., Shirzadi, M. H., Aghaeizadeh, M., Taleghani, M. A., Javaheri, A., & Asgari, A. (2013). The effect of planting and harvesting date on the quantitative and qualitative yield of five cultivars in autumn sugar beet cultivation in Jiroft region. *Sugar Beet*, 28(1), 25-42.
32. Shalaby, N. M. E., Osman, A. M. H., & Allabbady, A. H. S. A. (2011). Relative performance of some sugar beet varieties under three plant densities in newly reclaimed soil. *Egyptian Journal of Agriculture and Research*, 89(1), 291-299. <https://doi.org/10.21608/ejar.2011.174272>
33. Tahisin, S., & Hali, A. (2004). Plant density and sowingdate effects on sugar beet yield and Quality. *Agronomy Journal*, 3(3), 215-218. <https://doi.org/10.3923/ja.2004.215.218>
34. Taleghani, D., & Sadegh Zadeh, S. (2012). Determining the most suitable date for planting and harvesting autumn sugar beet in Mughan, Fars and Golestan regions. Final Report of the Research Project. *Sugar Beet Research Institute*.
35. Taleghani, D., Mohammadian, R., & Sadeghzadeh Saghadi, S. (2012). Autumn sugar beet planting, growing and harvesting guide (2nd edition). *Publication of Agricultural Education, American Journal*, 174 p.
36. Toth, P., Tancik, J. J., & Cagan, L. (2006). Distribution and harmfulness of field dodder (*Cuscuta Campestris* Yuncker) at sugar beet fields in Slovakia. *Proc Nat Sci Matica Srpska Novi Sad. Proc Nat Sci Matica Srpska Novi Sad*. No. 110, 179-185.
37. Vahidi, H., Sadeghzadeh Hamaiti, S., Rajabi, A., & Yarnia, M. (2016). Reaction of quantitative and qualitative traits of sugar beet genotypes to different planting and harvesting dates. *Sugar Beet*, 34(1), 1-15.
38. Waling, I., Vark, W. V., Houba, V. J. G., & Vanderlee, J. J. (1989). Soil and Plant Analysis, A series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, Netherland. 168 p.
39. Wolfgang, A., Zachow, C., Müller, H., Grand, A., Temme, N., & Tilcher, R. (2020). Understanding the impact of cultivar, seed origin, and substrate on bacterial diversity of the sugar beet rhizosphere and suppression of soil-borne pathogens. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1-15. <http://doi.org/10.3389/fpls.2020.560869>
40. Yousefabadi, V. A. (2013). Comparison of quantitative and qualitative yields of bolting-resistant varieties of sugar beet under growing conditions of Golestan province. Final Report of the Research Project. *Sugar Beet Research Institute*.
41. Zarski, J., Kuśmierk-Tomaszewska, R., & Dudek, S. (2020). Impact of irrigation and fertigation on the yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in a moderate climate. *Agronomy*, 10, 166. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020166>



The Effect of Chemical and Biological Fertilizers on Yield, Yield Components and Protein Content of Sesame Grain (*Sesamum indicum* L.) under Different Irrigation Regimes

M. Moradi Shahdadi¹, M. Dejam^{2*}, M. Madandoust³, M. R. Baziar²

1- Ph.D. Student, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran

3- Associate Professor, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran

(*- Corresponding Author Email: Mahmood.dejam51@iau.ac.ir)

Received: 06 April 2024

Revised: 15 June 2024

Accepted: 09 July 2024

Available Online: 10 December 2024

How to cite this article:

Moradi Shahdadi, M., Dejam, M., Madandoust, M., & Baziar, M. R. (2025). The Effect of Chemical and Biological Fertilizers on Yield, Yield Components and Protein Content of Sesame Grain (*Sesamum indicum* L.) under Different Irrigation Regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(4), 441-456. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87509.1317>

Introduction

The production of oil, especially organic oil, from oilseed plants is important, so that oilseed plants occupy the second food reserves in the world after cereals. Sesame is an industrial plant that can be cultivated in arid and semi-arid regions, however, its growth and yield are limited by drought stress. Drought stress is considered as one of the most important factors limiting the performance of plants. Therefore, proper and principled management of agricultural inputs, including fertilizers, can partially reduce the negative effect of drought stress. This study aimed to examine the effects of chemical fertilizers, biofertilizers, and humic acid—applied individually and in combination—on the yield, yield components, and protein content of sesame grain under different irrigation regimes.

Materials and Methods

This research was carried out in the form of a split plot experiment based on the complete blocks design with three replications during the 2022 and 2023 at a research farm in Hormozgan province. The experimental treatments included irrigation regimes at three levels (irrigation after 40, 60 and 80% moisture discharge as main plots and fertilizer treatments at seven levels (control (F1), 100% need plant to phosphorus chemical fertilizer (F2), plant inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus (F3), humic acid (F4), 50% chemical fertilizer+mycorrhiza (F5), 50% chemical fertilizer+humic acid (F6) and 50% chemical fertilizer+Mycorrhiza+humic acid (F7) was in sub-plots. In this experiment, agronomic characteristics, yield, yield components and grain protein of sesame were investigated.

Results and Discussion

The results showed that irrigation regimes and fertilizer treatments showed a significant effect on the studied characteristics of sesame. Irrigation at 80% moisture reduced the plant height, the number of sub-branches, the number of leaves, the number of capsules, the weight of 1000 grain, the biological yield, the grain yield and the harvest index by nearly 35, 50, 37, 48, 42, 52, 61 and 13% respectively compared to irrigation at 40%. Therefore, increasing the plant's access to water improved cell growth and division by increasing cell mass. It



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87509.1317>

has been reported that there is a direct relationship between the increase of drought stress and the decrease of each of the growth characteristics of the plant, so that drought stress can cause damage to the growth characteristics and plant yield components, depending on the growth stage, which will reduce economic yield. On the contrary, irrigation after 80% treatment led to an increase in nitrogen and grain protein concentration compared to irrigation after 40%. In addition, among the fertilizer treatments, the F7 treatment resulted in an increase in growth characteristics, yield components, yield and nitrogen content of sesame grain. In this research, the individual application of mycorrhiza and humic acid could have more favorable growth characteristics than the application of 100% phosphorus chemical fertilizer or its non-application. Different mechanisms have been described for the effect of mycorrhizae on the growth characteristics of plants, such as increasing the absorption of nutrients, nitrogen, phosphorus, and low-use elements. Because in a mycorrhizal plant compared to a non-mycorrhizal plant, the creation of a wide hyphal network of fungi between the soil and the root provides a large surface for the absorption of nutrients. Humic acid is also able to improve the vegetative characteristics of plants by increasing the photosynthetic capacity, leaf water content and the metabolism of antioxidant compounds.

Conclusion

Increasing water availability, along with the combined application of reduced amounts of chemical fertilizers, mycorrhiza, and humic acid, resulted in improved quantitative and qualitative yield of sesame. The enhanced performance of the combined treatments compared to other fertilizer treatments can be attributed to the lack of organic matter in the region's soil. The best results were observed with the integrated treatment of mycorrhiza, humic acid, and chemical fertilizers, as it provided the plant with the most access to essential nutrients.

Keywords: Drought stress, Growth characteristics, Harvest index, Mycorrhizal fungi, Protein yield

تأثیر کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و پروتئین دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

محمود مرادی شهدادی^۱، محمود دژم^{۲*}، مهدی مدن دوست^۳، محمدرضا بازاریار^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

چکیده

کنجد یکی از قدیمی‌ترین گیاهان مورد کشت می‌باشد که به دلیل عملکرد کمی و کیفی روغن و همچنین، مقاومت در برابر خشکی در بسیاری از کشورهای کم‌باران دارای اهمیت است، با این وجود، مقاومت کنجد به خشکی به معنی عدم فراهم‌سازی کمترین نیاز گیاه به آب نمی‌باشد. از این رو، به منظور بررسی اثر کود شیمیایی، زیستی و اسید هیومیک بر عملکرد و میزان پروتئین دانه کنجد در رژیم‌های آبیاری، آزمایشی به صورت کرت خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در استان هرمزگان اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی) در کرت‌های اصلی و تیمارهای کودی، شاهد (F₁)، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر (F₂)، مایکوریزای آربوسکولار (F₃)، اسید هیومیک (F₄)، ۵۰ درصد کود فسفر + مایکوریزا (F₅)، ۵۰ درصد کود فسفر + اسید هیومیک (F₆) و ۵۰ درصد کود فسفر + مایکوریزا + اسید هیومیک (F₇)، در کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان داد که رژیم‌های آبیاری و تیمارهای کودی اثر بسیار معنی‌دار، بر ویژگی‌های زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد کنجد داشت. تیمار آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، برگ و کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و دانه و شاخص برداشت را به ترتیب ۳۵، ۵۰، ۳۷، ۴۸، ۴۲، ۵۲، ۶۱ و ۱۳ درصد نسبت به آبیاری پس از ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی کاهش داد. این در حالی بود که در تیمار آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی، افزایش نیتروژن و پروتئین دانه در مقایسه با آبیاری پس از ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی مشاهده شد. در بین تیمارهای کودی نیز تیمار F₇ افزایش ویژگی‌های رویشی، عملکرد و محتوی نیتروژن دانه را به دنبال داشت. در مجموع، افزایش دسترسی به آب هم‌گام با کاربرد تلفیقی کودها بهبود ویژگی‌های رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد کنجد را به دنبال داشت.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص برداشت، عملکرد پروتئین، چارچ مایکوریزا، ویژگی‌های رشدی

مقدمه

تولید روغن به‌ویژه روغن ارگانیک از گیاهان دانه روغنی اهمیت بسیاری دارد، به‌طوری‌که گیاهان دانه روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را به خود اختصاص می‌دهند. کنجد، گیاهی سازگار با نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا بوده که تحمل به خشکی، کمیت و کیفیت مطلوب روغن و بر خورداری از پروتئین و

آنتی‌اکسیدان‌ها از ویژگی‌های منحصر به فرد آن می‌باشد. این گیاه بومی ایران بوده و به دلیل ویژگی‌های بیان شده و همچنین، امکان کشت دوم پس از گندم، مورد توجه کشاورزان قرار دارد (Nezami, Fazeli Kakhaki, Zarghani, Shabahang, & Gandomzadehl, 2014). امروزه، کاهش دسترسی به منابع آبی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان مطرح می‌باشد. خشکی افزون‌بر کاهش عملکرد منجر به تشدید سایر تنش‌ها و به‌ویژه اختلال در جذب و تجمع مواد غذایی می‌شود. از این رو، مدیریت مطلوب و اصولی نهاده‌های کشاورزی از جمله کودها، می‌تواند تا حدی اثر منفی خشکی را کاهش دهد. از سوی دیگر، در سال‌های گذشته، استفاده از کودهای شیمیایی منجر به مشکلات زیست‌محیطی شدیدی شده است. در نتیجه، جهت کاهش این

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فسا، فسا، ایران

۲- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فسا، فسا، ایران

۳- دانشیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فسا، فسا، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Mahmood.dejam51@iaau.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87509.1317>

(Heidari, Payedar, Baradran Firozabad, & Abedinin)
(Esfalati, 2020).

براساس نتایج پژوهش شعبانی و موحدی دهنوی (Shaabani, & Movahhedi Dehnavi, 2017)، استفاده تلفیقی از ۷۵ کیلوگرم کود نیتروژن و ریزوبیوم منجر به افزایش عملکرد کمی و کیفی و درصد روغن سویا^۲ رقم ویلیامز در منطقه گرم و خشک داراب (فارس) شد. در پژوهش کوچکی و همکاران (Koocheki, Bakhshaie, Khorramdel, Mokhtari, & Taherabadi, 2015) ترکیب باکتری حل‌کننده فسفات + نیتروکسین، ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه کنگد را افزایش داد. این پژوهشگران دلیل بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان در همزیستی با قارچ مایکوریزا را به تولید انواع مختلف هورمون‌ها و مواد زیستی محرک رشد و همچنین، توسعه ریشه در اثر فراهم‌سازی رطوبت و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر گزارش کردند. گیاه کنگد از گیاهان مقاوم در برابر خشکی می‌باشد، اما بر خورداری کنگد از این ویژگی به معنی دستیابی به رشد و عملکرد مطلوب آن بدون فراهم‌سازی کمترین آب مورد نیاز گیاه نمی‌باشد (Asadi, Baradran, Seghatoleslami, & Moosavi, 2021). بنابراین، با توجه به مشکلات جدی در ارتباط با محدودیت منابع آبی و خشکسالی در کشور، به‌ویژه استان هرمزگان، و با توجه به این‌که پژوهش‌چندانی در زمینه کاربرد ترکیب‌های زیستی از جمله قارچ مایکوریزا و اسید هیومیک بر بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی کنگد در استان انجام نشده است، این پژوهش، با هدف بررسی تلفیقی کود شیمیایی فسفر با قارچ مایکوریزای آربوسکولار و اسید هیومیک در رژیم‌های آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و میزان پروتئین دانه کنگد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در روستای سرچاهان شهرستان حاجی‌آباد استان هرمزگان به عرض و طول جغرافیایی به‌ترتیب ۲۸/۳ درجه شمالی و ۵۵/۹ درجه شرقی و در ارتفاع ۹۳۱ متری از سطح دریا طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد. ویژگی‌های آب‌وهوایی منطقه در طی دوره رشد گیاه در **جدول ۱** ارائه شده است. پیش از شروع آزمایش، جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت (**جدول ۲**).

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد و تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح، آبیاری پس از ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد

مشکلات و مدیریت حاصلخیزی خاک، بایستی به سمت شیوه‌های کشاورزی پایدار حرکت کرد. یکی از شیوه‌های کاربردی در جهت افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی، کاربرد کودهای زیستی می‌باشد. کودهای زیستی منجر به افزایش دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی و همچنین، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی و بهبود ساختمان خاک می‌شوند (Nadarajah & Abdul Rahman, 2023).

ریزجانداران حل‌کننده فسفات که به‌طور عمده شامل باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌باشند، با تولید اسیدهای آلی، حلالیت فسفات معدنی کم محلول را افزایش می‌دهند. افزون‌براین، بسیاری از ریزجانداران با تولید آنزیم‌های فسفاتاز، عنصر فسفر را از ترکیب‌های آلی آزاد ساخته و در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Jerbi et al., 2022). همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا به‌دلیل بهبود روابط آبی گیاه میزبان یکی از راهکارهایی است که مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است و قارچ گломوس به‌علت همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی و افزایش جذب عناصری از قبیل فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف منجر به کاهش اثر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت به عوامل بیماری‌زا در کشاورزی پایدار می‌شود (Rezaei-Chiyaneh, Khorramdel, Movludi, & Rahimi, 2017). کاربرد مواد زیستی و مواد تنظیم‌کننده رشد نیز در شرایط تنش‌های محیطی، مورد توجه می‌باشد. اسید هیومیک به‌دلیل اثر بر فرآیندهای ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، یکی از این قبیل ترکیب‌های می‌باشد. اسید هیومیک یک پلیمر طبیعی است که نتیجه نهایی عمل هومیفیکاسیون بوده و در اثر انجام فرآیند شیمیایی و باکتریایی در خاک تشکیل می‌شود و دارای موضع‌های مربوط به عامل‌های اسیدی کربوکسیل بنزوئیک و فنلی (مکان‌های تبادل کاتیونی) می‌باشد (Lasheen et al., 2023).

مطابق با پژوهش سیدشریفی و سیدشریفی (Seyed Sharifi, & Seyed sharifi, 2019) بیشترین عملکرد دانه آفتابگردان^۱ در کاربرد همزمان کودهای زیستی و آبیاری کامل به‌دست آمد و کمترین آن به قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل گل‌دهی و بدون کاربرد کودهای زیستی تعلق داشت، به‌طوری‌که در شرایط قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و پر شدن دانه، استفاده از تیمار مایکوریزا + آزتوباکتر، عملکرد دانه را به‌ترتیب ۱۳/۳ و ۲۳/۵ درصد در مقایسه با عدم کاربرد آن‌ها در همان سطح از قطع آبیاری، افزایش داد. در بررسی تأثیر تنش خشکی و کاربرد اسید هیومیک بر عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان مشخص شد که اعمال تنش خشکی، کاهش عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان را به دنبال دارد، درحالی‌که استفاده از اسید هیومیک با کاهش اثر منفی تنش منجر به بهبود عملکرد شد

به صورت تقسیط (مراحل شش برگی، ساقه دهی و شروع گل دهی) استفاده شد. کود پتاسیم نیز به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم پیش از کاشت به کار رفت. تمامی مقادیر کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل براساس تیمارهای بیان شده، در زمان کاشت در کرت های مربوطه به کار برده شد، به طوری که برای تیمار کودی ۱۰۰ و ۵۰ درصد به ترتیب ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود استفاده شد.

تخلیه رطوبتی (به ترتیب I₁، I₂ و I₃)، در کرت های اصلی و تیمارهای کودی در هفت سطح، شاهد (F₁)، ۱۰۰ درصد نیاز گیاه به کود شیمیایی فسفر (F₂)، تلقیح با قارچ مایکوریزا (F₃)، اسید هیومیک (F₄)، ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا (F₅)، ۵۰ درصد کود شیمیایی + اسید هیومیک (F₆) و ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا + اسید هیومیک (F₇) در کرت های فرعی بودند. پس از آماده سازی مزرعه، کود نیتروژن از منبع اوره به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار

جدول ۱- ویژگی های آب و هوایی منطقه مورد مطالعه در طول دوره رشد کنجد در سال های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Table 1- Climate weather characteristics of the region during the years 2022 and 2023

سال Year	ماه سال Month of the year	میانگین دمای کمینه Average minimum temperature (°C)	میانگین دمای بیشینه Average maximum temperature (°C)	مجموع بارش Total precipitation (mm)	میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%)	میانگین ساعت آفتابی Average of sunshine hours
2022	اردیبهشت May	23.2	42.6	0	22	334
	خرداد June	27.7	40.1	49.4	40.6	285.2
	تیر July	26.3	41.5	3.1	17.4	354
	مرداد August	21.7	38.6	20.3	34.9	296.4
	شهریور September	13.8	34.6	0	34.1	309.1
	مهر October	9.8	27.1	22.2	49.1	258.3
جمع Total	-	122.5	224.5	95	198	1837
میانگین Average	-	20.4	37.4	-	33	306
2023	اردیبهشت May	24.2	42	10	27.4	344.1
	خرداد June	27.3	42.5	13	34.2	316.1
	تیر July	26.1	42.1	0	25.3	330
	مرداد August	22.8	39.9	0	34.1	280.9
	شهریور September	16.3	34.5	6.3	36.4	295
	مهر October	9.5	26.7	22.4	49.4	243.9
جمع Total	-	126.2	227.7	51.7	207.3	1810
میانگین Average	-	21	38	-	34.5	301.6

جدول ۲- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 2- Physical and chemical properties of soil

سال Year	عمق Depth (cm)	pH	FC (%)	PWP (%)	EC (dS m ⁻¹)	Organic C (%)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
2022	0-30	7.9	24	12	2.3	0.44	0.03	6.5	183
2023	0-30	7.8	-	-	2.2	0.52	0.02	5.8	200

خاک تعداد ۱۲۰ اسپور قارچ وجود داشت. تیمارهای اسید هیومیک نیز به مقدار پنج کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (آبیاری دوم و ساقه دهی) برای تیمارهای مربوطه به کار برده شد.

گونه های مایکوریزای آربوسکولار از بخش تحقیقات بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه و به مقدار پنج گرم از خاک محتوی مایکوریزا برای هر بوته استفاده شد، به طوری که در هر گرم

سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت در آون خشک شد و در نهایت، عملکرد زیستی براساس کیلوگرم در هکتار گزارش شد.

پس از برداشت گیاهان در مهرماه هر سال، عملکرد دانه و اجزای آن شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه به دست آمد و در نهایت، شاخص برداشت از رابطه (۲) محاسبه شد. جهت تعیین عملکرد زیستی، از هر کرت، مساحتی معادل یک مترمربع برداشت و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه در آون با درجه حرارت ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و پس از آن، وزن خشک به دست آمد. برای اندازه‌گیری مقدار نیتروژن دانه از روش کج‌للال استفاده شد. سپس، با استفاده از رابطه (۳) محتوای پروتئین دانه به دست آمد. عملکرد پروتئین نیز از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$(۲) \quad \text{عملکرد اقتصادی (کیلوگرم بر هکتار)} = \frac{\text{عملکرد زیستی (کیلوگرم بر هکتار)}}{\text{شاخص برداشت (درصد)}} \times 100$$

$$(۳) \quad \text{عملکرد زیستی (کیلوگرم بر هکتار)} = 6.25 \times \text{مقدار نیتروژن (درصد)} = \text{غلظت پروتئین دانه (درصد)}$$

$$(۴) \quad \text{عملکرد پروتئین (کیلوگرم بر هکتار)} = \text{غلظت پروتئین دانه (درصد)} \times \text{عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)}$$

پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آن‌ها و همگنی سال‌های آزمایش، تجزیه واریانس مرکب با نرم‌افزار v.9.2 SAS انجام شد و رسم نمودارها با نرم‌افزارهای Excel و R (3.5.2) صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با کمک آزمون LSD ($p < 0.05$) انجام شد.

نتایج و بحث

مطابق با جدول ۳، اثر سال‌های آزمایش بر ارتفاع بوته، تعداد برگ و کپسول در بوته و دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و دانه، میزان نیتروژن و پروتئین دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که بر تعداد شاخه فرعی، شاخص برداشت و عملکرد پروتئین از نظر آماری معنی‌دار نشد. اثر رژیم‌های آبیاری بر شاخص برداشت در سطح پنج درصد و بر سایر ویژگی‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار شد. تیمارهای کودی نیز بر تعداد شاخه فرعی در سطح پنج درصد و بر سایر ویژگی‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش سال در رژیم‌های آبیاری تنها بر تعداد دانه در کپسول، میزان نیتروژن و پروتئین دانه و عملکرد پروتئین از لحاظ آماری معنی‌دار شد.

بذرهای کنجد رقم داراب-۱ از ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان داراب تهیه و در ۲۰ خرداد ماه هر سال در کرت‌هایی با ابعاد ۱۲ مترمربع کاشته شد. بذر کنجد در روی خطوط ابتدا به‌صورت متراکم کشت شده و سپس، در مراحل اولیه رشدونمو (دو تا سه برگ) تنک شدند، به‌طوری‌که تراکم مورد نظر به دست آمد. در این آزمایش، فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود. بعد از کاشت بذر، آبیاری اول و دوم جهت یکنواختی سبز شدن براساس ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی (شاهد) انجام شد و پس از آن، آبیاری براساس درصد تخلیه رطوبت آب قابل‌استفاده خاک در عمق توسعه ریشه اعمال شد. جهت اعمال تیمارهای آبیاری، اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌روش وزنی از طریق نمونه‌گیری‌های مکرر از عمق توسعه ریشه در وسط هر کرت در هر تکرار انجام شد. آبیاری کرت‌ها به‌صورت جوی و پشته‌ای بود و مقدار آب مصرفی با در نظر گرفتن رطوبت ظرفیت زراعی خاک، مساحت هر کرت و عمق توسعه ریشه براساس مترمکعب از طریق رابطه (۱) محاسبه و آبیاری هر تیمار بر آن اساس انجام شد. مقدار آب مصرفی نیز توسط کنتور برای هر کرت آزمایشی اندازه‌گیری شد و جهت تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد.

$$(۱) \quad Ig = \frac{(\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \times t \times \rho \times D \times A \times 100}{E_a}$$

که در آن، θ_{fc} : مقدار رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی خاک (درصد)، θ_{pwp} : مقدار رطوبت خاک در نقطه پژمردگی (درصد)، t : درصد تخلیه رطوبت خاک، ρ : وزن مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمربع)، D : عمق توسعه ریشه (متر)، A : مساحت کرت (مترمربع)، Ig : مقدار آب آبیاری (لیتر) و E_a : راندمان آب آبیاری (درصد) می‌باشد (Sanchez, Manzanares, De Andres, Tenorio, & Ayerbe, 1998). در طول دوران رشدونمو گیاه، عملیات وجین علف‌های هرز با دست انجام شد.

جهت تعیین ویژگی‌های زراعی (ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و تعداد برگ) در مرحله گل‌دهی نمونه‌برداری انجام شد، به‌طوری‌که پس از حذف اثر حاشیه، تعداد ۱۰ بوته در هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و میانگین ویژگی‌های مورد نظر محاسبه شد. همچنین، به‌منظور محاسبه عملکرد زیستی، بوته‌های یک مترمربع در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی از فاصله ۱۵ سانتی‌متری سطح زمین برداشت و پس از توزین نمونه‌های تر، در دمای ۷۰ درجه

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثر مایکوریزا، اسید هیومیک، کود شیمیایی و تلفیق آن‌ها در رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های کنجد

Table 3- Composite variance analysis of the effect of mycorrhiza, humic acid, chemical fertilizer and their combination in irrigation regimes on sesame characteristics

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Number of sub- branches	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کپسول Number of grain per capsule	وزن هزار دانه Thousand grain weight	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	نیترژن دانه Grain nitrogen	پروتئین دانه Grain protein	عملکرد پروتئین Protein yield
سال Year (Y)	1	8850.2**	0.3 ^{ns}	6893.8**	6329**	7873**	0.88**	41149714.6**	3170985**	1.4 ^{ns}	15.2**	595**	194 ^{ns}
تکرار (سال) Rep. (Y)	2	56	0.3	223	35.2	14	0.2	2342895	9128.2	62	0.002	0.08	516
آبیاری Irrigation (I)	2	2125**	3.5**	51643.8**	12180.6**	5429.5**	2**	112585004.7**	12568788.5**	162.7*	11**	428**	197453.8**
سال×آبیاری Y×I	2	59.5 ^{ns}	0.04 ^{ns}	203.2 ^{ns}	86.6 ^{ns}	352*	0.002 ^{ns}	376515.6 ^{ns}	57970.3 ^{ns}	0.3 ^{ns}	0.2**	7.7**	8248.4*
خطا Error a	4	78.6	0.1	153.2	48.3	25.7	0.06	1001898.4	33375.4	17.3	0.01	0.7	1250.6
کود Fertilizers (F)	6	10270**	0.3*	14402**	4538.8**	2401.7**	0.3**	1216090.5**	317163**	121**	3.7**	144.5**	48623.4**
سال×کود Y×F	6	255.6 ^{ns}	0.003 ^{ns}	115.8 ^{ns}	32.6 ^{ns}	124.5 ^{ns}	0.006 ^{ns}	80898.6 ^{ns}	55919.4 ^{ns}	32 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1 ^{ns}	1735.2 ^{ns}
آبیاری×کود I×F	12	54.6 ^{ns}	0.01 ^{ns}	134 ^{ns}	88 ^{ns}	81.5 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	106796.5 ^{ns}	29335.3 ^{ns}	12.5 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1 ^{ns}	2517 ^{ns}
سال×آبیاری×کود Y×I×F	12	127.8 ^{ns}	0.003 ^{ns}	129.6 ^{ns}	120 ^{ns}	11 ^{ns}	0.005 ^{ns}	44911 ^{ns}	13606 ^{ns}	11.7 ^{ns}	0.04 ^{ns}	1.5 ^{ns}	652.5 ^{ns}
خطا Error	24	146	0.1	150	72.5	99.8	0.06	547843.3	45902	30	0.02	1	1573.4
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	11.6	23.3	8.2	16.2	23	16.2	16.4	18	20.3	6	6	20.4

ns, ** and *: are respectively non-significant, significant at the statistical level of one percent and five percent based on the LSD test.
ns, ** and *: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار، معنی‌دار در سطح آماری یک درصد و پنج درصد براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

ویژگی‌های زراعی

نتایج مقایسه میانگین رژیم‌های آبیاری حاکی از بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و برگ در آبیاری I₁ داشت و با کاهش آب در دسترس، کاهش ویژگی‌های مذکور مشاهده شد (جدول ۵)، به‌طوری‌که در رژیم‌های آبیاری I₂ و I₃، ارتفاع بوته به‌ترتیب ۱۹/۴ و ۳۵/۴ درصد، تعداد شاخه فرعی ۳۷ و ۴۲ درصد و تعداد برگ ۲۵ و ۳۷ درصد نسبت به I₁ کاهش یافت. گزارش شده است که بین افزایش تنش خشکی و کاهش هر یک از ویژگی‌های رشدی گیاه ارتباط مستقیمی وجود دارد، به‌طوری‌که تنش خشکی با توجه به مرحله رشدی می‌تواند آسیب به ویژگی‌های رویشی و اجزای عملکرد گیاه را به دنبال داشته باشد که منجر به کاهش عملکرد اقتصادی می‌شود (Yemata & Bekele, 2024). مطابق با نتایج این پژوهش، برده‌جی و همکاران (Bardehji, Eshghizadeh, & Zahedi, 2020) کوتاه‌قدی گیاهان در تیمارهای تنش خشکی را به رقابت بین بوته‌های گیاه جهت به‌دست آوردن آب عنوان کردند که به تبع آن، تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه کاهش می‌یابد. همچنین، در بررسی تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژی کنجد، کاهش نزدیک به ۲۲ و ۵۰ درصدی ارتفاع بوته و تعداد برگ در شرایط تنش آبی نسبت به شاهد گزارش شد (Yemata & Bekele, 2024).

همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، تیمار کودی F₇ بیشترین ارتفاع بوته را با میانگین ۶۴ درصد نسبت به F₁ به خود اختصاص داد. این در حالی بود که دو تیمار کودی F₆ و F₅ نیز با F₇ در سطح آماری مشترکی قرار داشتند. سپس، F₄ و F₃ بدون اختلاف با یکدیگر و به‌ترتیب با ۳۱ و ۳۳ درصد افزایش در مقایسه با F₁، قرار داشتند و در نهایت، F₂، ۱۰/۵ درصد افزایش نسبت به F₁، مشاهده شد. تعداد شاخه فرعی نیز در F₇ از بیشترین مقدار، ۵۵ درصد افزایش در مقایسه با F₁، برخوردار بود، درحالی‌که تیمارهای F₆، F₅ و F₄ با F₇ در گروه آماری مشترکی قرار داشتند. در نهایت، F₂ با افزایش اندکی نسبت به F₁ و بدون اختلاف با آن، مشاهده شد. تیمار F₇ همچنین، بیشترین تعداد برگ را با افزایش ۵۶/۶ درصدی نسبت به F₁، به خود اختصاص داد. در مرتبه بعد، F₆ و F₅، ۴۳ درصد افزایش در مقایسه با F₁، قرار داشتند، سپس F₃ و F₄، به‌ترتیب ۱۹ و ۱۸ درصد افزایش در مقایسه با F₁ و بدون اختلاف مشاهده شد.

مطابق با نتایج این پژوهش، کاربرد تلفیقی سه‌گانه و دوگانه کود شیمیایی فسفر با مایکوریزا و اسید هیومیک منجر به بهبود ویژگی‌های زراعی کنجد در مقایسه با کاربرد جداگانه آن‌ها شد. این در حالی بود که کاربرد انفرادی مایکوریزا و اسید هیومیک نیز توانست از ویژگی‌های رشدی مطلوب‌تری نسبت به کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر و یا عدم کاربرد آن برخوردار شود. سازوکارهای

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سال‌های آزمایش بر ویژگی‌های زراعی و عملکرد کنجد

سال‌های آزمایش Years of experiment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	وزن هزار دانه Thousand grain weight (g)	عملکرد زیستی Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)
2022	111.8 ^a	155.2 ^a	59.4 ^a	2.8 ^a	5065.4 ^a	1324 ^a
2023	95 ^b	140.4 ^b	45.2 ^b	2.3 ^b	3922.4 ^b	1026.6 ^b

* اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.
* Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

کاهش آب در دسترس، کاهش تعداد دانه نیز مشاهده شد. کاهش اجزاء عملکرد کنگد در اثر تنش خشکی را می‌توان به کاهش رشد اندام‌های زایشی گیاه و کاهش تولید و تخصیص مواد فتوسنتزی به آن‌ها نسبت داد (Yemata & Bekele, 2024). با توجه به فصل کشت کنگد در کشور، بروز تنش خشکی در طول فصل رشد اثر منفی درجه حرارت تابستان را تشدید می‌کند که در این شرایط، تشکیل و رشد کپسول و دانه در هر بوته به کمترین مقدار رسیده که به تبع آن، کاهش عملکرد دانه را به دنبال دارد.

بهبود شرایط رشد بوته‌ها با افزایش آبیاری به دلیل تحریک رشد رویشی و افزایش تولید و تجمع ماده خشک که در نهایت، به افزایش اجزای عملکرد منجر می‌شود، در پژوهش‌های بسیاری گزارش شده است. در بررسی محرابی‌زاده و احسان‌زاده (Mehrabi Zadeh & Ehsan Zade, 2012)، وزن هزار دانه کنگد تحت تأثیر شرایط آبیاری قرار نگرفت، اما افزایش به‌ترتیب حدود ۳۵ و ۲۱ درصدی تعداد کپسول و دانه کنگد با کاهش دور آبیاری از هشت به شش روز گزارش شد. همچنین، کاهش اجزای عملکرد کنگد به‌ویژه تعداد شاخه جانبی و کپسول، در اثر افزایش فاصله آبیاری و کاهش رشد رویشی بیان شد (Dutta, Bandyopadhyay, & Maity, 2000).

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین تعداد کپسول در بوته و دانه در کپسول و وزن هزار دانه در تیمار F7 به‌دست آمد. این در حالی بود که تعداد دانه در هر کپسول در F5 و F6 و وزن هزار دانه در F3، F4 و F6 با تیمار بیان‌شده دارای حرف مشترک آماری بودند. کمترین مقادیر ویژگی‌های مذکور نیز با ۵۹، ۵۲ و ۳۱ درصد کاهش برای به‌ترتیب تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه مربوط به F1 بود (جدول ۶). قارچ میکوریزا ممکن است با بهبود جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و اسید هیومیک با افزایش فتوسنتز و جذب عناصر غذایی (Jahan et al., 2019) منجر به بهبود اجزای عملکرد گیاه در مزرعه شده باشد. در پژوهشی گزارش شد که تلقیح کنگد با قارچ میکوریزا *G.mosseae* منجر به افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به شاهد شد (Gholinezhad, Darvishzadeh, & Abhari, 2022). در بررسی کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2015) تلقیح با گونه‌های میکوریزا بر اجزای عملکرد کنگد اثر بسیار معنی‌دار داشت و تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه نسبت به شاهد به‌ترتیب ۹۰، ۴۳ و ۴۹ درصد بهبود یافت. نوری حسینی و همکاران (Nourihoseini, Khorasani, Astarai, Rezvani Moghadam, & Zabihi, 2017) گزارش کردند که استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی + اسید هیومیک + کود گاوی در مقایسه با کاربرد جداگانه هر یک از آن‌ها منجر به افزایش اجزای عملکرد زیره سیاه^۲ می‌شود.

متفاوتی برای تأثیر میکوریزا بر رشد گیاهان بیان شده است، از قبیل افزایش جذب مواد غذایی نیتروژن، فسفر و عناصر کم‌مصرف، چرا که در گیاه میکوریزایی نسبت به غیر میکوریزایی، با ایجاد شبکه هیفی گسترده قارچ بین خاک و ریشه، سطح وسیعی را جهت جذب مواد مغذی فراهم می‌کند (Gholinezhad, Darvishzadeh, Siavash, Moghaddam, & Popović-Djordjević, 2020). اسید هیومیک نیز قادر است با افزایش ظرفیت فتوسنتزی، محتوی آب برگ و سوخت‌وساز ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی منجر به بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان شود (Jahan, Nassiri Mahallati, & Amiri, 2019).

در بررسی تلفیقی کودهای زیستی، شیمیایی و اسید هیومیک بر گیاه ریحان^۱ مشخص شد که تیمار کودهای زیستی + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی + اسید هیومیک، بیشترین تعداد برگ را تولید کرد که تفاوت معنی‌داری با شاهد داشت. به اعتقاد آن‌ها، به دلیل تأثیر رشد رویشی گیاه از فعالیت ریشه و انتقال آب و عناصر غذایی توسط آن، ممکن است کودهای زیستی با تولید مواد تنظیم‌کننده رشد و اسید هیومیک با بهبود ساختار خاک، منجر به افزایش گسترش ریشه، جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت، افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ گیاه شود (Jahan, Ghaleonee, Khamooshi, & Amiri, 2015).

براساس نتایج این مطالعه (جدول ۴)، ارتفاع بوته و تعداد برگ در سال ۱۴۰۲، ۱۵ و ۱۰ درصد به‌ترتیب، در مقایسه با سال ۱۴۰۱ کاهش یافت. در سال اول، بارندگی در طی فصل رشد گیاه نسبت به سال دوم، نزدیک به ۸۴ درصد افزایش نشان داد که می‌تواند دلیل بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه در سال ۱۴۰۱ باشد، چرا که افزایش دسترسی گیاه به آب با افزایش آماس سلولی، رشد و تقسیم سلول‌ها را بهبود می‌دهد (Yemata & Bekele, 2024).

اجزای عملکرد

مطابق با جدول ۵، بیشترین تعداد کپسول در بوته و وزن هزار دانه برای آبیاری I1 به‌دست آمد که به‌ترتیب ۳۵ و ۶۵ درصد تعداد کپسول در بوته و ۳۲ و ۵۳ درصد وزن هزار دانه بیشتری نسبت به I2 و I3 نشان داد. نتایج برهم‌کنش سال در رژیم‌های آبیاری بر تعداد دانه در کپسول (شکل ۱)، نیز حاکی از بیشترین تعداد دانه در هر سه تیمار آبیاری برای سال اول نسبت به سال دوم داشت، به‌طوری‌که تیمارهای I1، I2 و I3 در سال ۱۴۰۱ به‌ترتیب ۴۹، ۳۷ و ۳۶/۸ درصد تعداد دانه بیشتری نسبت به سال ۱۴۰۲ داشتند. افزون‌براین، بیشترین تعداد دانه در کپسول در هر دو سال، مربوط به تیمار I1 بود که با

دانه را به طور معنی داری افزایش داد. پژوهشگران اعتقاد دارند که وزن هزار دانه از ویژگی‌هایی است که بیشتر از عوامل ژنتیکی تأثیر می‌پذیرد، از این رو کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Kalantari et al., 2021)، اما در این مطالعه، وزن هزار دانه کنجد تحت تأثیر شرایط بهتر آب‌وهوایی منطقه در سال اول قرار گرفت. در پژوهشی گزارش شد که وجود تنش خشکی در طی دوره رشد گیاه کنجد به دلیل کوتاهی دوره پر شدن دانه و کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه که خود به علت کاهش سطح برگ و فتوسنتز می‌باشد، وزن هزار دانه را کاهش می‌دهد (Nasir & Toth, 2020).

همان گونه که در نتایج مقایسه میانگین‌ها جدول ۴، مشاهده می‌شود، بالاترین تعداد کپسول در بوته و وزن هزار دانه به ترتیب با ۳۱/۴ و ۲۲ درصد افزایش نسبت به سال ۱۴۰۲، در سال ۱۴۰۱ به دست آمد. افزایش بارندگی در سال اول نسبت به سال دوم بهبود ویژگی‌های زراعی و همچنین، اجزای عملکرد کنجد را به دنبال داشت، چرا که افزایش ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی کنجد به افزایش تعداد کپسول در بوته منجر می‌شود (Kalantari, Armin, & Marvi, 2021). افزایش وزن هزار دانه در سال ۱۴۰۱ نسبت به ۱۴۰۲ می‌تواند به رقابت شدید گلچه‌های بارور و دانه‌های کپسول برای جذب مواد فتوسنتزی در سال اول مرتبط باشد که در نتیجه، وزن هزار

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های زراعی و عملکردی کنجد

Table 5- Mean comparison of average the effect of irrigation regimes on agronomical characteristics and yield of sesame

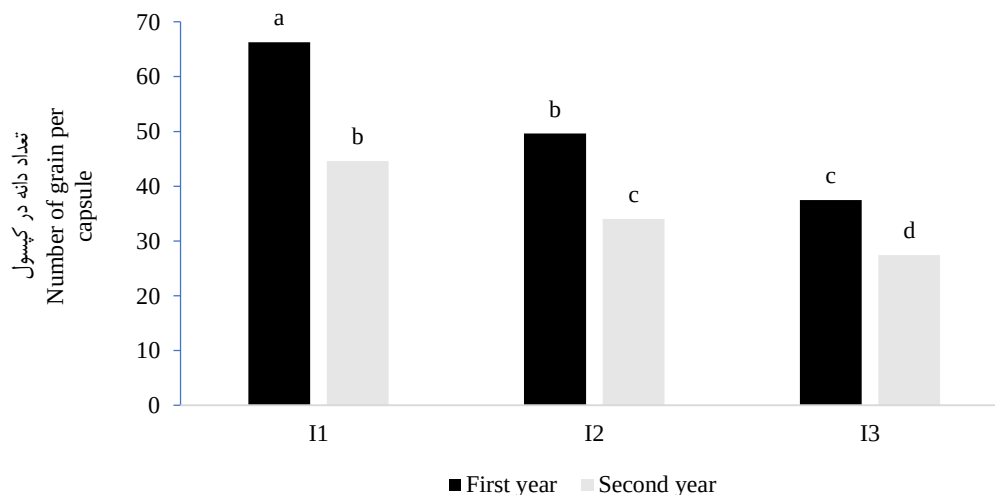
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	وزن هزار دانه Thousand grain weight (g)	عملکرد زیستی Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
I1	126.6 ^{a*}	3.8 ^a	186 ^a	68.2 ^a	3.3 ^a	6119.3 ^a	1773.3 ^a	29 ^a
I2	102 ^b	2.54 ^b	140 ^b	50.5 ^b	2.5 ^b	4300.6 ^b	1091 ^b	26.2 ^{ab}
I3	81.7 ^c	2.19 ^b	117.3 ^c	41.3 ^c	2.16 ^c	2962 ^c	691.4 ^c	25.2 ^b

* اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند.

* Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

I1, I2 and I3: به ترتیب آبیاری پس از ۴۰ (شاهد)، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی

I1, I2 and I3: irrigation after 40 (control), 60 and 80 percent of moisture discharge, respectively



شکل ۱- برهم کنش سال در رژیم آبیاری بر تعداد کپسول در کنجد

Figure 1- The interaction of the year in the irrigation regime on the number of capsules in sesame

I1, I2 and I3: به ترتیب آبیاری پس از ۴۰ (شاهد)، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی

I1, I2 and I3: irrigation after 40 (control), 60 and 80 percent of moisture discharge, respectively

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$).

عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، اعمال آبیاری طبیعی برای بوته‌های کنجد منجر به افزایش عملکرد زیستی، دانه و شاخص برداشت شد و کاهش آب در دسترس، عملکرد کنجد را کاهش داد. به‌طوری که در تیمارهای I_2 و I_3 نسبت به I_1 کاهش عملکرد زیستی و دانه معنی‌دار بود، اما شاخص برداشت در تیمار I_2 با I_1 اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقادیر نیز برای I_3 با به‌ترتیب ۳۱، ۳۸ و ۱۳ درصد کاهش نسبت به I_1 برای عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت، ثبت شد (جدول ۵). براساس گزارش اسکندری و همکاران (Eskandari, Zehtab Salmasi, & Ghasemi, 2010)، کمبود آب در کنجد منجر به کاهش ارتفاع بوته و تعداد برگ در گیاه می‌شود و از آنجایی که این ویژگی‌ها همبستگی مثبت با عملکرد دارند، کاهش آن‌ها می‌تواند عملکرد گیاه را با کاهش مواجه سازد. در پژوهشی دیگر مشخص شد که اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی و کپسول‌دهی کنجد منجر به کاهش ۵۶ و ۴۵ درصدی عملکرد نسبت به شاهد می‌شود (Farahbakhsh & Farahbakhsh, 2015).

شاخص برداشت تا حد زیادی به عوامل ژنتیکی گیاه در تبدیل و تخصیص مواد فتوسنتزی به مخزن (دانه‌ها) مرتبط می‌باشد (Koocheki et al., 2015). اما پژوهش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد، شاخص برداشت توسط سایر عوامل نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Gholinezhad et al., 2017). به نظر می‌رسد که در این مطالعه، افت شاخص برداشت کنجد به دلیل تنش واردشده به اندام‌های رویشی و زایشی گیاه مربوط باشد، به‌طوری که کاهش مقدار آب در I_3 تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی داشت که منجر به کاهش شاخص برداشت شد.

مطابق با نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶)، تیمار F_5 بیشترین مقدار عملکرد زیستی، عملکرد دانه و به تبع آن شاخص برداشت را به خود اختصاص داد. لازم به ذکر است که F_6 و F_7 نیز با تیمار بیان شده اختلاف معنی‌دار نشان ندادند. کمترین عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت نیز به F_1 به‌ترتیب با ۳۸، ۲۷ و ۲۱/۶ درصد کاهش تعلق داشت. به نظر می‌رسد که کاربرد مقادیر کاهش یافته کود شیمیایی همراه با کودهای زیستی منجر به افزایش عملکرد اجزای عملکرد گیاه کنجد در منطقه شده باشد که با افزایش عملکرد زیستی و دانه کنجد (Koocheki et al., 2015) و آفتابگردان (Jamshidi, Ghalavand, Salehi, Javad Zare, & Jamshidi, 2009) در اثر تلقیح با گونه‌های مایکوریزا مطابقت داشت. این موضوع می‌تواند به دلیل فراهم‌سازی نیاز تغذیه‌ای گیاه در تیمارهای تلفیقی نسبت به سایر تیمارها باشد، چرا که مواد آلی و زیستی با تأثیر مثبت بر جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، بهبود توزیع آب در گیاه،

افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز و تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش عملکرد گیاه را به دنبال دارند. همچنین، همزیستی گیاهان با قارچ مایکوریزا با افزایش ساخت مواد فتوسنتزی و افزایش راندمان انتقال این مواد به مخازن زایشی، منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی می‌شود (Koocheki et al., 2015). از سویی دیگر، دلیل مطلوب بودن تیمارهای تلفیقی نسبت به سایر تیمارهای کودی در این تحقیق می‌تواند به کمبود مواد آلی در خاک منطقه مربوط باشد که بهترین عملکرد در تیمارهایی با بیشترین دسترسی به عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مشاهده شد.

مطابق با جدول ۴، در سال دوم بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی به دست آمد که به‌ترتیب ۲۲/۵ و ۲۲/۴ درصد کمتر از سال اول بود. افزایش ویژگی‌های رویشی و اجزاء عملکرد در سال ۱۴۰۱ منجر به بهبود عملکرد اقتصادی کنجد شد. ممکن است بارندگی بیشتر در سال اول با تحریک رشد اندام‌های فتوسنتزی و ارتفاع گیاه، افزایش عملکرد زیستی و دانه را به علت افزایش تولید و تجمع مواد فتوسنتزی منجر شده باشد. براساس نتایج این مطالعه، در پژوهشی دلیل اصلی کاهش عملکرد کنجد در اثر کاهش مقدار آب در دسترس گیاه به کاهش ارتفاع بوته نسبت داده شد (Koocheki et al., 2015).

درصد نیتروژن، پروتئین و عملکرد پروتئین

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن و پروتئین دانه در هر سه رژیم آبیاری در سال دوم بیشتر از سال اول می‌باشد. افزون‌براین، I_2 و I_3 در هر دو سال، مقادیر نیتروژن و پروتئین بیشتری را نسبت به I_1 تولید کردند. در نتیجه، کمترین مقدار نیتروژن و پروتئین دانه به‌ترتیب با ۴۸ درصد کاهش نسبت به I_3 ، در آبیاری I_1 در سال ۱۴۰۱ به دست آمد، در حالی که بیشترین عملکرد پروتئین برای I_1 در سال دوم آزمایش حاصل شد که با I_2 در سال اول اختلاف معنی‌دار نداشت. کمترین عملکرد پروتئین نیز در هر دو سال در آبیاری I_3 ، نزدیک به ۵۳ و ۵۸ درصد کاهش نسبت به I_1 به‌ترتیب برای سال اول و دوم، ثبت شد که با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نداشتند (شکل ۲).

مطابق با نتایج این پژوهش، افزایش پروتئین دانه در تنش خشکی نسبت به غیرتنش گزارش شده است. در بررسی شرایط تنش خشکی انتهای فصل بر گیاه نخود، افزایش درصد پروتئین در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی نسبت به شاهد گزارش شد (Abhari, 2017). Haresabadi, 2017).

جدول ۶- مقایسه میانگین تیمارهای کودی بر ویژگی‌های زراعی، اجزای عملکرد، عملکرد و پروتئین دانه کنجد

Table 6- Mean comparison of fertilizer treatments on agronomical characteristics, yield components, yield and grain protein of sesame

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Plant height (cm) ارتفاع بوته	76 ^{d*}	84 ^c	101 ^b	99.5 ^b	122.8 ^a	122 ^a	124.8 ^a
Number of sub-branches تعداد شاخه فرعی	2.19 ^b	2.3 ^b	2.5 ^{ab}	2.6 ^{ab}	3 ^{ab}	3 ^{ab}	3.4 ^a
Number of leaves تعداد برگ	115.2 ^e	125 ^d	137.7 ^c	135.8 ^{cd}	165 ^b	164.6 ^b	180.5 ^a
Number of capsules per plant تعداد کپسول در بوته	42 ^{cd}	45 ^c	46.7 ^c	47.2 ^c	60 ^b	60 ^b	72.3 ^a
Number of grain per capsule تعداد دانه در کپسول	26.2 ^c	35.7 ^b	38.6 ^b	38 ^b	55.7 ^a	54.2 ^a	54.5 ^a
Thousand grain weight (g) وزن هزار دانه	2 ^c	2.2 ^{bc}	2.5 ^{abc}	2.4 ^{abc}	3 ^a	2.9 ^{ab}	2.9 ^{ab}
Biological yield (kg ha ⁻¹) عملکرد زیستی	3298 ^c	3954.8 ^{bc}	4148.5 ^b	4094.8 ^b	5357.4 ^a	5326.7 ^a	5277.5 ^a
Grain yield (kg ha ⁻¹) عملکرد دانه	969 ^c	1066 ^{bc}	1173.4 ^{ab}	1172.3 ^{ab}	1330.6 ^a	1276 ^a	1309 ^a
Harvest index (%) شاخص برداشت	23.5 ^c	24.4 ^{bc}	24.6 ^{bc}	27.5 ^{abc}	28.7 ^{ab}	29 ^{ab}	30 ^a
Grain nitrogen (%) نیتروژن دانه	2 ^d	2.3 ^c	2.6 ^b	2.5 ^b	3.2 ^a	3.1 ^a	3 ^a
Grain protein (%) پروتئین دانه	12.6 ^d	14.5 ^c	16.5 ^b	15.8 ^b	20 ^a	19.5 ^a	19.3 ^a
Protein yield (kg ha ⁻¹) عملکرد پروتئین	122 ^d	154.5 ^{cd}	165 ^b	176.5 ^{bc}	214.7 ^a	195 ^a	200.7 ^b

* اعداد با حروف مشترک در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

* Numbers followed by the same letter in each row are not significantly different (P<0.05)

F₁: شاهد (control); F₂: ۱۰۰ درصد نیاز گیاه به کود شیمیایی فسفر (100% P₂O₅); F₃: تلقیح با میکوریزا (mycorrhizal); F₄: اسید هیومیک (humic acid); F₅: ۵۰ درصد کود شیمیایی + میکوریزا (50%P₂O₅ + mycorrhizal); F₆: ۵۰ درصد کود شیمیایی + اسید هیومیک ((50%P₂O₅ + humic acid); F₇: ۵۰ درصد کود شیمیایی + میکوریزا + اسید هیومیک (50%P₂O₅ + mycorrhizal + humic acid).

ویژگی‌های کمی و کیفی آن بهبود یافته است.

اسید هیومیک با برقراری ترکیب‌های محلول با عناصر کم‌مصرف می‌تواند بیشترین اثر را بر مقدار نیتروژن گیاه داشته باشد. از آنجایی که درصد پروتئین به درصد نیتروژن وابسته می‌باشد، مقدار پروتئین گیاه نیز با افزایش مواجه می‌شود (Zarehmanesh, Eisvand, Akbari, Ismaili, & Feizian, 2021). افزایش درصد پروتئین دانه در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک در گندم توسط محمودی زویک و همکاران (Mahmoodi Zouik, Nasri, & Ovisi, 2016) گزارش شده است. این نویسندگان بیان کردند که اسید هیومیک و ترکیب‌های آن قادر است با افزایش توانایی ریشه‌ها در جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف و همچنین، توسط شرکت در فعالیت‌های آنزیمی گیاه که منجر به ساخت و انتقال پروتئین به دانه-ها شود و تولید پروتئین در مخازن گیاه افزایش دهد.

همبستگی ویژگی‌های مورد بررسی

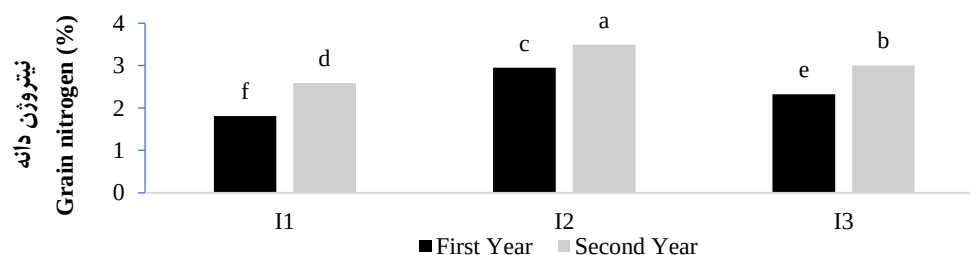
نتایج به‌دست آمده از آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۱ و ترسیم بای‌پلات نشان داد که ۶۷/۷ و ۲۱/۲ درصد ویژگی‌های مورد مطالعه، به‌ترتیب مؤلفه اول و دوم را در سال اول و ۶۹/۷ و ۲۴/۶

به نظر می‌رسد که این موضوع به‌دلیل کاهش طول دوره رشدنوم باشد که منجر به کاهش نسبت کربوهیدرات‌ها به پروتئین شده و در نتیجه، درصد پروتئین افزایش می‌یابد. از این‌رو، کمبود رطوبت در سال دوم نسبت به سال اول منجر به افزایش درصد نیتروژن و پروتئین در تیمارهای I₂ و I₃ شد، درحالی‌که کاهش عملکرد پروتئین در سال دوم و در تیمارهای تنش به‌علت کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می‌باشد. قلی‌نژاد (Gholinezhad, 2017) نیز کاهش عملکرد پروتئین توده‌های محلی کنجد را در تنش خشکی شدید و ملایم به‌ترتیب ۶۷ و ۵۲ درصد، در منطقه ارومیه گزارش کرد.

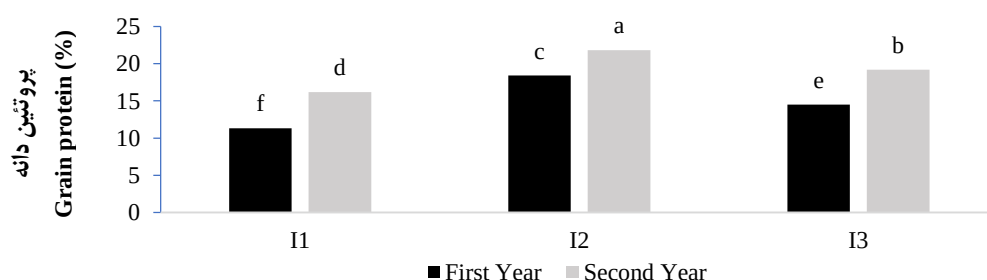
براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶)، تیمارهای F₅، F₆ و F₇ بدون تفاوت معنی‌دار، بیشترین درصد نیتروژن، پروتئین و عملکرد پروتئین را به خود اختصاص دادند و کمترین مقادیر نیز به‌ترتیب با ۳۷/۵، ۳۷ و ۵۴/۴ درصد کاهش مربوط به F₁ بود. این نتایج با تحقیق قلی‌نژاد (Gholinezhad, 2017) در مورد تأثیر کاربرد گونه‌های میکوریزا بر افزایش درصد پروتئین دانه کنجد هم‌خوانی داشت. بنابراین، کاربرد قارچ میکوریزا با افزایش ماده آلی منجر به افزایش دسترسی به آب در منطقه ریزوسفر شده که بر دسترسی گیاه به عناصر غذایی نیز مؤثر بوده است (Koocheki et al., 2015). در نتیجه، گیاه به‌دلیل توسعه ریشه و فراهمی آب و مواد غذایی به‌مقدار کافی از سویی، در برابر تنش کم‌آبی مقاوم شده و از سوی دیگر،

چشمگیری نداشت و تنها برخی از ویژگی‌ها از قبیل شاخص برداشت در سال دوم، تأثیرگذاری بیشتری از سال اول نشان داد.

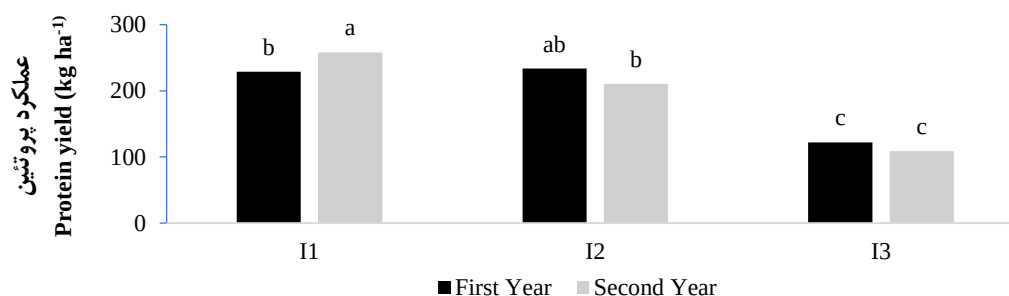
درصد را در سال دوم شامل شدند. به‌طور کلی، گروه‌بندی ویژگی‌های مورد بررسی در شرایط آبیاری و کود مورد استفاده در دو سال تفاوت



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲- برهم‌کنش اثر سال در رژیم آبیاری بر غلظت نیتروژن و پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه کنجد
Figure 2- Interaction effect of year in irrigation regime on sesame nitrogen and protein and seed protein yield

I1, I2 and I3: به‌ترتیب آبیاری پس از ۴۰ (شاهد)، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی

I1, I2 and I3: irrigation after 40 (control), 60 and 80 percent of moisture discharge, respectively

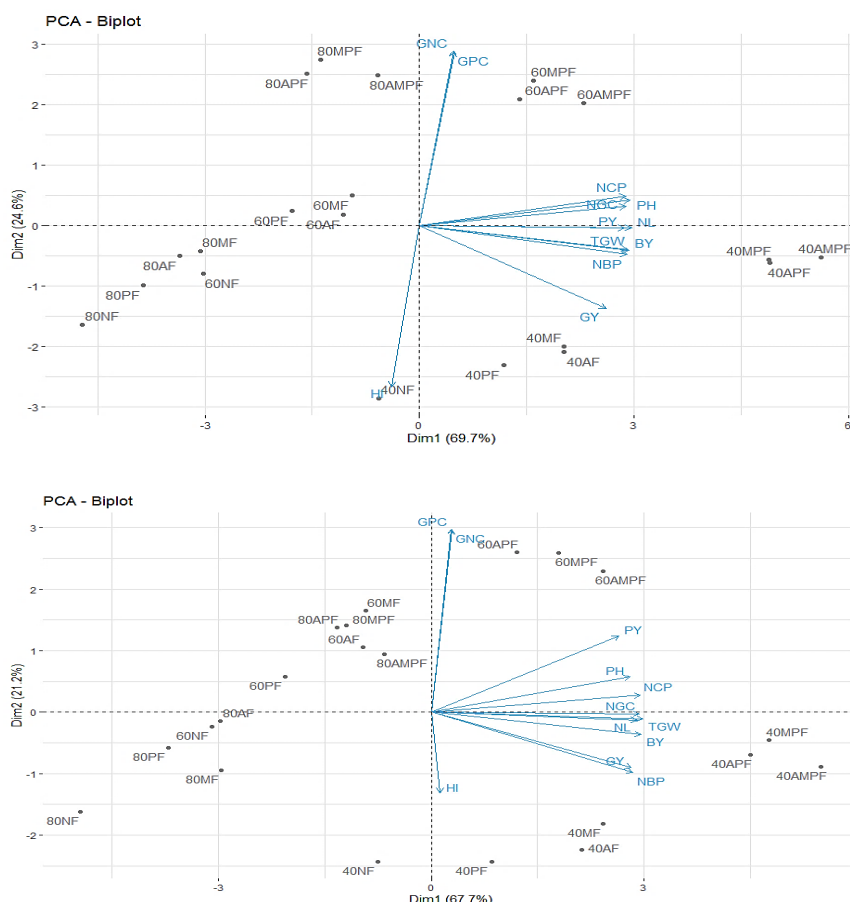
اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

معنی‌داری با مؤلفه دیگر نشان داد و تحت تأثیر آبیاری I1 و کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر قرار داشت. سایر ویژگی‌ها نیز همبستگی مثبتی با یکدیگر نشان دادند و تحت تأثیر مؤلفه اول بودند که بیشترین مقدار را در آبیاری I1 و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر + اسید هیومیک، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر + مایکوریزا و تلفیقی از

در این شرایط، مقادیر نیتروژن و پروتئین دانه در هر دو سال همبستگی مثبت با یکدیگر داشت و متأثر از آبیاری I2 و کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر + اسید هیومیک، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر + مایکوریزا و ترکیب تلفیقی هر سه کود بود، درحالی‌که شاخص برداشت در جهت مخالف، همبستگی مثبت و بسیار

هر سه کود بودند (شکل ۳).



شکل ۳- نمودار بای پلات ویژگی‌های مورد بررسی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تیمارهای کودی

Figure 3- Bi-plot diagram of investigated characteristics under the influence of irrigation regimes and fertilizer treatments

سمت راست، سال اول و سمت چپ، سال دوم آزمایش می‌باشد.

The right side is the first year and the left side is the second year of the experiment.

PH: ارتفاع بوته، GY: عملکرد دانه، BY: عملکرد زیستی، HI: شاخص برداشت، TGW: وزن هزار دانه، NCP: تعداد کپسول در بوته، NGC: تعداد دانه در کپسول، NL: تعداد برگ، NBP: تعداد شاخه فرعی، GPC: محتوی پروتئین دانه، PY: عملکرد پروتئین و GNC: غلظت نیتروژن دانه

PH: plant height, GY: grain yield, BY: biological yield, HI: harvest index, TGW: 1000- grain weigh, NCP: number of capsules per plant, NGC: number of grain per capsules, NL: number of leaf, NBP: number of branch per plant, GPC: grain protein content, PY: protein yield and GNC: grain nitrogen content

نتیجه‌گیری

دانه، ۲۹ درصدی عملکرد زیستی و عملکرد دانه شد که خود گویای ضرورت فراهم‌سازی رطوبت مورد نیاز کنگد در منطقه می‌باشد. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد برگ در تیمار آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبت خاک نسبت به شاهد به ترتیب نزدیک به ۳۵، ۵۰ و ۳۷ درصد کاهش یافت که مقدار کاهش برای تعداد کپسول در هر بوته، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و دانه و شاخص برداشت به ترتیب حدود ۴۸، ۴۲، ۵۲، ۶۱ و ۱۳ درصد بود. به‌طور مخالف، کاهش دسترسی گیاه به آب، نیتروژن و پروتئین دانه کنگد را افزایش داد. نتایج نشان داد که تلقیح قارچ میکوریزا و اسید هیومیک افزایش عملکرد کمی و کیفی کنگد

امروزه توجه به مدیریت خاک و شیوه‌های کشاورزی پایدار که منجر به افزایش تنوع زیستی و جمعیت میکروبی می‌شود، مورد توجه پژوهشگران قرار دارد، چرا که به دلیل وجود تنش آبی و محدودیت دسترسی به آب، کاربرد این روش‌ها منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش نزدیک به ۸۵ درصدی بارندگی در سال ۱۴۰۱ نسبت به ۱۴۰۲ منجر به افزایش حدود ۱۸ درصدی ارتفاع بوته، ۱۰ درصدی تعداد برگ، ۳۱ درصدی تعداد کپسول در بوته، ۲۲ درصدی وزن هزار

درصد)، پروتئین (۵۳ درصد) و عملکرد پروتئین (۷۶ درصد) را نسبت به شاهد به دنبال داشت. در مجموع، به نظر می‌رسد که به دلیل کمبود مواد آلی خاک، کاربرد غلظت‌های کاهش‌یافته کودهای شیمیایی همراه با کودهای زیستی و آلی می‌تواند در بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه کنجد در منطقه حاجی‌آباد نقش مهمی داشته باشد.

را به دنبال داشت. در این میان، تلفیق مقادیر کاهش‌یافته کود شیمیایی فسفر + قارچ مایکوریزا + اسید هیومیک، بیشترین ارتفاع بوته (۶۲/۵ درصد)، تعداد شاخه فرعی (۵۵ درصد)، تعداد برگ (۵۷ درصد)، تعداد کپسول در بوته (۷۲ درصد)، تعداد دانه در کپسول (۷۱ درصد)، وزن هزار دانه (۴۵ درصد)، عملکرد زیستی (۶۰ درصد)، عملکرد دانه (۳۵ درصد)، شاخص برداشت (۲۸ درصد)، نیتروژن (۵۰

References

- Abhari, A., & Haresabadi, B. (2017). The effect of super absorbent on yield and yield components of chickpea under season terminal drought stress conditions. *Crop Production*, 10(1), 191-202. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/EICP.2017.10427.1819>
- Asadi, H., Baradran, R., Seghatoleslami, M. J., & Moosavi, S. G. (2021). Evaluation of drought tolerance in some sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes on stress tolerance indices. *Field Crops Research*, 18(4), 413-433. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JCESC.2020.88165>
- Bardehji, S., Eshghizadeh, H. R., & Zahedi, M. (2020). Effect of drought stress and nitrogen fertilizer on yield and some physiological traits of six barley. *Journal of Plant Process and Function*, 9(39), 1-14. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1399.9.39.11.0>
- Dutta, P. K., Bandyopadhyay, P., & Maity, D. (2000). Response of summer sesame (*Sesamum indicum*) to irrigation. *Indian Journal of Agronomy*, 54, 613-616. <https://doi.org/10.56739/jor.v33i1.139039>
- Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., & Ghasemi-Golezani, K. (2010). Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 20(1), 39-51. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1001.1.24764310.1389.20.1.4.5>
- Farahbakhsh, S., & Farahbakhsh, H. (2015). Effect of drought stress on yield and components of sesame cultivars under Kerman conditions (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(36), 776-783. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V12I4.24390>
- Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., & Abhari, A. (2022). Estimates of variance components and heritability of seed yield and yield components in commercial sesame cultivars at different levels of irrigation and mycorrhizal fungi. *Journal of Crop Breeding*, 14(44). (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2286128.1401.14.44.90>
- Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Siavash Moghaddam, S., & Popović-Djordjević, J. (2020). Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): the assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. *Agricultural Water Management*, 238, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106234>
- Gholinezhad, E. (2017). Effect of two species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces in different levels of drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(45), 150-167. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V15I1.49403>
- Heidari, M., Payedar, A., Baradran Firozabad, M., & Abedinin Esfalahi, M. (2020). The effect of drought stress and application of humic on quantitative yield, photosynthetic pigments and mineral nutrients content in sunflower seeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(4), 51-62. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2018.253008.654448>
- Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., & Amiri, M. B. (2019). The effect of humic acid and water super absorbent polymer application on sesame in an ecological cropping system: A new employment of structural equation modeling in agriculture. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 6(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0131-2>
- Jahan, M., Ghaleonee, S., Khamooshi, A., & Amiri, M. B. (2015). Evaluation of some agroecological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by simultaneous application of water-saving superabsorbent hydrogel in soil and foliar application of humic acid under different irrigation intervals in low Inp. *Journal of Horticultural Science*, 29(2), 240-254. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.10.22067/JHORTS4.V0I0.32381>
- Jamshidi, E., Ghalavand, A., Salehi, A., Javad Zare, M., & Jamshidi, A. R. (2009). Effect of arbuscularmycorrhizal on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 2(11), (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1388.11.2.4.6>
- Jerbi, M., Labidi, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Ben Jeddi, F., & Lounès-Hadj Sahraoui, J. (2022). Mycorrhizal

- biofertilization improves grain yield and quality of hulless barley (*Hordeum vulgare* SSP. *Nudum* L.) under water stress conditions. *Journal of Cereal Science*, 104, 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103436>
15. Kalantari, E., Armin, M., & Marvi, H. (2021). Effect of irrigation cut-off in different stages on yield and yield components of sesame cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions*, 3(5), 151-162. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2021.26665.1073>
 16. Koocheki, A., Bakhshaie, S., Khorramdel, S., Mokhtari, V., & Taherabadi, S. (2015). Effect of mycorrhiza symbiosis on yield, yield components and water use efficiency of sesame (*Sesamum indicum* L.) affected by different irrigation regimes in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(3), 448-460. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/CGSC.V13I3.51150>
 17. Mahmoodi Zouik, R., Nasri, M., & Ovisi, M. (2016). Effects of humic acid spraying on yield and yield components of wheat in drought stress condition. *Journal of Crop Ecophysiology*, 8(1), 10-26. (in Persian with English abstract).
 18. Mehrabi Zadeh, Z., & Ehsan Zade, P. (2012). A study on physiological attributes and grain yield of sesame cultivars under different soil moisture regimes. *Journal of Crops Improvement*, 13(2), 75-88. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/1001.1.83372008.1390.13.2.7.3>
 19. Nadarajah, K., & Abdul Rahman, N. S. N. (2023). The microbial connection to sustainable agriculture. *Plants*, 12, 1-25. <https://doi.org/10.3390/plants12122307>
 20. Nasir, M. W., & Toth, Z. (2020). Response of different potato genotypes to drought stress. *Agriculture*, 11, 763-776. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080763>
 21. Nezami, A., Fazeli Kakhaki, S. F., Zarghani, H., Shabahang, J., & Gandomzadeh, M. R. (2014). Preliminary evaluation of yield and yield components of some Khorasanian sesame ecotype (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(2), 189-195. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V21I2.39144>
 22. Nourihoseini, S., Khorasani, R., Astaraei, A., Rezvani Moghadam, P., & Zabihi, H. (2017). Effect of different fertilizer resources and humic acid on some morphological criteria, yield and antioxidant activity of black zira seed (*Bunium persicum* Boiss). *Applied Field Crops Research*, 29(4), 88-105. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/AJ.2017.110251.1150>
 23. Lasheen, F. F., Hewidy, M., Abdelhamid, A. N., Thabet, R. S., Abass, M. M. M., Fahmy, A. A., Saudy, H. S., & Hassan, K. M. (2023). Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress on pittosporum (*Pittosporum tobira*) plant by adjusting the osmolytes and nutrient homeostasis. *Gesunde Pflanzen*, 2, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-0039-9>
 24. Rezaei-Chiyaneh, E., Khorramdel, S., Movludi, A., & Rahimi, A., (2017). Effect of nano chelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Research*, 15(54), 168-184. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V15I1.49876>
 25. Sanchez, F. J., Manzanares, M., De Andres, E. F., Tenorio, J. L., & Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop Research*, 59, 225-235. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00125-7)
 26. Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2019). Effects of bio0 fertilizers application on yield, oil content and antioxidant enzymes activity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in different irrigation withholding levels. *Iranian Journal of Field Research*, 8(29), 97-107. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.29.9.1>
 27. Shaabani, S., & Movahhedi Dehnavi, M. (2017). Effect of different levels of nitrogen, bio-fertilizers and nano-nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of soybean in Darab (Fars). *Iranian Journal of Field Crop Research*, 15(47), 709-720. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.11067/GSC.V15I3.53300>
 28. Yemata, G., & Bekele, T. (2024). Evaluation of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties for drought tolerance using agromorphological traits and drought tolerance indices. *Peer Journal*, 12, 1-24. <https://doi.org/10.7717/peerj.16840.eCollection2024>
 29. Zarehmanesh, H., Eisvand, H. R., Akbari, N., Ismaili, A., & Feizian, M. (2021). An investigation of effects of humic acid on changes in nutrients concentration of leaf, root and stem of *Satureja khuzestanica* under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 10(40), 1-16. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.15.5>



Evaluation of the Effect of Irrigation Method and Time of Trifluralin Herbicide Application on Weed Population, Yield Component and Yield of Cumin (*Cuminum cyminum* L.)

R. Moradi^{1,2*}, H. Hammami^{3,4}, N. Pourghasemian¹

1- Associate Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Associate Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran

3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

4- Member of the Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran

(*- Corresponding Author Email: r.moradi@torbath.ac.ir)

Received: 07 April 2024

Revised: 23 April 2024

Accepted: 29 April 2024

Available Online: 01 June 2024

How to cite this article:

Moradi, R., Hammami, H., & Pourghasemian, N. (2025). Evaluation of the Effect of Irrigation Method and Time of Trifluralin Herbicide Application on Weed Population, Yield Component and Yield of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(4), 457-474. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87520.1318>

Introduction

Weeds are the main factor limiting cumin production. Hand weeding is used as the most important and common method of weed management in cumin fields, which, in addition to spending a lot of time, takes a large part of the production cost. Cumin is weak in competition with weeds because it has a low and weak initial growth and establishment speed, and its biomass and height of its aerial organs are low, in addition, its root expansion is not very notable. The amount of weed damage in cumin cultivation is reported from 40 to 90 percentage depends on the type of weed species and density, the length of the competition period, cultivation conditions, control time and management of nutrients and in different conditions. Trifluralin (Treflan) is used by some farmers at planting time of cumin as a foliar spray in the soil or with irrigation water. Interviews conducted with farmers confirm that the use of this herbicide at the time of planting cumin affects the seeds of the plant to some extent and reduces the germination percentage of this plant, although some farmers also believe that there is no side effect in this case. Another challenge to successful cumin production, particularly in rainy years, is plant diseases. Wilt, leaf burn, and surface powdery mildew, caused by *Fusarium oxysporum**, *Alternaria burnsii**, and *Erysiphe polygoni**, respectively, are among the most significant diseases affecting cumin worldwide. Therefore, this study was carried out with the following objectives:

- 1) Investigating the effect of trifluralin herbicide abuse at different intervals until planting, on the percentage of cumin seedling emergence.
- 2) The effect of using trifluralin herbicide at different intervals until planting, on the population and growth of weeds.
- 3) The effect of irrigation method on cumin yield
- 4) Investigating the effect of irrigation method on the percentage and yield of cumin essential oil
- 5) The effect of irrigation method on the contamination of cumin plants with *Fusarium* fungus



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87520.1318>

6) Studying the water use efficiency in different irrigation and weed management methods

Materials and Methods

Therefore, in order to evaluate the effect of the weed management method and the type of irrigation on the control of weeds, an experiment was conducted as split-plot based on a randomized complete block design with 3 replications in the research farm of the Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman in 2022-2023. The experimental treatments include the type of irrigation in two levels (flooded and sprinkler) and weed management in seven levels (hand weeding, time of planting the cumin seeds after 3, 7, 14 and 21 days trifluralin herbicide application and no weed control).

Results and Discussion

The type of irrigation showed a significant effect on weeds density and dry weight, the percentage of plant wilt, the number of umbrellas per plant, biological yield, seed yield, essential oil percentage, essential oil yield and water use efficiency at the level of 1% and the harvest index at the level of 5%. The method of weed management showed a significant effect on the density and dry weight of weeds, the number of emerged plants, plant height, the number of umbrellas per plant, biological yield, seed yield, essential oil yield and water use efficiency at the level of 1% and harvest index at the level 5%. The interaction effect of irrigation and weed management methods showed a significant effect on the density and dry weight of weeds, the of essential oil percentage and yield at the level of 1%, and the biological yield and yield of seeds at the level of 5%. The results of this experiment showed that sprinkler irrigation had better conditions in terms of weed and disease control as well as seed and essential oil yields compared to flood irrigation. Among the herbicide treatments, the application of trifluralin 3 days before planting had better weed control results. By increasing the distance of cumin planting from the time of herbicide application, despite the increase in weed dry weight and density, cumin seed yield improved. In both irrigation methods, treatments of hand weeding and cumin planting after 21 days of herbicide application had the highest yield of seed and essential oil.

Conclusion

In general, cumin planting 21 days after trifluralin application and using sprinkler irrigation were able to reduce the weed density and biomass to an acceptable level and on the other hand, they produced a good seed and essential oil yield which is recommended.

Keywords: Essential oil, Sprinkler irrigation, Trifluralin, Water Use Efficiency

مقاله پژوهشی

جلد ۲۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص ۴۷۴-۴۵۷

ارزیابی اثر روش آبیاری و زمان مصرف علف‌کش تریفلورالین بر جمعیت علف‌های هرز، اجزای عملکرد و عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)

روح اله مرادی^{۱b}،*، حسین حمامی^{۲b}، نسیم پورقاسمیان^{۱b}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰

چکیده

علف‌های هرز به‌عنوان یکی از عوامل اصلی محدودکننده تولید زیره سبز شناخته شده‌اند. بنابراین، به‌منظور ارزیابی اثر روش مدیریت علف‌های هرز و نوع آبیاری بر کنترل علف‌های هرز زیره سبز آزمایشی به‌صورت کرت خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نوع آبیاری در دو سطح (غرقاب و بارانی) و مدیریت علف‌های هرز در هفت سطح (وجین دستی علف‌های هرز، زمان مصرف علف‌کش تریفلورالین در شش سطح شامل عدم مصرف، مصرف در ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز قبل از کاشت زیره سبز) بودند. نوع آبیاری بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز، تعداد چتر در گیاه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، درصد اسانس، عملکرد اسانس و کارایی مصرف آب در سطح یک درصد و شاخص برداشت در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری نشان داد. نوع مدیریت علف‌های هرز بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز، تعداد بوته سبز شده، ارتفاع گیاه، تعداد چتر در گیاه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد اسانس و کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد و شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری نشان داد. برهم‌کنش نوع آبیاری و مدیریت علف‌های هرز بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز، درصد اسانس و عملکرد اسانس در سطح یک درصد و عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری را نشان داد. نتایج این آزمایش نشان داد که آبیاری بارانی شرایط بهتری از نظر کنترل علف هرز و همچنین عملکرد دانه و اسانس زیره سبز نسبت به آبیاری غرقابی داشت. در بین تیمارهای علف‌کشی، کاربرد تریفلورالین سه روز قبل از کاشت نتیجه بهتری بر کنترل علف‌های هرز داشت. با افزایش فاصله کاشت زیره سبز از زمان مصرف علف‌کش، با وجود افزایش وزن خشک و تراکم علف هرز، عملکرد دانه و اسانس زیره سبز به‌ترتیب حدود ۳۵ و ۶۶ درصد بهبود یافت. در هردو شرایط آبیاری، وجین دستی علف هرز و تیمار کاشت زیره سبز پس از ۲۱ روز مصرف علف‌کش بیشترین عملکرد دانه و اسانس را دارا بودند.

واژه‌های کلیدی: اسانس، آبیاری بارانی، تریفلورالین، کارایی مصرف آب

مقدمه

آگاهی از ارزش‌های فراوان گیاهان دارویی و فرآورده‌های حاصل

از آن‌ها از یک سو و اثرات منفی ناشی از مصرف داروهای شیمیایی از سوی دیگر باعث توجه روزافزون به گیاهان دارویی و افزایش سهم آن‌ها در چرخه اقتصادی صنایع بهداشتی و آرایشی در کشورهای درحال توسعه و همچنین توسعه‌یافته شده است (Moradi et al., 2009). با توجه به شرایط متنوع آب و هوایی و اکولوژیکی، ایران به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مخازن گیاهان دارویی دنیا شناخته شده است (Omidbeygi, Sadeghi, & Ramezanim, 2001).

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی و صادراتی ایران با سطح زیر کشت نسبتاً زیاد شناخته شده است. سطح زیر کشت این گیاه در ایران حدود ۲۵ هزار هکتار بوده که با میانگین عملکرد حدود ۶۵۰ کیلوگرم در هکتار عمدتاً در

- ۱- دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
- ۲- دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
- ۳- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
- ۴- عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

(Email: r.moradi@torbath.ac.ir)

*- نویسنده مسئول: <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87520.1318>

حاضر تولیدکنندگان زیره سبز با وجین کردن مزارع اقدام به کنترل علف‌های هرز می‌کنند ولیکن این روش هزینه‌بر بوده و به بوته‌های زیره نیز خسارت فراوان می‌زند. شناسایی علف‌کش انتخابی برای مبارزه با علف‌های هرز این گیاه گام بزرگی در جهت کاهش هزینه‌های تولید آن خواهد بود. اگرچه در این زمینه بررسی‌هایی صورت گرفته ولی نتیجه قطعی حاصل نشده است. طبق نتایج محققین از جمله علف‌کش‌های قابل استفاده در زیره سبز می‌توان به اکسی فلورفن، پندی متالین، اکسادیارژیل و تریفلورالین اشاره کرد ولی تاکنون هیچ علف‌کش اختصاصی برای زیره سبز در کشور ثبت نشده است (Haji Rezaei et al., 2021). تریفلورالین (با نام تجاری ترفلان) توسط برخی از کشاورزان در زمان کاشت زیره سبز به صورت محلول‌پاشی در خاک یا همراه با آب آبیاری استفاده می‌شود. گفتگوهای شفاهی با کشاورزان این موضوع را تایید می‌کند که مصرف این علف‌کش در زمان کاشت زیره سبز تا حدودی بذر گیاه را نیز تحت تأثیر قرار داده و درصد جوانه‌زنی این گیاه را کاهش می‌دهد که البته برخی از کشاورزان نیز اعتقاد دارند که هیچ اثر سویی در این مورد ندارد (Haji Rezaei et al., 2021).

یکی دیگر از موانع تولید مطلوب زیره سبز، به‌ویژه در سال‌های پر باران ابتلای آن به بیماری‌های گیاهی است. بیماری‌های بوته‌میری، سوختگی برگ و سفیدک سطحی زیره سبز که به ترتیب عامل این سه بیماری *Alternaria burnsii*، *Fusarium oxysporum* و *Erysiphe polygoni* می‌باشند، جزء بیماری‌های مهم زیره سبز در دنیا می‌باشند (North Mofrad et al., 2005; Rezvani Moghaddam et al., 2014). از بین این سه بیماری، تنها دو بیماری بوته‌میری و سوختگی برگ در ایران اهمیت داشته و خسارت زیادی به این محصول وارد می‌کند (Kafi, 2006). گزارش شده است که شرایط مطلوب برای گسترش بیماری بوته‌میری زیره سبز گرما به همراه رطوبت مناسب می‌باشد (Mathur & Prasad, 1964). مشاهدات نشان داد که، دوره رشد زایشی زیره سبز در کشت بهاره متناسب با درجه حرارت بالاتر و رطوبت کافی بود، که خود می‌تواند از مهم‌ترین دلایل آلودگی بیشتر کشت بهاره نسبت به کشت پاییزه باشد. اوج این بیماری در مرحله گلدهی زیره سبز بوده و از آنجایی که عوامل بیماری به راحتی توسط آبیاری منتقل می‌شوند، آبیاری شدت این بیماری‌ها را افزایش می‌دهد. مبارزه شیمیایی با بیماری‌های خاکزاد علاوه بر هزینه زیاد و کارایی کم، ممکن است سبب مقاومت قارچ‌های بیماری‌زا نیز بشود. به این دلیل، مبارزه اکولوژیک با این عوامل به عنوان یک راه چاره و روش جایگزین مطرح و از اهداف مهم کشاورزی پایدار می‌باشد (Wang et al., 1999). لذا این مطالعه با هدف بررسی اثر روش‌های مختلف آبیاری و مصرف علف‌کش تریفلورالین در فواصل مختلف زمانی تا کاشت، بر درصد ظهور گیاهچه زیره سبز، جمعیت و رشد علف‌های هرز و درصد و کیفیت

استان‌های خراسان، یزد، سمنان، اصفهان و کرمان کشت شده و سال به سال سطح زیر کشت آن افزوده می‌شود (FAO, 2024). دانه‌های زیره سبز حاوی مقادیر بالایی کاروتن، آهن و ترکیبات ثانوی مهم و دارویی است که در طب سنتی و نوین به عنوان آنتی‌اکسیدان و ضدنفخ مورد استفاده قرار می‌گیرد و در درمان اسهال، سوء هاضمه، سردرد، سرماخوردگی، تب، زخم دهان و گلو مؤثر است (Nakhrizi Moghaddam, 2009). زیره سبز نه تنها در ارزآوری برای اقتصاد کشور دارای اهمیت می‌باشد، بلکه از جهت اشتغال‌زایی نیز ارزش قابل توجهی دارد. ویژگی‌هایی از قبیل فصل رشد کوتاه، نیاز آبی کم، عدم تداخل فصل رشد آن با سایر محصولات کشاورزی، توجه اقتصادی بالا نسبت به محصولات زراعی دیگر و صادراتی بودن آن باعث شده این گیاه جایگاه ویژه‌ای در الگوی کشت مناطق خشک و نیمه خشک داشته باشد (Haji Rezaei et al., 2021).

امروزه، علف‌های هرز و بیماری‌های گیاهی از عوامل اصلی محدودکننده تولید زیره سبز شناخته شده است (Kafi, 2006). وجین دستی به عنوان مهم‌ترین و رایج‌ترین روش مدیریت علف‌های هرز در مزارع زیره سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد که علاوه بر صرف زمان زیاد، بخش زیادی از هزینه تولید را به خود اختصاص می‌دهد (Kafi, 2006). زیره سبز به دلیل ویژگی‌های رشدی‌اش، گیاهی است که دارای سرعت رشد و استقرار اولیه کند و ضعیفی بوده و از طرفی زیست‌توده و ارتفاع اندام‌های هوایی آن کم است، علاوه بر این، گسترش ریشه آن نیز چندان قابل توجه نیست. این ویژگی‌ها باعث شده است که قدرت رقابتی آن با علف‌های هرز کم باشد و به همین دلیل وجود علف‌های هرز باعث رقابت شدید بر سر منابع مختلف می‌شود (Hosseini et al., 2006). کوتاه بودن دوره رشد آن، که معمولاً بین ۸۰ تا ۱۱۰ روز است نیز خود مشکلاتی از نظر رقابت با علف‌های هرز ایجاد کرده است. بدین صورت که علف‌های هرز بهاره که عمده‌تاً جنبه تهاجمی دارند بر عملکرد این گیاه اثرات نامطلوبی می‌گذارند. متأسفانه در رابطه با کنترل علف‌های هرز زیره سبز تحقیقات اندکی انجام شده است. به نظر می‌رسد که با توجه به خصوصیات رشد و کمی اندام‌های هوایی آن، به‌ویژه در مراحل اولیه رشد با کنترل به موقع علف‌های هرز نتیجه بهتری عاید خواهد شد (Dastorani et al., 2018).

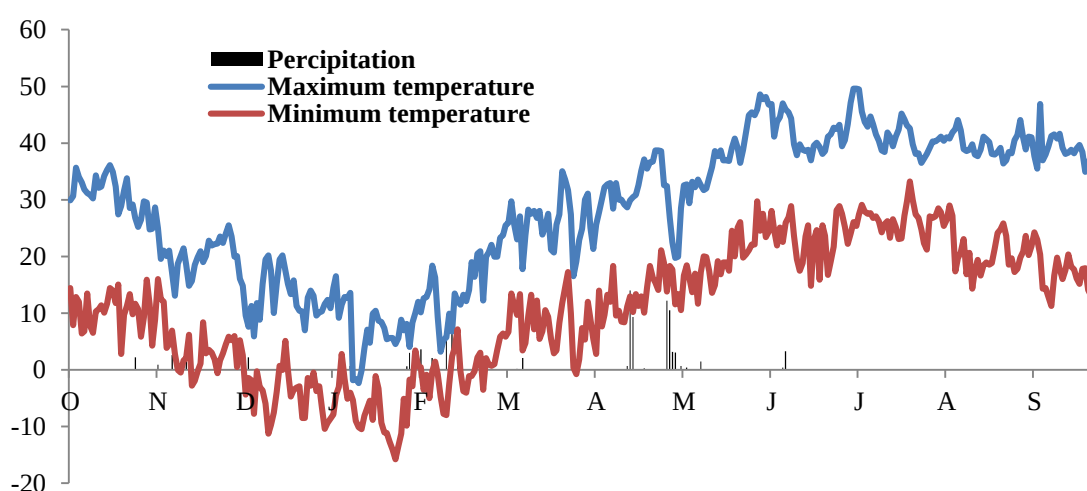
میزان خسارت علف‌های هرز به نوع گونه و تراکم علف‌های هرز، طول دوره رقابت، شرایط کشت، زمان کنترل، مدیریت عناصر غذایی (Yava & Rahama, 2003) وابسته بوده و در شرایط مختلف میزان خسارت کمی (کاهش عملکرد) از ۴۰ تا ۹۰ درصد گزارش شده است (Zimdhal, 2007; Rashed mohassel et al., 2022). نتایج یک بررسی نشان داده است که جهت دستیابی به حداکثر عملکرد دانه زیره سبز، کنترل علف‌های هرز باید تا ۴۰ روز پس از سبز شدن (در مرحله شاخه‌دهی) انجام شود (Hosseini et al., 2006). در حال

اسانس زیره سبز اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثر نحوه مدیریت علف‌های هرز و روش آبیاری بر کنترل علف‌های هرز و خصوصیات کمی و کیفی زیره سبز آزمایشی به صورت کرت خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بردسیر کرمان واقع در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۸۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۸۰ متری از سطح

دریا انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نوع آبیاری در دو سطح (غرقاب و بارانی) به عنوان عامل اصلی و مدیریت علف‌های هرز در هفت سطح (وجین دستی علف‌های هرز، زمان مصرف علفکش تریفلورالین در شش سطح شامل عدم مصرف، مصرف در ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز قبل از کاشت زیره سبز) به عنوان عامل فرعی بودند. قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری زمین محل اجرای آزمایش برداشت و جهت تعیین مقدار عناصر غذایی پر مصرف و pH به آزمایشگاه منتقل شد. روند تغییرات دما و بارندگی، خصوصیات خاک مزرعه مورد آزمایش و همچنین علفکش تریفلورالین به ترتیب در شکل ۱ و جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- روند تغییرات دما (درجه سانتی‌گراد) و بارندگی (میلی‌متر) در سال زراعی مورد مطالعه
Figure 1- The trend of temperature (°C) and precipitation (mm) in the studied crop year

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه آزمایش
Table 1- Soil characteristics of experimental field

پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (mg kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (mg kg ⁻¹)	نیتروژن Nitrogen (%)	ماده آلی Organic matter (%)	شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g.cm ⁻³)	بافت خاک Soil texture	درصد اندازه ذرات Particle size percentage		
								شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)
266	13.34	0.087	0.53	7.52	1.63	1.29	Clay- loam	21.1	24.5	55.4

جدول ۲- خصوصیات علفکش و مقدار استفاده شده در این آزمایش
Table 2- Herbicide characteristics and rates were used in this experiment

نام عمومی Herbicide (common name)	نحوه عمل Mode of action	فرمولاسیون Formulation	شرکت و کشور تولیدکننده Company and country	مقدار توصیه شده The recommended dose
تریفلورالین Trifluralin	بازدارنده تقسیم سلولی Cell division inhibitor	امولسیون ۴۸٪ 48%, EC	گل سم گرگان، ایران Golsam, Gorgan, Iran	۱۲۰۰ گرم ماده مؤثره (۲/۵ لیتر ماده تجاری) 1200 ^a (2.5 L @)

a: مقدار علفکش براساس گرم ماده مؤثره در هکتار نشان داده شده است.

a: Rates of herbicides are presented in g a.i. ha⁻¹

علف کش به بذور زیره سبز، تعداد گیاهچه سبز شده در هر کرت شمارش شد.

تراکم و وزن علف های هرز: تراکم و وزن خشک علف های

هرز ۳۰ روز پس از سبز شدن زیره، به کمک کوادرات به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی متر و به صورت تصادفی با رعایت اثر حاشیه اندازه گیری شد.

بوته میری گیاهچه ها: این صفت در شروع مرحله گلدهی زیره

سبز مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، تعداد بوته های خشک شده زیره سبز شمارش شد (Rezvani Moghaddam, Moradi, & Mansoori, 2014). از آنجایی که، ممکن است درصد بوته میری به دلیل حساس بودن بذر گیاه به دوز ترفلان بوده باشد و همچنین در خاک عوامل مختلف قارچی و غیرقارچی عامل بوته میری وجود دارد، در این آزمایش قارچ فوزاریوم به طور خاص مورد شناسایی قرار نگرفت و بوته های از بین رفته شمارش گردید.

عملکرد و اجزای عملکرد: قبل از برداشت در نیمه اول خرداد

ماه، از هر کرت تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و صفات و ویژگی هایی از جمله: وزن تر و خشک گیاه، ارتفاع و همچنین اجزای عملکرد دانه از قبیل تعداد شاخه های فرعی در هر بوته، تعداد چتر در هر بوته، تعداد چترک در هر چتر، تعداد دانه در هر چترک، تعداد دانه در هر چتر، وزن هزار دانه و شاخص برداشت برای زیره سبز مورد اندازه گیری قرار گرفتند. برای تعیین عملکرد نهایی در هر کرت نیم متر از کناره هر کرت به عنوان اثر حاشیه ای حذف شد و در سطح باقی مانده عملکرد بیولوژیک (تر و خشک) و عملکرد دانه (اقتصادی) تعیین شد.

درصد و عملکرد اسانس: مقدار ۵۰ گرم از دانه تولید شده در

هر کرت به صورت تصادفی انتخاب و توسط دستگاه کلونجر با استفاده از روش تقطیر با آب، اسانس آن اندازه گیری شد. به این منظور هر نمونه ابتدا کاملاً آسیاب شد و سپس درون بالن یک لیتری ریخته شد و ۷۵ میلی لیتر آب به آن اضافه گردید، سپس به مدت ۴ ساعت در دستگاه کلونجر قرار داده شد (Clevenger, 1928) و پس از رطوبت زدایی آب آن توسط سولفات سدیم با استفاده از روش جنتر (Guenther, 1961) درصد و عملکرد اسانس تعیین شد. عملکرد اسانس از حاصل ضرب درصد اسانس در عملکرد دانه به دست آمد.

کارایی مصرف آب: از تقسیم مقدار بذر تولیدی به مقدار آب

مصرفی به دست آمد.

آنالیز آماری: داده های حاصل از آزمایش براساس طرح آماری

مورد استفاده، توسط نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد جهت مقایسه میانگین استفاده شد. برای رسم شکل ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

علف کش ترفلان در زمان های مورد نظر به میزان ۲/۵ لیتر در هزار لیتر برای هر هکتار به صورت اختلاط با خاک استفاده شد. برای اختلاط با خاک، این علف کش ابتدا روی خاک پاشیده شده و سپس برای کاهش تیخیر و تجزیه نوری و کنترل مطلوب علف های هرزی که در نزدیک سطح خاک در حال جوانه زنی هستند، توسط دیسک تا عمق ۱۰ سانتی متری با خاک مخلوط شد. کاشت بذور گیاه زیره سبز (توده کاشمر) برای کلیه تیمارها ۲۵ آذر ۱۴۰۰ در کرت هایی با ابعاد ۳×۴ متر به میزان ۱۲ کیلوگرم در هکتار انجام شد. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت براساس روش های مورد نظر انجام گرفت. هیچ کود شیمیایی در این آزمایش مورد استفاده قرار نگرفت. وجین علف های هرز برای تیمار کنترل دستی علف هرز در سه نوبت انجام شد. در این آزمایش برای انجام آبیاری بارانی از شیوه آبیاری کلاسیک ثابت استفاده گردید که با آبیاش آمبو (ساخت ایتالیا) با فشار ۵ بار و شدت پاشش ۲ لیتر در ثانیه استفاده شد. آبیاش ها با شعاع پاشش ۱۲ متر و زاویه چرخش ۳۶۰ درجه نصب گردیدند. در روش غرقابی یا شیاری، آب به وسیله لوله های پلی اتیلن به ابتدای جویچه ها منتقل و وارد جویچه ها شد. در تمام مراحل، حجم آب ورودی به هر کرت اندازه گیری و ثبت شد. به منظور مشخص کردن مقدار آب آبیاری، رطوبت سنج های TDR ساخت شرکت اکل کمپ هلند برای پایش رطوبت حجمی خاک پس از کالیبراسیون در محدوده توسعه ریشه استفاده شد. دستگاه دارای دو میله فلزی ۳۰ سانتی متری بوده که داخل آن ها سنسور تعبیه شده و با قرارگیری در خاک رطوبت ثبت می شود. به دلیل حساسیت این میله ها، قبل از فرو بردن در زمین، به وسیله اگر مخصوص دستگاه، در داخل خاک حفره ایجاد شد. وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۲۹ گرم در سانتی متر مکعب، رطوبت (حجمی) ظرفیت زراعی ۲۹/۴۴ درصد و رطوبت (حجمی) پژمردگی ۱۹/۷۳ درصد بود. میزان آب مورد نیاز گیاه براساس تأمین رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی در عمق ۳۰ سانتی متری خاک و با در نظر گرفتن راندمان ۶۵ و ۷۵ درصد به ترتیب برای آبیاری غرقابی و بارانی تعیین شد (Mastalizadeh, Khajoei-Nejad, & Moradi, 2020). اندازه گیری آب مصرفی تیمارها به وسیله کنتور حجمی انجام شد. زمان آبیاری برای هر دو روش آبیاری براساس ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک صورت گرفت (Gheysari et al., 2017). میزان آب مصرفی برای کرت های مختلف بین ۲۳۱۰ مترمکعب در هکتار در آبیاری بارانی تا ۲۶۹۲ مترمکعب در هکتار در آبیاری غرقابی متغیر بود.

صفت های مورد اندازه گیری

تعداد گیاهچه سبز شده: برای بررسی میزان خسارت احتمالی

نتایج و بحث

تراکم و وزن خشک علف‌های هرز: نتایج تجزیه واریانس

نشان داد که تأثیر تیمارهای آبیاری، مدیریت علف‌های هرز و برهم‌کنش این دو بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بررسی برهم‌کنش تیمارهای آبیاری و مدیریت علف‌های هرز نشان داد که در کلیه تیمارهای کنترل علف‌هرز، تراکم علف‌های هرز در شرایط آبیاری غرقابی بیشتر از بارانی بود (شکل ۲). این تفاوت در تیمار عدم کنترل علف هرز مشهودتر از مصرف علفکش بود. به‌طوری‌که، تراکم علف‌های هرز در زمان عدم کنترل علف‌های هرز برای آبیاری غرقابی (۴۱/۲۱ بوته در مترمربع) حدود ۲۹ درصد بیشتر از آبیاری بارانی (۲۹/۱۴ بوته در مترمربع) بود. نتایج تایید نمود که مصرف علفکش در کلیه زمان‌های مورد ارزیابی پس از کاربرد آن، منجر به کاهش معنی‌دار تراکم علف‌های هرز شد (شکل ۲). در هر دو روش آبیاری، با افزایش فاصله زمانی کاشت زیره سبز از زمان مصرف علفکش تراکم علف‌های هرز افزایش معنی‌داری نشان داد و کمترین تراکم علف‌های هرز در تیمار کاشت زیره سبز پس از سه روز مصرف علفکش

به‌دست آمد. برای هردو روش آبیاری، تراکم علف‌های هرز در تیمار کاشت زیره سبز پس از ۲۱ روز مصرف علفکش به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر زمان‌های کاشت پس از مصرف علفکش بود. در آبیاری بارانی، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کاشت زیره سبز پس از ۳، ۷ و ۱۴ روز مصرف علفکش از نظر تراکم علف‌های هرز مشاهده نشد. ولی در آبیاری غرقابی، تراکم علف‌های هرز در تیمار کاشت پس از ۱۴ روز مصرف علفکش (۱۴/۳۲ بوته در مترمربع) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ۳ روز (۶/۱۷ بوته در مترمربع) بود. درخصوص وزن خشک علف‌های هرز نیز روندی تقریباً مشابه با تراکم علف هرز مشاهده شد (شکل ۳). کاربرد علفکش در کلیه تیمارهای زمان کاشت زیره سبز پس از مصرف آن منجر به کاهش معنی‌دار زیست‌توده علف هرز نسبت به تیمار شاهد شد. با افزایش زمان کاشت زیره سبز پس از مصرف علفکش وزن خشک علف‌های هرز افزایش معنی‌داری یافت و برای هردو روش آبیاری، بیشترین و کمترین زیست‌توده علف هرز به‌ترتیب در تیمارهای کاشت زیره سبز پس از ۲۱ و ۳ روز مصرف علفکش به‌دست آمد (شکل ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تیمارهای مورد بررسی بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز
Table 3- Analysis of variance (means square) treatments results on weed density and dry weight

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تراکم علف‌های هرز Weeds density	وزن خشک علف‌های هرز Weeds dry weight
تکرار Rep	2	57.14 ^{ns}	9.70 ^{ns}
نوع آبیاری Irrigation type (IT)	1	606.41 ^{**}	360.9 ^{**}
خطای اول Error1	2	34.77	14.14
مدیریت علف‌های هرز Weed Management (WM)	4	2845.8 ^{**}	963.1 ^{**}
مدیریت علف‌های هرز × نوع آبیاری IT×WM	4	856.3 ^{**}	258 ^{**}
خطای دوم Error2	16	94.88	31.22
ضریب تغییرات C.V (%)	-	11.4	12.2

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

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

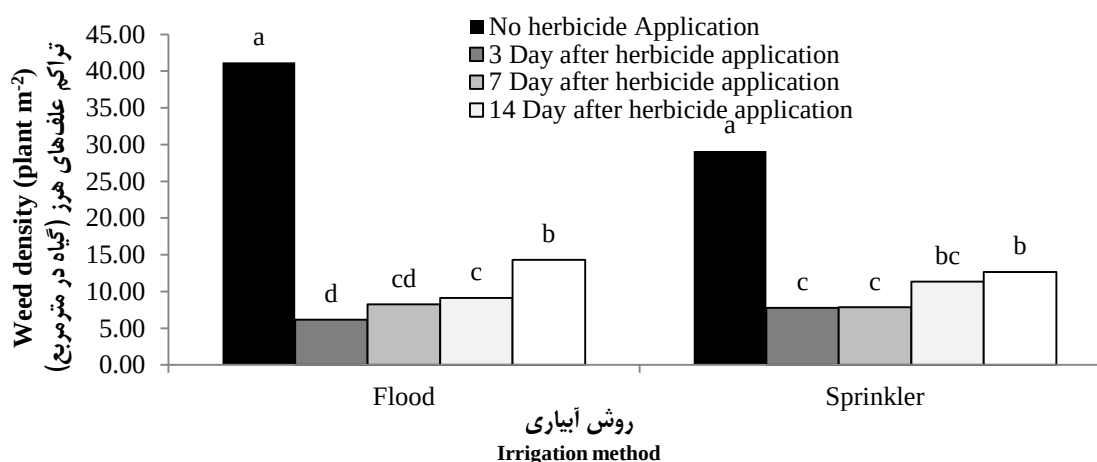
تعداد بوته سبز شده زیره سبز: نتایج حاصل از تجزیه

واریانس نشان داد که تیمار مدیریت علف هرز به‌طور معنی‌داری این شاخص را تحت تأثیر قرار داد ولی تیمار روش آبیاری و همچنین برهم‌کنش روش آبیاری در مدیریت علف‌هرز تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول ۴). نتایج نشان داد که مصرف

علفکش منجر به کاهش قابل‌توجه تعداد بوته‌های سبز شده گیاه زیره سبز شد. به‌طوری‌که، بالاترین تعداد بوته سبز شده زیره سبز در تیمارهای عدم مصرف علفکش (۸۷/۱۲ بوته در مترمربع) و وجین دستی علف هرز (۸۸/۱۳ بوته در مترمربع) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارهای کنترل علف هرز دارا بودند (جدول ۵). از

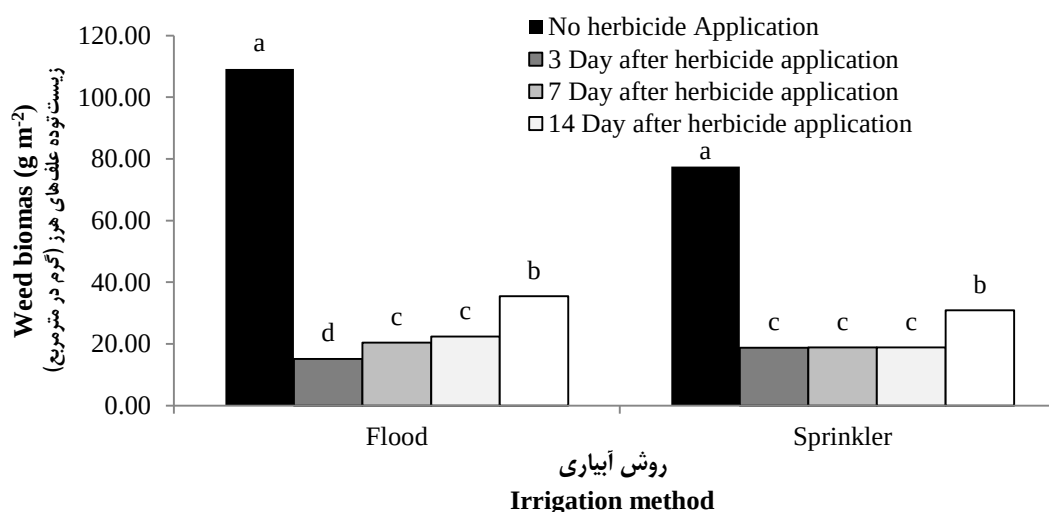
مصرف علف‌کش نسبت به تیمارهای ۳، ۷ و ۱۴ روز به‌ترتیب حدود ۵۰، ۴۹ و ۱۷ درصد بیشتر بود. اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کاشت زیره سبز در ۳ و ۷ روز پس از مصرف علف‌کش از نظر این شاخص مشاهده نشد.

طرفی، هرچه گیاه زیره سبز با فاصله زمانی دیرتری نسبت به زمان مصرف علف‌کش کشت شده بود، درصد بوته‌های سبز شده این گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافته بود (جدول ۵). به‌عنوان نمونه، تعداد بوته سبز شده زیره سبز در تیمار کاشت زیره سبز ۲۱ روز پس از



شکل ۲- برهم‌کنش روش آبیاری و زمان کاشت زیره سبز پس از مصرف علف‌های هرز (براساس روش برش‌دهی، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن ندارند).

Figure 2- The interaction of irrigation method and sown date of cumin after applying herbicide on weed density
(Based on slicing method, means with same letters are not significantly different according to Duncan test ($p < 0.05$))



شکل ۳- برهم‌کنش روش آبیاری و زمان کاشت زیره سبز پس از مصرف علف‌های هرز (براساس روش برش‌دهی، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن ندارند).

Figure 3- The interaction of irrigation method and sown date of cumin after applying herbicide on weed biomass
(Based on slicing method, means with same letters are not significantly different according to Duncan test ($p < 0.05$))

تیمارهای ۳ روز (۳۶/۵۲ سانتی‌متر) و ۱۴ روز (۳۴/۵۵ سانتی‌متر) بیشترین ارتفاع بوته را شامل شد (جدول ۶). اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای وجین دستی علف هرز (۳۱/۵۸ سانتی‌متر) و کاشت زیره سبز پس از ۱۴ روز مصرف علف‌کش (۳۲/۰۸ سانتی‌متر) مشاهده نشد. کمترین ارتفاع بوته (۲۴/۶۸ سانتی‌متر) نیز مربوط به تیمار عدم کنترل علف هرز بود که ارتفاع بوته در آن نسبت به تیمار کاشت زیره

ارتفاع بوته: این شاخص تنها تحت تأثیر تیمار مدیریت علف‌های هرز ($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۴). تیمار روش آبیاری و برهم‌کنش آبیاری $\times$ مدیریت علف هرز تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت. در بین تیمارهای مدیریتی علف هرز، تیمار کاشت زیره سبز پس از ۷ روز مصرف علف‌کش (۳۷/۰۱ سانتی‌متر) بدون اختلاف با

علف‌های هرز بر بوته‌میری گیاهچه‌ها نشان داد که در شرایط غرقابی بین تیمارهای عدم کنترل و کنترل علف‌های هرز اختلاف معنی‌داری وجود دارد درحالی‌که این اختلاف در شرایط آبیاری بارانی معنی‌دار نبود (جدول ۶). علاوه بر این کمترین میزان بوته‌میری در تیمار کاربرد تریفلورالین ۳ روز قبل از کاشت در هر دو نوع آبیاری مشاهده شد. میزان بوته‌میری به‌طور کلی با افزایش فاصله زمان کاربرد علفکش تا کاشت به‌ویژه در آبیاری غرقابی افزایش را نشان داد.

سبز پس از ۷ روز مصرف علفکش حدود ۳۳ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵).

بوته‌میری گیاهچه‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای نوع آبیاری، نوع مدیریت علف‌های هرز و همچنین برهم‌کنش بین نوع آبیاری و نوع مدیریت علف‌های هرز بر بوته‌میری گیاهچه‌ها اثر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع آبیاری و نوع مدیریت

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تیمارهای مورد بررسی بر خصوصیات مختلف زیره سبز
Table 4- Analysis of variance (means square) treatments results on cumin characteristics

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد بوته سبز شده Number of seedling emergence (Plant m ⁻²)	ارتفاع Height (cm)	بوته‌میری Infected plants
تکرار Replication	2	77.93 ^{ns}	0.671 ^{ns}	0.033 ^{ns}
نوع آبیاری Irrigation type (IT)	1	6.41 ^{ns}	0.974 ^{ns}	68.29 ^{**}
خطای اول Error1	2	14.77	21.41	0.168
مدیریت علف‌های هرز Weed management (WM)	5	1846.7 ^{**}	123.13 ^{**}	20.48 ^{**}
مدیریت علف‌های هرز × نوع آبیاری IT×WM	5	3.33 ^{ns}	5.06 ^{ns}	11.31 ^{**}
خطای دوم Error2	20	54.89	12.24	0.101
ضریب تغییرات C.V (%)	-	10.8	8.7	8.8

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

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

جدول ۵- تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر تعداد بوته سبز شده و ارتفاع گیاهچه‌های زیره سبز
Table 5- The effect of treatments on cumin seedling emerge and plant height

تیمار Treatment	نوع تیمار Treatment type	تعداد بوته سبز شده Number of seedling emergence (plant m ⁻²)	ارتفاع Height (cm)
روش آبیاری Irrigation method	غرقابی Flood	67.87 ^a	32.90 ^a
	بارانی Sprinkler	68.72 ^a	32.57 ^a
زمان کاشت زیره سبز پس از مصرف علفکش Time of cumin planting after herbicide application (Day)	عدم کنترل علف‌های هرز No weeds control	87.12 ^a	24.68 ^c
	وجین علف‌های هرز Hand weeding	88.13 ^a	31.58 ^b
	۳ روز 3 days	49.13 ^d	36.52 ^a
	۷ روز 7 days	49.17 ^d	37.01 ^a
	۱۴ روز 14 days	62.81 ^c	34.55 ^{ab}
	۲۱ روز 21 days	73.44 ^b	32.08 ^b

* برای هر تیمار، حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن نمی‌باشد.

* In each column, same letters are not significantly different according to Duncan test ($p < 0.05$)

جدول ۶- تأثیر برهم کنش تیمارهای مورد بررسی بر درصد بوته میری گیاهچه‌های زیره سبز

Table 6- The interaction of irrigation method and sown date of cumin after applying herbicide on damping off seedlings

تیمار Treatment		درصد بوته میری Infected plants percentage
آبیاری Irrigation	زمان کاشت زیره سبز پس از مصرف علف کش Cumin sown date after herbicide application	
غرقابی Flood	عدم کنترل علف‌های هرز No weeds control	7.23 b*
	وجین علف‌های هرز Hand weeding	9.30 a
	۳ روز 3 days	1.03 d
	۷ روز 7 days	2.07 d
	۱۴ روز 14 days	4.13 c
	۲۱ روز 21 days	6.20 b
بارانی Sprinkler	عدم کنترل علف‌های هرز No weeds control	2.07 ab
	وجین علف‌های هرز Hand weeding	3.10 a
	۳ روز 3 days	1.03 b
	۷ روز 7 days	2.07 ab
	۱۴ روز 14 days	3.10 a
	۲۱ روز 21 days	2.07 ab

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

* In each column based on slicing method, means with same letters are not significantly different according to Duncan test ($p < 0.05$)

حاصل شد که این شاخص را نسبت به تیمار عدم وجین علف هرز حدود ۱۲۳ درصد بهبود داد.

وزن هزار دانه: این شاخص تنها تحت تأثیر تیمار مدیریت علف‌های هرز قرار گرفت (جدول ۷). بالاترین وزن هزار دانه زیره سبز (۲/۶۶ گرم) در تیمار عدم وجین علف‌های هرز مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارهای کنترل علف‌های هرز دارا بود (جدول ۸). میزان وزن هزار دانه در تیمارهای مصرف علف‌کش اختلاف معنی‌داری نشان نداد ولی میزان این شاخص در تیمار وجین علف‌های هرز (۲/۴۹ گرم) به‌طور معنی‌داری بیشتر از همه آن‌ها بود.

عملکرد بیولوژیک: فاکتورهای روش آبیاری و مدیریت علف‌هرز عملکرد بیولوژیک را در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۷). تأثیر برهم‌کنش این دو فاکتور نیز در سطح احتمال پنج درصد بر این شاخص معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش روش آبیاری و مدیریت علف هرز نشان داد که در کلیه

تعداد چتر در بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای روش آبیاری و مدیریت علف هرز در سطح احتمال یک درصد تعداد چتر در بوته زیره سبز را تحت تأثیر قرار دادند، ولی برهم‌کنش این دو عامل تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول ۷). نتایج نشان داد که تعداد چتر در بوته زیره سبز در روش آبیاری بارانی حدود ۹ درصد بیشتر از آبیاری غرقابی بود (جدول ۸).

مقایسه میانگین فاکتور مدیریت علف هرز نیز تایید نمود که هم وجین علف هرز و هم استفاده از علف‌کش به‌طور معنی‌داری باعث بهبود این شاخص شدند (جدول ۸). به‌طوری‌که، کمترین تعداد چتر در بوته (۱۳/۲۰) در تیمار عدم وجین علف هرز مشاهده شد. وجین علف هرز منجر به افزایش حدود ۷۶ درصدی این شاخص نسبت به تیمار عدم وجین شد. اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف زمان کاشت پس از کاربرد علف‌کش مشاهده نشد. بیشترین تعداد چتر در بوته (۲۹/۴۳) در تیمار کاشت زیره سبز پس از ۷ روز مصرف علف‌کش

گیاه نسبت به تیمار عدم کنترل علف هرز شد. در شرایط آبیاری بارانی، کلیه تیمارهای مدیریت علف هرز منجر به افزایش قابل توجه عملکرد بیولوژیک زیره سبز نسبت به تیمار عدم کنترل علف هرز شد (جدول ۹). با این وجود، اختلاف تیمار عدم کنترل علف‌های هرز (۱۳۲۰/۶) کیلوگرم در هکتار) با تیمارهای کاشت زیره سبز پس از ۳ (۱۳۶۲/۶) کیلوگرم در هکتار) و (۱۳۷۸/۲) کیلوگرم در هکتار) ۷ روز مصرف علف‌کش از نظر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود. وجین علف هرز به‌طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیک بالاتری نسبت به کنترل شیمیایی تولید نمود. با طولانی‌تر شدن کاشت زیره سبز از زمان مصرف علف‌کش، عملکرد بیولوژیک بهبود یافت. به‌طوری‌که، کاشت زیره سبز پس از ۲۱ روز مصرف علف‌کش نسبت به تیمارهای ۳، ۷ و ۱۴ روز، میزان عملکرد بیولوژیک را به‌ترتیب حدود ۳۲، ۳۰ و ۹ درصد افزایش داد.

تیمارهای مدیریت علف هرز، میزان عملکرد بیولوژیک زیره سبز در آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری غرقابی بود (جدول ۹). به‌طور کلی، بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک (۱۹۶۲) کیلوگرم در هکتار) در تیمار وجین دستی علف‌های هرز در شرایط آبیاری بارانی تولید شد. در شرایط آبیاری غرقابی، بالاترین عملکرد بیولوژیک (۱۷۱۲/۸) کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاشت زیره سبز ۲۱ روز پس از مصرف علف‌کش به‌دست آمد که البته با تیمار وجین علف هرز (۱۶۸۲) کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کمترین عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری غرقابی، نیز مربوط به تیمار عدم وجین بود. در این شرایط، مصرف علف‌کش منجر به بهبود معنی‌دار عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار عدم کنترل علف‌های هرز شد. به‌طوری‌که، کاشت زیره سبز پس از ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز مصرف علف‌کش به‌ترتیب منجر به افزایش حدود ۲۰، ۱۷، ۴۰ و ۵۶ درصدی عملکرد بیولوژیک این

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تیمارهای مورد بررسی بر اجزای عملکرد، عملکرد، کارایی مصرف آب مختلف زیره سبز
Table 7- Analysis of variance (means square) treatments results on yield components, yield and water use efficiency of cumin

منابع تغییرات S.O.V	درجه ازادی d.f	تعداد چتر در بوته Number of umberella per plant	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (L ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	1.76 ^{ns}	0.005 ^{ns}	8925 ^{ns}	1108 ^{ns}	9.55 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.370 ^{ns}	0.006 ^{ns}
نوع آبیاری Irrigation type (IT)	1	43.11 ^{**}	0.006 ^{ns}	162716 ^{**}	69554 ^{**}	26.93 [*]	0.890 ^{**}	140 ^{**}	0.625 ^{**}
خطای اول Error 1	2	2.95	0.014	1214	6414	2.31	0.024	0.185	0.014
مدیریت علف‌های هرز Weed management (WM)	5	235.1 ^{**}	0.143 ^{**}	374001 ^{**}	102252 ^{**}	53.02 [*]	0.025 ^{ns}	51.53 ^{**}	0.019 ^{**}
مدیریت علف‌های هرز × نوع آبیاری IT×WM	5	0.82 ^{ns}	0.001 ^{ns}	23311 [*]	5618 [*]	2.63 ^{ns}	0.039 ^{**}	6.05 ^{**}	0.008 ^{ns}
خطای دوم Error 2	20	2.21	0.023	7598	1975	8.58	0.013	0.576	0.003
ضریب تغییرات C.V (%)	-	5.9	6.1	8.8	9.0	6.6	6.1	5.8	9.4

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد
ns, * and **: non-significant and significant at the probability level of 5% and 1%, respectively

معنی‌دار تولید دانه زیره سبز شدند. در آبیاری بارانی، بالاترین عملکرد دانه (۹۳۱/۶) کیلوگرم در هکتار) در تیمار وجین دستی علف هرز به‌دست آمد که با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری دارا بود ولی در آبیاری غرقابی، تیمار کاشت زیره سبز پس از ۲۱ روز مصرف علف‌کش (۷۷۶/۲) کیلوگرم در هکتار) بدون اختلاف معنی‌دار با تیمار وجین دستی علف هرز (۷۳۴/۵) کیلوگرم در هکتار) بالاترین عملکرد دانه را تولید کردند (شکل ۴).

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارهای مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه زیره سبز داشتند (جدول ۷). در کلیه تیمارهای مدیریت علف هرز، عملکرد دانه در آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری غرقابی بود (شکل ۴). در هردو روش آبیاری، هم وجین دستی و هم کنترل شیمیایی علف هرز در مقایسه با تیمار عدم کنترل علف هرز منجر به افزایش

جدول ۸- تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر تعداد چتر در بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت زیره سبز

Table 8- The effect of treatments on cumin number of umbrella per plant, 1000 seed weight, and harvest index

تیمار Treatment	نوع تیمار Treatment type	تعداد چتر در بوته Number of umbrella per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)	کارایی مصرف آب WUE (kg m ⁻³)
روش آبیاری Irrigation method	غرقابی Flood	24.00 ^b	2.50 ^a	43.79 ^b	0.24 ^b
	بارانی Sprinkler	26.19 ^a	2.47 ^a	45.52 ^a	0.31 ^a
زمان کاشت زیره سبز پس از مصرف علف کش Time of cumin planting after herbicide application (Day)	عدم کنترل علفهای هرز No weeds control	13.20 ^c	2.66 ^a	41.96 ^b	0.21 ^d
	وجین علفهای هرز Hand weeding	23.24 ^b	2.49 ^b	45.56 ^a	0.33 ^a
	۳ روز 3 days	29.28 ^a	2.44 ^c	44.80 ^{ab}	0.24 ^c
	۷ روز 7 days	29.43 ^a	2.44 ^c	44.31 ^{ab}	0.24 ^c
	۱۴ روز 14 days	28.35 ^a	2.44 ^c	45.08 ^a	0.29 ^b
	۲۱ روز 21 days	27.11 ^a	2.46 ^c	46.22 ^a	0.32 ^a

* برای هر تیمار، حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن نمی باشد.

* In each column, same letters are not significantly different according to Duncan test ($p < 0.05$)

عامل اثر معنی داری بر این شاخص نداشت (جدول ۷). میزان کارایی مصرف آب در روش آبیاری غرقابی (۰/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب) حدود ۲۹ درصد کمتر از آبیاری بارانی (۰/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب) بود (جدول ۸). کلیه تیمارهای مدیریت علف هرز منجر به افزایش معنی دار کارایی مصرف آب نسبت به تیمار عدم کنترل علف هرز شدند (جدول ۸). با افزایش فاصله کاشت زیره سبز از زمان مصرف علف کش، کارایی مصرف آب افزایش معنی داری نشان داد. دو تیمار وجین دستی علف هرز (۰/۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و کاشت زیره سبز پس از ۲۱ روز مصرف علف کش (۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بالاترین کارایی مصرف آب را شامل شدند که نسبت به تیمار عدم کنترل علفهای هرز، این شاخص را به ترتیب حدود ۵۷ و ۵۲ درصد بهبود دادند.

درصد اسانس: روش آبیاری تأثیر معنی داری ($P \leq 0.01$) بر درصد اسانس داشت، ولی تیمار کنترل علف هرز این شاخص را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۷). همچنین، برهم کنش این دو فاکتور بر درصد اسانس معنی دار ($P \leq 0.01$) بود. درصد اسانس در آبیاری بارانی به طور قابل توجهی بیشتر از آبیاری غرقابی بود (جدول ۹). به طوری که در تیمارهای مختلف مدیریت علف هرز، دامنه درصد اسانس در آبیاری غرقابی بین ۱/۷۲ تا ۱/۷۹ درصد و در آبیاری بارانی بین ۱/۸۰ تا ۲/۱۷ درصد متغیر بود. در آبیاری غرقابی اختلاف معنی داری بین تیمارهای مختلف مدیریت علف هرز مشاهده نشد. در آبیاری بارانی، میزان این شاخص در تیمار عدم کنترل علف هرز (۱/۸۰ درصد)

در هر دو روش آبیاری، از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی داری بین دو تیمار کاشت زیره سبز پس از ۳ و ۷ روز مصرف علف کش مشاهده نشد. نتایج این نکته را تأیید نمود که با فاصله گرفتن کاشت زیره سبز از زمان مصرف علف کش عملکرد دانه افزایش معنی داری یافت. به عنوان مثال، با افزایش این فاصله از ۳ به ۲۱ روز، زیره سبز در روش آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب حدود ۳۳ و ۳۷ درصد عملکرد دانه بیشتری تولید نمود (شکل ۴).

شاخص برداشت (HI): این شاخص تحت تأثیر روش آبیاری و مدیریت علف هرز در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۷). برهم کنش این دو عامل تأثیر معنی داری بر شاخص برداشت نداشتند. شاخص برداشت در آبیاری بارانی (۴۵/۵۲ درصد) حدود ۴ درصد بیشتر از آبیاری غرقابی (۴۳/۷۹ درصد) بود (جدول ۸). مقایسه میانگین تیمار مدیریت علف هرز نیز نشان داد که کمترین شاخص برداشت (۴۱/۹۶ درصد) در تیمار عدم کنترل علف هرز مشاهده شد که به طور معنی داری کمتر از دیگر تیمارها بود (جدول ۸). اختلاف معنی داری بین تیمار وجین دستی علف هرز با تیمارهای مختلف کنترل شیمیایی علفهای هرز از نظر شاخص برداشت مشاهده نشد ولی با این وجود، تیمار کاشت زیره سبز پس از ۲۱ روز مصرف علف کش بالاترین (۴۶/۲۲ درصد) میزان این شاخص را دارا بود.

کارایی مصرف آب (WUE): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر روش آبیاری و مدیریت علف هرز بر میزان کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود ولی اثر متقابل این دو

دستی علف هرز و کاشت زیره سبز پس از ۲۱ روز مصرف علف‌کش به‌ترتیب حدود ۲۰ و ۲۷ درصد بود. در آبیاری بارانی، کلیه تیمارهای مدیریت علف هرز منجر به افزایش معنی‌دار تولید اسانس نسبت به تیمار عدم کنترل علف هرز شدند. ولی در آبیاری غرقابی، اختلاف معنی‌داری بین تیمار عدم کنترل علف هرز (۸/۱۱ لیتر در هکتار) و کاشت زیره پس از ۷ روز مصرف علف‌کش (۹/۹۲ لیتر در هکتار) وجود نداشت (جدول ۹). در شرایط آبیاری بارانی، تیمار کاشت زیره سبز پس از ۲۱ روز مصرف علف‌کش بیشترین میزان اسانس (۲۰/۱۵ لیتر در هکتار) را تولید کرد که نسبت به تیمار عدم کنترل علف هرز (۱۰/۱۳ لیتر در هکتار) میزان این شاخص را تقریباً دو برابر کرد.

اختلاف معنی‌داری با تیمار کاشت زیره سبز پس از ۳ روز مصرف علف‌کش (۲/۰۱ درصد) نداشت ولی به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از دیگر تیمارهای کنترل دستی و شیمیایی علف‌های هرز بود (جدول ۹).
عملکرد اسانس: این شاخص در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثرات ساده و متقابل فاکتورهای مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۷). در کلیه تیمارهای مدیریت علف هرز، میزان عملکرد اسانس در آبیاری بارانی به‌طور چشم‌گیری بالاتر از آبیاری غرقابی بود (جدول ۹). این تفاوت در تیمارهای کنترل دستی و شیمیایی علف هرز مشهودتر از تیمار عدم کنترل علف هرز بود. به‌عنوان نمونه، تفاوت بین عملکرد اسانس در آبیاری بارانی و غرقابی برای تیمارهای وجین

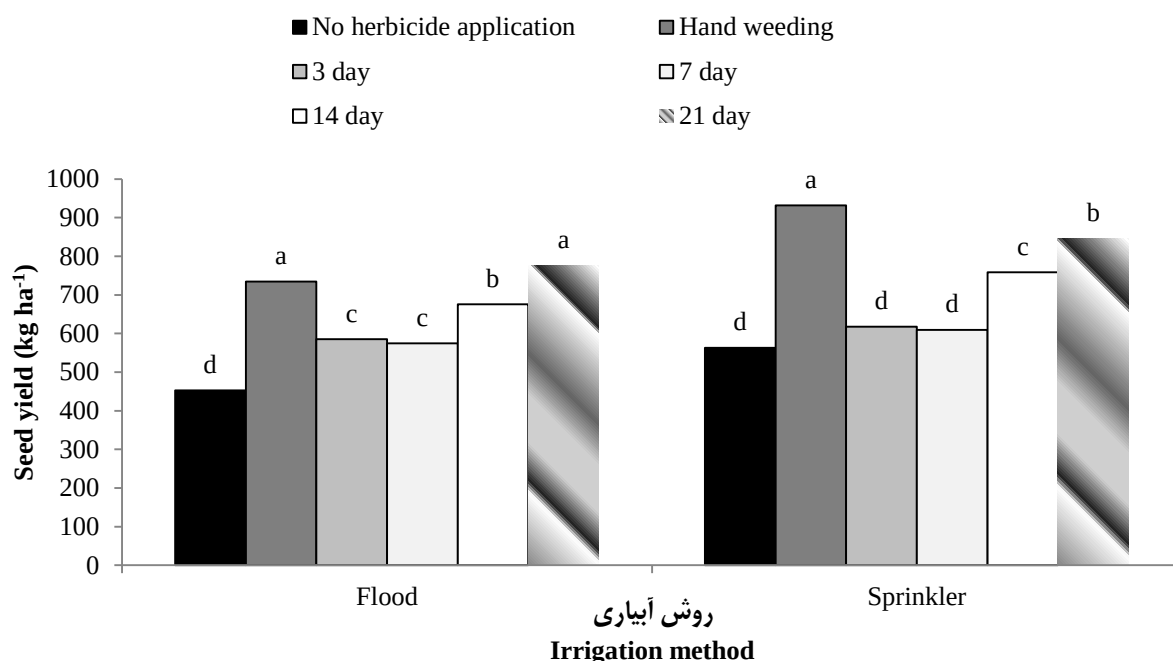
جدول ۹- تأثیر برهم‌کنش تیمارهای مورد بررسی بر اجزای عملکرد و عملکرد مختلف زیره سبز

Table 9- The interaction effect of irrigation method and sown date of cumin after applying herbicide on on yield components and yield of cumin

تیمار Treatment		عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (L ha ⁻¹)
آبیاری Irrigation	زمان کاشت زیره سبز پس از مصرف علف‌کش Cumin sown date after herbicide application			
غرقابی Flood	عدم کنترل علف‌های هرز No weeds control	1098.7 d*	1.79 a	8.11 c
	وجین علف‌های هرز Hand weeding	1682.1 ab	1.76 a	12.94 a
	۳ روز 3 days	1322.0 c	1.74 a	10.16 b
	۷ روز 7 days	1295.7 c	1.73 a	9.92 bc
	۱۴ روز 14 days	1540.2 b	1.72 a	11.61 b
	۲۱ روز 21 days	1712.8 a	1.74 a	13.54 a
بارانی Sprinkler	عدم کنترل علف‌های هرز No weeds control	1320.6 d	1.80 b	10.13 e
	وجین علف‌های هرز Hand weeding	1962.4 a	2.16 a	20.15 a
	۳ روز 3 days	1362.6 d	2.01 ab	12.42 d
	۷ روز 7 days	1378.2 d	2.06 a	12.59 d
	۱۴ روز 14 days	1639.4 c	2.17 a	16.48 c
	۲۱ روز 21 days	1795.1 b	2.15 a	18.22 b

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

* In each column based on slicing method, means with same letters are not significantly different according to Duncan test ($p < 0.05$)



شکل ۴- برهم کنش روش آبیاری و زمان کاشت زیره سبز پس از مصرف علفکش بر عملکرد دانه زیره سبز
براساس روش برش‌دهی، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن ندارند.
Figure 4- The interaction of irrigation method and sown date of cumin after applying herbicide on seed yield of cumin
Based on slicing method, means with same letters are not significantly different according to Duncan test ($p < 0.05$)

کشاورزان گسترش یافته است (Rashed Mohassel et al., 2022). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در آبیاری غرقابی بیش از آبیاری بارانی بود (شکل‌های ۲ و ۳). بنابراین به نظر می‌رسد، انتخاب روش مناسب آبیاری یکی از راهکارهای زراعی مهم در کنترل علف‌های هرز در محصولات زراعی مختلف مانند زیره سبز باشد. در مطالعه انجام گرفته در تأثیر روش آبیاری بر رشد انواع علف‌های هرز مزارع نیشکر (*Saccharum officinarum*) که توسط فضلی و همکاران (Fazli et al., 2022)، انجام شده است، نشان داد که استفاده از روش آبیاری غرقابی بیش از بقیه روش‌ها سبب افزایش وزن خشک و تراکم علف‌های هرز شده است. این محققین یکی از دلایل این مسئله را ورود بیشتر بذر علف‌های هرز از طریق آب آبیاری به روش سطحی، نسبت به آبیاری بارانی دانستند. بنابراین، به نظر می‌رسد بخشی از علف‌های هرزی که در تیمار آبیاری غرقابی رشد کرده‌اند ممکن است از طریق آب آبیاری به مزرعه راه یافته باشد. استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و بارانی با میکرونازل بر میزان اثر کاهشی عملکرد پیاز (*Allium cepa*) اثرگذار بود. به‌طوری که کاهش دوره بحرانی مدیریت علف‌های هرز در صورت استفاده از آبیاری قطره‌ای در مقایسه با بارانی با میکرونازل از ۷۴ روز به ۴۵ روز مشاهده شد (De Freitas Souza et al., 2021). همچنین مطالعه حاضر نشان داد تفاوت بین تراکم علف هرز و بیومس آن در زمان‌های مختلف مصرف علفکش پیش از کاشت

در آبیاری غرقابی، بیشترین عملکرد اسانس تولیدی در تیمار کاشت زیره سبز پس از ۲۱ روز مصرف علفکش (۱۳/۵۴ لیتر در هکتار) حاصل شد که این شاخص را نسبت به تیمار شاهد (۸/۱۱ لیتر در هکتار) حدود ۶۶ درصد بهبود بخشید. در هردو روش آبیاری، با افزایش فاصله کاشت از زمان مصرف علفکش، میزان اسانس تولیدی افزایش یافت.

نتایج آزمایش نشان داد که عدم کنترل علف‌های هرز منجر به کاهش خصوصیات کمی و کیفی زیره سبز شد. سایر مطالعات نیز کاهش کمی و کیفی محصولات کشاورزی در نتیجه حضور علف‌های هرز وابسته به نوع و تراکم علف‌های هرز و گیاه زراعی را گزارش کردند (Zimdahl, 2004; Rashed Mohassel et al., 2022). گیاهانی که دارای رشد ضعیف‌تر بوده و زیست‌توده کمتری تولید می‌کنند حساسیت بیشتری نسبت به رقابت با علف‌های هرز نشان می‌دهند (Zimdahl, 2004; Rashed Mohassel et al., 2022). یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین روش‌های کنترل علف‌های هرز وجین دستی می‌باشد که کارایی بالایی دارد. ولی به دلیل تحمیل هزینه زیاد به کشاورزان و همچنین نیاز به صرف زمان زیاد در بسیاری از موارد به‌ویژه در سطح وسیع قابل استفاده نیست (Radosevich, et al., 1997; Rashed Mohassel et al., 2022). بنابراین روش مدیریت شیمیایی که نسبت به وجین دستی کم هزینه‌تر، نیاز به زمان کمتر، کاربرد راحت، امکان استفاده در مزرعه‌های وسیع را دارد بین

عملکرد است (Nassabadi et al., 2019; Lowry & Smith, 2018).

عملکرد بیولوژیک در آبیاری بارانی به‌طور معنی‌داری بیشتر از آبیاری غرقابی بود (جدول ۹). با توجه تأثیر آبیاری بارانی بر کاهش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز و همچنین اثر آن بر رشد گیاه زیره، افزایش عملکرد بیولوژیک زیره قابل پیش‌بینی بود (شکل‌های ۲ و ۳، جدول ۹). همچنین در آبیاری بارانی به دلیل مصرف کمتر آب، بوت‌میری نیز کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۶). تأیید شده است که مدیریت‌های زراعی که در جهت کاهش مصرف آب صورت می‌گیرند می‌توانند در کاهش بیماری‌های قارچی گیاهان و افزایش رشد و عملکرد آن‌ها نقش به‌سزایی ایفا کنند (Ávalos-Sánchez et al., 2022). در هر دو روش آبیاری، تیمار وجین علف هرز، بیشترین عملکرد بیولوژیک را نشان داد و سپس تیمار کاشت بعد از ۲۱ روز، با اختلاف اندکی از تیمار وجین دستی، قرار گرفت. این مسئله در موازات نتایج قبلی قرار گرفته است. بهبود رشد گیاه معمولاً با کنترل شرایط زراعی، از جمله کنترل علف‌های هرز صورت می‌گیرد (Oliveria et al., 2020). در مطالعه حاضر دلیل عدم موفقیت تیمارهای کاشت زیره سبز پس از ۳، ۷ و ۱۴ روز مصرف علف‌کش نسبت به ۲۱ روز، می‌تواند تأثیر منفی علف‌کش بر رشد گیاه اصلی باشد.

عملکرد دانه، به‌عنوان هدف اقتصادی از کشت گیاه زیره سبز محسوب می‌شود (Bahrami et al., 2023). آبیاری بارانی، به دلیل ایجاد شرایط رطوبتی، تغذیه‌ای و فیزیکی مناسب‌تری که برای خاک ایجاد می‌کند شرایط بهتری را برای رشد گیاه فراهم کرده و عملکرد دانه را مانند عملکرد بیولوژیک افزایش داده است (Yava & Rahama, 2003; Sezen et al., 2011; Kresović et al., 2016). همچنین، در هر دو روش آبیاری کنترل علف‌های هرز با روش وجین دستی و کاشت زیره سبز بعد از ۲۱ روز مصرف علف‌کش، بیشترین عملکرد دانه را نشان دادند. باوجود تراکم و وزن خشک کمتر علف‌های هرز در تیمار کاشت زیره سبز پس از ۳ روز مصرف علف‌کش نسبت به ۲۱ روز، ولی به دلیل تعداد بوت‌ه بیشتر سبزشده زیره سبز در تیمار ۲۱ روز نسبت به ۳ روز، عملکرد دانه در تیمار ۲۱ روز بیشتر از ۳ روز بود. یعنی تأثیر تراکم بوت‌ه سبزشده بیشتر از کنترل علف‌هرز بوده است. به نظر می‌رسد بهبود سبز شدن بذور زیره و همچنین عدم خسارت ناشی از علف‌کش توانسته است منجر به بروز این نتیجه و عملکرد شود. از طرفی، کمترین عملکرد دانه در هر دو روش آبیاری در عدم وجین و کاشت بعد از ۳ و ۷ روز مصرف علف‌کش مشاهده شد (شکل ۴)، هرچند تیمارهای ۳ و ۷ روز در کنترل علف هرز موفق بودند، اما از آن طرف مانع سبز شدن زیره هم شده و در مراحل اولیه رشد گیاه آسیب رساندند. احتمالاً وجود علف‌کش، رشد بوت‌ه‌های سبزشده را نیز تحت تأثیر قرار داده است. علف‌کش‌ها به دلیل ورود به اندام گیاهچه‌های سبز شده، می‌توانند در

زیره سبز، در آبیاری غرقابی بیشتر از بارانی بود (شکل‌های ۲ و ۳). یعنی آبیاری بارانی به‌طور خاص در کنترل علف‌های هرز نقش داشته است، بنابراین این نتیجه قابل‌انتظار است که بین تیمارهای مختلف زمان مصرف علف‌کش تا زمان کاشت، تفاوت کمتری در شرایط آبیاری بارانی نسبت به غرقابی باشد (Chowdhury et al., 2017). همچنین، خفگی و همکاران (Khaffagy et al., 2022) بیان داشتند که روش آبیاری و میزان آب مصرفی می‌تواند رشد علف‌های هرز مزرعه سویا را تحریک کرده و از تأثیر نوع علف‌کش مصرفی بکاهد، به‌طوری‌که با مدیریت آبیاری می‌توان از علف‌کش‌هایی که خطر کمتری دارند، استفاده کرد.

نکته قابل‌توجه دیگر در نتایج این مطالعه این است که هرچه تعداد روز از مصرف علف‌کش تا کاشت زیره بیشتر شد، بیومس و تراکم علف هرز نیز افزایش یافت (شکل‌های ۲ و ۳). به‌نظر می‌رسد افزایش این فاصله زمانی سبب کاهش تأثیرگذاری علف‌کش به دلیل تثبیت آن در خاک، تجزیه نوری و یا تبخیر شده است (Senseman, 2007; Mehdi-zadeh et al., 2015). با این حال، حتی کاشت بعد از ۲۱ روز از مصرف علف‌کش نسبت به عدم مصرف علف‌کش، توانست به‌ترتیب در روش آبیاری بارانی و غرقابی میزان بیوماس علف‌های هرز را کاهش دهد (شکل‌های ۲ و ۳). به دنبال تثبیت علف‌کش در ذرات خاک با افزایش فاصله زمانی از مصرف تا کاشت زیره، اثر مثبت و قابل‌مشاهده این تیمار بر سبز شدن بذور زیره، به افزایش عملکرد آن کمک نمود (جدول ۵). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که زیره سبز به برخی علف‌کش‌ها نظیر متریبوزین حساس است و در زمان کاربرد در محصول قبلی (پسماند علف‌کش) و همچنین کاربرد در زمان کاشت و پس از کاشت زیره سبز باید این مساله را در نظر داشت (Haji Rezaei et al., 2021).

جوانه‌زنی و سبز شدن به‌عنوان اولین و مهم‌ترین مرحله رشد و استقرار گیاهچه، شناخته شده است که نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در عملکرد محصول در انتهای فصل رشد دارد (Oliveira et al., 2020). تیمار ۲۱ روز نسبت به ۳، ۷ و ۱۴ روز به‌طور معنی‌داری، تعداد بوت‌ه سبزشده را افزایش داد (جدول ۵). استقرار بهتر گیاهچه در این مرحله سبب شد تا این تیمار عملکرد بالاتر دانه و بیولوژیک را نسبت به بقیه تیمارهای کنترل علف هرز (۳، ۷، ۱۴ روز بعد از سبز شدن) نشان دهد (جدول ۹، شکل ۴). چمنی اصغری و همکاران (Chamani, 2010) نیز نشان دادند که استقرار بهتر گیاهچه سبب افزایش عملکرد بوت‌ه و افزایش قدرت رقابت آن در مقابله با شرایط نامساعد محیطی مانند علف‌های هرز می‌شود. روش آبیاری تأثیری بر میزان سبز شدن بوت‌ه نداشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد هر دو روش آبیاری، میزان رطوبت کافی را در اختیار بذور در حال سبز شدن زیره سبز قرار داده‌اند، همچنین، عدم وجود علف‌های هرز در مرحله استقرار گیاهچه، دلیل دیگری بر رشد بهتر گیاهچه و افزایش

نسبت به آبیاری غرقابی مصرف شده است ممکن است در بهبود درصد اسانس نقش مثبت داشته باشد.

در آبیاری غرقابی، درصد اسانس تحت تأثیر روش‌های کنترل علف هرز قرار نگرفت، این مسئله در مورد آبیاری بارانی تنها با یک استثنا روبه‌رو شد، به گونه‌ای که تنها عدم کنترل علف هرز، درصد اسانس را کاهش داد (جدول ۹). در مطالعه‌ای که توسط بهرامی و همکاران (Bahrami et al., 2023) بر تأثیر زمان قطع آبیاری در شرایط تداخل علف هرز بر درصد اسانس زیره سبز انجام گرفت، گزارش شد که تداخل زمان قطع آبیاری بر درصد اسانس اثر گذاشت، اما تداخل علف هرز تأثیری بر درصد اسانس زیره سبز نداشت.

عملکرد اسانس نیز مانند عملکرد دانه در آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری غرقابی گزارش شد (جدول ۹، شکل ۴). عملکرد اسانس از عملکرد دانه تأثیر می‌پذیرد به گونه‌ای که عوامل مؤثر بر عملکرد دانه، عملکرد اسانس را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Nayyer poor et al., 2021). در هر دو روش آبیاری، بیشترین عملکرد اسانس مربوط به کنترل دستی علف‌های هرز و کاشت بعد از ۲۱ روز بود که این مسئله نیز با عملکرد دانه همسو گزارش شد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، عملکرد دانه بیشتر به همراه کارایی مصرف آب بالاتر در آبیاری بارانی نسبت به آبیاری غرقابی مشاهده شد. کاربرد تریفلورالین تأثیر بیشتری بر علف‌های هرز در شرایط کشت سه روز پس از کاربرد نسبت به دیگر زمان‌های کاشت پس از مصرف این علف‌کش نشان داد. با این وجود، به دلیل تعداد بوته سبز شده بیشتر، عملکرد بیولوژیک، دانه و اسانس در تیمار کشت ۲۱ روز پس از کاربرد تریفلورالین بیشتر از ۳ روز بود. به طور کلی، کاشت زیره سبز پس از ۲۱ روز مصرف تریفلورالین و استفاده از آبیاری بارانی تا حد قابل‌قبولی توانست تراکم و بیومس علف‌های هرز در زیره سبز را کاهش دهد و از طرفی عملکرد مناسبی تولید نمود که قابل توصیه می‌باشد.

سپاسگزاری

این تحقیق توسط معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید باهنر کرمان حمایت مالی شده است که بدین‌وسیله تشکر می‌گردد.

مراحل بعدی رشد گیاه نیز تأثیر بگذارند (Parween et al., 2016). بیشترین وزن هزار دانه در شرایط عدم کنترل علف هرز به دست آمد. احتمالاً در این تیمار تعداد چتر و چترک و دانه کمتر بوده و مواد فتوسنتزی بین تعداد دانه کمتری توزیع شده است.

کارایی مصرف آب در روش آبیاری بارانی به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از آبیاری غرقابی بود (جدول ۸). تأیید شده است که از آنجایی که تلفات آب به‌صورت رواناب و فرسایش خاک در روش آبیاری بارانی نسبت به آبیاری غرقابی به حداقل می‌رسد، کارایی مصرف آب در این روش بیشتر از آبیاری غرقابی می‌باشد. این موضوع توسط محققین زیادی گزارش شده است (Kresović et al., 2016; Wang et al., 2015; Abd El-Wahed et al., 2015). وجین علف‌های هرز و همچنین کاربرد علف‌کش منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب نسبت به شرایط عدم و کنترل علف هرز شد (جدول ۸). از طرف دیگر، با افزایش فاصله زمانی مصرف علف‌کش تا کاشت زیره سبز، کارایی مصرف آب بهبود یافت. بدون تردید افزایش کارایی مصرف آب در زمان کنترل علف‌های هرز، به دلیل بالاتر بودن عملکرد این تیمارها نسبت به تیمار عدم کنترل علف هرز بوده است. همچنین، از آنجایی که علف‌های هرز در جذب آب و مواد غذایی بسیار موفق‌تر از گیاه زراعی عمل می‌کنند (Singh et al., 2022; Abouziena et al., 2014)، به‌نظر می‌رسد در زمان عدم کنترل علف‌های هرز، بخش زیادی از آب مصرفی به مصرف علف‌های هرز رسیده و کارایی مصرف آب در این تیمار کاهش یافته است.

درصد اسانس در آبیاری بارانی به‌طور معنی‌داری بیشتر از آبیاری غرقابی بود (جدول ۹). به نظر می‌رسد کاهش اثرات منفی بوته‌میری در آبیاری بارانی یکی از عوامل بهبود درصد اسانس بوده باشد. برخی محققین معتقدند به‌طور کلی افزایش اسانس با افزایش عوامل نامساعد محیطی مانند تنش‌های خشکی و شوری همراه است (Figueiredo et al., 2008)، با این حال این مسئله به شدت تحت تأثیر نوع گیاه دارویی مورد مطالعه و سطح تنش اعمال شده می‌باشد (Peymaei et al., 2024). البته در مطالعه‌ای که توسط علینیان و رزمجو (Alinian & Razmjoo, 2014) انجام شده است بیان شد که مصرف آب کمتر تا یک حد مشخصی می‌تواند سبب بهبود درصد اسانس گیاه زیره سبز شود، با این حال ایشان بیان داشتند کاهش مصرف آب در حد تنش خشکی، درصد اسانس را کاهش می‌دهد. بنابراین، از آنجایی که در این آزمایش در آبیاری بارانی، آب کمتری

References

1. Abd El-Wahed, M. H., Medici, M., & Lorenzini, G. (2016). Sprinkler irrigation uniformity: Impact on the crop yield and water use efficiency. *Journal of Engineering Thermophysics*, 25, 117-125. <https://doi.org/10.1134/S1810232816010112>
2. Abouziena, H. F., El-Saeid, H. M., & Amin, A. A. E. (2014). Water loss by weeds: A review. *International Journal of ChemTech Research*, 7(01), 323-336.

3. Alinian, S., & Razmjoo, J. (2014). Phenological, yield, essential oil yield and oil content of cumin accessions as affected by irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, 54, 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.028>
4. Ávalos-Sánchez, E., López-Martínez, A., Molina-Aiz, F. D., Reca, J., Marín-Membrive, P., & Valera-Martínez, D. L. (2022). Effect of different substrates, and irrigation with water with different saline concentrations, on the development of tomato fungal diseases in an Almería-Type greenhouse. *Agronomy*, 12(5), 1050. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051050>
5. Bahrami, H., Armin, M., Jamimoeini, M., & Abhari, A. (2023). The effect of different irrigation cut-off times on yield and yield components of cumin in weed interference conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2), 291-304. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2022.291654.1098>
6. Chamani Asghari, T., Mahmoodi, S., & Zamani, Gh. R. (2010). Primary growth of root and shoot of wild oat (*Avena fatua* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) in competition for nitrogen. *Weed Research Journal*, 2, 53-68.
7. Chowdhury, J. A., Karim, M. A., Khaliq, Q. A., Ahmed, A. U., & Mondol, A. M. (2017). Effect of drought stress on water relation traits of four soybean genotypes. *SAARC Journal of Agriculture*, 15(2), 163-175. <https://doi.org/10.3329/sja.v15i2.35146>
8. Clevenger, J. H. (1928). Apparatus for the determination of volatile oil. *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 17, 346.
9. Dastorani, M., Gholamalalipour Alamdari, E., Biabani, A., Avarseji, Z., & Habibi, M. (2018). Study the several herbicides effect on weeds control and yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Weed Science*, 14(1), 83-95. <https://doi.org/10.22092/ijws.2018.1401.08>
10. De Freitas Souza, M., Lins, H. A., de Mesquita, H. C., da Silva Teófilo, T. M., Reginaldo, L. T. R. T., Pereira, R. K. V., & Silva, D. V. (2021). Can irrigation systems alter the critical period for weed control in onion cropping? *Crop Protection*, 147, 105457. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105457>
11. FAO. (2024). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Visited at 22/04/2024
12. Fazli, M., Zare, A., Siahpoosha, A., & Elahifard, E. (2022). Evaluation the effect of different irrigation systems and weed control treatments on quantitative and qualitative yield of sugarcane (*Saccharum officinarum*) and weeds biomass. *Journal of Water Research in Agriculture*, 36(2), 165-179. <https://doi.org/10.22092/jwra.2022.357653.913>
13. Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., & Scheffer, J. J. (2008). Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(4), 213-226. <https://doi.org/10.1002/ffj.1875>
14. Gheysari, M., Sadeghi, S. H., Loescher, H. W., Amiri, S., Zareian, M. J., Majidi, M. M., ... & Payero, J. O. (2017). Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. *Agricultural Water Management*, 182, 126-138.
15. Guenther, E. (1961). The Essential Oils. D. Van Nostrand Company Press, New York.
16. Haji Rezaei, T., Eslami, S., Mahmoodi, S., & Minbash Moeini, M. (2021). Feasibility of chemical control of weeds in cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 34(4), 457-472. <https://doi.org/10.22067/jpp.v34i4.86545>
17. Hosseini, A., Koocheki, A., & Nasiri mahalati, M. (2006). Critical period of weed control In cumin (*Cuminum cyminum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 4(1), 23-34. <https://doi.org/10.22067/gsc.v4i1.1316>
18. Khaffagy, A. E., Mazrou, Y. S., Morsy, A. R., El-Mansoury, M. A., El-Tokhy, A. I., Hafez, Y., ... & Khedr, R. A. (2022). Impact of irrigation levels and weed control treatments on annual weeds, physiological traits and productivity of soybean under clay soil conditions. *Agronomy*, 12(5), 1037. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051037>
19. Kresović, B., Tapanarova, A., Tomić, Z., Životić, L., Vujović, D., Sredojević, Z., & Gajić, B. (2016). Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. *Agricultural Water Management*, 169, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.023>
20. Lowry, C. J., & Smith, R. G. (2018). *Weed control through crop plant manipulations*. In Non-chemical weed control (pp. 73-96). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809881-3.00005-X>
21. Kafi, M. (Ed.). (2006). *Cumin (Cuminum cyminum): Production and Processing* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482280531>
22. Mastalizadeh, B., Khajoei-Nejad, G., & Moradi, R. (2020). Effect of various irrigation methods on tuber yield and water productivity of potato varieties. *Plant Productions*, 43(3), 431-442. <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.28244.1706>
23. Mathur, B. L., & Prasad, N. (1964). Studies on wilt disease of cumin caused by *Fusarium oxysporum* f. cumini. *Indian Journal of Agriculture Science*, 34, 131-137.
24. Mehdizadeh, M., Izadi-Darbandi, E., Naseri-Pour Yazdi, M. T., Rastgoo, M., Malaekheh-Nikouei, B., & Nasirli, H. (2015). Evaluation of metribuzin degradation and its half life in soil affected by different organic fertilizers under field conditions. *Applied Field Crops Research*, 28(3), 120-126. <https://doi.org/10.22092/AJ.2016.106731>

25. Moradi, R., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M., & Lakzian, A. (2009). The effect of application of organic and biological fertilizers on yield, yield components and essential oil of *Foeniculum vulgare* (Fennel). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(2), 625-635.
26. Nakhrizi Moghaddam, A. (2009). Effect of plant density and stages of water stress on yield, yield component of cumin (*Cuminum cyminum*). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 40(3), 63-69. (in Persian with English abstract)
27. Nassabadi, H., Armin, M., & Marvi, H. (2019). The effect of weed interference duration on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) in irrigated and rainfed condition. *Journal of Crop Production*, 12(2), 157-170. <https://doi.org/10.22069/EJCP.2019.16221.2208>
28. Nayyer poor Dizaj, A., Alizadeh Salteh, S., & Zaare Nahandi, F. (2021). The effect of magnetic water on some morphological characteristics, yield and essential oil composition of savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 163-176. <https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.12800>
29. North Mofrad, N., Farrokhinejad, R., & Alizadeh, A. (2005). Genetic diversity in populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. cumini, the causal agent of cumin wilt in Khorasan using vegetative compatibility groups. *Plant Diseases*, 41, 437-453.
30. Oliveira, M. C., Osipitan, O. A., Begcy, K., & Werle, R. (2020). Cover crops, hormones and herbicides: Priming an integrated weed management strategy. *Plant Science*, 301, 110550. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110550>
31. Omidbeygi, R., Sadeghi, B., & Ramezanim, A. (2001). Effects of cultivation site on quality of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Horticulture, Science and Technology*, 1(3), 167-178.
32. Parween, T., Jan, S., Mahmooduzzafar, S., Fatma, T., & Siddiqui, Z. H. (2016). Selective effect of pesticides on plant—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(1), 160-179. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.787969>
33. Peymaei, M., Sarabi, V., & Hashempour, H. (2024). Improvement of the yield and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) using external proline, uniconazole and methyl jasmonate under drought stress conditions. *Scientia Horticulturae*, 323, 112488. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112488>
34. Radosevich, S. R., Holt, J. S., & Ghersa, C. (1997). *Weed ecology: implications for management*. John Wiley & Sons.
35. Rashed mohassel, M. H., Serajchi, M., & Mijani, S. (2022). *Principale of Weed Science*. Ferdowsi university publisher.
36. Rezvani Moghaddam, P., Moradi, R., & Mansoori, H. (2014). Influence of planting date, intercropping and plant growth promoting rhizobacteria on cumin (*Cuminum cyminum* L.) with particular respect to disease infestation in Iran. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 1(4), 134-143.
37. Senseman, S. A. (2007). *Herbicide handbook*, 9 ed. Lawrence: Weed Science Society of America.
38. Sezen, S. M., Yazar, A., Kapur, B., & Tekin, S. (2011). Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 98(7), 1153-1161. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.02.005>
39. Singh, M., Kukal, M. S., Irmak, S., & Jhala, A. J. (2022). Water use characteristics of weeds: A global review, best practices, and future directions. *Frontiers in Plant Science*, 12, 794090. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.794090>
40. Wang, X., Huang, G., Yang, J., Huang, Q., Liu, H., & Yu, L. (2015). An assessment of irrigation practices: Sprinkler irrigation of winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 159, 197-208. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.011>
41. Yava, R. S., & Dahama, A. K. (2003). Effect of planting date, irrigation and weed-control on yield and water use efficiency of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Indian Journal of Agriculture Science*, 73, 494-496.
42. Zimdahl, Robert L. (2004). *Weed-Crop Competition: A Review*. 198 pp. Wiley-Blackwell; 2nd edition (March 29, 2004).



Effect of Brassinosteroid and Melatonin Foliar Application on Biochemical Characteristics and Growth Indices of Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) under Drought Stress Condition

N. Pakgohar¹, A. A. Maghsoudi Mood², H. Farahbakhsh^{3*}, A. Pasandi Pour⁴

1- Ph.D. Student, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Associate Professor, Genetic and Plant Production Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3- Professor, Genetic and Plant Production Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

4- Ph.D. Graduate, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(*- Corresponding Author Email: Hfarahbakhsh@uk.ac.ir)

Received: 28 May 2024

Revised: 30 July 2024

Accepted: 31 August 2024

Available Online: 7 December 2024

How to cite this article:

Pakgohar, N., Maghsoudi Mood, A. A., Farahbakhsh, H., & Pasandi Pour, A. (2025). Effect of Brassinosteroid and Melatonin Foliar Application on Biochemical Characteristics and Growth Indices of Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) under Drought Stress Condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(4), 475-493. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88254.1329>

Introduction

This research investigates the effects of brassinosteroid and melatonin foliar applications on quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) subjected to drought stress. As a highly nutritious new plant, quinoa is increasingly valued for its tolerance in arid conditions like our country. However, drought stress or irrigation deficit significantly impairs its growth and biochemical composition. Brassinosteroids and melatonin as plant growth regulators are known to enhance plant tolerance to various abiotic stresses, including drought, by modulating physiological and biochemical pathways. This research aims to elucidate how these compounds influence key growth indices, such as plant height, leaf area, biomass, harvest index and as well as biochemical characteristics like soluble carbohydrate, and proline accumulation in quinoa growing under drought stress. By understanding these effects, the study seeks to provide insights into potential agronomic practices to improve quinoa productivity and stress resilience under water-limited conditions.

Materials and Methods

The experiment, conducted at Shahid Bahonar university of Kerman during 2020 and 2021 cropping seasons, used a split-plot layout based on a randomized complete block design with three replications. Main plots consisted of three irrigation levels (100%, 75%, and 50% of field capacity), and sub-plots included five foliar application treatments (control, 0.25 and 0.5 micromolar brassinosteroid, and 0.5 and 1 micromolar melatonin). Soil sampling and nutrient adjustments were made before planting. Trifluralin herbicide was used for weed control, and planting occurred on August 1st with 40 cm row spacing and 3-meter row lengths, followed by immediate irrigation. Foliar applications were conducted at the start of flowering and a week later, early in the



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88254.1329>

morning before sunrise. Water stress treatments began after the first foliar application. Leaf area index (LAI) and Crop Growth Rate (CGR) were measured at the beginning of flowering and one week later, using Gardner's equations. Chlorophyll fluorescence was assessed via the saturation pulse method to determine the maximum quantum yield of photosystem II. Proline and soluble sugars measurements were taken from young leaves post-stress treatment. For morphological trait assessment, including plant height, leaf area, dry weight of aerial parts, and yield components, five plants were randomly sampled from each plot. Biological yield, harvest index, and grain yield were calculated by harvesting plants from the middle four rows, each 2 meters long. Data analysis was performed using SAS v. 9.1, with mean comparisons conducted using Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that foliar application of plant growth regulators (PGR) increased plant height across all irrigation levels. The greatest height, 150.5 cm, was observed with 0.5 micromolar melatonin and 100% field capacity irrigation. Additionally, 0.5 micromolar brassinosteroid with irrigation with 75% of field capacity increased plant height by 11.1% compared to the control at the same irrigation level, with a similar trend under severe drought stress. Increased drought stress reduced the leaf area index (LAI) by 8.37% and 31.6% compared to normal irrigation. The highest concentration of brassinosteroids increased the crop growth rate (CGR) at all irrigation levels (4.8, 4.4 and %16.8 in normal, mild and severe drought stress conditions respectively, but thousand grain weight decreased to %93.3 and %62 of control with rising drought stress. Brassinosteroids were more effective than melatonin in enhancing thousand grain weight. Both brassinosteroid and melatonin applications reduced chlorophyll fluorescence under mild and severe drought stress compared to controls. Soluble carbohydrates content increased by 50.4% at 50% field capacity irrigation compared to normal irrigation. Under mild stress, only brassinosteroid significantly increased proline content, with the highest level ($3.19 \mu\text{mol g}^{-1}$) at the highest concentration. The highest dry weight, harvest index, and grain yield were achieved with 0.5 micromolar brassinosteroid under mild and severe stress. Brassinosteroids, as new phytohormones, are promising for enhancing crop productivity under stress and non-stress conditions.

Conclusion

Reduction in irrigation from 100% field capacity or increased drought stress led to decreased plant height, growth rate, leaf area index, thousand grain weight, and harvest index, while chlorophyll fluorescence, proline content, and soluble carbohydrates increased. Despite the increases in these two latter mentioned traits, plant dry weight and grain yield decreased under drought stress. The application of brassinosteroids and melatonin improved plant traits, with 0.5 micromolar brassinosteroid being particularly more effective, especially under mild and severe stress. This treatment mitigated drought's negative effects, suggesting its potential to enhance agricultural productivity in arid and semi-arid regions.

Keywords: Chlorophyll florescence, Crop growth rate, Irrigation, Proline, Soluble carbohydrate

تأثیر محلول پاشی براسینواستروئید و ملاتونین بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و شاخص‌های رشد کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*) در شرایط تنش خشکی

ندا پاک گوهر^۱، علی اکبر مقصودی مود^۲، حسن فرح بخش^{۱*}، امین پسندی پور^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

چکیده

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) به کرت‌های اصلی و پنج سطح محلول پاشی (شاهد، براسینوئید ۰/۵ و ۰/۲۵ میکرومولار، ملاتونین ۱ و ۰/۵ میکرومولار) به کرت‌های فرعی اختصاص داده شدند. با کاهش سطح آبیاری، ارتفاع بوته، سرعت رشد گیاه، شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه و شاخص برداشت به طور معنی داری کاهش، در حالی که کلروفیل فلورسانس، محتوای پروتئین و کربوهیدرات‌های محلول افزایش پیدا کردند. واکنش حاصل از ویژگی‌های مورد ارزیابی به تنش خشکی منجر به کاهش زیست توده و عملکرد دانه گردید. براسینواستروئید و ملاتونین در هر دو غلظت تأثیرات مثبتی را بر ویژگی‌های اندازه گیری شده داشتند، اما این تأثیرات بر شاخص سطح برگ معنی دار نبود. تأثیر براسینواستروئید بر اکثر ویژگی‌ها مؤثرتر از ملاتونین بود، به طوری که غلظت ۰/۵ میکرومولار آن با کاهش کلروفیل فلورسانس (۸/۸۶ و ۱۰/۵۸ درصد به ترتیب در تنش ملایم و شدید)، افزایش محتوای پروتئین (۱۶/۴۲ و ۱۳/۴۹ درصد)، افزایش سرعت رشد گیاه (۴/۴ و ۱۶/۸ درصد) و دیگر ویژگی‌های مؤثر منجر به افزایش وزن خشک و عملکرد دانه در سطوح تنش ملایم و شدید نسبت به عدم محلول پاشی در همین شرایط شد. عملکرد دانه در تنش ملایم و با کاربرد ۰/۵ میکرومولار براسینواستروئید نسبت به شاهد در شرایط نرمال آبیاری تنها ۳/۷۳ درصد کمتر بود و لذا، این تیمار می‌تواند در رفع اثر سوء تنش خشکی در کینوا مؤثر واقع گردد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، پروتئین، سرعت رشد گیاه، فلورسانس کلروفیل، کربوهیدرات‌های محلول

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در ایران است. به واسطه نزولات جوی پایین، بخش اعظم کشور در منطقه خشک و نیمه خشک قرار گرفته است، به طوری که میانگین بارش در ایران، ۲۷۴ میلی‌متر، در مقایسه با میانگین آن در سطح کره

زمین، ۶۸۰ میلی‌متر، بسیار ناچیز است (Alizadeh, 2001). از طرف دیگر، حدود ۲۵ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشور واقع در مناطق خشک و نیمه خشک است (Bijanazadeh, Nosrati, & Egan, 2010). لذا انتخاب محصولات زراعی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک جهان نظیر کشور ما از اهمیت بیشتری برخوردار است. کینوا به دلیل ارزش غذایی بالا و نیز تحمل بالا به شرایط نامساعد محیطی از اصلی ترین منابع غذایی می‌باشد (Vega-Galvez et al., 2010). دانه کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*) منبع عالی از منگنز، آهن، پتاسیم، مس، روی و فسفر و نیز حاوی ویتامین‌های گروه ب از جمله ریبوفلاوین، تیامین و نیاسین است. کینوا مقدار پروتئین زیادتری نسبت به اکثر غلات داشته و کیفیت پروتئین آن نیز بیشتر است (Hasanzadeh, Shakerdargah, & Darjani, 2013). این گیاه مقاومت زیادی در برابر تنش‌های غیرزنده داشته و به خوبی قابلیت رشد در خاک‌های حاشیه‌ای و فقیر را دارد

- ۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
- ۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
- ۳- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
- ۴- دانش آموخته دکتری، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(*)- نویسنده مسئول:
(Email: Hfarahbakhsh@uk.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88254.1329>

آمینة آزاد از جمله پرولین باشد (Ranjan, Archana, & Ranjan, 2017).

کاهش شاخص سطح برگ گیاه کینوا در شرایط تنش را می‌توان به کاهش رشد طولی، کاهش تعداد شاخه‌های جانبی و ریزش برگ‌های پایینی نسبت داد. گسترش برگ حساس‌ترین عامل در پاسخ به کمبود آب بوده (Sun, Liu, Bendevis, Shabala, & Jacobsen, 2014) و بستگی به فشار آسای سلولی، دما و جذب کافی منابع برای رشد دارد (bAnjum et al., 2011). کمبود آب باعث کاهش تعداد برگ در بوته، اندازه برگ‌ها و طول عمر آن‌ها شده (Anjum et al., 2011b) و در نهایت، منجر به کاهش سطح برگ می‌شود. پژوهش‌های متعددی نشان دادند که در شرایط تنش خشکی، گسترش برگ ارقام مختلف کینوا کاهش می‌یابد (Sun et al., 2014; Salek Mearaji, Tavakoli, & Sepahvand, 2020). سان و همکاران (Sun et al., 2014) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، گسترش برگ ارقام مختلف کینوا کاهش می‌یابد. هرچند در پژوهشی دیگر گزارش گردیده که تنش خشکی بر تعداد برگ کینوا تأثیری نداشت (Gonzalez, Gallardo, Hilal, Rosa, & Prado, 2009). تجمع پرولین در برگ به‌منظور حفظ فشار تورژسانس سلول‌های گیاهی، قسمتی از سازوکارهای مقاومت در برابر تنش رطوبتی است. افزایش غلظت پرولین در بافت‌های تنش دیده کینوا نیز گزارش شده است (Dashab & Omid, 2021). گزارش‌های محدودی در ارتباط با اثر تنش خشکی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی کینوا وجود دارد، در همین راستا گزارش شده است که تنش خشکی موجب کاهش ۲۹ درصدی شاخص سبزیگی گیاه کینوا در مقایسه با آبیاری مطلوب شد (Salek Mearaji et al., 2020). کاهش عملکرد گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی به‌طور عمده به‌علت کاهش شاخص‌های رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی است (Dawood, 2018) و کاهش عملکرد دانه ارقام کینوا در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است (Dawood, 2018; Elewa, Sadak, & Saad, 2017; Telahigue, Yahia, Aljane, & Belhouchett, 2017). با این‌که مطالعات زیادی در خصوص براسینواستروئید در گیاهان مختلف انجام شده است، اما تحقیقات اندکی درباره اثرات براسینوئید و ملاتونین در شرایط تنش خشکی بر کینوا وجود دارد. از طرفی، با توجه به شرایط اقلیمی کشور، ضروری است که جهت تولید و افزایش محصول کینوا در مناطق خشک و نیمه‌خشک اقدام گردد. بنابراین، در تحقیق حاضر، اثرات براسینواستروئید و ملاتونین بر ویژگی‌های بیوشیمیایی، شاخص‌های رشدی و عملکرد کینوا در شرایط تنش خشکی بررسی شده است.

(Jacobsen, Liu, & Jensen, 2009). دانه آن از نظر تغذیه‌ای بسیار غنی است و ارزش اقتصادی زیادی نیز در میان محصولات کشاورزی در بازار جهانی دارد (Vega-Galvez et al., 2010). از آن‌جاکه کینوا تحمل زیادی نسبت به شرایط نامساعد محیطی دارد، بنابراین گیاه می‌تواند در تأمین امنیت غذایی کشور به‌ویژه در شرایط خشکسالی، نقش مهمی داشته باشد.

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، یکی از راهکارهای مؤثر در بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی می‌باشد. براسینواستروئیدها با اثر تنظیم‌کنندگی بر رشد گیاه، برای نخستین بار از گرده شلغم (*Brassica rapa*) استخراج شده (Bajguz & Hayat, 2009) و به روش‌های مختلفی رشد و توسعه گیاه را تحت تأثیر قرار داده و موجب بهبود تحمل تنش در گیاه می‌شوند (Ashraf, Akram, & Arteca, 2010). آن‌ها قادر هستند که سامانه‌های دفاعی گیاه را در مقابل تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری و دما تقویت نمایند (Ali, Hayat, S., & Ahmad, 2007). براسینواستروئیدها بر عملکرد دانه گیاهان برنج (*Oryza sativa*) و ذرت (*Zea mays*) به فرم افزایش شکل فعال براسینواستروئید از طریق اصلاح، تغییر در اجزای سازنده، متابولیسم و یا مصرف خارجی آن اثر مثبت دارند (Vriet, & Russinova, 2012).

از دیگر موادی که اخیراً به‌صورت کاربرد خارجی جهت افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها و یا افزایش عملکرد و کیفیت آن‌ها در شرایط مزرعه استفاده می‌شود، ملاتونین است. ملاتونین یک ترکیب طبیعی ایندول آمین مشتق‌شده از تریپتوفان (اناستیل ۵ متوکسی تریپتامین) است که ابتدا تصور می‌شد که فقط در جانوران وجود دارد (Janas & Posmyk, 2013)، درحالی‌که اخیراً ملاتونین در قسمت‌های مختلف گیاهان شامل ریشه، ساقه، برگ، گل، میوه و دانه تشخیص داده شده است (Jemima, Bhattacharjee, & Singhal, 2015; Reiter et al., 2011). ملاتونین، اعمال مختلف فیزیولوژیکی را در گیاهان موجب می‌شود. این ترکیب علاوه بر نقش پیام‌رسانی و تحریک تنظیم‌کننده‌های رشد، نقش قابل‌توجهی به‌عنوان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مرتبط با محافظت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو داخلی و محیطی بازی می‌کند (Reiter et al., 2015; Tan, 2015). ملاتونین به‌عنوان خط اول دفاع و حسگر داخلی تنش اکسیداتیو در گیاهان گزارش شده است (Tan et al., 2012). کاهش سرعت فتوسنتز خالص تحت شرایط تنش خشکی، موجب صدمه زدن به فرآیندهای بیوشیمیایی و عوامل غیر روزنه‌ای گیاه می‌شود، از جمله باعث ایجاد تغییر در ساختمان پروتئین می‌شود. به نظر می‌رسد که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی در واکنش پروتئین به رادیکال‌های آزاد و در نتیجه، تغییر اسید آمینه، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسیدهای

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۷ دقیقه و ۱۳ ثانیه شرقی، و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه و ۳۶ ثانیه شمالی و ارتفاع ۱۷۷۴ متر از سطح دریا انجام شد. تغییرات دمای محل آزمایش در طول دوره رشد در شکل ۱ نشان داده شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش، عامل اصلی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای (آبیاری نرمال، تنش ملایم و شدید)) و عامل فرعی شامل پنج سطح محلول پاشی (شاهد، براسینواسستروئید (Sigma, Germany. CAS No:73-31-4) و ۰/۵ و ۰/۲۵ میکرومولار، ملاتونین (Fluka Chemika, E1641) و ۱ و ۰/۵ میکرومولار) بودند. قبل از کاشت نمونه‌گیری از خاک در عمق‌های صفر تا ۳۰ سانتی‌متر و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر انجام شد و افزودن مواد غذایی به خاک براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) انجام گردید. کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه و کود نیتروژن به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره و در سه مرحله، به صورت پایه، در مرحله شش برگی و اواسط گل‌دهی در اختیار گیاه قرار داده شد. به منظور مهار علف‌های هرز، علف‌کش ترفلان به میزان دو لیتر در هکتار در محل مورد نظر جهت کاشت استفاده و به کمک دیسک با خاک مخلوط گردید. کاشت بذور کینوا، رقم Titicaca، در اول مرداد ماه به صورت خطی و به فاصله ۴۰ سانتی‌متر و به طول سه متر

انجام و کرت‌ها بلافاصله آبیاری شدند. در هر کرت فرعی، شش خط با تراکم بالا کشت شد. جهت دستیابی به تراکم مورد نظر، در مرحله سه تا چهار برگی با عملیات تنک، فاصله بوته‌ها در روی ردیف به ۷/۵ سانتی‌متر تنظیم و تراکم ۳۳ بوته در مترمربع حاصل شد. آبیاری به صورت جوی و پشته و با استفاده از لوله و کنتور حجمی صورت گرفت، به طوری که میزان آب مصرفی برای تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه، آبیاری نرمال ۶۴۴۰ مترمکعب در هکتار محاسبه گردید. پس از کاشت تا زمان سبز شدن و استقرار بوته‌ها، آبیاری به صورت کامل انجام شد. محلول پاشی در دو مرحله رشدی، یکبار در شروع خوشه‌دهی و یکبار در شروع دانه‌بندی و در دو نوبت در اوایل صبح و قبل از طلوع آفتاب با استفاده از سم‌پاش دستی انجام شد. تیمارهای تنش پس از اولین مرحله محلول پاشی اعمال شدند.

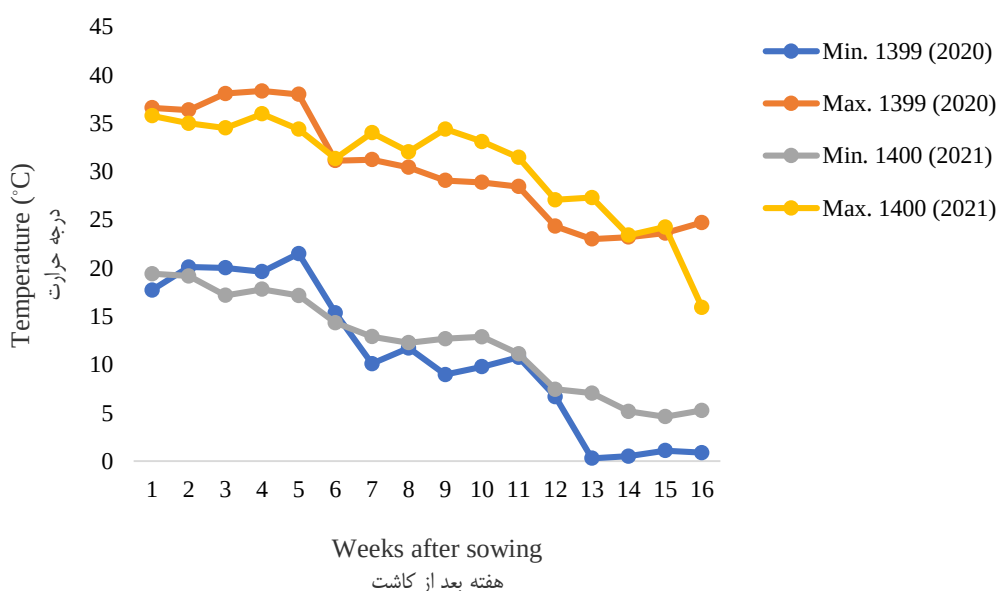
به منظور محاسبه شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول از روابط (۱) و (۲) استفاده گردید (Gardner, Pearce, & Mitchell, 1985):

$$LAI = [(LA_2 + LA_1)/2] \times 1/GA \quad (۱)$$

$$CGR = 1/GA \times [(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)] \quad (۲)$$

که در آن‌ها، LA: سطح برگ، GA: سطح زمین، W: وزن خشک و T: زمان می‌باشد.

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در شروع گل‌دهی و همزمان و سپس یک هفته بعد از آن نمونه‌گیری جهت اندازه‌گیری سرعت رشد محصول انجام شد.



شکل ۱- میانگین هفتگی دمای حداقل و حداکثر طی مدت اجرای آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰
Figure 1- Average weekly minimum and maximum temperature along experiment in years 2020 and 2021

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physicochemical properties at the experimental location

مشخصات خاک Soil properties	عمق خاک Soil depth			
	سال 1399/2020		سال 1400/2021	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
بافت خاک Soil texture	Loam	Loam	Loam	loam
نیتروژن Nitrogen (ppm)	0.05	0.055	0.06	0.07
فسفر Phosphorus (ppm)	7.05	8.00	7.44	8.30
پتاسیم Potassium (ppm)	290	295	310	320
هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	2.3	2.1	2.5	2.2
اسیدیته pH	7.4	7.5	7.5	7.65
ماده آلی Organic matter (%)	0.42	0.4	0.46	0.44

عملکرد در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک و محاسبه شاخص برداشت (عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک ضرب در ۱۰۰)، پس از در نظر گرفتن حاشیه، کل گیاهان چهار ردیف میانی به طول دو متر برداشت شدند و وزن خشک کل بوته‌ها (بعد از خشک کردن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ترازو) به همراه وزن دانه ثبت شد. جهت تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS v. 9.1 و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری این ویژگی را تحت تأثیر قرار داد. به‌علاوه اثر سال نیز بر این ویژگی معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۴) نشان داد که محلول‌پاشی (کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد) در هر سه سطح تیمار آبیاری به‌میزان متفاوتی منجر به افزایش ارتفاع بوته گردید. بیشترین ارتفاع بوته (۱۵۰/۵ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه همراه با محلول‌پاشی ۰/۵ میکرومولار ملاتونین حاصل شد که با سایر تیمارهای محلول‌پاشی در این سطح از آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت، درحالی‌که تیمار یادشده از این نظر نسبت به تیمار آبیاری مشابه و بدون محلول‌پاشی، ۱۱/۵۶ درصد افزایش نشان داد. ملاتونین کارایی فتوسنتس II را در گیاه تحت شرایط خشکی بهبود می‌بخشد. ملاتونین همچنین آسمیلایسیون دی‌اکسیدکربن و هدایت روزنه‌ای را افزایش می‌دهد (Wang et al., 2013) و بدین طریق باعث افزایش رشد و از جمله ارتفاع بوته می‌شود.

فلورسانس کلروفیل با روش پالس اشباع اندازه‌گیری شد. در این روش، ابتدا برگ به‌مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه قبل از اندازه‌گیری و شروع آزمون در شرایط تاریکی قرار گرفته و در ادامه، F_0 یا فلورسانس حداقل بدون نور فعال اندازه‌گیری و سپس با استفاده از یک پالس اشباع (حدود ۸۰۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه برای ۰/۶ تا ۱ ثانیه)، فلورسانس به حداکثر مقدار (F_m) افزایش داده شد. این اندازه‌گیری اجازه می‌دهد تا حداکثر بازده کوآتومی فتوسنتس II، با توجه به رابطه F_v/F_m تعیین شود. این ویژگی "عملکرد کوآتومی" نامیده شده و به‌صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Kitajima & Butler, 1975):

$$F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m \quad (3)$$

برای اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول، بعد از محلول‌پاشی و اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی از برگ‌های توسعه‌یافته و جوان بوته‌های هر کرت نمونه‌برداری انجام و بلافاصله در فویل آلومینیوم و نیتروژن مایع قرار داده شده و سپس در فریزر ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. اندازه‌گیری پرولین براساس روش بیتس و همکاران (Bates, Waldren, & Teare, 1973) و قندهای محلول به‌روش ایریگوین و همکاران (Irigoyen, Einerich, & Sánchez-Díaz, 1992) انجام شد.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های ریخت‌شناختی شامل ارتفاع بوته (متر)، سطح برگ (استفاده از Leaf area meter)، وزن خشک اندام هوایی (بعد از خشک کردن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون و با استفاده از ترازو) و بخشی از اجزای عملکرد از جمله وزن هزار دانه (ترازو) تعداد پنج بوته در هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و ویژگی‌های فوق روی آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. جهت اندازه‌گیری

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی های مورفولوژیکی کینوا متأثر از خشکی و محلول پاشی با تنظیم کننده های رشد در سال های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

Table 2- Variance analysis of morphological traits of quinoa affected by drought and foliar application of PGR in 2018 and 2019 crop years

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	عملکرد Yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن خشک Dry weight	وزن هزار دانه 1000-grain weight
Year (a) (a) سال	1	1220.1*	3394.00*	0.890*	51124*	0.1115*
Error a a خطای	2	87.1	362.74	0.070	5503.5	0.008
Drought (b) (b) تنش خشکی	2	24791**	81342.19*	85.0**	712241.59**	2.79**
a × b	2	19.90 ^{ns}	1074.62*	4.503**	9623.9 ^{ns}	0.003 ^{ns}
Error b b خطای	8	119.64	176.94	0.015	2868.2	0.011
Foliar application (c) (c) محلول پاشی	4	979.00**	3334.69**	2.214**	45473**	0.098**
a × c	4	16.14 ^{ns}	39.48 ^{ns}	0.091 ^{ns}	722.22 ^{ns}	0.0006 ^{ns}
b × c	8	135.79**	1754.16**	2.34**	20399.2**	0.0049 ^{ns}
a × b × c	8	5.5 ^{ns}	30.38 ^{ns}	0.083 ^{ns}	706.3 ^{ns}	0.0025 ^{ns}
Error خطا	48	24.3	49.58	0.041	863.9	0.003
C.V. (%) ضریب تغییرات	-	4.0	2.7	0.9	2.6	4.5

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی های مورفوفیزیولوژیکی کینوا متأثر از خشکی و محلول پاشی با تنظیم کننده های رشد در سال های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

Continued Table 2- Variance analysis of morphophysiological traits of quinoa affected by drought and foliar application of PGR in 2018 and 2019 crop years

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل فلورسانس Chlorophyll fluorescence	پرولین Proline	کربوهیدرات Soluble carbohydrates	شاخص سطح برگ Leaf area index	سرعت رشد گیاه Crop growth rate
Year (a) (a) سال	1	0.0386 ^{ns}	0.414 ^{ns}	2.719 ^{ns}	0.259 ^{ns}	0.28 ^{ns}
Error a a خطای	2	0.0557	0.185	118.51	0.194	3.479
Drought (b) (b) تنش خشکی	2	0.0287**	21.74**	13745.89**	14.92**	165.65**
a × b	2	0.0029 ^{ns}	0.051 ^{ns}	14.87 ^{ns}	0.158 ^{ns}	1.32 ^{ns}
Error b b خطای	8	0.0020	0.341	33.29	0.050	1.17
Foliar application (c) (c) محلول پاشی	4	0.0127**	0.320**	131.6**	0.273*	2.07**
a × c	4	0.0004 ^{ns}	0.0054 ^{ns}	2.88 ^{ns}	0.169 ^{ns}	0.21 ^{ns}
Interaction b × c	8	0.00098**	0.081**	24.0 ^{ns}	0.135 ^{ns}	0.34*
a × b × c	8	0.0001 ^{ns}	0.0050 ^{ns}	4.30 ^{ns}	0.028 ^{ns}	0.17 ^{ns}
Error خطا	48	0.0003	0.019	32.74	0.087	0.16
C.V. (%) ضریب تغییرات	-	2.3	3.5	5.7	7.9	3.1

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

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

ظرفیت زراعی گردید. کاربرد این ماده در شرایط آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز منجر به حداکثر ارتفاع بوته شد. این امر نشان‌دهنده این است که نقش براسینولید بر افزایش ارتفاع بوته در شرایط تنش بارزتر می‌باشد. براسینواستروئیدها طیف گسترده‌ای از واکنش‌ها از جمله تحریک رشد طولی بافت‌های جوان از طریق تقسیم و طولی شدن سلولی و همچنین تمایز آوندی را القا می‌کنند که فرآیند نمو مهمی برای رشد گیاه محسوب می‌شود (Asha & Lingakumar, 2015). برا و همکاران (Bera, Singh, & Kumar, 2014) در تحقیقی روی آفتابگردان (*Helianthus annuus*) گزارش کردند که دو مرحله برگ‌پاشی براسینولید در مراحل غنچه‌دهی و گل‌دهی آفتابگردان به‌طور معنی‌داری ارتفاع بوته را در مقایسه با یک مرحله برگ‌پاشی افزایش داد. آن‌ها افزایش ارتفاع بوته را با اثر مثبت براسینولید بر بافت‌های مرستمی گیاه و افزایش تعداد و اندازه سلول‌ها مرتبط دانستند.

شاه و همکاران (Shah, Ullah, Dar, & Komatsu, 2020) نیز گزارش کردند که کاربرد خارجی ملاتونین فشار آماس بالا را حفظ و باعث باز ماندن روزه‌ها شد که این خود می‌تواند دلیلی بر توسعه سلولی، رشد و افزایش ارتفاع باشد. همچنین کمترین مقدار این ویژگی (۷۱/۵ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه و بدون محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۴). کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی شده و در نهایت، کاهش رشد و توسعه سلولی به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها را به دنبال خواهد داشت. کاهش رشد سلول، اندازه اندام را محدود و لذا اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع بوته تشخیص داد (Babai, AminiDehagi, Modares-Sanavi, & Jabbari, 2010). کاربرد براسینواستروئید ۰/۵ میکرومولار در آبیاری با ۷۵ درصد ظرفیت زراعی نه‌تنها منجر به افزایش ۱۱/۱۴ درصدی در این ویژگی نسبت به شاهد مربوط به خود گردید، بلکه بدون تفاوت معنی‌دار باعث افزایش ۲/۸۲ درصدی نسبت به شاهد در آبیاری با ۱۰۰ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های اندازه‌گیری شده متأثر از سال زراعی
Table 3- Means comparison of measured traits affected by cropping year

سال Year	ارتفاع Height (cm)	وزن خشک Dry weight (g m ⁻²)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)
1	126.2 ^{a*}	1148 ^a	1.31 ^a
2	118.8 ^b	1100 ^b	1.24 ^b

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan multiple range test

حاصل شد که نسبت به آبیاری در سطوح شاهد و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۳۱/۶۳ و ۸/۳۷ درصد کاهش نشان داد. جهت فتوسنتز و تولید ماده خشک، توسعه متعادل سطح برگ ضروری است و در بسیاری از گونه‌های گیاهی اصولاً تنش آبی، رشد و سطح برگ را کاهش می‌دهد (Jaleel et al., 2009). یاری و همکاران (Yari, Keshtkar, & Sepehri, 2014) با اعمال تنش خشکی بر گلرنگ (*Charthamus tinctorius*) بهاره گزارش کردند که تنش موجب کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ در این گیاه شد.

شاخص سطح برگ (LAI)

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثرات تنش خشکی و محلول‌پاشی بر این ویژگی به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار گردیدند (جدول ۲). بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۳۰) از تیمار آبیاری شاهد (آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با این شاخص در دو تیمار دیگر آبیاری یعنی ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه داشت (جدول ۵). همچنین کمترین شاخص سطح برگ (۲/۹۴) از تیمار آبیاری براساس ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و تنش خشکی بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در کینوا
Table 4- Mean comparisons of interaction of plant growth regulators and drought stress on measured traits in Quinoa

خشکی Drought (%field capacity)	تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulator (μm)	ارتفاع Height (cm)	عملکرد Yield (g m ⁻²)	شاخص برداشت Harvest index (%)	وزن خشک Dry weight (g m ⁻²)	سرعت رشد محصول Crop growth rate (gm ⁻² day ⁻¹)	کلروفیل فلورسانس Chlorophyll. floreccence	پرولین Proline (μmol g ⁻¹)
100	براسینواستروئید Brasinostroid 0.25	144.6 ^{a*}	302.0 ^a	24.00 ^{ab}	1258.2 ^a	15.1 ^{ab}	0.72 ^{de}	2.28 ^g
	براسینواستروئید Brasinostroid 0.5	146.8 ^a	302.8 ^a	23.93 ^{ab}	1265.4 ^a	15.3 ^a	0.73 ^{de}	2.30 ^g
	ملاتونین Melatonin 0.5	150.5 ^a	297.2 ^a	24.97 ^{ab}	1239.9 ^a	14.6 ^b	0.74 ^{cd}	2.31 ^g
	ملاتونین Melatonin 1	149.3 ^a	299.9 ^a	23.93 ^{ab}	1253.0 ^a	14.9 ^{ab}	0.72 ^e	2.28 ^g
	شاهد Control	134.9 ^{bc}	297.7 ^a	24.10 ^a	1235.2 ^{ab}	14.6 ^b	0.75 ^c	2.27 ^g
75	براسینواستروئید Brasinostroid 0.25	130.7 ^c	276.4 ^{bc}	23.48 ^d	1176.0 ^c	13.6 ^{cd}	0.74 ^{cd}	2.92 ^e
	براسینواستروئید Brasinostroid 0.5	138.7 ^b	286.6 ^b	23.84 ^{abc}	1202.2 ^{bc}	14.1 ^c	0.72 ^e	3.19 ^d
	ملاتونین Melatonin 0.5	132.3 ^c	276.8 ^{bc}	23.76 ^{bc}	1165.5 ^{cd}	13.5 ^d	0.75 ^c	2.69 ^f
	ملاتونین Melatonin 1	133.7 ^{bc}	278.5 ^{bc}	23.78 ^{bc}	1171.6 ^c	13.6 ^{cd}	0.72 ^{de}	2.78 ^f
	شاهد Control	124.8 ^d	268.0 ^c	23.66 ^{cd}	1133.1 ^d	13.5 ^d	0.79 ^b	2.74 ^f
50	براسینواستروئید Brasinostroid 0.25	91.0 ^f	205.4 ^f	21.08 ^g	973.5 ^f	10.4 ^f	0.80 ^b	3.96 ^b
	براسینواستروئید Brasinostroid 0.5	105.1 ^e	229.4 ^d	21.67 ^e	1058.2 ^e	11.1 ^e	0.76 ^c	4.29 ^a
	ملاتونین Melatonin 0.5	91.7 ^f	208.0 ^{ef}	21.38 ^f	972.2 ^f	10.4 ^f	0.79 ^b	3.84 ^{bc}
	ملاتونین Melatonin 1	91.5 ^f	216.1 ^e	21.50 ^{ef}	1004.9 ^f	10.4 ^f	0.76 ^c	3.94 ^b
	شاهد Control	71.5 ^g	143.9 ^g	19.08 ^h	753.3 ^g	9.50 ^g	0.85 ^a	3.78 ^c

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by the similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan multiple range test.

حداقل رسیدن هدررفت آب شده و در بسیاری از گونه‌ها در شرایط تنش رخ می‌دهد (Ruiz-Sanchez, Domingo, Torrecillas, & Perez-Pastor, 2000). از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش فشار

کاهش سطح برگ در شرایط خشکی را می‌توان یک رویداد اجتنابی قلمداد نمود (Torrecillas, Rodriguez, & Sanchez-Blanco, 2003). این رویکرد در هنگام بسته بودن روزنه‌ها سبب به

۲۰۱۵). لی و همکاران (Li et al., 2021) با انجام آزمایشی روی ذرت افزایش اندازه برگ ذرت را با کاربرد ملاتونین گزارش نمودند. فرشاد و همکاران (Farshad, Mirzaei, & Rezaei, 2023) با انجام آزمایشی روی کلم بروکلی (*Brassica oleracea* var. *italica*) گزارش کردند که بیشترین سطح برگ در شرایط آبیاری شاهد و با کاربرد ملاتونین ۳۰۰ میکرومولار و کمترین سطح برگ در شرایط کم آبیاری و بدون کاربرد ملاتونین حاصل شد. گزارش شده است که ملاتونین در غلظت‌های پایین، ممکن است به‌عنوان یک تحریک‌کننده رشد، درحالی‌که در غلظت‌های بالا، ممکن است به‌عنوان یک عامل بازدارنده رشد ظاهر شود (Zhao, Ye, Wang, 2017). کاربرد براسینولید در هر دو غلظت باعث افزایش غیر معنی‌دار این ویژگی شد. افزایش شاخص سطح برگ در اثر تیمار براسینولید ممکن است به فعالیت بافت‌های مریستمی گیاه و افزایش تعداد و اندازه سلول‌ها نسبت داده شود که در نهایت، سطح فتوسنتزکننده را افزایش می‌دهد (Bera et al., 2014).

آماس و در نتیجه، کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها ست (Parkash & Singh, 2020). با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل، اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاهان را می‌توان از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها، در نتیجه LAI پایین‌تر و ارتفاع کمتر گیاهان تشخیص داد. مقایسه میانگین‌های این ویژگی تحت تأثیر محلول‌پاشی (جدول ۶) نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار این ویژگی متعلق به شاهد (عدم محلول‌پاشی) و محلول‌پاشی با ملاتونین ۰/۵ میکرومولار می‌باشد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری دارند. محلول‌پاشی با غلظت یک میکرومولار همین ماده، اثری بر این ویژگی نداشت و با شاهد در یک گروه آماری قرار گرفت. اگرچه کاربرد براسینواستروئید باعث افزایش LAI نسبت به شاهد شد، اما حداکثر افزایش در این ویژگی (۹/۵ درصد) نسبت به شاهد با کاربرد غلظت ۰/۵ میکرومولار ملاتونین حاصل شد. ملاتونین هم یک آنتی‌اکسیدان قوی است و هم در فرآیندهای مختلفی از جمله جوانه‌زنی، نمو و توسعه ریشه و اندام هوایی، افزایش سطح برگ و وزن تر دخالت دارد (Zhang et al., 2014).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های اندازه‌گیری شده متأثر از تیمارهای مختلف آبیاری (خشکی)

Table 5- Means comparison of measured traits affected by different irrigation treatments (drought)

آبیاری	وزن هزار دانه	شاخص سطح برگ	کربوهیدرات محلول
Irrigation (% of field capacity)	1000-grain weigh (g)	Leaf area index	Soluble carbohydrate (mg g ⁻¹ FW)
50	0.93 ^{c*}	2.94 ^c	123.35 ^a
75	1.40 ^b	3.94 ^b	92.99 ^b
100	1.50 ^a	4.30 ^a	82.03 ^c

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at %5 probability level, using Duncan multiple range test

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های اندازه‌گیری شده متأثر از محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه

Table 6- Means comparison of measured traits affected by plat growth regulators spraying

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه	وزن هزار دانه	شاخص سطح برگ	کربوهیدرات محلول
Plant growth regulators (µm)	1000-grain weight (g)	Leaf area index	Soluble carbohydrate (mg g ⁻¹ FW)
Control شاهد	1.16 ^{c*}	3.56 ^b	98.7 ^{bc}
Brasinostroid 0.25 براسینواستروئید	1.28 ^b	3.74 ^{ab}	101.1 ^{ab}
Brasinostroid 0.5 "	1.37 ^a	3.75 ^{ab}	103.3 ^a
Melatonin 0.5 ملاتونین	1.26 ^b	3.90 ^a	96.7 ^c
Melatonin 1 "	1.28 ^b	3.67 ^b	97.5 ^{bc}

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at %5 probability level, using Duncan multiple range test

همراه با محلول‌پاشی ۰/۵ میکرومولار براسینواستروئید به‌دست آمد که با میانگین به‌دست‌آمده از تیمارهای آبیاری مشابه با کاربرد ۰/۲۵ میکرومولار براسینواستروئید و یک میکرومولار ملاتونین اختلاف معنی‌داری نداشت و تنها غلظت بالای براسینواستروئید منجر به افزایش ۴/۸ درصدی و معنی‌دار این ویژگی نسبت به شاهد در این

سرعت رشد گیاه (CGR)

اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح پنج درصد این ویژگی را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل، بیشترین میزان سرعت رشد محصول (۱۵/۳ گرم بر مترمربع در روز) از تیمار آبیاری براساس ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه

ملاتونین موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش خشکی شد که باعث بهبود فلورسانس کلروفیل گردید. در مطالعه‌ای که توسط لی و همکاران (Li, Yang, Gan, Yu, & Xie, 2015) انجام شد، مشخص گردید که تیمار گیاهان با ۲۴-پی‌براسینولید (نوعی براسینواستروئید) موجب بهبود فلورسانس کلروفیل و بهبود عملکرد فتوسنتز در شرایط خشکی شد. این بهبود به‌واسطه افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها بود.

کربوهیدرات‌های محلول

نتایج تجزیه مرکب داده‌های مربوط به کربوهیدرات‌های محلول (جدول ۲) نشان داد که اثر خشکی و محلول پاشی به‌طور معنی‌داری این ویژگی را تحت تأثیر قرار دادند. کمترین میزان کربوهیدرات‌های محلول ($82/03 \text{ mg g}^{-1} \text{ fw}$) از تیمار آبیاری در حد ۱۰۰ ظرفیت زراعی حاصل شد و با شدت یافتن تنش و کاهش آبیاری به حد ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، میزان این ویژگی افزایش یافت (جدول ۵) و بیشترین محتوای کربوهیدرات محلول از آبیاری در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) به‌دست آمد که افزایش ۵۰/۴ درصد را نسبت به آبیاری نرمال نشان داد. اثر تنش خشکی روی کربوهیدرات‌ها به گونه و بافت گیاهی بستگی دارد (Boroujerdnia, Bihamta, Alami Said, & Abdossi, 2016). یکی از دلایل افزایش قند در گیاهان احتمالاً در نتیجه اختلال در هیدرولیز نشاسته می‌باشد. سرافراز اردکانی (Sarafraz Ardekani, 2019) در مطالعه‌ای روی چند رقم گندم (*Triticum aestivum*) در شرایط خشکی، افزایش مقدار قندهای محلول را در آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در ارقام مورد مطالعه گزارش نمود. مقایسه میانگین‌های این ویژگی تحت تأثیر محلول پاشی (جدول ۶) نشان داد که براسینواستروئید در هر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ میکرومولار به‌ترتیب منجر به افزایش ۲/۴ و ۴/۷ درصدی کربوهیدرات نسبت به تیمار عدم محلول پاشی شد، اما افزایش در غلظت بالاتر این هورمون، معنی‌دار و مؤثرتر بود. براسینواستروئیدها از طریق سازوکارهای مختلفی مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های متابولیک، تنظیم بیان ژن‌ها و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو، موجب افزایش تجمع کربوهیدرات‌های محلول در گیاهان زراعی می‌شوند (Vardhini & Anjum, 2015). تیمار کینوا با ۲۴-پی‌براسینولید موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های ساکاراز و اینورتاز می‌شود که نقش مهمی در تبدیل نشاسته به قندهای محلول دارند. مطالعات نشان داده‌اند که این هورمون گیاهی با افزایش فعالیت این آنزیم‌ها به بهبود تحمل گیاه در برابر تنش خشکی کمک می‌کند. به‌عنوان مثال، در تحقیقی که روی گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum*) انجام شده است، نشان داده شد که تیمار

سطح از آبیاری گردید (جدول ۴). کمترین سرعت رشد محصول (۹/۵ گرم بر مترمربع در روز) برای آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون محلول پاشی ثبت شد. محلول پاشی با براسینواستروئید و ملاتونین منجر به افزایش در این ویژگی در سطح آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد‌های مربوطه در همین سطوح آبیاری گردید، اما حتی بیشترین CGR در آبیاری با ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (۱۴/۱ گرم در مترمربع در روز) که از محلول پاشی ۰/۵ میکرومولار براسینواستروئید حاصل شد از سرعت رشد شاهد (آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) ۳/۴۳ درصد کمتر بود و با آن اختلاف معنی‌داری داشت. به هر صورت، غلظت بالاتر براسینواستروئید در هر سه سطح آبیاری منجر به افزایش CGR گردید. در مطالعه گلستانی فر و همکاران (Golestanifar, Mahmoodi, Fallahi, & Shahidi, 2024) روی کینوا، کمترین میزان این ویژگی در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی مشاهده شد که تا حدی با یافته‌های این تحقیق تطابق دارد. به هر حال، سرعت رشد محصول رابطه مستقیمی با سطح فتوسنتزکننده دارد (Ozoni, Esfahani, Sami Zadeh, & Rabiei, 2008) و در شرایط تنش شدید، کاهش این سطح منجر به دریافت کمتر نور و کاهش بهره‌وری از سایر فاکتورهای رشدی و در نتیجه، کاهش سرعت رشد محصول خواهد شد.

کلروفیل فلورسانس

این ویژگی در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل مربوطه (جدول ۴) نشان داد که میزان این ویژگی در هر سه سطح آبیاری و در تیمار عدم محلول پاشی نسبت به سایر تیمارها در همان سطح آبیاری بالاتر می‌باشد. بنابراین، با تشدید تنش، میزان فلورسانس کلروفیل افزایش یافت. کاربرد هر دو براسینواستروئید و ملاتونین در هر دو غلظت باعث کاهش میزان این ویژگی نسبت به تیمار عدم محلول پاشی در تیمار آبیاری مربوطه شد. براسینواستروئید ۰/۵ میکرومولار و ملاتونین یک میکرومولار در هر دو شرایط تنش ملایم و شدید، بیشترین کاهش را در کلروفیل فلورسانس باعث شدند. براسینواستروئید ۰/۲۵ میکرومولار و ملاتونین یک میکرومولار در شرایط عدم تنش به‌طور یکسان و بیشترین کاهش را در این ویژگی به‌وجود آوردند (جدول ۴). براسینواستروئیدها و ملاتونین از طریق سازوکارهای متفاوتی باعث بهبود فلورسانس کلروفیل در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شوند. این مواد با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، و بهبود پایداری غشاهای سلولی، نقش مهمی در بالابردن تحمل گیاهان به خشکی دارند. زنگ و همکاران (Zhang et al., 2013) گزارش نمودند که

؛ Miranda-Apodaca, Yoldi-Achalandabaso, et al., 2017) و همکاران (Ghasemi, Jahanbeen, Latifmanesh, H., Faraji, 2021) دریافتند که براسینولید در افزایش محتوای پرولین مؤثر بوده و قادر است که تحمل آفتابگردان را در برابر تنش خشکی افزایش داده و آن را از قرار گرفتن در شرایط بحرانی نجات دهد. کاربرد خارجی ۲۴- اپی براسینولید سبب افزایش بیشتر مقدار پرولین در برگ پرچم ارقام برنج (Farooq, Wahid, & Basra, 2009) تحت اثر تیمار کم آبی گردید، که با این تحقیق تطابق دارد.

عملکرد ماده خشک: اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد و سال در سطح احتمال پنج درصد، عملکرد ماده خشک را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). عملکرد ماده خشک در سال اول، ۴/۴ درصد بیشتر از سال دوم بود (جدول ۳) که می تواند به دلیل سرعت رشد بیشتر ناشی از مناسب تر بودن درجه حرارت در دوران رشد رویشی باشد (شکل ۱). محلول پاشی در هر سه سطح آبیاری منجر به افزایش عملکرد ماده خشک شده است. بیشترین مقدار این ویژگی (۱۲۶۵/۴ گرم در مترمربع) از محلول پاشی براسینواستروئید ۰/۵ میکرومولار و آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که با سایر تیمارهای محلول پاشی و تیمار عدم محلول پاشی در این سطح از آبیاری، از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۴). محلول پاشی براسینواستروئید ۰/۵ میکرومولار و آبیاری در حد ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش ملایم) با عملکرد ماده خشکی معادل ۱۲۰۲/۲ گرم در مترمربع با شاهد محلول پاشی در آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۱۲۳۵/۲ گرم در مترمربع) اختلاف معنی داری نداشت، درحالی که عملکرد ماده خشک در تیمار محلول پاشی براسینواستروئید ۰/۵ میکرومولار و آبیاری در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، کاهش ۱۴/۳۳ درصدی را نسبت به شاهد محلول پاشی در آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۱۲۳۵/۲ گرم در مترمربع) و ۱۶/۳۸ درصدی را نسبت به محلول پاشی براسینواستروئید ۰/۵ میکرومولار و آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی نشان داد. کمترین عملکرد ماده خشک تولیدی متعلق به شاهد محلول پاشی و آبیاری در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود که با عملکرد ماده خشک معادل ۷۵۳/۵ گرم در مترمربع، کاهش معادل ۲۳/۰۷ درصد نسبت به تیمار ذکر شده با حداکثر عملکرد ماده خشک یعنی براسینواستروئید ۰/۵ میکرومولار و آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی نشان داد (جدول ۴). در هر سه سطح تیمار آبیاری محلول پاشی با براسینواستروئید ۰/۵ میکرومولار منجر به تولید بیشترین ماده خشک گردید. براسینواستروئید از طریق افزایش سنتز کلروفیل، عملکرد آنزیم های رایبیسکو و آنتی اکسیدان، افزایش سنتز کربوهیدرات و بهبود پتانسیل آبی باعث افزایش ماده خشک گردید

با ۲۴- اپی براسینولید باعث افزایش فعالیت آنزیم های مرتبط با متابولیسم کربوهیدرات ها شامل ساکاراز و اینورتاز می شود (Xu et al., 2023). در تحقیق دیگری، اثرات ۲۴- اپی براسینولید بر افزایش تحمل گیاهان کینوا به تنش خشکی بررسی شد و نتایج نشان داد که این تیمار منجر به افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو در گیاهان می شود، که به طور غیرمستقیم می تواند به تنظیم بهتر متابولیسم کربوهیدرات ها کمک کند (Zhou et al., 2024).

پرولین

اثر متقابل خشکی و محلول پاشی، این ویژگی را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). مقایسه میانگین های اثرات متقابل خشکی و محلول پاشی نشان داد که محلول پاشی با براسینواستروئید و ملاتونین در هر سه سطح آبیاری، نرمال و تنش ملایم و شدید منجر به افزایش محتوای پرولین گردید و بیشترین افزایش هم از کاربرد ۰/۵ میکرومولار براسینواستروئید حاصل شد، اما این افزایش در سطح آبیاری نرمال معنی دار نبود. در تنش ملایم، تنها براسینواستروئید در افزایش محتوای پرولین به طور معنی داری مؤثر بود و بیشترین محتوای پرولین (۳/۱۹ میکرومول) از کاربرد غلظت بالاتر براسینواستروئید به دست آمد. در تنش شدید، کمترین (۳/۷۸ میکرومول) و بیشترین محتوای پرولین (۴/۲۹ میکرومول) به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد (عدم محلول پاشی) و کاربرد ۰/۵ میکرومولار براسینواستروئید بود که تیمار اخیرالذکر به طور معنی داری از سایر تیمارها در این سطح از تنش بیشتر بود. کاربرد براسینواستروئید ۰/۲۵ میکرومولار و ملاتونین یک میکرومولار بدون اختلاف معنی دار با یکدیگر، منجر به افزایش محتوای پرولین در این سطح از تنش نسبت به شاهد مربوط به خود شدند (جدول ۴). یکی از اثرات قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش خشکی افزایش تولید گونه های فعال اکسیژن و ایجاد تنش اکسیداتیو می باشد. برای مقابله با تنش اکسیداتیو به وجود آمده، سیستم دفاع آنتی اکسیدانی موجود در گیاهان قادر است که رادیکال های آزاد را از بین برده، خنثی و یا جاروب کند. این سیستم شامل آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند کاتالاز و سیستم آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی مانند پرولین می باشد (Li et al., 2024). پرولین در واکنش به تنش خشکی در گیاهان و در سیتوسول تجمع می یابد و نقش قابل توجهی در تنظیم اسمزی سیتوپلاسمی دارد (Ashraf & Foolad, 2007). گیاهانی که با تنش خشکی روبه رو می شوند، مقدار زیادی از منابع خود را صرف سنتز تنظیم کننده های اسمزی از قبیل پرولین نموده تا قادر به حفظ فشار تورژسانس سلول های خود باشند (Aranjuelo et al., 2011). مطالعات مختلف انجام شده روی گیاه کینوا، حاکی از افزایش محتوای پرولین بر اثر تنش خشکی می باشند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Elewa

براسینواسستروئید به دست آمد. سه تیمار دیگر بدون اختلاف معنی دار با یکدیگر دارای وزن هزار دانه بیشتری نسبت به شاهد بودند (جدول ۶). براسینواسستروئید به علت افزایش تقسیم سلولی و طولیل شدن سلول منجر به افزایش وزن هزار دانه گردید (Asha & Lingakumar, 2015). اسکندری (Eskandari, 2011) نیز افزایش وزن هزار دانه با مصرف براسینواسستروئید را گزارش نمود.

شاخص برداشت: این ویژگی به طور معنی داری تحت تأثیر اثر متقابل خشکی × سال و اثر متقابل خشکی × محلول پاشی قرار گرفت (جدول ۲). بالاترین مقدار این شاخص (۲۴/۱) در سال دوم و از تیمار آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (جدول ۷) و با افزایش شدت تنش خشکی به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی روند کاهشی نشان داد، به طوری که پایین ترین مقدار آن در تیمار آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در همین سال حاصل شد که ۱۵/۳۳ درصد و به طور معنی داری کمتر از مقدار حداکثر بود. مشابه سال دوم، بیشترین مقدار این شاخص در سال اول مربوط به تیمار آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود که تنها ۰/۸۳ درصد کمتر از همین تیمار در سال دوم بود. روند کاهشی این ویژگی در سال اول نیز با افزایش شدت تنش ثبت گردید، اما معنی دار نبود. مقایسه میانگین های این ویژگی تحت تأثیر اثر متقابل خشکی و محلول پاشی (جدول ۴) نشان داد که محلول پاشی در تیمار آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، این ویژگی را تحت تأثیر قرار نداد، در حالی که با افزایش شدت تنش، محلول پاشی منجر به رفتار متفاوت در این ویژگی شد. محلول پاشی با براسینواسستروئید در غلظت ۰/۵ میکرومولار در هر دو سطح تنش، بالاترین مقدار این ویژگی را باعث شدند، اما تنها در سطح تنش شدید خشکی منجر به افزایش معنی دار ۱۳/۵۷ درصدی نسبت به شاهد در همین سطح تنش گردید.

به هر حال، این شاخص در محلول پاشی براسینواسستروئید ۰/۵ میکرومولار با تنش ملایم (۲۳/۸۴ درصد) تفاوت معنی داری با آن در شاهد (۲۴/۱ درصد) با سطح نرمال آبیاری نداشت. ملاتونین در شرایط عدم تنش و تنش ملایم تأثیر معنی داری بر این شاخص نداشت، اما در شرایط تنش شدید در هر دو غلظت باعث افزایش معنی داری نسبت به تیمار عدم محلول پاشی در شرایط ذکر شده گردید (جدول ۴). شاخص برداشت حاکی از کارایی توزیع ماده فتوسنتزی در بین اندام های مختلف گیاه است و بنابراین، شاخصی از قابلیت گیاه برای تخصیص منابع به اندام های رویشی و زایشی است (Carrotero, Serrayo, Bnet, Perello, & Miralles, 2010). در تحقیقی، شاخص برداشت رقم Titicaca بسته به سال و تاریخ کاشت بین ۴۲ تا ۵۷ درصد و رقم Regalona 30 درصد گزارش شده است که دلیل اصلی تفاوت این ویژگی در مطالعه مذکور به بالا بودن عملکرد دانه کینوا در آزمایش ذکر شده برمی گردد (Lavini et al., 2014).

(Banjume et al., 2011). وزن تر و خشک گیاه چغندر قند (Beta vulgaris) در اثر استفاده از ۲۴ اپی براسینولید افزایش نشان داد (Schilling, Schiller, & Otto, 1991). استفاده از ۲۴ اپی براسینولید در گیاه شمعدانی عطری (Pelargonium graveolens)، افزایش سرعت فتوسنتز برگ ها و در نهایت، افزایش تجمع زیست توده اندام هوایی و افزایش رشد را به دنبال داشت. افزایش سرعت فتوسنتز مربوط به افزایش شاخص کلروفیل برگ ها، نتیجه استفاده از این هورمون گزارش شده است (Sengupta, Banik, Bhui, & Mitra, 2011). افزایش عملکرد ماده خشک با کاربرد براسینواسستروئید می تواند به دلیل توسعه بیشتر سطح برگ باشد که با ایجاد یک منبع فیزیولوژیکی کارآمد باعث استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی و در نتیجه، افزایش عملکرد ماده خشک بیشتر شده است. دهقان و همکاران (Dehghan, Balouchi, Yadavi, & Safikhani, 2017) نیز افزایش در میزان عملکرد زیستی گندم که با براسینولید محلول پاشی شده بود را گزارش نمودند.

وزن هزار دانه: اثر سال و اثرات تنش خشکی و محلول پاشی بر این ویژگی معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که وزن هزار دانه در سال اول ۵/۶۴ درصد بیشتر از سال دوم است (جدول ۳). این امر احتمالاً به دلیل پایین تر بودن درجه حرارت حداکثر در طی دوران زایشی در سال اول باشد (شکل ۱). مقایسه میانگین های این ویژگی تحت تأثیر خشکی نشان داد که افزایش شدت تنش خشکی، کاهش میزان آبیاری به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، منجر به کاهش معنی دار وزن هزار دانه شد، به طوری که این کاهش در تنش ملایم و شدید به ترتیب برابر با ۶/۷۷ و ۳۸ درصد بود (جدول ۵). وزن هزار دانه تابع سرعت و طول دوره پرشدن دانه است و خشکی هر دو این عامل ها را تحت تأثیر قرار داده و کاهش می دهد و مشارکت دو عامل سرعت و طول دوره پرشدن دانه، تعیین کننده وزن نهایی دانه است (Alvaro, Isidro, Villegas, García del Moral, 2008). در تحقیقی در مورد اثر تنش رطوبتی بر اجزای عملکرد گندم مشخص گردید که وزن دانه تأثیرپذیرترین جزو عملکرد می باشد. آن ها اظهار داشتند که وزن هزار دانه در شرایط تنش شدید، ۱۹ درصد افت را نشان داد. لذا، تنش خشکی از طریق کاهش وزن هزار دانه موجب کاهش عملکرد دانه می گردد (Barjasteh, Nezami, Khazaie, & Zand, 2019). به نظر می رسد که عوامل کاهش دهنده وزن هزار دانه نتیجه کاهش میزان فتوسنتز، کربوهیدرات و توزیع نامناسب مواد ذخیره ای در شرایط تنش شدید خشکی باشد (Gholipour, Ebadi, & Permon, 2016). مقایسه میانگین های این ویژگی تحت تأثیر محلول پاشی نشان داد که کمترین (۱/۱۶ گرم) و بیشترین (۱/۳۷ گرم) مقدار این ویژگی به ترتیب از تیمار عدم محلول پاشی و محلول پاشی با ۰/۵ میکرومولار

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های اندازه‌گیری شده متأثر از اثر متقابل سال و خشکی (آبیاری بر حسب درصد از ظرفیت زراعی)

Table 7- Means comparison of measured traits affected by interaction of year and irrigation

سال Year	خشکی Drought (% of field capacity)	عملکرد Yield (g m ⁻²)	شاخص برداشت Harvest index (%)
1	100	299.3 ^{a*}	23.9 ^a
1	75	285.4 ^a	23.6 ^{ab}
1	50	211.5 ^b	21.5 ^{ab}
2	100	300.5 ^a	24.1 ^a
2	75	269.2 ^a	23.8 ^a
2	50	189.7 ^b	20.4 ^b

* در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

* Means in each column followed by the similar letter(s) are not significantly different at %5 probability level, using Duncan multiple range test

(جدول ۴) نشان می‌دهد که کاربرد ۰/۵ میکرومولار براسینواسستروئید در آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (نرمال) بیشترین عملکرد دانه (۳۰۲/۸ گرم در مترمربع) را تولید نمود که با سایر تیمارهای محلول‌پاشی و تیمار عدم محلول‌پاشی در این سطح از آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت و از بالاترین عملکردهای حاصله در تیمارهای با کاربرد ۰/۵ میکرومولار براسینواسستروئید و آبیاری در حد ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۳۲ و ۵/۷ درصد بیشتر بود که این افزایش‌ها معنی‌دار بودند. عملکرد تولیدی کلیه تیمارهای محلول‌پاشی در تنش ملایم شامل شاهد مربوطه، عدم محلول‌پاشی، به‌طور معنی‌داری از عملکردهای حاصل از این تیمارها در شرایط تنش شدید خشکی بیشتر بودند. کمترین عملکرد تولیدی برای تیمار تنش شدید و بدون استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد ثبت گردید. در شرایط تنش شدید، همه تیمارهای محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی شدند. در این شرایط، مشابه تنش ملایم خشکی (آبیاری در حد ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) همچنین بیشترین افزایش متعلق به براسینواسستروئید ۰/۵ میکرومولار بود. همان‌طور که از نتایج تحقیق حاضر برمی‌آید، تنش خشکی، عملکرد دانه کینوا را کاهش داد. با این حال، در هر دو شرایط ملایم و شدید خشکی، کاربرد براسینواسستروئید ۰/۵ میکرومولار، عملکرد را افزایش داد (جدول ۴). آنجوم و همکاران (Anjum et al., 2017) در پژوهشی روی ذرت در شرایط تنش خشکی، کاهش عملکرد را نتیجه کاهش فعالیت فتوسنتزی، کاهش کربوهیدرات و سایر قندها گزارش نمودند. براسینواسستروئید ممکن است با تغییر فعالیت‌های آنزیمی و افزایش پایداری غشاء کلروپلاست که در نهایت، منجر به عرضه قوی فتواسیمیلات‌ها می‌شود، عملکرد دانه را افزایش دهد (Yue et al., 2019). بهبود قابل‌ملاحظه‌ای در عملکرد ذرت با کاربرد خارجی براسینواسستروئید در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Talaat,

قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2021) با انجام آزمایشی روی آفتابگردان، اثر مثبت براسینولید بر شاخص برداشت را گزارش نمودند. در شرایط تنش خشکی، کمبود آب باعث کاهش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی، ساخت و انتقال مواد پرورده می‌شود و این امر، شاخص برداشت را کاهش می‌دهد. در این خصوص به نقش براسینواسستروئید در بهبود تنش آب در مطالعات زیادی اشاره شده است (Mohanabharathi, Sritharan, Senthil, Roudbari, Abbaspour, Kalantari, & Ravikesavan, 2019; Aien, 2020). یافته‌های تحقیقاتی در سال‌های اخیر حاکی از این است که ملاتونین یک ترکیب بسیار مفید برای کاهش اثرات تنش‌های زیست‌محیطی، به‌خصوص تنش خشکی می‌باشد (Shi, Chen, Wei, & He, 2016).

عملکرد دانه

اثر متقابل سال و خشکی در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). اختلاف بسیار جزئی در عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری در حد ۱۰۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در دو سال آزمایش معنی‌دار نبود، اما عملکرد تولیدی هر دو این تیمارها به‌طور معنی‌داری از تیمارهای آبیاری در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در هر دو سال آزمایش بیشتر بودند. تنها در تنش شدید (آبیاری در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) میزان عملکرد در سال اول (۲۱۱/۵ گرم در مترمربع) ۱۱/۵ درصد نسبت به سال دوم بیشتر بود (جدول ۷) که این احتمالاً به‌واسطه درجه حرارت‌های حداکثر پایین‌تر در سال اول در دوره زایشی باشد که از شدت تنفس گیاه کاسته و لذا مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه‌ها منتقل شده و عملکرد افزایش پیدا کرده است. مقایسه‌های میانگین اثر متقابل خشکی و محلول‌پاشی بر عملکرد

برداشت کاهش، درحالی‌که میزان کلروفیل فلورسانس، محتوای پروتئین و میزان کربوهیدرات‌های محلول افزایش پیدا کردند. علی‌رغم افزایش در ویژگی‌های ذکرشده، وزن خشک گیاه و نهایتاً عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد. به عبارتی، سیستم دفاعی ذاتی گیاه قادر به مقابله با شرایط دشوار در سطح به‌وجود آمده نبود، اما کاربرد براسینواستروئید و ملاتونین با تأثیر بر ویژگی‌های ذکرشده، توان گیاه را تا حدی افزایش دادند. تأثیر ملاتونین در بعضی ویژگی‌ها، به‌خصوص در غلظت بالاتر به‌کار برده‌شده مؤثرتر از براسینواستروئید بود، اما به‌طور کلی، و در اکثر ویژگی‌های مورد مطالعه، کاربرد غلظت بالاتر براسینواستروئید یعنی ۰/۵ میکرومولار در هر سه شرایط آبیاری و به‌خصوص در شرایط تنش ملایم و شدید خشکی مؤثرتر واقع شد و توانست با تأثیر مثبت بر ویژگی‌های ذکرشده یعنی افزایش ارتفاع بوته، سرعت رشد، شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، محتوای پروتئین، کربوهیدرات‌های محلول و کاهش کلروفیل فلورسانس منجر به افزایش وزن خشک و در نهایت، عملکرد دانه شود. عملکرد دانه حاصل از تیمار ۰/۵ میکرومولار براسینواستروئید در شرایط تنش ملایم (آبیاری در حد ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به تیمار آبیاری نرمال (آبیاری در حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و بدون محلول پاشی، تنها ۳/۷۳ درصد کمتر بود. لذا با توجه به قرار گرفتن کشورمان در منطقه خشک از یک طرف و مواجه شدن با شرایط خشکسالی در سال‌های اخیر از طرف دیگر، استفاده از این هورمون گیاهی می‌تواند تأثیرات منفی تنش خشکی بر گیاهان از جمله کینوا را کاهش داده و راه حلی مؤثر برای افزایش تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد.

Shawky, & Ibrahim, 2015; Anjum et al., 2011a) گیاهان با ۲۴- اپی براسینولید می‌تواند با افزایش سطح اسید آسبیزیک و از طریق افزایش سرعت پر شدن دانه و کوتاه کردن مدت آن باعث بهبود عملکرد شود (Farooq, Hussain, & Siddique, 2014). ملاتونین نیز در هر دو غلظت به‌کار برده‌شده باعث افزایش معنی‌دار عملکرد نسبت به تیمار عدم محلول پاشی در شرایط تنش شدید خشکی شد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که ملاتونین از طریق سازوکارهای متفاوتی می‌تواند اثرات منفی خشکی بر گیاهان را کاهش داده و عملکرد آن‌ها را تحت این شرایط دشوار بهبود بخشد. ملاتونین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی به کاهش سطح گونه‌های فعال اکسیژن که در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابند، کمک می‌کند. این عمل باعث حفظ سیستم فتوسنتزی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو می‌گردد (Ahmad et al., 2021). همچنین کاربرد ملاتونین باعث افزایش محتوای پروتئین‌های محلول و مواد تنظیم‌کننده اسمزی مانند پروتئین و قندهای محلول در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود. این مواد به گیاهان کمک می‌کنند تا توانایی بهتری برای حفظ آب و کاهش آسیب‌های ناشی از خشکی داشته باشند (Ahmad et al., 2021) و در نتیجه، عملکرد بالاتری حاصل گردد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، می‌توان بیان نمود که با کاهش سطح آب آبیاری از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و یا با افزایش سطح تنش خشکی، ارتفاع بوته، سرعت رشد گیاه، شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه و شاخص

References

- Ahmad, S., Muhammad, I., Wang, G. Y., Zeeshan, M., Yang, L., Ali, I., & Zhou, X. (2021). Ameliorative effect of melatonin improves drought tolerance by regulating growth, photosynthetic traits and leaf ultrastructure of maize seedlings. *BMC Plant Biology*, 21, 368. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03160-w>
- Ali, B., Hayat, S., & Ahmad, A. (2007). 28-Homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environmental Experimental Botany*, 59(2), 217-223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.002>
- Alizadeh, A. (2001). *Practical Hydrology Principles*. Astan Ghods Razavi Press, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Alvaro, F., Isidoro, J., Villegas, D., García del Moral, L. F., & Royo, C. (2008). Breeding effects on grain filling, biomass partitioning, and remobilization in Mediterranean durum wheat. *Agronomy Journal*, 100(2), 361-370. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0090>
- Anjum, S. A., Ashraf, U., Zohaib, A., Tanveer, M., Naeem, M., Ali, I., & Nazir, U. (2017). Growth and development responses of crop plants under drought stress: A review. *Zemdirbyste*, 104(3), 26. <https://doi.org/10.13080/Z-A.2017.104.034>
- Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L., & Zou, C. M. (2011a). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(3), 177-185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x>
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011b). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032. <https://doi.org/10.4236/ajps.2011.23036>
- Aranjuelo, I., Molero, G., Erice, G., Christophe Avice, J., & Nogués, S. (2011). Plant physiology and proteomics reveals the leaf response to drought in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, 62(1), 111-

123. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq249>
9. Asha, A., & Lingakumar, K. (2015). Effect of 24-epibrassinolide on the morphological and biochemical constitutions *Vigna unguiculata* (L.) seedlings. *Indian Journal Science Research and Technology*, 3(1), 35-39.
10. Ashraf, M. F. M. R., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
11. Ashraf, M., Akram, N. A., Arteca, R. N., & Foolad, M. R. (2010). The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. CRC. *Critical Review Plant Science*, 29(3), 162-190. <https://doi.org/10.1080/07352689.2010.483580>
12. Babai, K., AminiDehagi, M., Modares-Sanavi, S. A. M., & Jabbari, R. (2010). Effect of water stress on morphological characteristics, content of proline and thymol in thyme. *Iran. Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 251-239. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939>
13. Bajguz, A., & Hayat, S. (2009). Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology Biochemistry*, 47(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.10.002>
14. Barjasteh, A., Nezami, A., Khazaie, H., & Zand, E. (2019). Effects of deficit irrigation and wild oat (*Avena ludoviciana*) density on yield and yield components of wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(1), 1-14. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v17i1.57485>
15. Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
16. Bera, A. K., Singh, A. L., & Kumar, R. (2014). Influence of brassinolide foliar application on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 33(2), 385-395. <https://doi.org/10.1007/s00344-014-9402-5>
17. Bijanzadeh, E., Nosrati, K., & Egan, T. (2010). Influence of seed priming techniques on germination and emergence of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Seed Science and Technology*, 38, 242-247. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/gsc.v17i1.57485>
18. Boroujerdnia, M., Bihanta, M., Alami Said, K., & Abdossi, V. (2016). Effect of drought tension on proline content, soluble carbohydrates, electrolytes leakage and relative water content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Scientific Journal of Crop Physiology*, I.A.U. Ahvaz, 8(29), 23-41. (in Persian). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.2008403.1395.8.29.2.2>
19. Carrotero, R., Serrayo, R. A., Bnet, M. O., Perello, A. E., & Miralles, D. J. (2010). Absorbed radiation and radiation use efficiency as effected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crops Reserch*, 916, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.12.009>
20. Dashab, S., & Omid, H. (2021). Investigation the effect of drought tension and seed pretreatment on physiological and biochemical traits of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Scientific Journal of Crop Physiology*, 12(48), 5-23.
21. Dawood, M. G. (2018). Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(5), 245-254.
22. Dehghan, M., Balouchi, H. R., Yadavi, A. R., & Safikhani, F. (2017). Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sirvan under terminal drought stress conditions. *Iranian Journal Crop Science*, 19(1), 40-56. (in Persian) <http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1396.19.1.4.0>
23. Elewa, T. A., Sadak, M. S., & Saad, A. M. (2017). Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*, 14(1), 21-33.
24. Eskandari, M. (2011). The effect of 28-Homobrassinolid in reducing the effects of drought in savory herbs. *International Journal Plant Physiology Biochemistry*, 3(11), 183-187.
25. Farooq, M., Wahid, A., & Basra, S. M. A. (2009). Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(4), 262-269. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00368.x>
26. Farooq, M., Hussain, M., & Siddique, K. H. M. (2014). Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(4), 331-349. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291>
27. Farshad, A., Mirzaei, H., & Rezaei, M. (2023). Effects of exogenous melatonin on growth and yield of broccoli (*Brassica oleracea*) under different irrigation regimes. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 178, 102-112. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2023.02.005>
28. Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchell, R. L. (1985). *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
29. Ghasemi, M., Jahanbeen, S., Latifmanesh, H., Faraji, H., & Mirshekari, A. (2021). Effect of brasinolid foliar application on some physiological and agronomic characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L) under drought stress condition. *Journal of Crop Production*, 14(1), 31-48. <https://doi.org/10.22069/EJCP.2021.18084.2339>
30. Gholipour, S., Ebadi, A., & Permon, G. H. (2016). Components of different genotypes of grain of bread wheat. *Crop Physiology Jouranl*, 8(11), 111-128.

31. Golestanifar, F., Mahmoodi, S., Fallahi, H. R., & Shahidi, A. (2024). Evaluation of physiological growth analysis of some quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties under different moisture levels in spring and summer planting dates at South Khorasan region. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(1), 45-70. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2023.82969.1255>
32. Gonzalez, J. A., Gallardo, M., Hilal, M. B., Rosa, M. D., & Prado, F. E. (2009). Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa*) to drought and waterlogging stresses: Dry matter partitioning. *Botanical Studies*, 50(1), 35-42.
33. Hasanzadeh, H., Shakerdargah, G., & Darjani, F. (2013). *Determination of the best planting date of quinoa (Chenopodium quinoa) in South coast of Iran*. The First National Electronic Conference on Advanced Topics in Horticultural Science. 19 and 20 November, Jahrom University, Iran.
34. Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1), 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
35. Jacobsen, S. E., Liu, F., & Jensen, C. R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, 122(2), 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019>
36. Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, 100-105
37. Janas, K. M., & Posmyk, M. M. (2013). Melatonin, an underestimated natural substance with great potential for agricultural application. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 3285-3292. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1372-0>
38. Jemima, J., Bhattacharjee, P., & Singhal, R. S. (2011). Melatonin a review on the lesser-known potential nutraceutical. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(8), 1975-87. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.2\(8\).1975-87](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.2(8).1975-87)
39. Kitajima, M., & Butler, W. L. (1975). Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. *Biochimica et Biophysica Acta*, 376(1), 105-115. [https://doi.org/10.1016/0005-2728\(75\)90209-1](https://doi.org/10.1016/0005-2728(75)90209-1)
40. Lavini, A., Pulvento, C., d'Andria, R., Riccardi, M., Choukr-Allah, R., Belhabib, O., Yazar, A., Incekaya, Ç., Metin Sezen, S., Qadir, M., & Jacobsen, S. E. (2014). Quinoa's potential in the Mediterranean region. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200, 344-360. <https://doi.org/10.1111/jac.12069>
41. Li, J., Yang, P., Gan, Y., Yu, J., & Xie, J. (2015). Brassinosteroid alleviates chilling-induced oxidative stress in pepper by enhancing antioxidation systems and maintenance of photosystem II. *Acta Physiologia Plantarum*, 37(11):222. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1966-9>
42. Li, Z., Zhang, S., Li, S., Li, H., Yan, L., Wang, Y., Zhang, Q., & Zhang, S. (2021). Melatonin enhances drought tolerance by regulating leaf stomatal behavior, carbon and nitrogen metabolism, and related gene expression in maize plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 703303. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.703303>
43. Li, H., Liu, Y., Zhen, B., Lv, M., Zhou, X., Yong, B., Niu, Q., & Yang, S. (2024). Proline spray relieves the adverse effects of drought on wheat flag leaf function. *Plants*, 13(7), 957. <https://doi.org/10.3390/plants13070957>
44. Miranda-Apodaca, J., Yoldi-Achalandabaso, A., Aguirresarobe, A., Del-Canto, A., & Pérez-López, U. (2018). Similarities and differences between the responses to osmotic and ionic stress in quinoa from a water use perspective. *Agricultural Water Management*, 203, 344-352. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.026>
45. Mohanabharathi, M., Sritharan, N., Senthil, A., & Ravikesavan, R. (2019). Physiological studies for yield enhancement in finger millet under drought condition. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 3308-3312.
46. Ozoni Davaji, A., Esfahani, M., Sami Zadeh, H., & Rabiei, M. (2008). Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous flowers and petalled rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 9(4), 382-400. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1386.9.4.7.9>
47. Parkash, V., & Singh, S. (2020). A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. *Sustainability*, 12(12), 3945. <https://doi.org/10.3390/su12123945>
48. Ranjan, A., Archana, K., & Ranjan, S. (2017). Gossypium herbaceum ghcyp1 regulates water-use efficiency and drought tolerance by modulating stomatal activity and photosynthesis in transgenic tobacco. *Biosciences. Biotechnology Research Asia*, 14(3), 869-880. <https://doi.org/10.13005/bbra/2520>
49. Reiter, R. J., Tan, D. X., Zhou, Z., Cruz, M. H. C., Fuentes-Broto, L., & Galano, A. (2015). Phytomelatonin: Assisting plants to survive and thrive. *Molecules*, 20, 7396-7437. <https://doi.org/10.3390/molecules20047396>
50. Roudbari, N., Abbaspour, H., Kalantari, K., & Aien, A. (2020). The role of signaling of hydrogen peroxide and 24-epibrassinosteroid on physiological traits of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 10(3), 3243-3254. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2020.1893417.1204>
51. Ruiz-Sanchez, M. C., Domingo, R., Torrecillas, A., & Perez-Pastor, A. (2000). Water stress preconditioning to

- improve drought resistance in young apricot plants. *Plant Science*, 156, 245-251. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00262-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00262-4)
52. Salek Mearaji, H., Tavakoli, A., & Sepahvand, N. A. (2020). Evaluating the effect of cytokinin foliar application on morphological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) under optimal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 14(4), 479-498. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.292821.2298>
 53. Sarafraz Ardekani, M. R. (2019). Kinetin and 24-epibrassinolide - induced antioxidant responses in three wheat cultivars during drought stress in grain filling stage. *Plant Process and Function*, 8(29), 313-327. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-898-fa.html>
 54. Schilling, G., Schiller, C., & Otto, S. (1991). Influence of brassinosteroid on organ retention and enzyme activities of sugarbeet plants. In: H. G. Cutler T. Yokota and G. Adam (Eds.), *Brassinosteroids. Chemistry, Bioactivity and Applications*. American Chemical Society, Washington DC, USA. pp. 208-219.
 55. Sengupta, K., Banik, N. C., Bhui, S., & Mitra, S. (2011). Effect of brassinolide on growth and yield of summer green gram crop. *Journal of Crop and Weed*, 7(2), 152-154.
 56. Shah, F. A., Ullah, A., Dar, M. H., & Komatsu, S. (2020). Melatonin as a potent antioxidant for abiotic stress tolerance in plants: Advances and prospects. *Plant Science*, 290, 110285. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110285>
 57. Shi, H., Chen, K., Wei, Y., & He, C. (2016). Fundamental issues of melatonin-mediated stress signaling in plants. *Frontiers in Plant Science*, 7, 11-24. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01124>
 58. Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S., & Jacobsen, S. E. (2014). Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(1), 12-23. <https://doi.org/10.1111/jac.12042>
 59. Talaat, N. B., Shawky, B. T., & Ibrahim, A. S. (2015). Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. *Environmental and Experimental Botany*, 113, 47-58. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.01.006>
 60. Tan, D. X. (2015). Melatonin and plants. *Journal of Experimental Botany*, 66, 625-625. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru523>
 61. Tan, D. X., Hardeland, R., Manchester, L. C., Korkmaz, A., Ma, S., RosalesCorral, S., & Reiter, R. J. (2012). Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. *Journal of Experimental Botany*, 63, 577-597. <https://doi.org/10.1093/jxb/err256>
 62. Telahigue, D. C., Yahia, L., Aljane, B. F., Belhouchett, K., & Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture*, 1, 222-232. <https://doi.org/10.25081/jsa.2017.v1.67>
 63. Torrecillas, A., Rodriguez, P., & Sanchez-Blanco, M. J. (2003). Comparison of growth, leaf water relations and gas exchange of *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants irrigated with water of different NaCl salinity levels. *Scientia Horticulture*, 97, 353-368. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00161-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00161-9)
 64. Vardhini, B. V., & Anjum, N. A. (2015). Brassinosteroids make plant life easier under abiotic stresses mainly by modulating major components of antioxidant defense system. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 67. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00067>
 65. Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 2541-2547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>
 66. Vriet, C., Russinova, E., & Reuzeau, C. (2012). Boosting crop yields with plant steroids. *Plant Cell*, 24(3), 842-857. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.094912>
 67. Wang, P., Sun, X., Li, C., Wei, Z., Liang, D., & Ma, F. (2013). Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple. *Journal of Pineal Research*, 54, 292-302. <https://doi.org/10.1111/jpi.12017>
 68. Xu, Z., Huang, S., Xie, Y., Wang, S., Jin, N., Jin, L., Tie, J., Meng, X., Li, Z., Lyu, J., & Yu, J. (2023). Physiological responses of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to exogenous 2,4-epibrassinolide at different concentrations. *BMC Plant Biology*, 23, 649. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04684-z>
 69. Yari, P., Keshtkar, A. H., & Sepehri, A. (2014). Evaluation of water stress effect on growth and yield of spring safflower. *Plant Products Technology*, 14(2), 101-117. (in Persian).
 70. Yue, J., You, Y., Zhang, L., Fu, Z., Wang, J., Zhang, J., & Guy, R. D. (2019). Exogenous 24-epibrassinolide alleviates effects of salt stress on chloroplasts and photosynthesis in *Robinia pseudoacacia* L. seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(2), 669-682. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9881-0>
 71. Zhang, N., Zhao, B., Zhang, H. J., Weeda, S., Yang, C., Yang, Z. C., Ren, S., & Guo, Y. D. (2013). Melatonin promotes water-stress tolerance, lateral root formation, and seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Pineal Research*, 54(1), 15-23. <https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2012.01015.x>
 72. Zhang, N., Sun, Q. Q., Zhang, H. J., Cao, Y. Y., Weeda, S., & Ren, S. X. (2015). Role of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, 66, 647-656. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru336>

73. Zhao, H., Ye, L., Wang, Y., Zhou, C., & Wang, J. (2017). Melatonin acts as a growth-stimulating and growth-inhibitory hormone in plants, depending on its concentration. *Journal of Experimental Botany*, 68(9), 2191-2203. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx098>
74. Zhou, Y. L., You, X. Y., Wang, X. Y., Cui, L. H., Jiang, Z. H., & Zhang, K. P. (2024). Exogenous 24-epibrassinolide enhanced drought tolerance and promoted BRASSINOSTEROID-INSENSITIVE2 expression of quinoa. *Plants*, 13, 873. <https://doi.org/10.3390/plants13060873>

Contents

Research Articles

- Effect of Fungi Isolated from the Chenopodiaceae Family on the Growth Characteristics and Increasing Phosphorus Absorption of Barley (*Hordeum vulgare*) Plant** 359
A. Sadeghi, M. Farsi, P. Taheri, A. A. Safari Sinegani
- The Effect of Planting Dates and Distances on the Quality Characteristics and Biomass of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz)** 373
F. Zaefarian, H. R. Ghorbani, P. Majidian, M. Kaveh
- Investigation of Methanolic Sodium Nanosilicate and Glycine on Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.)** 385
H. Rezaei, F. Paknejad, M. N. Ilkaee, D. Habibi, M. Sadeghi-Shoae
- Investigation the Response of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grain Yield to Foliar Application of *Azospirillum*, Zn and 6-Banzylaminopurine** 401
M. J. Zarea
- The Effect of Sowing Date on Yield and Quality Characteristics of Autumn Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars in Gonbad Kavous** 419
E. Paserakloo, A. Biabani, S. Yarahamdi, A. Saberi, M. Naeemi, F. Taliei
- The Effect of Chemical and Biological Fertilizers on Yield, Yield Components and Protein Content of Sesame Grain (*Sesamum indicum* L.) under Different Irrigation Regimes** 441
M. Moradi Shahdadi, M. Dejam, M. Madandoust, M. R. Baziar
- Evaluation of the Effect of Irrigation Method and Time of Trifluralin Herbicide Application on Weed Population, Yield Component and Yield of Cumin (*Cuminum cyminum* L.)** 457
R. Moradi, H. Hammami, N. Pourghasemian
- Effect of Brassinosteroid and Melatonin Foliar Application on Biochemical Characteristics and Growth Indices of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under Drought Stress Condition** 475
N. Pakgohar, A. A. Maghsoudi Mood, H. Farahbakhsh, A. Pasandi Pour

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 22

No. 4

2025

Publisher	Ferdowsi University of Mashhad	
Managing	P. Rezvani Moghaddam (Agroecology)	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Editor- in-chief	H.R. Khazaei (Crop Physiology)	Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

AghaAlikhani, M.	Weed-Crop Ecophysiology	Prof., Tarbiat Modares University, Tehran
Ehsanzadeh, P.	Plant Physiology	Prof., Isfahan University of Technology
Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop Ecology	Prof., University of Birjand
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Prof., University of Birjand
Raei, Y.	Plant Eco physiology	Prof., Tabriz University
Rahimian-Mashhadi, H.	Crop Physiology	Prof., Tehran University
Zamani, Gh.R.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Zare- Feizabadi, A.	Crop Ecology	Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province
Shahriari-Ahmadi, F.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Nezami, A.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Khazaei, H.R.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Eyshi Rezaei, E.	Crop modeling	Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research: Müncheberg, Brandenburg, Germany
Lashakri, A.	Environmental Plant Physiology	John Innes Centre, Norwich Research Park, Norwich, UK
Bazrgar, A.B.	Ecological Modeling	School of Environmental Sciences, University of Guelph, Canada

Address: Iranian Journal of Field Crops Research Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture
Mashhad, Iran

P.O. Box: 91775-1163

Email: cesc@um.ac.ir

Web Site: <https://jcesc.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol.22 No.4

2025

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Research Articles

Effect of Fungi Isolated from the Chenopodiaceae Family on the Growth Characteristics and Increasing Phosphorus Absorption of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Plant..... 359
A. Sadeghi, M. Farsi, P. Taheri, A. A. Safari Sinegani

The Effect of Planting Dates and Distances on the Quality Characteristics and Biomass of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz)..... 373
F. Zaefarian, H. R. Ghorbani, P. Majidian, M. Kaveh

Investigation of Methanolic Sodium Nanosilicate and Glycine on Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.)..... 385
H. Rezaei, F. Paknejad, M. N. Ilkaee, D. Habibi, M. Sadeghi-Shoae

Investigation the Response of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grain Yield to Foliar Application of *Azospirillum*, Zn and 6-Banzylaminopurine 401
M. J. Zarea

The Effect of Sowing Date on Yield and Quality Characteristics of Autumn Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars in Gonbad Kavous..... 419
E. Paserakloo, A. Biabani, S. Yarahamdi, A. Saberi, M. Naeemi, F. Taliei

The Effect of Chemical and Biological Fertilizers on Yield, Yield Components and Protein Content of Sesame Grain (*Sesamum indicum* L.) under Different Irrigation Regimes 441
M. Moradi Shahdadi, M. Dejam, M. Madandoust, M. R. Baziar

Evaluation of the Effect of Irrigation Method and Time of Trifluralin Herbicide Application on Weed Population, Yield Component and Yield of Cumin (*Cuminum cyminum* L.)..... 457
R. Moradi, H. Hammami, N. Pourghasemian

Effect of Brassinosteroid and Melatonin Foliar Application on Biochemical Characteristics and Growth Indices of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under Drought Stress Condition 475
N. Pakgozar, A. A. Maghsoudi Mood, H. Farahbakhsh, A. Pasandi Pour