



جلد ۲۳ شماره ۱

سال ۱۴۰۴

(شماره پیاپی: ۷۷)

نشریه علمی

پژوهشهای زراعی ایران

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

تأثیر روش کاشت و مصرف آب بر خصوصیات کمی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) ۳
فاطمه مشهدی، حمیدرضا خزاعی، محمدرضا رمضانی مقدم

تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه حنا (*Lawsonia inermis* L.) تحت تنش خشکی ۲۱
فرامرز چمنی، حسن فرح بخش، مهدی ناصر علوی، امین پسندی پور

تأثیر محلول پاشی سیتوکینین و چین برداشت بر تولید اسانس و خصوصیات رویشی آویشن (*Thymus vulgaris* L.) ۳۳
یاسین نوروزی، مختار قبادی، محسن سعیدی، دانیال کهریزی، هولیا دوگان

چشم‌انداز امنیت غذایی استان خراسان رضوی (۱۴۱۳-۱۴۰۳) از دیدگاه محصولات زراعی (منطبق بر ظرفیت آب) ۴۷
عباس کشاورز، احمد زارع فیض آبادی، فاطمه یعقوبی

اثر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) ۶۷
هدیه نجفی، عبدالله محمدی، محمود باقری

بررسی اثر علف‌کش‌های یو‌آء‌کمی فلوئید و برومایسیدام آ در مراحل مختلف رشدی گندم (*Triticum aestivum* L.) بر مهار علف‌های هرز و عملکرد گندم ۷۹
سهیلا پورحیدرغفاری، جعفر جعفرزاده، غلامرضا قهرمانیان، محمد کوهستانی

تأثیر آبیاری تکمیلی و برخی تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی کمپوست، اسید هیومیک و نانواکسید آهن) بر اجزای پر شدن دانه، گره‌زایی و عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) ۹۳
رنوف سید شریفی، رضا سید شریفی

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

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

۸۲/۵/۲۷

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

۸۹/۱۰/۲۱

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

سال ۱۴۰۴

شماره ۱

جلد ۲۳

دانشگاه فردوسی مشهد

صاحب امتیاز:

پرویز رضوانی مقدم

مدیر مسئول:

حمیدرضا خزاعی

سر دبیر:

اعضای هیئت تحریریه:

مجید آقاعلیخانی

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

پرویز احسان زاده

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

یحیی امام

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

عبدالرضا باقری

گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

محمدعلی بهدانی

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

محمد بنایان اول

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

مجید جامی الاحمدی

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

یعقوب راعی

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

حمیدرضا خزاعی

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

حمید رحیمیان مشهدی

دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران

غلامرضا زمانی

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

احمد زارع فیض آبادی

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، ایران

فرح اله شهریاری احمدی

گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

محمد کافی

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

احمد نظامی

گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

احسان عیشی رضایی

مرکز مطالعات کشاورزی بنیاد لابنیتز (زالف)، آلمان

اعظم لشکری

مرکز جان اینس، نورویج، انگلیس

امیربهبزاد بذرگر

دانشکده علوم محیطی، دانشگاه گوتلف، کانادا

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

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

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

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

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

مقالات پژوهشی

- ۳ تأثیر روش کاشت و مصرف آب بر خصوصیات کمی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)
فاطمه مشهدی، حمیدرضا خزاعی، محمدرضا رمضان‌ی مقدم
- ۲۱ تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه حنا (*Lawsonia inermis* L.) تحت تنش خشکی
فرامرز چمنی، حسن فرح بخش، مهدی ناصر علوی، امین پسندی‌پور
- ۳۳ تأثیر محلول پاشی سیتوکنین و چین برداشت بر تولید اسانس و خصوصیات رویشی آویشن (*Thymus vulgaris* L.)
یاسین نوروزی، مختار قبادی، محسن سعیدی، دانیال کهریزی، هولیا دوگان
- ۴۷ چشم‌انداز امنیت غذایی استان خراسان رضوی (۱۴۱۳-۱۴۰۳) از دیدگاه محصولات زراعی (منطبق بر ظرفیت آب)
عباس کشاورز، احمد زارع فیض آبادی، فاطمه یعقوبی
- ۶۷ اثر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)
هدیه نجفی، عبدالله محمدی، محمود باقری
- ۷۹ بررسی اثر علف کش‌های یو ۶۴ کمی فلوید و برومایسیدام آ در مراحل مختلف رشدی گندم (*Triticum aestivum* L.) بر مهار علف‌های هرز و عملکرد گندم دیم
سهیلا پورحیدرغفاری، جعفر جعفرزاده، غلامرضا قهرمانیان، محمد کوهستانی
- ۹۳ تأثیر آبیاری تکمیلی و برخی تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی کمپوست، اسید هیومیک و نانواکسید آهن) بر اجزای پر شدن دانه، گره‌زایی و عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) دیم
رئوف سید شریفی، رضا سید شریفی

Effect of Planting Methods and Water Consumption on Quantitative and Qualitative Traits of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)

F. Mashhadi¹, H. R. Khazaei^{1*}, M. R. Ramazani Moghaddam²

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

2- Crop and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

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

Received: 21 June 2023

Revised: 30 August 2023

Accepted: 23 September 2023

Available Online: 02 March 2025

How to cite this article:

Mashhadi, F., Khazaei, H.R., & Ramazani Moghaddam, M.R. (2025). Effect of planting methods and water consumption on quantitative and qualitative traits of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(1), 1-18. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.71031.1055>

Introduction

Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) is a medicinal plant belonging to the Malvaceae family that has been used as medicine since ancient times. Sepals of roselle are a source of anthocyanin, vitamin C and other antioxidants, such as flavonoids (hibiscetine, gossypetine, and sadderetine). Due to the fact that drought is one of the prominent geographical features of Iran, saving water by cultivating drought-resistant crops can be considered as a solution to deal with drought. However, it should be noted that applying deficit irrigation without careful planning can lead to a reduction in quantitative or even qualitative yield. Therefore, due to the medicinal importance of roselle and its resistance to drought, the aim of this study was to investigate the effect of different irrigation regimes and planting method on some quantitative and qualitative traits of roselle plant.

Materials and Methods

The experiment was carried out as split plot based on randomized complete blocks design with three replications at the Research Farm of Kashmar Agricultural and Natural Resources Research Station, during two growth seasons 2016 and 2017. Treatments included seven levels of Irrigation (I₁: 100% crop water requirement (CWR), I₂: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I₃: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I₄: 80% CWR from beginning to end of flowering, I₅: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I₆: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I₇: 60% CWR from beginning to end of flowering) and two level of planting method (direct and indirect) as main plots and sub plots, respectively. In the transplanting method, the seeds were sown in the transplant tray on March 10, 2016 and 2017 and transplanted to the farm in four-leaf stage. Direct cultivation was also carried out in April, in 2.5 × 7 meter plots at a depth of 1.5 cm. At the harvest time, two square meters of each plot were harvested to measure number seed and sepal yield, biological yield, and harvest index. In addition, qualitative traits including vitamin C, anthocyanin, total phenol, seed protein and oil were measured. Data from the two field experiments were analyzed with SAS software; obtained averages compared with using Tukey's Studentized Range (HSD) Test at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the interaction effect between irrigation and planting method was significant on



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

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.71031.1055>

biological yield, vitamin C, total phenol, seed protein and oil. The highest seed oil (21.25%) was obtained in I1 and transplanting treatment. I7 and direct planting method treatment had the highest total phenol (41.96 mg g dry weight⁻¹) and seed protein (31.32%). The maximum biological yield (9064.33 kg ha⁻¹) and vitamin C (32.35 mg 100 ml⁻¹) were observed in I1 and direct planting method and I4 and direct planting method, respectively. There was no significant difference in any of the irrigation levels between the two planting methods except for the total phenol at two levels of I5 and I6, which its amount was higher in the direct planting method than transplanting. Seed yield, sepal yield, seed harvest index, sepal harvest index, and anthocyanin were only affected by the main effect of irrigation. As the intensity of stress increased, the yield and harvest index decreased and the amount of anthocyanin increased. The highest seed (667.54 kg ha⁻¹) and sepal yield (392.73 kg ha⁻¹) were obtained in I1 treatment, which had no significant difference with I2 treatment. The lowest seed and sepal yield were also obtained in I7 treatment. According to the harvest index, the only I7 treatment showed a significant difference with other treatments. So that the lowest of seed (7.85%) and sepal harvest index (4.5%) were obtained in this treatment.

Conclusion

The results of this study revealed that water stress had the negative effect on the sepal, seed, and biological yield and number of fruit per roselle plant in both transplanting and direct sowing methods. However, with increasing drought stress, the plant's quality traits, including vitamin C, anthocyanin, total phenol, and seed protein improved. The extent of drought effect varied depending on the growth stage of the plant; however, there was no significant difference in seed and sepal yield obtained in stress-free and irrigation at 80% water requirement from 8-leaf stage to end of flowering treatments. The most significant impact was observed during the sensitive growth stage of the plant, particularly from early to late flowering, under drought conditions. Additionally, the results indicated that the transplanting method did not significantly enhance the studied traits at various irrigation levels compared to direct cultivation. Based on the climatic conditions of the study area, irrigating at 80% of the water requirement from the eighth leaf stage to late flowering of the roselle plant appears to be a viable strategy for achieving satisfactory quantitative and qualitative performance while conserving water resources.

Keywords: Anthocyanin, Drought stress, Transplanting, Vitamin C

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۱-۱۸

تأثیر روش کاشت و مصرف آب بر خصوصیات کمی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)

فاطمه مشهدی^۱، حمیدرضا خزاعی^{۱*}، محمدرضا رمضانی مقدم^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

چکیده

به منظور بررسی تأثیر روش کاشت و میزان مصرف آب بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه چای ترش، آزمایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کاشمر در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش آبیاری در هفت سطح شامل تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_1)، ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگگی تا اواخر گل‌دهی (I_2)، ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگگی تا اوایل گل‌دهی (I_3)، ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی (I_4)، ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی (I_5)، ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگگی تا اوایل گل‌دهی (I_6) و روش کاشت در دو سطح (نشاکاری و کشت مستقیم) بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر عملکرد زیست‌توده، ویتامین ث، فنل کل کاسبرگ، پروتئین و روغن دانه معنی‌دار بود. حداکثر روغن دانه (۲۱/۲۵ درصد) در تیمار I_1 و روش کاشت نشایی به‌دست آمد. تیمار I_1 و روش کشت مستقیم، بیشترین عملکرد زیست‌توده (۹۰۶۴/۳۳ کیلوگرم در هکتار) و تیمار I_4 و روش کشت مستقیم، بیشترین میزان ویتامین ث (۳۲/۳۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) کاسبرگ را به خود اختصاص دادند. حداکثر فنل کل (۴۱/۹۶ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) و پروتئین (۳۱/۳۲ درصد) نیز در تیمار I_4 و روش کشت مستقیم حاصل شد. در سطوح آبیاری بین دو روش کشت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، به‌جز برای فنل کل کاسبرگ و دو سطح I_5 و I_6 که مقدار آن در روش کشت مستقیم بیشتر از نشاکاری بود. عملکرد دانه، عملکرد کاسبرگ، شاخص برداشت دانه، شاخص برداشت کاسبرگ و آنتوسیانین تحت تأثیر اثر آبیاری قرار گرفتند، به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد، شاخص برداشت دانه و شاخص برداشت کاسبرگ کاهش و میزان آنتوسیانین افزایش یافت. با توجه به این‌که بین عملکرد دانه و کاسبرگ تیمارهای I_1 (به‌ترتیب ۶۶۷/۵۴ و ۳۹۲/۷۳ کیلوگرم در هکتار) و I_2 اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید، جهت حصول عملکرد کمی و کیفی قابل قبول در شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگگی تا اواخر گل‌دهی مناسب خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، تنش خشکی، نشاکاری، ویتامین ث

مقدمه

چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) گیاهی دارویی متعلق به خانواده پنیرکیان (Malvaceae) که از زمان‌های قدیم به‌عنوان دارو

استفاده می‌شده و هم‌اکنون نیز به‌عنوان گیاه دارویی مورد توجه است (Aziz, Gad, & Badran, 2007). میوه این گیاه دارای ویتامین ث و کاسبرگ‌ها حاوی گوسیتین، آنتوسیانین، گلوکوزید هیپوسین هستند که اثرات کاهنده ویسکوزیته خون، فشار خون، تحریک‌کننده روده و ادرارآور دارند (Wong, Yusof, Ghazali, & Man, 2002). مصرف چای ترش سبب جلوگیری از بروز سرطان، بهبود کارایی دستگاه گوارش و کاهش فشار خون می‌گردد (Prasongwatana, Woottisin, Sriboonlue, & Kukongviriyapan, 2008). محتوای کربوهیدراتی دانه‌های چای ترش، ۲۶/۶ درصد می‌باشد. مواد

۱- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(Email: Khazaie@um.ac.ir)
(*) نویسنده مسئول:

مهم دانه‌های این گیاه سدیم، پتاسیم، گوگرد، کلسیم و فسفر است (Nazari Khalaflo, 2018). دانه‌های چای ترش غنی از اسید لینولئیک بوده (Shaheen, El-Nakhlawy, & Al-Shareef, 2012) و حدود ۱۹ درصد آن از روغن تشکیل شده است (Mohamed, Fernandez, Pineda, & Aguilar, 2007).

روند رو به افزایش استفاده از گیاهان دارویی، بدون توسعه روش‌های مناسب کاشت و مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح، پیامدهای نگران‌کننده‌ای نظیر تخریب محیط‌زیست را در پی خواهد داشت (Ebrahimzadeh Abdashti, Galavi, & Ramroudi, 2016); لذا برای تأمین مواد اولیه گیاهی مورد نیاز صنایع داروسازی، توصیه می‌شود که کشت و پرورش گیاهان دارویی به‌طور جدی انجام پذیرد. با این وجود، کمبود رطوبت خاک تهدیدی جدی برای تولید این گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران به‌شمار می‌آید (Yang et al., 2006). یکی از مهم‌ترین راهبردهای پیشنهادشده در این مناطق، بهینه‌سازی مصرف آب به‌وسیله کم‌آبیاری است. در واقع، کم‌آبیاری یک راهبرد بهینه برای تولید محصولات زراعی تحت شرایط کمبود آب همراه با کاهش محصول می‌باشد (Greets & Raes, 2009).

ال بواری و همکاران (EL-Boraie, Gaber, & Abdel-Rahman, 2009) در آزمایشی جهت افزایش راندمان مصرف آب چای ترش گزارش کردند که در تیمارهای آبیاری ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ درصد نیاز آبی، عملکرد کاسبرگ خشک چای ترش به‌ترتیب ۳۷۴/۳، ۲۶۵، ۳۵۴، ۳۸۶ و ۲۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. یزدان‌پناه (Yazdan Panah, 2016) در مطالعه تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد چای ترش نشان داد که بیشترین وزن خشک گل و کاسبرگ با آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد تبخیر و تعرق به‌دست آمد. سنجرى میجانی و همکاران (Sanjari Mijani, Sirousmehr, & Fakheri, 2018) در مطالعه‌ای روی گیاه چای ترش نشان دادند که آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک A نسبت به آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک A، میزان عناصر فسفر، پتاسیم، سدیم، آنتوسیانین، کاروتنوئید و پروتئین کاسبرگ را افزایش داد. ایوانز و الحمدانی (Evans & Al-Hamdani, 2015) نشان دادند که تنش خشکی سبب افزایش ترکیبات فنلی در گیاه چای ترش شد. رهباریان و همکاران (Rahbarian, Afsharmanseh, & Modafea, 2011) اثر تنش خشکی و تراکم بوته بر چای ترش اظهار داشتند که کم‌آبیاری کاهش معنی‌داری بر عملکرد کاسبرگ داشت، به‌طوری‌که عملکرد کاسبرگ از ۶۱۷/۵ کیلوگرم در تیمار عدم تنش خشکی به ۴۳۰/۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری به‌میزان ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافت.

روش کاشت به‌عنوان یکی از عوامل مدیریتی مؤثر بر میزان آب مصرفی می‌تواند با تأثیر بر نحوه سبز شدن و میزان رشد گیاه زراعی به

کاهش مصرف آب و افزایش بازده آب آبیاری همراه با افزایش عملکرد منجر شود (Manzoor Shafi, Sohail, Ali, & Fahad, 2020). نشاکاری یکی از راهبردهای مدیریت آب آبیاری در مزرعه می‌باشد که در نتیجه آن عمل تنک کردن محدود (Tahmasebi & Kordi, 2001)، زودرسی محصول مضاعف، و دوره رشد محصول جلو انداخته می‌شود (Mohamad Zade, Asghary, Farajee, Moradi, & Majidian, 2018). بررسی تأثیر دو روش کاشت مستقیم و نشایی بر ویژگی‌های کمی و کیفی چای ترش نشان داد که روش کاشت نشایی سبب بهبود اسیدیت کل، فنل کل، ویتامین ث، عملکرد کاسبرگ و کارایی مصرف آب چای ترش شد (Fallahi, Ghorbany, Aghhavan-Shajari, Samadzadeh, & Asadian, 2017). در مطالعه تأثیر نشاکاری بر عملکرد پنبه (*Gossypium hirsutum*) و کارایی مصرف آب آبیاری نشان داده شد، در مناطقی که زمان کشت پنبه هم‌زمان با اواخر فصل رشد غلات و نیاز به آب آبیاری در این زمان حداکثر می‌باشد، بهتر است پنبه را در خزانه کشت نموده و سپس انتقال آن به زمین بعد از برداشت غلات صورت گیرد. همچنین اظهار داشتند که در استفاده از روش نشاکاری پنبه، حداقل دو نوبت آبیاری صرفه‌جویی شده و مصرف سموم و وجین نیز به حداقل رسیده و کنترل آفات آسان‌تر می‌گردد (Dehghani, Jafar, Aghaei, & Mohammadi Kia, 2014).

با توجه به این‌که خشکی از ویژگی‌های بارز جغرافیایی کشور ایران است، صرفه‌جویی در مصرف آب با کشت گیاهان مقاوم به خشکی می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای مقابله با خشکی مطرح گردد (Seghatoleslami, Mosavi, & Barzegaran, 2013). با این وجود، باید توجه داشت که اعمال کم‌آبیاری بدون برنامه‌ریزی دقیق می‌تواند منجر به کاهش عملکرد کمی و یا حتی کیفی محصول گردد؛ لذا با توجه ارزش دارویی گیاه چای ترش و مقاومت آن به خشکی (Akbarinia, Ghalavand, Sefidcon, Rezaee, & Sharifi, 2004)، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف کم‌آبیاری و روش کشت بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه چای ترش بود.

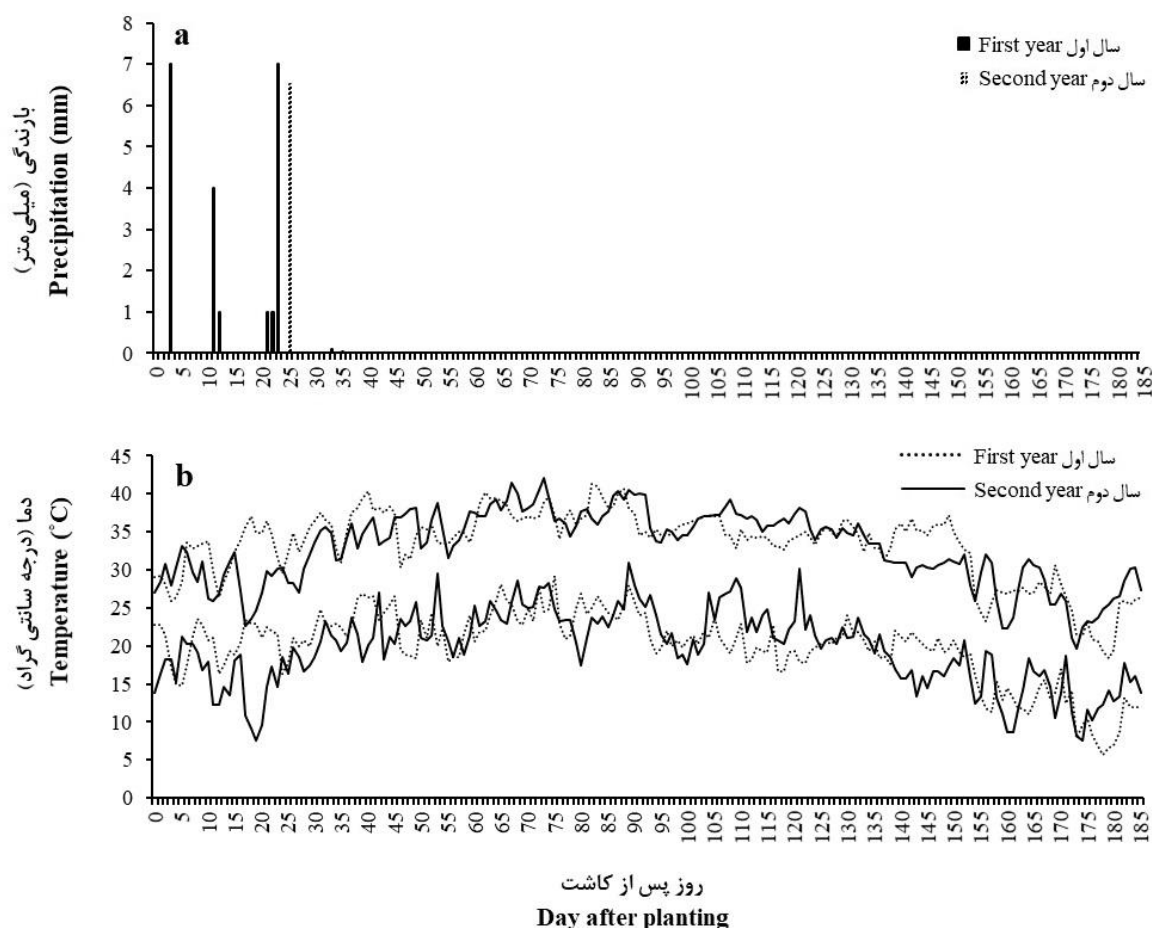
مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کاشمر، واقع در ۲۳۰ کیلومتری جنوب غرب مشهد با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۸ درجه شرقی و ارتفاع ۱۰۵۳ متر از سطح دریا در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام شد. متوسط بارندگی سالانه ۱۷۲/۰۲ میلی‌متر و حداقل حداکثر دمای مطلق سالانه در این منطقه به‌ترتیب ۱۲/۳۵ و ۲۴/۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که براساس طبقه‌بندی متزگر و همکاران

مرحله هشت برگی تا اوایل گل‌دهی، ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی) و روش کاشت در دو سطح (نشاکاری و کشت مستقیم) بودند.

در روش کشت نشایی، در هر دو سال، بذور در ۲۰ اسفندماه داخل سینی نشاء کشت و در مرحله چهار برگی به زمین منتقل شدند. کشت مستقیم نیز هم‌زمان با انتقال نشاء در ۱۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ و ۱۳ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۶ انجام گرفت. در هر کرت، پنج خط کاشت به طول هفت متر و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم قرار داشت. فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و بین کرت‌ها و بلوک‌ها به ترتیب ۱ و ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از انجام آزمایش، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه، نمونه‌برداری به صورت تصادفی انجام و به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

(Metzger et al., 2012) جزء اقلیم گرم و خشک قرار دارد. شرایط آب‌وهوایی محل آزمایش در طول فصل رشد چای ترش (اردیبهشت تا آبان‌ماه) در دو سال مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین دمای روزانه در طول فصل رشد چای ترش در سال اول و دوم به ترتیب در دامنه ۱۲/۵۰ تا ۳۳/۸۰ و ۱۳/۹۵ تا ۳۵/۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشت. میزان بارندگی نیز در طول دوره رشد چای ترش در سال اول و دوم به ترتیب ۲۱/۱۲ و ۶/۵۴ میلی‌متر بود. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در هفت سطح (۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۸۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی، ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل گل‌دهی، ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی، ۶۰ درصد نیاز آبی از



شکل ۱- (a) بارندگی و (b) دمای حداکثر و حداقل روزانه ایستگاه هواشناسی کاشمر در طول فصل رشد چای ترش طی سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

Figure 1- a) Daily precipitation and b) maximum and minimum temperature of Kashmar meteorological station during the growing season in 2016 and 2017

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی در دو سال آزمایش

Table 1- Physical and chemical particular of research station soil in two experimental year

سال Year	کلاس بافت خاک Soil texture class	پتاسیم Potassium (%)	فسفر Phosphorus (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	ماده آلی Organic material (%)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH
2016	لوم-رس-شن Loam-clay-sand	2.1	0.12	0.04	0.36	2.5	7.9
2017	لوم Loamy	2	0.11	0.04	0.39	2.4	8

کردن در هوای آزاد و زیر سایه توزین گردید. شاخص برداشت کاسبرگ و دانه از نسبت عملکرد کاسبرگ و دانه به ترتیب به عملکرد زیست‌توده کل به‌دست آمد.

مقدار ویتامین ث کاسبرگ با روش تیترومتری با ید، پتاسیم یداید و پتاسیم یدات در حضور معرف نشاسته توسط نشاسته انجام شد (Arya, 2000). جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین کاسبرگ از روش وانگر (Wanger, 1979) استفاده شد. برای این منظور، ابتدا ۰/۱ گرم کاسبرگ توزین و به قطعات کوچک تبدیل و در هاون کاملاً خرد شد. جهت استخراج آنتوسیانین‌ها در هر تیمار، ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (۹۹ سی‌سی متانول و یک سی‌سی اسید کلریدریک یک درصد) به آن اضافه شد. سپس نمونه‌ها در فاکون ریخته شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از آن، به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و در نهایت میزان آنتوسیانین پس از رقیق‌سازی مناسب با دستگاه اسپکتروفوتومتر و در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شد. سپس با استفاده از ضریب خاموشی وانگر، مقدار آنتوسیانین کل محاسبه شد. برای اندازه‌گیری مقدار کل فنل کاسبرگ، ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه گیاهی با ۱۰ میلی‌لیتر حلال (اتانول ۹۶ درصد) عصاره‌گیری، سپس محلول حاصل توسط حلال به نسبت یک به ۱۰۰ رقیق شد. آن‌گاه به ۳۰۰ میکرولیتر عصاره رقیق‌شده، ۱/۲ میلی‌لیتر سدیم کربنات ۷/۵ درصد و ۱/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیکالتیو ۱۰ درصد اضافه شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفته، سپس در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شدند (Al-Farsi, Alsalvar, Morris, Baron, & Shadih, 2005). جهت اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه از روش کجلدال (AOCS, 2005) استفاده شد و اندازه‌گیری روغن موجود در دانه‌ها با استفاده از روش سوکسله (Latif & Anwar, 2008) انجام شد.

با توجه به این‌که نتایج آزمون بارلت حاکمی از آن بود که در نتایج بین دو سال اختلاف معنی‌دار وجود نداشت، تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ و مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه بر مبنای آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم شکل‌ها نیز با نرم‌افزار SigmaPlot 14 انجام شد.

میزان تبخیر و تعرق به‌روش پنمن مانیت و با استفاده از آمار روزانه ایستگاه سینوپتیک کاشمر، محاسبه شد. تبخیر و تعرق گیاه از حاصل‌ضرب تبخیر و تعرق پتانسیل در ضریب گیاهی (Kc) به‌دست‌آمده در منطقه مورد مطالعه حاصل شد. از آن‌جاکه ضرایب گیاهی چای ترش در دسترس نمی‌باشد و با توجه به تشابه چای ترش و پنبه از نظر تعلق به خانواده مشترک و همچنین داشتن ویژگی‌های رشدی مشابه، از Kc مربوط به پنبه جهت برآورد تبخیر و تعرق چای ترش استفاده شد. تبخیر و تعرق روزانه گیاه (Td) با در نظر گرفتن درصد سایه‌انداز با استفاده از رابطه (۱) برآورد گردید.

$$Td = ETp \times (0.1 \times Ps \times 0.5) \quad (1)$$

که در آن، ETp: تبخیر و تعرق گیاه بدون ملاحظه درصد سایه‌انداز و Ps: درصد سایه‌انداز گیاه است. با اعمال ضرایب ۰/۸ و ۰/۶ و همچنین راندمان آبیاری ۹۰ درصد، میزان نیاز آبی روزانه محاسبه و با توجه به دور آبیاری و نیز مساحت هر کرت، حجم آب آبیاری مورد نیاز هر تیمار محاسبه و از طریق تنظیم با کنتور و شیرفلکه در هر بار آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت. آبیاری با استفاده از لوله‌های تیپ با ضخامت جدار لوله ۳۰۰ میکرون، خروجی‌هایی با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و آب‌دهی چهار لیتر در ساعت در واحد متر صورت گرفت. اعمال تیمارهای آبیاری در زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها و از مرحله هشت برگی آغاز شد.

با توجه به نتایج تجزیه خاک، جهت تأمین نیاز کودی گیاه، کودهای سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) هم‌زمان با کاشت و کود اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سه نوبت زمان کاشت، رشد رویشی و مرحله گل‌دهی مورد استفاده قرار گرفتند.

همچنین از هیچ‌گونه علف‌کش و آفت‌کشی در طول دوره رشد گیاه استفاده نشد و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت گرفت.

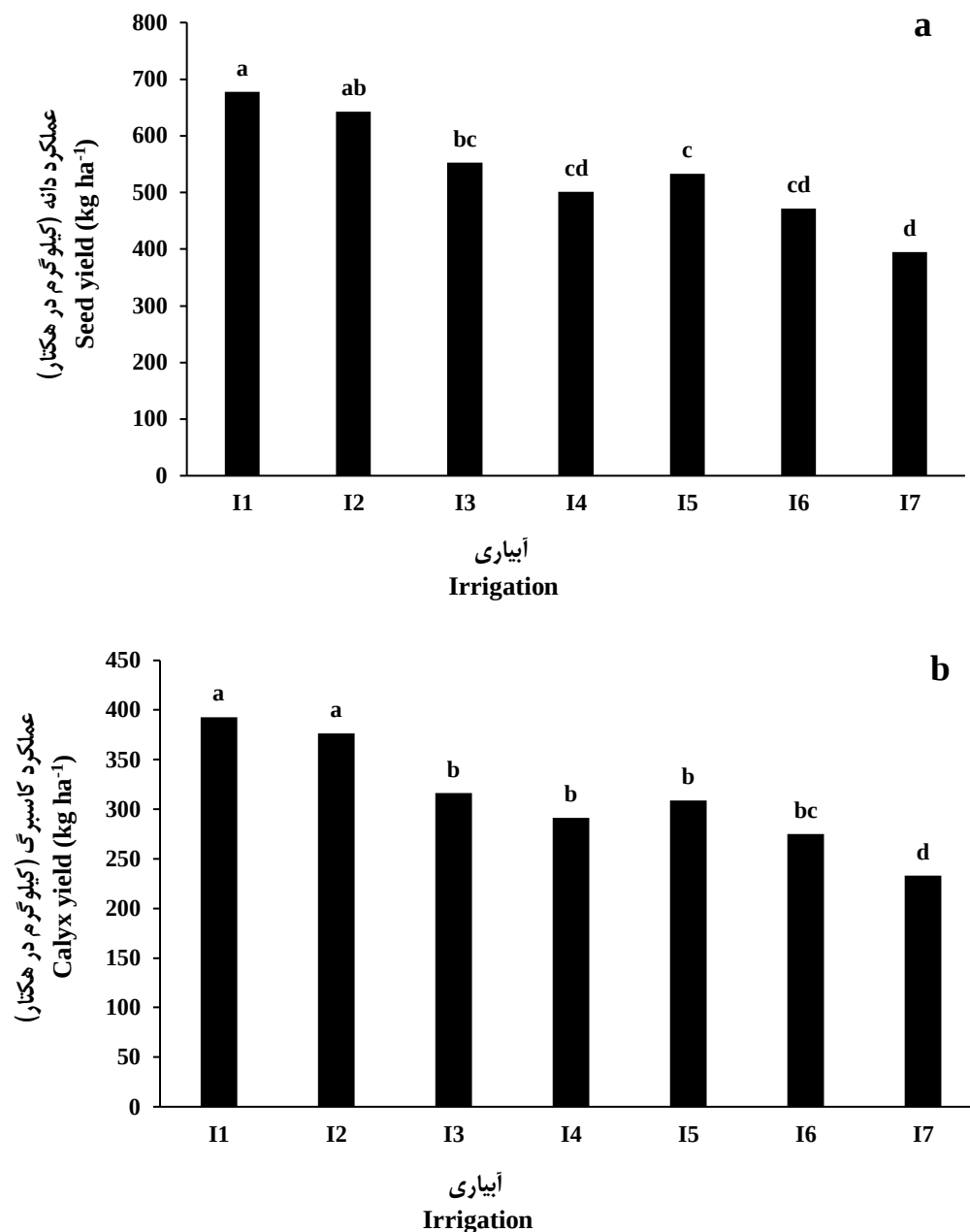
پس از پایان دوره رشد گیاه در اواسط مهر ماه، جهت اندازه‌گیری عملکرد کاسبرگ، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت از سطحی معادل دو متر با حذف اثر حاشیه‌ای برداشت و بعد از خشک

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر آبیاری و روش کاشت بر ویژگی‌های کمی چای ترش
Table 2- Analysis of variance for effects of irrigation and planting method on quantitative traits of roselle

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		عملکرد دانه Seed yield	عملکرد کاسبرگ Sepal yield	عملکرد زیست توده Biologic yield	شاخص برداشت دانه Seed harvest index	شاخص برداشت کاسبرگ Sepal harvest index	شاخص برداشت کاسبرگ Sepal harvest index
سال Year	1	112.68 ns	478.97 ns	11270.58 ns	0.01 ns	0.01 ns	0.01 ns
سال × تکرار Year × replication	4	11163.47	100.53	559409.23	0.16	0.16	0.43
آبیاری Irrigation	6	681161.82**	37452.68**	24507129.03**	1.67*	1.67*	0.49*
سال × آبیاری Year × irrigation	6	6503.90ns	318.97ns	12020.58ns	0.30ns	0.30ns	0.18ns
خطای a Error a	24	31503.77	359.75	96017.74	0.26	0.26	0.16
روش کاشت Planting method	1	6444.36ns	2982.86ns	92203.44 ns	1.94 ns	1.94 ns	0.32 ns
سال × روش کاشت Year × planting method	1	1066.07ns	284.21ns	11270.58ns	0.22ns	0.22ns	0.32ns
آبیاری × روش کاشت Irrigation × planting method	6	6826.19	372.68 ns	413249.88**	0.40 ns	0.40 ns	0.47 ns
سال × آبیاری × روش کاشت Year × irrigation × planting method	6	6641.07ns	327.25ns	12020.58ns	0.27ns	0.27ns	0.16ns
خطای b Error b	28	1876.82	412.16	102699.888	0.30	0.30	0.27
ضریب تغییرات C.V (%)	-	8.0	6.5	2.9	6.5	6.5	10.3

* و **: به ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد، ns غیر معنی‌دار

* and **: are significant at 5 and 1% probability levels, ns: Non-significant



شکل ۲- اثر آبیاری بر (a) عملکرد دانه و (b) کاسبرگ چای ترش

Figure 2- Effect of irrigation on a) seed and b) sepal yield of roselle

I1: آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، I2: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگگی تا اواخر گل‌دهی، I3: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگگی تا ابتدای گل‌دهی، I4: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی، I5: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگگی تا اواخر گل‌دهی، I6: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگگی تا ابتدای گل‌دهی، I7: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

I1: 100% crop water requirement (CWR), I2: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I3: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I4: 80% CWR from beginning to end of flowering, I5: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I6:

60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I7: 60% CWR from beginning to end of flowering.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

عملکرد دانه چای ترش تحت تأثیر آبیاری ($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر آبیاری نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه کاهش یافت، به طوری که بیشترین عملکرد دانه (۶۶۷/۵۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری کامل به دست آمد که با تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل دهی اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۲). در تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل دهی به دلیل سازگار شدن گیاه به شرایط ایجاد شده، کم آبیاری نتوانست باعث کاهش معنی دار عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم تنش گردد. تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل دهی نیز کمترین عملکرد دانه (۳۹۵/۲۸ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (شکل ۲-ا). به طور کلی، می توان گفت که میزان تأثیر تنش خشکی بستگی به مرحله نمو دارد و بیشترین کاهش عملکرد زمانی است که تنش خشکی در فاصله گل دهی تا پر شدن دانه اتفاق می افتد (Skoric, 2009). به نظر می رسد که تنش کمبود آب در مرحله دانه بندی سبب سقط جنین شده که در نتیجه، باعث کاهش تعداد و وزن آن ها و در نهایت، کاهش عملکرد دانه می گردد.

عملکرد کاسبرگ

عملکرد خشک کاسبرگ تنها تحت تأثیر آبیاری ($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۲). با توجه به همبستگی مثبت و معنی دار ($r = 0.98^{**}$) عملکرد دانه با عملکرد کاسبرگ (جدول ۵) روند تغییر کاهش عملکرد کاسبرگ با اعمال تنش خشکی مشابه روند تغییر عملکرد دانه به دست آمد، به گونه ای که بیشترین عملکرد کاسبرگ (۳۹۲/۷۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل حاصل شد که اختلاف معنی داری با تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل دهی نداشت و کمترین میزان عملکرد کاسبرگ (۲۳۲/۹۳ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل دهی حاصل شد (شکل ۲-ب). سنجری میجانی و همکاران (Sanjari Mijani et al., 2018) نیز با بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد چای ترش نشان داد که بیشترین عملکرد کاسبرگ در تیمار عدم تنش و کمترین میزان آن از تیمار تنش شدید خشکی حاصل شد. کاهش عملکرد گیاه در شرایط خشکی می تواند به علت کاهش سطح فتوسنتز کننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالا بردن غلظت شیره سلولی و تغییر در مسیرهای تنفسی باشد (Saud et al., 2016).

عملکرد زیست توده

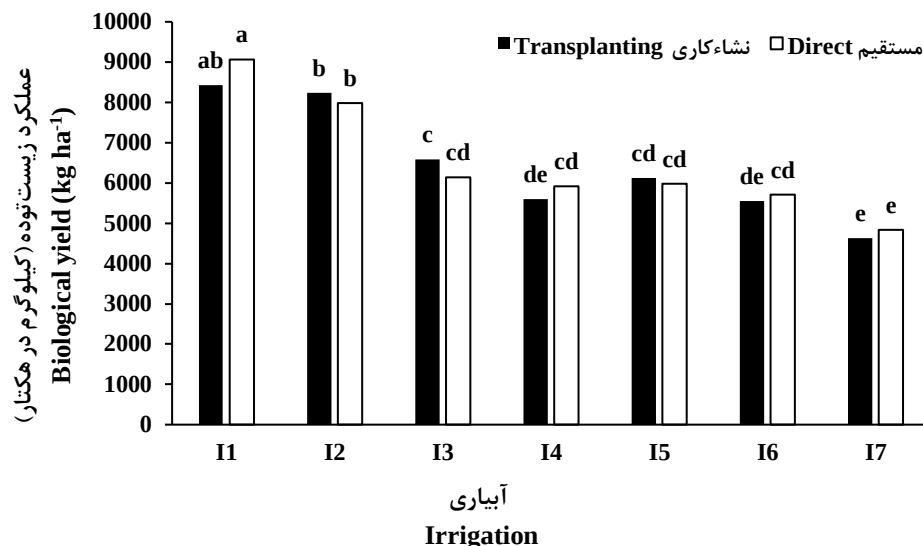
عملکرد زیست توده تحت تأثیر آبیاری ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل آبیاری و روش کاشت ($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین عملکرد زیست توده از تیمار آبیاری کامل و روش کشت مستقیم (۹۰۶۴/۳۳ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که اختلاف معنی داری با تیمار آبیاری کامل و روش کاشت نشایی نداشت (شکل ۳) و کمترین عملکرد زیست توده (۴۶۳۷/۶۷ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل دهی و روش کشت نشایی حاصل شد که اختلاف معنی داری با تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل دهی و روش کشت مستقیم نداشت (شکل ۳). در مطالعه یزدان پناه (Yazdan Panah, 2016) نیز بیشترین عملکرد زیست توده چای ترش با آبیاری در سطح ۶۰ درصد تبخیر و تعرق از گیاه مرجع به دست آمد و با افزایش سطح تبخیر و تعرق از گیاه مرجع، عملکرد زیست توده به طور معنی داری کاهش یافت. در هیچ یک از تیمارهای آبیاری، بین دو روش کاشت از نظر عملکرد زیست توده اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل ۳).

شاخص برداشت دانه و کاسبرگ

شاخص برداشت دانه و کاسبرگ تحت تأثیر آبیاری ($p \leq 0.05$) قرار گرفتند (جدول ۲). با این وجود، تنها تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل دهی اختلاف معنی داری با سایر تیمارها نشان داد، به طوری که کمترین میزان شاخص برداشت دانه (۷/۸۵ درصد) و کاسبرگ (۴/۵ درصد) در این تیمار حاصل شد (شکل ۴). با توجه به وجود همبستگی مثبت و معنی دار بین عملکرد زیست توده با عملکرد دانه ($r = 0.91^{**}$) و کاسبرگ ($r = 0.91^{**}$) (جدول ۵)، همان طور که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد کاسبرگ و دانه می گردد، عملکرد زیست توده نیز کم می شود. با این وجود، تنش شدید موجب کاهش بیشتر عملکرد دانه و کاسبرگ نسبت به عملکرد زیست توده شده است، چرا که همبستگی مثبت و معنی دار مشاهده شده بین شاخص برداشت دانه و کاسبرگ به ترتیب با عملکرد دانه ($r = 0.79^{**}$) و کاسبرگ ($r = 0.77^{**}$) بیشتر از عملکرد زیست توده ($r = 0.48^{**}$) برای شاخص برداشت دانه و $r = 0.44^{**}$ برای شاخص برداشت کاسبرگ بود (جدول ۵). به نظر می رسد که در بقیه تیمارهای آبیاری، میزان کاهش در عملکرد دانه و کاسبرگ با افزایش تنش خشکی متناسب با کاهش ایجاد شده در عملکرد زیست توده بوده است که منجر به تفاوت معنی دار بین این تیمارها نشده است (شکل ۴). در حالت تنش خشکی شدید، گیاه از طریق افزایش غلظت شیره سلولی از انتقال مؤثر فرآورده های فتوسنتزی به مخزن هایی نظیر کپسول ها ممانعت به عمل می آورد. با توجه به میزان عملکرد زیست توده در شرایط آبیاری مطلوب و همچنین کم بودن آن

آن‌ها به مخازن مهم‌تری نظیر کپسول‌ها عاجز است (Sanjari, Mijani, 2014).

در شرایط تنش کم‌آبی (شکل ۳) می‌توان اذعان داشت که در حالت دوم، گیاه سهم قابل توجهی از فرآورده‌های فتوسنتزی خود را صرف ساخت و تشکیل اندام‌های رویشی نموده و تا حدی نسبت به انتقال



شکل ۳- اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر عملکرد زیست‌توده چای ترش

Figure 3- Interaction effect between irrigation and planting method on biological yield of roselle

I1: آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، I2: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل‌دهی، I3: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا ابتدای گل‌دهی، I4: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی، I5: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل‌دهی، I6: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا ابتدای گل‌دهی، I7: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

I1: 100% crop water requirement (CWR), I2: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I3: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering I4: 80% CWR from beginning to end of flowering, I5: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I6: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I7: 60% CWR from beginning to end of flowering.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

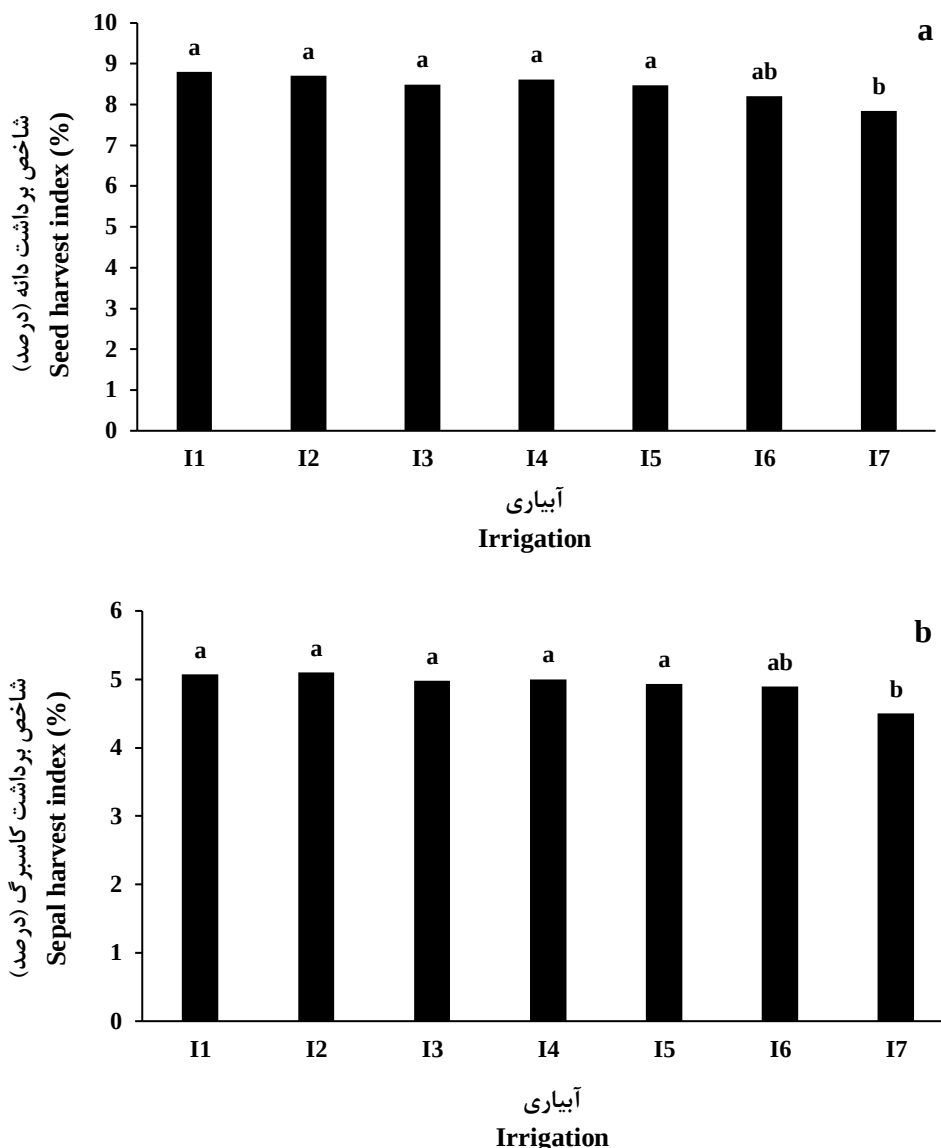
ویتامین ث

نتایج نشان داد که اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر ویتامین ث کاسبرگ معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان ویتامین ث ($32/35$ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) از تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی و روش کشت مستقیم و کمترین میزان آن ($17/83$ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) در شرایط آبیاری کامل و روش نشاکاری حاصل شد (جدول ۴). با این وجود، در مطالعه پارسا مطلق و همکاران (Parsa, Motlagh, Moghaddam, Ghorbani, & Sardooei, 2018) ویتامین ث کاسبرگ تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری قرار نگرفت. از جمله تغییرات در گیاهان به‌عنوان پیام‌آور حضور تنش و مقابله با آن، افزایش سطوح آنتی‌اکسیدان مختلف است. ویتامین ث از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است که از تخریب بافت‌ها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند و میزان آن در شرایط خشکی در جهت کاهش

اثرات مخرب تنش افزایش می‌یابد (Valizadeh Ghalebig, Nemati, Tehranifar, & Emami, 2015). بیشتر بودن میزان ویتامین ث در اعمال تنش از اوایل تا اواخر گل‌دهی نسبت به زمان‌های دیگر حاکی از حساسیت مرحله زایشی به تنش خشکی است. در اکثر تیمارهای آبیاری، نشاکاری سبب کاهش میزان ویتامین ث کاسبرگ گردید، هرچند این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۴). این امر می‌تواند به تفاوت در زمان استقرار گیاه در خاک و همچنین شوک وارد شده به گیاه در نتیجه تغییر محیط مربوط باشد. علاوه بر این، تغییر مراحل فنولوژی گیاه در نتیجه نشاکاری می‌تواند باعث تغییر شرایط محیطی مانند طول روز، رطوبت نسبی و تنش گرمایی در فصل رشد شود که در نهایت، بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه مؤثر است (Aghaee Okhchlar, Amirnia, Tajbakhsh, Ghiyasi, & Fallahi et al., 2017). با این وجود، فلاحی و همکاران (Alizadeh, 2012) در مطالعه‌ای روی گیاه چای ترش نشان دادند که

کاسبرگ داشت، به طوری که با افزایش عملکرد کاسبرگ ویتامین ث آن کاهش یافت (جدول ۵).

نشاکاری سبب افزایش میزان ویتامین ث کاسبرگ گردید. ویتامین ث کاسبرگ همبستگی منفی و معنی داری ($r = -0.43^{**}$) با عملکرد



شکل ۴- اثر آبیاری بر شاخص برداشت (a) دانه و (b) کاسبرگ چای ترش

Figure 4- Effect of irrigation on a) seed and b) sepal harvest index of roselle

I1: آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، I2: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل دهی، I3: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا ابتدای گل دهی، I4: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل دهی، I5: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل دهی، I6: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا ابتدای گل دهی، I7: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل دهی.

میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

I1: 100% crop water requirement (CWR), I2: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I3: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering I4: 80% CWR from beginning to end of flowering, I5: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I6 : 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I7: 60% CWR from beginning to end of flowering.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر آبیاری و روش کاشت بر ویژگی‌های کیفی چای ترش

Table 3- Analysis of variance for effects of irrigation and planting method on qualitative traits of roselle

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares				
		ویتامین ث Vitamin C	آنتوسیانین Anthocyanin	فنل کل Total phenol	پروتئین دانه Seed protein	روغن دانه Seed oil
سال Year	1	21.17 ns	0.0079 ns	14.92 ns	9.66 ns	0.70 ns
سال × تکرار Year × replication	4	1.35	0.0053	41.31	9.42	0.26
آبیاری Irrigation	6	212.09**	0.0818**	811.30**	144.64**	33.00**
سال × آبیاری Year × irrigation	6	0.00 ns	0.0006 ns	0.76 ns	0.41 ns	0.30 ns
خطای a Error a	24	3.21	0.0021	1.61	0.30	0.53
روش کاشت Planting method	1	13.02*	0.0213 ns	155.26 ns	7.07 ns	2.75 ns
سال × روش کاشت Year × planting method	1	0.01 ns	0.0008 ns	1.36 ns	0.11 ns	0.27 ns
آبیاری × روش کاشت Irrigation × planting method	6	2.95**	0.0022 ns	26.74**	2.59**	2.82**
سال × آبیاری × روش کاشت Year × irrigation × planting method	6	0.01 ns	0.0008 ns	0.47 ns	0.25 ns	0.31 ns
خطای b Error b	28	3.03	0.0010	1.22	0.63	0.38
ضریب تغییرات (%) C.V	-	6.8	10.4	3.8	3.3	3.6

* و **: به ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیر معنی‌دار

* and **: are significant at 5 and 1% probability levels, ns: Non-significant

۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر مشاهده گردید. همچنین پارسا مطلق و همکاران (Parsa Motlagh et al., 2018) اظهار داشتند که بیشترین مقدار آنتوسیانین در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد. آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های محلول در آب و متعلق به خانواده فلاونوئیدها هستند که به‌عنوان گیرنده‌های رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند. این رنگدانه‌ها در شرایط تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی و درجه حرارت پایین افزایش یافته و گیاه را در برابر رادیکال‌های آزاد و تنش اکسیداتیو محافظت می‌کنند (Tahkokorpi, 2010). این افزایش به‌علت نقش حفاظت نوری آنتوسیانین به‌وسیله حذف مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن در طول تنش اکسیداتیو می‌باشد (Zhang et al., 2010). تصور بر این است که در شرایط تنش خشکی، تولید مواد مؤثره به‌دلیل جلوگیری از اکسیداسیون درون سلولی افزایش می‌یابد (Omid Beygi & Mahmoudi, 2000). روند تغییرات مشاهده‌شده در میزان آنتوسیانین کاسبرگ (شکل ۵) دقیقاً عکس روند تغییرات عملکرد کاسبرگ (شکل ۲) بود. همبستگی منفی و معنی‌دار بین میزان آنتوسیانین کاسبرگ با عملکرد آن ($r = -0.88^{**}$) مؤید این امر می‌باشد (جدول ۵).

همان‌طور که بیان شد، میزان ویتامین ث با افزایش تنش خشکی افزایش و عملکرد کاسبرگ کاهش یافت، این امر موجب گردید که رابطه منفی و معنی‌داری بین ویتامین ث کاسبرگ و عملکرد آن مشاهده گردد. در شرایط تنش، گیاهان مقدار زیادی از مواد فتوسنتزی خود را صرف سنتز آسیمولیت‌هایی نظیر پرولین و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر ویتامین ث و آنتوسیانین می‌کنند که کاهش عملکرد را به دنبال دارد.

آنتوسیانین

نتایج نشان داد که آنتوسیانین تحت تأثیر آبیاری ($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان آنتوسیانین (۰/۴۵ میکرومول بر گرم) از تیمار آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی و کمترین میزان آن (۰/۲۳ میکرومول بر گرم) در تیمار آبیاری کامل حاصل شد (شکل ۵). سنجری میجانی و همکاران (Sanjari Mijani, Sirousmehr, & Fakheri, 2015) نیز نشان دادند که بیشترین میزان آنتوسیانین در آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر کلاس A و کمترین مقدار نیز در تیمار آبیاری پس از

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر ویژگی‌های کیفی چای ترش

تیمار Treatment	روش کاشت	ویتامین C (mg 100 ml ⁻¹)	فنل کل Total phenol (mg g dry weight ⁻¹)	پروتئین دانه Seed protein (%)	روغن دانه Seed oil (%)
11	نشاکی مستقیم	17.83 g	18.01 f	20.68 fg	21.25 a
	Direct	19.60 fg	19.33 ef	20.13 g	18.85 b
12	نشاکی مستقیم	25.68 cde	20.42 ef	22.38 efg	18.25 bc
	Direct	26.10 cde	21.93 e	22.70 def	18.08 bc
13	نشاکی مستقیم	28.01 abcd	27.24 d	24.09 cde	17.42 bcd
	Direct	29.27 abc	28.05 d	23.94 cde	17.05 cd
14	نشاکی مستقیم	31.59 ab	35.11 b	26.07 bc	17.12 cd
	Direct	32.35 a	34.99 b	26.00 bc	16.69 cd
15	نشاکی مستقیم	23.96 def	19.93 ef	20.63 fg	17.75 bcd
	Direct	22.72 efg	28.33 d	21.72 fg	18.39 bc
16	نشاکی مستقیم	23.57 def	32.14 c	24.72 bcd	16.07 de
	Direct	24.73 cde	37.23 b	26.63 b	16.22 de
17	نشاکی مستقیم	26.18 cde	39.97 a	29.82 a	14.81 e
	Direct	27.57 bcde	41.96 a	31.32 a	14.85 e

۱: آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۲: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل‌دهی، ۳: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل‌دهی، ۴: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی، ۵: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل‌دهی، ۶: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل‌دهی، ۷: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

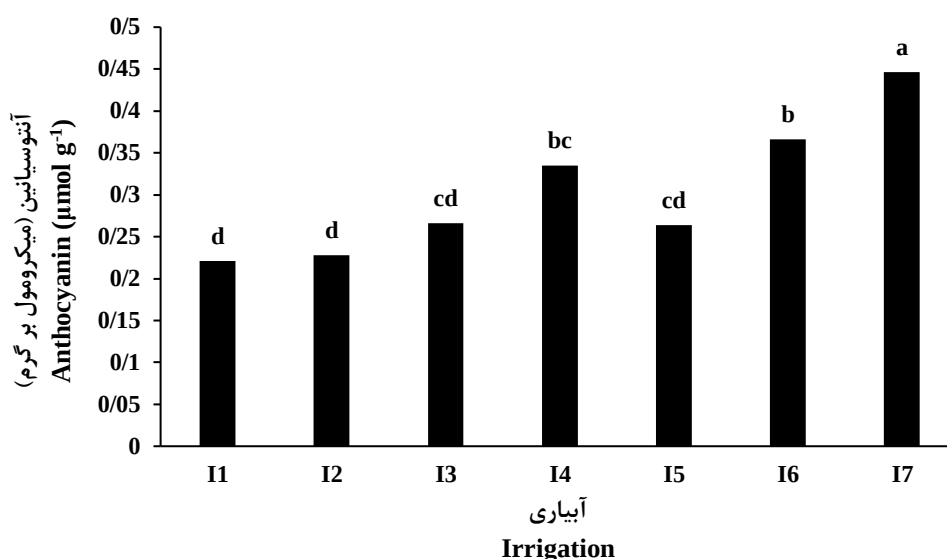
I₁: 100% crop water requirement (CWR), I₂: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I₃: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I₄: 80% CWR from beginning to end of flowering, I₅: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I₆: 60% CWR from beginning to end of flowering, I₇: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های مورد مطالعه
Table 5- Correlation coefficients between studied traits

	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد کاسبرگ Sepal yield	عملکرد زیست‌توده Biological yield	شاخص برداشت دانه Seed harvest index	شاخص برداشت کاسبرگ Sepal harvest index	ویتامین C Vitamin C	آنتوسیانین Anthocyanin	فنل کل Total phenol	پروتئین دانه Seed protein	روغن دانه Seed oil
عملکرد دانه Seed yield	1									
عملکرد کاسبرگ Sepal yield	0.983**	1								
عملکرد زیست‌توده Biological yield	0.910**	0.912**	1							
شاخص برداشت دانه Seed harvest index	0.794**	0.754**	0.478**	1						
شاخص برداشت کاسبرگ Sepal harvest index	0.730**	0.769**	0.444**	0.903**	1					
ویتامین C Vitamin C	-0.410**	-0.427**	-0.482**	-0.145	-0.168	1				
آنتوسیانین Anthocyanin	-0.891**	-0.882**	-0.770**	-0.788**	-0.747**	0.317**	1			
فنل کل Total phenol	-0.857**	-0.868**	-0.861**	-0.598**	-0.592**	0.535**	0.863**	1		
پروتئین دانه Seed protein	-0.781**	-0.794**	-0.753**	-0.616**	-0.622**	0.518**	0.829**	0.916**	1	
روغن دانه Seed oil	0.891**	0.885**	0.786**	0.747**	0.712**	-0.511**	-0.808**	-0.795**	-0.787**	1

* و **: به ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد
* and **: are significant at 5 and 1% probability levels



شکل ۵- اثر آبیاری بر میزان آنتوسیانین چای ترش

Figure 5- Effect of irrigation on Anthocyanin of roselle

I1: آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، I2: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل دهی، I3: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا ابتدای گل دهی، I4: آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل دهی، I5: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل دهی، I6: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا ابتدای گل دهی، I7: آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل دهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

I1: 100% crop water requirement (CWR), I2: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I3: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering I4: 80% CWR from beginning to end of flowering, I5: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, I6: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, I7: 60% CWR from beginning to end of flowering.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

فنل کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل آبیاری با روش کاشت بر فنل کل کاسبرگ معنی دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۳). به‌طوری که بیشترین میزان ترکیبات فنلی (۴۱/۹۶ میلی گرم بر گرم وزن خشک) از تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل دهی و روش کشت مستقیم و کمترین میزان (۱۸/۰۱ میلی گرم بر گرم وزن خشک) از تیمار آبیاری کامل و روش کشت نشایی حاصل شد (جدول ۴). افزایش میزان فنل کل گیاه دارویی با افزایش شدت تنش در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Zare Mehrjerdi, Bagheri, Bahrani, Nabati, & Massomi, 2012; Pidavos & Heidari, 2013; Sayyadi, Ahmadi, Asghari, & Hosseini, 2014). کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان در شرایط تنش خشکی موجب تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آن‌ها می‌گردد (Good & Zaplachinski, 1994). بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه علاوه بر تأثیرپذیری از ژنتیک گیاه، با توجه به شرایط محیطی تغییر می‌یابد، به‌طوری که شرایط تنش جهت جلوگیری از اکسیداسیون سلولی سبب افزایش بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه می‌گردد (Aliabadi-Farahani, Valadabadi, Daneshian, 2014).

(Khalvati, 2009). در اکثر سطوح آبیاری، نشاکاری سبب کاهش

میزان فنل کل کاسبرگ گردید، با این وجود تنها در سطح آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا اواخر گل دهی و آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگ تا ابتدای گل دهی، این کاهش معنی دار بود (جدول ۴). بالین حال، فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2017) بیان داشتند که روش کشت نشایی سبب افزایش معنی دار فنل کل کاسبرگ گیاه چای ترش گردید. تفاوت مشاهده شده بین دو روش کاشت در این مطالعه می‌تواند به دلیل تفاوت در روابط آب بین گیاه و خاک و همچنین تفاوت در زمان وقوع مراحل فنولوژی گیاه باشد.

پروتئین دانه

پروتئین دانه تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری با روش کاشت ($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۳)، به‌طوری که بیشترین میزان پروتئین دانه (۳۱/۳۲ درصد) از تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل دهی و روش کشت مستقیم و کمترین میزان آن (۲۰/۱۳ درصد) از تیمار آبیاری کامل و روش کشت مستقیم حاصل شد (جدول ۴). افزایش تنش خشکی تا ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر

گل‌دهی در هر دو روش کاشت سبب افزایش میزان پروتئین دانه گردید و بعد از آن کاهش یافته و در سطح آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی مجدد افزایش یافت (جدول ۴). رئیسی (Raeisi, 2009) نیز نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی تا حد تنش متوسط، درصد پروتئین دانه چای ترش افزایش و پس از آن کاهش یافت. تغییر در میزان پروتئین گیاه در شرایط تنش خشکی به نوع گونه گیاهی و نوع بافت بستگی دارد. بالین‌حال، میرشکاری و همکاران (Mirshekari, Einali, & Valizadeh, 2017) نیز افزایش معنی‌دار غلظت پروتئین‌های برگ گیاه چای ترش را در پتانسیل‌های اسمزی منفی تر از -0.1 مگاپاسکال در مقایسه با شاهد گزارش نمودند. از آنجایی که شرایط محیطی نامساعد می‌تواند بیان پروتئین‌هایی را موسوم به پروتئین‌های تنش القاء کند که نقش آن‌ها محافظت از سلول‌ها در برابر تنش‌های محیطی است (Bray, 1993)، افزایش غلظت پروتئین دانه با افزایش تنش می‌تواند به بیان برخی از پروتئین‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت داده شود. نتایج نشان داد که روش کشت نشایی نتوانست تأثیر معنی‌دار بر میزان پروتئین دانه در سطوح آبیاری داشته باشد (جدول ۴).

روغن دانه

اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر روغن دانه معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین میزان روغن دانه ($21/25$ درصد) در تیمار آبیاری کامل و روش کشت نشایی و کمترین میزان ($14/85$ درصد) از تیمار آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی و روش کشت نشایی حاصل شد (جدول ۴). نشاکاری تنها در شرایط آبیاری کامل نتوانست سبب افزایش معنی‌دار میزان روغن دانه گردد، در صورتی که در سطوح دیگر آبیاری بین دو روش کشت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). اینانلو و همکاران (Inanlo, Omid, & Pazoki, 2013) در مطالعه‌ای روی گیاه خرفه (*Portula caoleracea* L.) و پارسا مطلق و همکاران (Parsa

Motlagh et al., 2018) در مطالعه‌ای روی گیاه چای ترش، کاهش درصد روغن را با افزایش تنش خشکی گزارش نمودند. تنش خشکی باعث بسته شدن روزنه‌ها، کاهش میزان فتوسنتز، کاهش تولید کربوهیدرات شده و با کاهش طول دوره رشد، فرصت کافی برای سنتز روغن وجود نداشته و در نتیجه، میزان روغن دانه کاهش می‌یابد. این میزان کاهش زمانی که تنش خشکی در دوره گل‌دهی گیاه اتفاق بیفتد، بیشتر خواهد بود (Kalantar Ahmadi & Dezfouli, 2019). روغن دانه همبستگی منفی و معنی‌داری با ویتامین ث ($r = -0.51^{**}$)، آنتوسیانین ($r = -0.81^{**}$) و فنل کل ($r = -0.79^{**}$) و پروتئین دانه ($r = -0.79^{**}$) داشت.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که آبیاری کمتر از نیاز آبی این گیاه سبب تأثیر منفی بر عملکرد زیست‌توده، دانه و کاسبرگ چای ترش و بهبود ویتامین ث، آنتوسیانین و فنل کل کاسبرگ و پروتئین دانه در هر دو روش کاشت گردید. میزان این تأثیر با توجه به مرحله رشدی گیاه متفاوت بود، با این وجود اختلاف معنی‌داری در عملکرد دانه و کاسبرگ به‌دست‌آمده در تیمار آبیاری کامل و آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی وجود نداشت و بیشترین تأثیر در زمان اعمال کم آبیاری در مرحله حساس رشدی گیاه یعنی اوایل تا اواخر گل‌دهی مشاهده شد. همچنین نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن بود که روش کشت نشایی نتوانست سبب بهبود معنی‌دار ویژگی‌های مورد مطالعه در سطوح مختلف آبیاری نسبت به روش کشت مستقیم شود. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، به نظر می‌رسد که آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی چای ترش راهکار مناسب جهت دستیابی به عملکرد کمی و کیفی قابل قبول و حفظ منابع آبی باشد.

References

1. Aghaee Okhchlar, R., Amirnia, R., Tajbakhsh, M., Ghiyasi, M., & Alizadeh, M. B. (2012). The effect of sowing date and sowing method on quantity characteristics and essential oil content in Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(2), 353-361.
2. Akbarinia, A., Ghalavand, A., Sefidcon, F., Rezaee, M. B., & Sharifi, A. (2004). Study on the effect of different rates of chemical fertilizer, manure and mixture of them on seed yield and main, compositions of essential oil of Ajowan (*Trachyspermum copticum*). *Agronomy and Horticulture*, 61, 32-41. (in Persian with English abstract).
3. Al-Farsi, M., Alsavar, C., Morris, A., Baron, M., & Shadih, F. (2005). Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53, 7592-7599. <https://doi.org/10.1021/jf050579q>
4. Aliabadi-Farahani, H., Valadabadi, S. A., Daneshian, J., & Khalvati, M. A. (2009). Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Medicinal Plant Research*, 3, 329-333.
5. AOCS (American Oil Chemist's Society). (2005). Official methods and recommended practices of the American oil chemist's Society, 5th Ed, Ba 6-84. The American Oil Chemist's Society Champaign.

6. Arya, S. P. N. (2000). Spectrophotometric methods for the determination of vitamin C. *Analytica Chimica Acta*, 417, 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)00909-0](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)00909-0)
7. Aziz, E. E., Gad, N., & Badran, M. N. (2007). Effect of cobalt and nickel on plant growth, yield and flavonoids content of *Hibiscus sabdariffa* L. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(2), 73-78.
8. Bray, E. A. (1993). Molecular responses to water deficit. *Plant Physiology*, 103, 1035-1040. <https://doi.org/10.1104/pp.103.4.1035>
9. Dehghani, M., Jafar Aghaei, M., & Mohammadi Kia, S. (2014). Effect of cotton transplanting on its yield and water use efficiency. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(2), 307-314. (in Persian with English abstract).
10. Ebrahimzadeh Abdashti, R., Galavi, M., & Ramroudi, M. (2016). Effect of organic and chemical fertilizers on some quantitative traits and anthocyanin of roselle under Zabol conditions. *Journal of Horticultural Science*, 30(2), 169-177. (in Persian with English abstract).
11. EL-Boraie, F. M., Gaber, A. M., & Abdel-Rahman, G. (2009). Optimizing irrigation schedule to maximize water use efficiency of *Hibiscus sabdariffa* under Shalatieon condition. *Word Journal of Agricultural Science*, 5(4), 505-514.
12. Evans, D., & Al-Hamdani, S. (2015). Selected physiological responses of resellet (*Hibiscus sabdariffa*) to drought stress. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 3(6), 500-507. [https://doi.org/10.18006/2015.3\(6\).500.507](https://doi.org/10.18006/2015.3(6).500.507)
13. Fallahi, H. R., Ghorbany, M., Aghhavani-Shajari, M., Samadzadeh, A., & Asadian, A. H. (2017). Qualitative response of roselle to planting methods, humic acid application, mycorrhizal inoculation and irrigation management. *Journal of Crop Improvement*, 31(2), 192-208. <https://doi.org/10.1080/15427528.2016.1269378>
14. Good, A. G., & Zaplachinski, S. T. (1994). The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum*, 90(1), 9-14. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02185.x>
15. Greets, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry area. *Agricultural Water Management*, 96, 1275-1284. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>
16. Inanlo, M., Omidi, H., & Pazoki, A. (2013). The agronomic changes and oil content of purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and bio-fertilizer/ nitrogen chemical. *Journal of Medicinal Plants*, 48, 170-184.
17. Kalantar Ahmadi, S. A., & Shoushi Dezfouli, A. A. (2019). Effects of foliar application of micronutrients on seed yield and oil quality of canola (*Brassica napus* L. cv. Hyola401) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(3), 237-253. (in Persian with English abstract).
18. Latif, S., & Anwar, F. (2008). Quality assessment of *Moringa concanensis* seed oil extracted through solvent and aqueous enzymatic techniques. *Grasas Aceites*, 59, 67-73. <https://doi.org/10.3989/gya.2008.v59.i1.493>
19. Metzger, M. J., Bunce, R. G., Jongman, R. H., Sayre, R., Trabucco, A., & Zomer, R. (2012). A high-resolution bioclimate map of the world: A unifying framework for global biodiversity research and monitoring. *Global Ecology and Biogeography*, 22(5), 630-638. <https://doi.org/10.1111/geb.12022>
20. Mirshekari, M., Einali, A., & Valizadeh, J. (2017). Physiological and biochemical response of *Hibiscus sabdariffa* to drought stress in the presence of salicylic acid. *Iranian Journal of Plant Biology*, 32, 20-38. (in Persian with English abstract).
21. Mohamad Zade, H., Asghary, J., Farajee, H., Moradi, A., & Majidian, M. (2018). Effect of planting date and method on ear yield, water use efficiency and some phenological characteristics of sweet corn in Yasouj. *Cereal Research*, 8(3), 371-385. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22124/c.2018.8910.1358>
22. Mohamed, R., Fernandez, J., Pineda, M., & Aguilar, M. (2007). Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) seed oil is a rich source of γ -tocopherol. *Journal of Food Science*, 72(3), S207-S211. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00285.x>
23. Nazari Khalaflo, N. (2018). Effect of light and potassium intensity, on growth and same physiological characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). M.Sc. Thesis, Shahed University, Tehran. Iran. p. 73. (in Persian with English abstract).
24. Omid Beygi, R., & Mahmoudi Sourestani, M. (2010). Effect of water stress on morphological traits, essential oil content and yield of anise hyssop (*Agastache foeniculum* [pursh] Kuntze). *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 41(2), 153-161. (in Persian with English abstract).
25. Parsa Motlagh, B. P., Moghaddam, R., Ghorbani, R., & Sardooei, Z. A. (2018). Phytochemical characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under different fertilizer systems and irrigation water. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(6), 928-939. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.108446.1896>
26. Wong, P., Yusof, S., Ghazali, H. M., & Man, Y. B. (2002). Physico-chemical characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 32, 68-73. <https://doi.org/10.1108/00346650210416994>
27. Pidavos, Z., & Heidari, R. (2013). The effect of drought stress on activity antioxidant and total phenol on *Echium amoenum* Mey & Fisch. Second National Conference on Climate Change and Its Impact on Agriculture and the Environment, West Azerbaijan Province Research Center for Agriculture and Natural Resources, Urmia, Iran. (in

- Persian).
28. Prasongwatana, V., Woottisin, S., Sriboonlue, P., & Kukongviriyapan, V. (2008). Uricosuric effect of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) in normal and renal-stone former subject. *Journal of Ethnopharmacology*, 117, 491-495. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.02.036>
 29. Raeisi, M. (2009). Investigating the effects of different levels of animal manure and drought stress on the quantitative and qualitative yield of Roselle in Jiroft .M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. p. 69. (in Persian with English abstract).
 30. Rahbarian, P., Afsharmanseh, G., & Modafea Behzadi, N. (2011). Effect of drought stress as water deficit and planting density on yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) in Jiroft region. *New Finds in Agriculture*, 5(3), 249-257. (in Persian with English abstract).
 31. Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A. R., & Fakheri, B. (2015). The effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of roselle. *Journal of Crop Improvement*, 17(2), 403-414. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2015.55189>
 32. Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A. R., & Fakheri, B. (2018). The effects of drought stress and humic acid on morphological traits, yield and anthocyanin of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Agroecology*, 8(3), 346-358. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v8i3.35508>
 33. Sanjari Mijani, M. (2014). The effects of drought stress and humic acid on qualitative and quantitative characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. p. 78. (in Persian with English abstract).
 34. Saud, S., Chen, Y., Fahad, S., Hussain, S., Na, L., Xin, L., & Al hussien, S. A. A. F. E. (2016). Silicate application increases the photosynthesis and its associated metabolic activities in Kentucky bluegrass under drought stress and post- drought recovery. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 17647-17655. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6957-x>
 35. Sayyadi, A., Ahmadi, J., Asghari, B., & Hosseini, S. B. (2014). The effects of drought and salinity stress on the phenolic compounds thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Eco-Phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 2(4), 50-61.
 36. Seghatoleslami, M. J., Mosavi, S. G., & Barzegaran, T. (2013). Effect of irrigation levels and planting date on yield and water use efficiency of *Hibiscus sabdariffa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 29(1), 144-156. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2896>
 37. Shaheen, M. A., El-Nakhlawy, F. S., & Al-Shareef, A. R. (2012). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds as unconventional nutritional source. *African Journal of Biotechnology*, 11(41), 9821-9824. <https://doi.org/10.5897/AJB11.4040>
 38. Manzoor Shafi, M., Sohail, A., Ali, S., & Fahad, S. (2020). Effect of planting methods and deficit irrigation on yield and yield components of maize. *Russian Agricultural Sciences*, 46, 56-64. <https://doi.org/10.3103/S1068367420010103>
 39. Skoric, D. (2009). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia*, 32, 1-15. <https://doi.org/10.3103/S1068367420010103>
 40. Tahkokorpi, M. (2010). Anthocyanins under drought and drought related stresses in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). Academic Dissertation to be Presented with the Assent of the Faculty of Science of the University of Oulu, 46 p.
 41. Tahmasebi, S. Z., & Kordi, M. (2001). *Evaluation of cotton transplanting in saline soils*. 10th Australian Agronomy Conference, Australian Society of Agronomy, Hobart, Australia.
 42. Valizadeh Ghalebig, A., Nemat, S. H., Tehranifar, A., & Emami, H. (2015). Effects of A200 superabsorbent, bentonite and water stress on physiological traits and vitamin C of lettuce under greenhouse cultivation. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 6(1), 157-168. (in Persian with English abstract).
 43. Wanger, G. J. (1979). Content and vacuole/ extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin's in protoplast. *Plant Physiology*, 64, 88-93. <https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88>
 44. Yang, Y., Watanabe, M., Zhang, X., Zhang, J., Wang, Q., & Hayashi, S. (2006). Optimizing irrigation management for wheat to reduce groundwater depletion in the piedmont region of the Taihang mountains in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 82, 25-44. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.020>
 45. Yazdan Panah, M. R. (2016). The effect of different levels of irrigation, sowing date and fertilizer management on yield and yield components of hibiscus (*Hibiscus sabdariffa* L.) under Minab conditions. Ph.D. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. p. 84. (in Persian with English abstract).
 46. Zare Mehrjerdi, M., Bagheri, A., Bahrami, A., Nabati, J., & Massomi, A. (2012). Effect of drought stress on photosynthetic characteristics, phenolic compounds and radical scavenging activities in different chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in hydroponic conditions. *Journal of Science and Technology Greenhouse Culture*, 12, 56-76. (in Persian with English abstract).
 47. Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., & Xia, X. J. (2010). Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. *Plant Science*, 179(3), 202-208. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.05.006>



The Effect of Using Salicylic Acid and Sodium Nitroprusside on the Physiological Characteristics of Henna (*Lawsonia inermis* L.) under Drought Stress

F. Chamani¹, H. Farahbakhsh^{1*}, M. N. Alavi¹, A. Pasandi Pour¹

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

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

Received: 06 March 2024
Revised: 09 October 2024
Accepted: 06 September 2024
Available Online: 01 March 2025

How to cite this article:

Chamani, F., Farahbakhsh, H., Alavi, M. N., & Pasandi Pour, A. (2025). The Effect of Using Salicylic Acid and Sodium Nitroprusside on the Physiological Characteristics of Henna (*Lawsonia inermis* L.) under Drought Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(1), 19-30. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87158.1312>

Introduction

Henna (*Lawsonia inermis* L.) is a perennial, dicotyledonous plant native to North Africa and Southeast Asia. This plant is cultivated in tropical regions as an ornamental species and for its dye production (Singh, Luqman, & Mathur, 2015). Drought stress directly affects a range of physiobiochemical and phytochemical processes, as well as molecular responses (Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita, & Basra, 2009; Rady, Belal, Gadallah, & Semida, 2020). Salicylic acid is a phenol-based phytohormone that regulates vital physiological activities within the plant, including water uptake, ion transport, transpiration, and photosynthesis (Klessig, Choi, & Dempsey, 2018). Sodium nitroprusside is a nitric oxide-releasing compound (Farouk & Al-Huqail, 2020). Nitric oxide inhibits free radicals by inducing gene expression and enhancing the activity of antioxidant enzymes, thereby protecting cells from damage caused by abiotic stresses (Ahmad *et al.*, 2016).

Materials and Methods

This experiment was conducted in 2021 on a farm located in Qaleganj City, Kerman Province. The climate of Qaleganj is classified as semi-desert according to the dry amber method. The characteristics of the soil at the test site are detailed in Table 1. The experiment was carried out in the form of split plots based on a randomized complete block design with four replications. The main factor included three levels of irrigation (50%, 75%, and 95% of crop capacity), while the secondary factor involved foliar spraying with growth regulators (control, salicylic acid, sodium nitroprusside, and a combination of salicylic acid and sodium nitroprusside). The seeds of the henna plant (*Lawsonia inermis* L.) were obtained from the Faculty of Agriculture at Bahonar University, Kerman, Iran. The planting date for the henna plant was April 1, and the harvesting date was November 5.

Results and Discussion

The results showed that drought stress caused a decrease in traits such as plant height, leaf area index, and yield. Additionally, drought stress increased traits such as malondialdehyde concentration, ascorbate peroxidase enzyme activity, catalase enzyme activity, and phenylalanine ammonialyase enzyme activity. The application of the combination of salicylic acid and sodium nitroprusside enhanced the leaf surface index, ascorbate peroxidase



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

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87158.1312>

enzyme activity, catalase enzyme activity, and phenylalanine ammonialyase enzyme activity. The highest seed yield from the treatment with the combination of salicylic acid and sodium nitroprusside was 3546.66 kg.ha⁻¹ under irrigation conditions of 95% of crop capacity, while the lowest seed yield, from the treatment without growth regulator application, was 2243.33 kg ha⁻¹ under 50% crop capacity conditions.

Conclusion

When faced with drought stress, the henna plant employs osmotic regulation mechanisms by increasing the accumulation of proline, thereby tolerating water deficit conditions to some extent. Spraying the combination of salicylic acid and sodium nitroprusside resulted in an increase in antioxidant enzymes, leaf surface index, and leaf density per hectare, helping to mitigate the destructive effects of stress. Based on the results of this research, it is recommended to use a salicylic acid and sodium nitroprusside solution under drought stress conditions to maintain performance in henna plants.

Keywords: Antioxidant defense system, Leaf area index, Malondialdehyde, Proline

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۹-۳۰

تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه حنا (*Lowsonia inermis* L.) تحت تنش خشکی

فرامرز چمنی^۱، حسن فرح بخش^{۱*}، مهدی ناصر علوی^۱، امین پسندی پور^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸

چکیده

جهت ارزیابی تأثیرپذیری برخی از صفات فیزیولوژیک و عملکرد گیاه دارویی حنا از محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید تحت شرایط تنش آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شهرستان قلعه گنج استان کرمان در سال زراعی ۱۴۰۰ اجرا گردید. در این آزمایش، عامل اصلی شامل سه سطح آبیاری (۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۹۵ درصد از ظرفیت زراعی) و عامل فرعی شامل محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد (شاهد، اسید سالیسیلیک، سدیم نیتروپروساید، و ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید) بود. در این آزمایش، صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، محتوای پروتئین، غلظت مالون دی‌آلدئید، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، فعالیت آنزیم کاتالاز، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز، و در نهایت، عملکرد برگ گیاه حنا ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش صفاتی مانند ارتفاع بوته (۳۷/۰۴ درصد) و شاخص سطح برگ (۵۰/۱۴ درصد) گیاه حنا شد. همچنین، تنش خشکی سبب افزایش صفاتی نظیر غلظت مالون دی‌آلدئید (۴۵/۹۴ درصد)، فعالیت آنزیم کاتالاز (۵۷/۱۴ درصد) و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (۵۷/۱۴ درصد) گردید. استفاده از ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش صفاتی نظیر شاخص سطح برگ (۱۳/۴۴ درصد)، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۱۳/۶۳ درصد)، فعالیت آنزیم کاتالاز (۱۸/۷۵ درصد)، و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (۲۵ درصد) شد. بیشترین عملکرد برگ در تیمار محلول‌پاشی ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید به‌میزان ۲۹۸۴/۴۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، شاخص سطح برگ، مالون دی‌آلدئید

مقدمه

صورت می‌گیرد (Singh, Luqman, & Mathur, 2015). در پزشکی سنتی، حنا برای درمان مشکلات متنوعی از جمله روماتیسم، برونشیت، اختلالات قاعدگی و هموروئید به کار می‌رود (Farahbakhsh & Pasandi Pour, 2018). خشکی یکی از تنش‌های محیطی است که مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی بوده و ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rouhani, Zamani, & Fotovat, 2015). تنش خشکی مستقیماً بر فرآیندهای فیزیولوژیکی، فیتوشیمیایی و پاسخ‌های مولکولی اثر می‌گذارد (Rady et al., 2020). مهم‌تر از همه، تنش خشکی با ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال سبب خسارت‌های سلولی و اختلال در فرایندهای بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان می‌شود. گیاهان، به‌منظور مقابله با تنش کمبود آب، از سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی بهره برده تا گونه‌های اکسیژن فعال را

در سال‌های اخیر، رویکردی همه‌جانبه برای استفاده از داروهای با منشأ طبیعی و به‌ویژه گیاهی در جوامع مختلف جهان پدید آمده است (Salarpour & Farahbakhsh, 2016). گیاه حنا با نام علمی *Lowsonia inermis* L. گونه‌ای چندساله و دولپه است که کشت آن در مناطق گرمسیری شمال آفریقا و جنوب شرقی آسیا متداول است. این گیاه به‌عنوان یک گیاه زینتی در مناطق گرمسیری کشت می‌شود و بهره‌مندی از رنگ طبیعی آن به‌منظورهای مختلف نظیر رنگ‌آمیزی

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(*)- نویسنده مسئول:
(Email: Hfarahbakhsh@uk.ac.ir)

با معرفی راهکار مؤثر از عوارض ناشی از تنش جلوگیری به عمل آورد.

مواد و روش‌ها

در سال ۱۴۰۰، یک آزمایش مزرعه‌ای در استان کرمان، شهرستان قلعه گنج اجرا شد. آب‌وهوای این شهرستان به‌روش آمبرژه خشک نیمه‌بیابانی است. ویژگی‌های خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار صورت گرفت. تنش خشکی با سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۹۵ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد (شاهد (اسپری آب)، اسید سالیسیلیک (۰/۲۵ میلی‌مولار)، سدیم نیتروپروساید (۵۰ میکرومولار) و ترکیب اسید سالیسیلیک (۰/۲۵ میلی‌مولار) و سدیم نیتروپروساید (۵۰ میکرومولار) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. بذر گیاه حنا از دانشکده کشاورزی دانشگاه باهنر کرمان تهیه شد که این بذر از اکوتیپ رودبار بود. کاشت در تاریخ اول فروردین ماه سال ۱۴۰۰ و برداشت در تاریخ پنجم آبان ماه سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. کشت به‌صورت مستقیم در زمین اصلی انجام و تراکم بوته به‌میزان ۲۰ بوته در مترمربع لحاظ گردید. ابعاد هر کرت ۳×۲ متر بود. در مزرعه، کرتی به ابعاد یک متر در یک متر در نظر گرفته شد و خاک آن اشباع گردید. سپس سطح خاک برای جلوگیری از تبخیر سطحی با نایلون پوشانده شد. در بازه‌های زمانی ۱۲ ساعت، از خاک نمونه‌برداری گردید و رطوبت آن به‌روش وزنی تعیین شد. پس از ۴۸ ساعت، تفاوت رطوبت بین دو بازه متوالی محاسبه و به‌عنوان رطوبت ظرفیت زراعی تعیین گردید. هم‌زمان، رطوبت نیز توسط دستگاه TDR تعیین گردید. طی زمان کاشت نیز رطوبت با استفاده از دستگاه TDR اندازه‌گیری شد. حجم آب مورد نیاز با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) در هر آبیاری تعیین گردید. حجم آب مصرفی با استفاده از کنتور آب کنترل شد.

$$H = \rho b(\theta_{FC} - \theta_m) \times D \quad (1)$$

$$V = H \times A \quad (2)$$

که در آن‌ها، H: نشان‌دهنده ارتفاع آب داخل کرت، ρb : جرم مخصوص ظاهری خاک، θ_{FC} : رطوبت در حد C ظرفیت مزرعه، θ_m : رطوبت جرمی کرت مورد نظر در زمان آبیاری، D: عمق توسعه ریشه، V: حجم آب آبیاری در کرت و A: مساحت کرت است. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد در مرحله پنج برگی گیاه صورت گرفت. اعمال تیمار آبیاری تا زمان برداشت ادامه داشت و تیمار محلول‌پاشی فقط در مرحله پنج برگی اعمال گردید، مرحله قبل از مرحله گل‌دهی، سطح برگ گیاه با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج، اندازه‌گیری شد. برای تعیین ارتفاع بوته در هنگام برداشت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر

مهار کنند. این سیستم شامل آنزیم‌ها و عوامل غیر آنزیمی است که در برابر اثرات آسیب‌زای اکسیژن فعال، گیاه را محافظت می‌کنند. (Farouk & Al-Huqail, 2020). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، ترکیبات آلی، طبیعی یا مصنوعی هستند که می‌توانند حداقل یک فرآیند فیزیولوژیکی خاص را در گیاه تغییر داده یا کنترل کنند (Kreuser, 2015). اسید سالیسیلیک یک فیتوهورمون مبتنی بر فنل است و فعالیت‌های فیزیولوژیکی حیاتی درون گیاه از جمله جذب آب، انتقال یون، تعرق و فتوسنتز را تنظیم می‌کند (Klessig et al., 2018). استفاده از اسید سالیسیلیک، می‌تواند به حفظ بهتر پتانسیل آب گیاه در شرایط تنش منجر شود. این اثرات با تولید محلول‌های سازگار و تنظیم اسمزی، حفظ بازدهی فتوسنتز در سطح بهینه (با جلوگیری از تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی و تنظیم هدایت روزنه‌ای)، حفظ پایداری غشاء سلولی (با ممانعت از پراکسیده شدن لیپیدها) و افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی سلولی (سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی) در گندم (*Triticum aestivum* L.) به رشد بهینه و عملکرد مطلوب گیاه منجر می‌شود (Khalvandi, Siosemardeh, Roohi, & Keramati, 2021). تحقیقات متعدد بیان می‌کنند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش خسارت اکسیداتیو در مقابله با شرایط تنش می‌شود (Pirasteh-Anosheh & Emam, 2018). سدیم نیتروپروساید به‌عنوان یک ترکیب رهاکننده نیتریک اکسید شناخته می‌شود (Farouk & Al-Huqail, 2020). نیتریک اکسید با افزایش بیان ژن و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، منجر به مهار رادیکال‌های آزاد شده و این اقدام باعث حفاظت از سلول در مقابل آسیب‌های ناشی از تنش‌های غیر زیستی می‌شود (Ahmad et al., 2016). در یک تحقیق انجام‌شده روی گیاه مرزنجوش، اثر پاشش محلول سدیم نیتروپروساید سبب تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه در شرایط تنش خشکی شد. این تقویت از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اتفاق افتاد و به عبارتی، باعث کاهش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی شد (Farouk & Al-Huqail, 2020). مطالعات انجام‌شده توسط محصلی و صادقی (Mohasseli & Sadeghi, 2019) نشان دادند که استفاده از سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش خشکی باعث تجمع پرولین در برگ‌ها می‌شود و این افزایش تراکم پرولین، منجر به افزایش تحمل گیاه آویشن (*Thymus serpyllum*) به تنش خشکی شده است.

آب به‌عنوان یک منبع اقتصادی مهم در بسیاری از نقاط جهان به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح است. گیاه حنا در کشور ایران به‌طور عمده در نواحی خشک و نیمه‌خشک کشت می‌گردد. لذا تحقیق حاضر ضمن قرار دادن گیاه حنا در شرایط مختلف رژیم‌های آبی و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد، پاسخ‌های فیزیولوژیک و در نهایت، میزان عملکرد برگ گیاه حنا را مورد ارزیابی قرار داده است تا

کرت انتخاب و ارتفاع بوته محاسبه گردید. برای تعیین عملکرد برگ موجود برداشت و عملکرد برگ تعیین گردید. پس از حذف اثر حاشیه‌ای، به ابعاد یک در یک مترمربع بوته‌های

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1- Physical and chemical properties of soil

موقعیت	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بافت	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	اسیدیته	هدایت الکتریکی	مواد آلی Organic materials (%)
Location	Latitude	Longitude	Texture	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	pH	EC (dS m ⁻¹)	
Qaleh Ganj, Kerman, Iran	27.52350880 N	57.87933420 E	Loam-sand	0.08	15.8	280	7.8	1.8	0.05

۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. شدت جذب این محلول در طول موج ۵۳۲ نانومتر ثبت شد.

سنجش میزان پرولین برگ

جهت سنجش پرولین، برگ‌های جوان و تازه گیاه در دوره قبل از گل‌دهی تهیه و در دمای ۸۰- سانتی‌گراد قرار داده شد. سنجش پرولین با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) انجام شد. برای اجرای این فرآیند، ۵۰۰ میلی‌گرم نمونه از برگ گیاه حنا با ۱۰ میلی‌لیتر از محلول سولفوسالیسیلیک اسید سه درصد ترکیب شد. سپس مخلوط حاصل با کاغذ صافی صاف گردید. سپس دو میلی‌لیتر از عصاره به‌دست‌آمده به لوله آزمایش منتقل شد. در ادامه، دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و دو میلی‌لیتر از معرف ناین هیدرین اضافه شد. سپس، لوله آزمایش در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به‌مدت یک ساعت قرار گرفت تا رنگ صورتی گلی ظاهر شود. نمونه برای توقف واکنش‌ها داخل ظرف حاوی یخ قرار گرفت و پس از سرد شدن، به لوله آزمایش چهار میلی‌لیتر از محلول تولوئن اضافه گردید. در این مرحله، دو فاز تشکیل شد: فاز روئی شامل کمپلکس رنگی (قرمز) بود که برای اندازه‌گیری میزان پرولین، مورد استفاده قرار گرفت و میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)

مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=7)، آسکوربات ۰/۵ میلی‌مولار، H₂O₂ ۰/۱۵ میلی‌مولار، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر ثبت گردید (Nakano & Asada, 1981).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز

مخلوط واکنش (سه میلی‌لیتر) شامل ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) و آب اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار بود. با افزودن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش، واکنش شروع گردید و کاهش در جذب آب اکسیژنه در مدت ۳۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر ثبت شد (Dhindsa, Plumb-dhindsa, & Thorpe, 1981).

سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (PAL)

محاسبه فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز به‌روش کواچیک و کلیدوس (Kováčik & Klejdus, 2012) انجام گردید. ۰/۰۵ گرم از بافت تازه در دو میلی‌لیتر از بافر استخراج (بافر پتاسیم فسفات با pH=8) هموژن شد. سپس هموژن در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس، ۱۵۰ میکرولیتر از عصاره استخراج‌شده، ۲۰۰ میکرولیتر فنیل آلانین ۰/۱ مولار در بافر پتاسیم فسفات با اسیدیته هشت و ۶۵۰ میکرولیتر بافر پتاسیم فسفات ۰/۱ مولار با اسیدیته هشت اضافه شد. سپس مخلوط به‌دست‌آمده به‌مدت یک ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، که اوج فعالیت فنیل آلانین آمونیالیز است، قرار گرفت. سپس ۵۰ میکرولیتر HCL شش مولار برای غیر فعال کردن فنیل آلانین آمونیالیز به مخلوط افزوده شد. پس از آن، نمونه در جریان هوا تبخیر گردید و به رسوب حاصل، یک

سنجش غلظت مالون دی‌آلدئید

برای اندازه‌گیری میزان مالون دی‌آلدئید از روش والتووچ (Valentovič, Luxová, Kolarovič, & Gašparíková, 2006) استفاده گردید. در این روش، ۰/۲ گرم از بافت گیاه با پنج میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید ۰/۱ درصد سائیده شد. سپس عصاره به‌دست‌آمده، به‌مدت پنج دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول روئی حاصل از سانتریفیوژ، چهار میلی‌لیتر محلول تری‌کلرو استیک اسید ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد اسید تیوباربتوریک است افزوده شد. مخلوط حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم گذاشته شد، سپس بلافاصله در یخ سرد گردید و دوباره مخلوط به‌مدت ۱۰ دقیقه در

میلی لیتر سدیم هیدروکسید با غلظت ۰/۰۵ مولار اضافه گردید. غلظت اسید سینامیک با اندازه گیری مقدار جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر و با استفاده از استاندارد اسید سینامیک تعیین شد. یک واحد از فنیل آلانین آمونیلایز برابر با یک میکروگرم از اسید سینامیک تولید شده در ساعت است.

محاسبات آماری

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت و میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه آماری شدند. نرمالیت داده ها با استفاده از نرم افزار مینی تب بررسی شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

با توجه به تحلیل واریانس، مشخص شد که سطوح مختلف آبیاری به طور معنی داری در سطح پنج درصد بر ارتفاع بوته تأثیرگذار بودند (جدول ۲). با افزایش میزان تنش خشکی، ارتفاع بوته به طور چشمگیری کاهش پیدا کرد. به عبارت دیگر، ارتفاع بوته در سطح آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، ۳۷/۰۴ درصد کمتر از ارتفاع بوته در سطح آبیاری با ۹۵ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). نتایج همبستگی نشان داد که بین ارتفاع بوته با شاخص سطح برگ و عملکرد همبستگی مثبت و معنی داری وجود دارد، اما مشاهده گردید

که بین ارتفاع بوته با میزان پرولین، مالون دی آلدئید و فعالیت آنزیم های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و فنیل آلانین آمونیلایز همبستگی منفی و معنی داری وجود دارد (جدول ۵). رشد از طریق تقسیم سلولی، بزرگ شدن و تمایز سلولی انجام می شود و شامل رویدادهای ژنتیکی، فیزیولوژیکی، بوم شناختی و ریخت شناختی و برهم کنش های پیچیده آن ها می باشد. کیفیت و کمیت رشد گیاه به این رویدادها بستگی دارد که تحت تأثیر کمبود آب قرار می گیرند. رشد سلولی یکی از حساس ترین فرآیندهای فیزیولوژیکی به خشکی به دلیل کاهش فشار تورگر است (Yang et al., 2021).

شاخص سطح برگ (LAI)

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تأثیر تنش خشکی با احتمال یک درصد و محلول پاشی تنظیم کننده رشد با احتمال پنج درصد بر شاخص سطح برگ به طور معنادار است (جدول ۲). با افزایش سطح خشکی، شاخص سطح برگ از ۳/۴۱ در تیمار با ۹۵ درصد ظرفیت زراعی به ۱/۷۰ در تیمار با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافت (جدول ۳). تغییرات در شاخص سطح برگ به واکنش به سطوح مختلف تنظیم کننده رشد نشان می دهد که استفاده از ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید به طور معناداری باعث افزایش شاخص سطح برگ نسبت به شاهد می شود و بیشترین مقدار شاخص سطح برگ (۲/۷۰) با استفاده از محلول پاشی ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید به دست آمده است (جدول ۴).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک گیاه حنا

Table 2- Results of variance analysis of physiological traits of henna plant

Table 2. Results of variance analysis of physiological traits of nenna plant										
منابع تغییرات S.O.V		درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height (cm)	شاخص سطح برگ Leaf area index	برولین Proline ($\mu\text{mol g}^{-1}$ FW)	مالون دی آلدئید MDA ($\mu\text{mol g}^{-1}$ FW)	آسکوربات پراکسیداز APX ($\mu\text{M min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ protein)	کاتالاز CAT ($\mu\text{M min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ protein)	فنیل آلانین آمونیلایز PAL ($\mu\text{M min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ protein)	عملکرد برگ Leaf yield (kg ha ⁻¹)
Block	بلوک	2	8.11	0.16	0.99	0.001	2.92	0.004	0.000007	1011225
Drought (a)	دور آبیاری (a)	2	7925.02**	8.73**	5.11 ^{ns}	0.10*	21.53**	0.01*	0.004**	3492558**
Error (a)	خطای (أ)	4	131.11	0.14	0.79	0.01	0.41	0.0004	0.00002	281758
PGR (b)	تنظیم کننده رشد (b)	3	102.11 ^{ns}	0.17*	0.01 ^{ns}	0.005**	0.39**	0.002**	0.003**	33943.51**
Interaction a × b	اثر متقابل a × b	6	64.02 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	7399.07 ^{ns}
Error (b)	خطای (ب)	18	34.11	0.03	0.04	0.0004	0.04	0.00004	0.00004	2236.11
C.V. (%)	ضریب تغییرات		5.3	7.8	3.5	4.7	8.0	3.6	7.2	16.3

*, ** و ^{ns} به ترتیب معنی داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و غیر معنی داری می باشد.

*, ** and ^{ns} significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه حنا

Table 3- Comparison of the average effect of different levels of drought stress on the physiological characteristics of henna plant

عملکرد برگ	فیل آلانین آمونیاک	کاتالاز	آسکورات پراکسیداز	مالون دی‌آلدئید	پرولین	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته	سطوح تنش خشکی
Leaf yield (kg ha ⁻¹)	PAL (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ protein)	CAT (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ protein)	APX (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ protein)	MDA (μmol g ⁻¹ FW)	Proline (μmol g ⁻¹ FW)	Leaf area index	Hight plant (cm)	Drought treatments
3411.67a	0.07c	0.14c	1.35c	0.37b	5.44	3.41a	137.00a*	95 %FC
2945.00b	0.09b	0.17b	4.03a	0.41b	6.53	2.50b	104.58b	75 % FC
2335.83c	0.11a	0.22a	2.77b	0.54a	6.61	1.70c	86.25c	50 %FC

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

* In each column, averages with common letters have no significant difference based on Duncan's test at the five percent probability level.

پرولین

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی برگی به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد، همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر میزان پرولین معنی‌دار نیستند (جدول ۲). تحلیل روند تغییرات میزان پرولین نشان می‌دهد که با بالا رفتن شدت تنش خشکی، مقدار پرولین افزایش می‌یابد؛ اما تفاوت معنی‌داری با سطوح آبیاری دیگر مشاهده نمی‌شود (جدول ۳). همچنین کاربرد ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروپوساید سبب افزایش میزان پرولین گردید، اما تفاوت معنی‌داری با دیگر سطوح محلول‌پاشی نداشت (جدول ۴). نتایج همبستگی نشان داد که بین میزان پرولین با ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و عملکرد همبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد، اما بین میزان پرولین با میزان مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های آسکورات پراکسیداز، کاتالاز و فیل آلانین آمونیاک همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵).

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص سطح برگ با ارتفاع بوته و عملکرد مشاهده گردید و بین شاخص سطح برگ و میزان پرولین، مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و فیل آلانین آمونیاک همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۵). شاخص سطح برگ به‌عنوان بهترین معیار برای ارزیابی ظرفیت فتوسنتز گیاهان با توجه به مساحت اشغال‌شده توسط جمعیت گیاهی در نظر گرفته می‌شود (Breda, 2003). هنگام بروز تنش خشکی از رشد سلولی و نرخ تقسیم سلولی کاسته می‌شود، در نتیجه منجر به کم شدن شاخص سطح برگ می‌شود. در این شرایط، جذب نور خورشید و میزان فتوسنتز گیاه نیز کاهش می‌یابد، که در نتیجه، باعث کاهش میزان ماده خشک گردید (Ahmed, Yu, Yang, & Jiang, 2014). کاربرد اسید سالیسیلیک توانست با کاهش اثرات تنش، شاخص سطح برگ و سرعت رشد گیاهان گندم را افزایش دهد. استفاده از اسید سالیسیلیک باعث تجمع تربیتوفان می‌شود، این اسید آمینه پیش‌ساز هورمون اکسین می‌باشد. این تجمع باعث رشد سریع و بهبود رشد کلی گیاه می‌شود (Munsif et al., 2022).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر PGR بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه حنا

Table 4- Comparison of the average effect of PGR on the physiological characteristics of henna plant

عملکرد برگ	فیل آلانین آمونیاک	کاتالاز	آسکورات پراکسیداز	مالون دی‌آلدئید	شاخص سطح برگ	سطوح تنظیم‌کننده رشد
Leaf yield (kg ha ⁻¹)	PAL (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ protein)	CAT (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ protein)	APX (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ protein)	MDA (μmol g ⁻¹ FW)	Leaf area index	PGR
2446.67b	0.08c	0.16c	2.42b	0.47a	2.38c*	Control
2895.56b	0.09bc	0.17b	2.77a	0.44b	2.46bc	SA
2863.33b	0.09ab	0.17b	2.92a	0.44b	2.60ab	SNP
2984.44a	0.10a	0.19a	2.75a	0.41c	2.70a	SA+SNP

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* In each column, averages with common letters have no significant difference based on Duncan's test at the five percent probability level.

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی

Table 5- Simple correlation coefficients between investigated traits

***، * و NS: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و غیر معنی داری می باشد.

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

مالون دی آلدئید (MDA)

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده‌های مرتبط با اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید نشان می‌دهد که تأثیر تنش خشکی (در سطح احتمال پنج درصد) و محلول پاشی به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد (در سطح احتمال یک درصد) بر مقدار مالون دی‌آلدئید معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل بین تنش خشکی و محلول پاشی تنظیم‌کننده رشد بر پراکسیداسیون لیپیدها معنی‌دار نبود (جدول ۲). میزان مالون دی‌آلدئید در سطوح ۹۵ درصد و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی تغییر معنی‌داری نکرد، اما با افزایش شدت تنش خشکی از تنش متوسط به تنش شدید، میزان این صفت به نسبت ۴۵/۹۴ درصد افزایش یافت (جدول ۳). محلول پاشی ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید سبب کاهش ۱۲/۷۶ درصدی میزان مالون دی‌آلدئید نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). براساس همبستگی بین صفات، میزان مالون دی‌آلدئید همبستگی مثبت و معنی‌داری با فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و فیل آلانین آمونیاپاز داشت، درحالی‌که میزان مالون دی‌آلدئید همبستگی منفی و معنی‌داری با ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و عملکرد برگ داشت (جدول ۵). مالون دی‌آلدئید در اثر اکسیداسیون غشاء تولید می‌شود و به‌عنوان یک شاخص برای تخمین میزان صدمه به غشاء سلولی در صورت

آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)

با توجه به نتایج به دست آمده، اثر تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، اما اثر متقابل بین تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی دار نبود (جدول ۲). بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز مربوط به سطح آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود و کمترین میزان فعالیت این آنزیم مربوط به سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). همچنین تیمار

آزاد ناشی از شرایط تنش افزایش پیدا کرد (Hosseini, Samsampour, Ebrahimi, Abadia, & Khanahmadi, 2018). کاربرد اسید سالیسیلیک به بیان ژن‌های درگیر در تولید آنتی‌اکسیدان‌ها و در نتیجه، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی منجر شده، که این فرآیند باعث ایجاد اثرات ضد تنش می‌شود (Wang, Wang, Li, & Hao, 2019). استفاده از نیتریک اکسید با فعال‌سازی آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، و همچنین افزایش سطح پرولین، تأثیرات مخرب ROS اضافی را کاهش داده و آسیب اکسیداتیو را به کمترین میزان رساند (Rezayian et al., 2020).

آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف تنظیم‌کننده رشد قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش شدت تنش خشکی، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز نیز افزایش یافت، به گونه‌ای که بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود و کمترین فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز مربوط به سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). استفاده از محلول‌پاشی ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش ۲۵ درصدی فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز شد، با این حال تفاوت معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید مشاهده نشد (جدول ۴). نتایج جدول همبستگی نشان داد که فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز با میزان پرولین، مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم کاتالاز همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد، اما با ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و عملکرد همبستگی منفی و معنی‌دار دارد (جدول ۵). فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی افزایش می‌یابد و با افزایش فعالیت ویژه این آنزیم، تولید متابولیت‌های ثانویه نیز افزایش می‌یابد. اسید سالیسیلیک قادر است با تولید گونه‌های اکسیژن فعال و القای آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیلیاز و تیروزین آمونیلیاز، میزان متابولیت‌های ثانویه را تنظیم کند (Dokhanieh, Aghdam, Fard, & Hassanpour, 2013). کاربرد نیتریک اکسید فعالیت فنیل آلانین آمونیلیاز را در شرایط تنش خشکی بالا برد (Rezayian et al., 2020).

عملکرد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تنش خشکی و تنظیم‌کننده رشد بر عملکرد برگ گیاه حنا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد برگ در سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی (۳۴۱۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمده است. همچنین کمترین مقدار عملکرد برگ (۲۳۳۵/۸۳)

محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید موجب افزایش ۱۳/۶۳ درصد در فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نسبت به شاهد شد، که با تیمارهای اسید سالیسیلیک و ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). نتایج همبستگی بین صفات نشان داد که فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز همبستگی منفی و معنی‌داری با ارتفاع بوته و همبستگی مثبت و معنی‌داری با میزان پرولین داشت (جدول ۵). آنزیم آسکوربات پراکسیداز به‌عنوان جاذب رادیکال‌های آزاد تولیدشده در شرایط تنش عمل می‌کند (Hossain, Nouri, & Komatsu, 2012). تغییر در فعالیت آسکوربات پراکسیداز در برگ‌ها بیشتر از ریشه‌های فیبری است، زیرا آسکوربات پراکسیداز عمدتاً در کلروپلاست و سیتوپلاسم وجود دارد و یک آنزیم حیاتی برای از بین بردن پراکسید هیدروژن در کلروپلاست است (Caverzan, Casassola, & Patussi Brammer, 2016). استفاده از اسید سالیسیلیک روی گیاه فلفل (*Capsicum annuum* L.) منجر به بالا رفتن فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گیاهان فلفل در معرض کمبود آب می‌شود (Khazaei & Estaji, 2020). در یک تحقیق روی گیاه سویا (*Glycine max*) نشان داده شد که استفاده از نیتریک اکسید باعث القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز می‌شود که در سرکوب گونه‌های اکسیژن فعال نقش دارند. به‌طور کلی، اثر مثبت نیتریک اکسید بر رشد گیاه سویا (*Glycine max* L.) ممکن است به‌دلیل حفظ تعادل بین تولید و مصرف رادیکال‌های آزاد باشد (Rezayian et al., 2020).

آنزیم کاتالاز

نتایج نشان داد که تأثیر تنش خشکی و تنظیم‌کننده رشد به‌ترتیب در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین سطوح تنش، بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز متعلق به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). میزان فعالیت کاتالاز با افزایش سطح تنش خشکی افزایش پیدا کرد و میزان این افزایش در سطوح ۷۵ درصد و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۲۹/۴۱ درصد و ۵۷/۱۴ درصد بود (جدول ۳). تیمار پاشش محلول ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید، باعث افزایش ۱۸/۷۵ درصد در فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد شد (جدول ۴). فعالیت آنزیم کاتالاز همبستگی مثبت و معنی‌دار با میزان پرولین، مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیلیاز نشان داد. درحالی‌که با ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). بالا رفتن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را می‌توان به‌عنوان یک نشانگر برای عمل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و حفاظت گیاه در مواجهه با شرایط خشکی دانست (Kukreja et al., 2005). فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ‌های شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) به منظور مهار رادیکال‌های

مولکول سیگنال‌دهنده اصلی شناخته می‌شود که توانایی بهبود رشد و عملکرد فیزیولوژیکی گیاهان را تحت تأثیر تنش‌های مختلف، همچون تنش‌های غیر زنده و زیستی، دارد. (Esim, Atici, & Mutlu, 2014). اثرات تقویتی نیتریک اکسید بر رشد گیاه ممکن است به دلیل عوامل مختلف باشد. این اثرات ممکن است از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، تجمع اسمولیت‌های سازگار و جلوگیری از نشت یون در گیاه ایجاد شود. بنابراین، به نظر می‌رسد که استفاده از نیتریک اکسید در گیاهان سویا تحت شرایط خشکی، منجر به تقویت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی شده و به این ترتیب رشد گیاهان افزایش یابد (Rezayian et al., 2020). استفاده از سدیم نیتروپروساید به‌طور قابل توجهی زیست‌توده گیاهان سویا (*Glycine max* L.) تحت تنش را افزایش داد (Jabeen et al., 2021).

نتیجه‌گیری

استفاده از ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گردیده و شاخص سطح برگ و عملکرد برگ در هکتار را افزایش داده است. این تدابیر از اثرات مخرب تنش خشکی معانعت به عمل آورد. با توجه به دستاوردهای حاصل از این گزارش، پیشنهاد می‌شود که در شرایط تنش خشکی از محلول‌پاشی ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید برای بهبود عملکرد گیاه حنا استفاده شود.

کیلوگرم در هکتار) در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شده است (جدول ۳). کاربرد ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید سبب افزایش عملکرد برگ نسبت به سایر تیمارهای محلول‌پاشی گردید (جدول ۴). عملکرد بوته با ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ همبستگی مثبت نشان داد، درحالی‌که با میزان پرولین، مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و فنیل آلانین آمونیالاز همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که می‌تواند اثرات منفی بر رشد و عملکرد محصول بگذارد (Liu et al., 2016). در شرایط کمبود آب، فعالیت آنزیم‌هایی از جمله فسفوانول‌پیرووات کربوکسیلاز (PEPCK)، رابیسکو، پیرووات ارتوفسفات دی‌کیناز، فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفات و همچنین پتانسیل آب برگ کاهش می‌یابد. در نتیجه کاهش فعالیت این آنزیم‌ها و پتانسیل آب برگ می‌تواند منجر به کاهش فعالیت فتوسنتز گیاه شده و در نهایت به محدودیت رشد و عملکرد گیاه منجر گردد (Farooq et al., 2009). تحقیقات نشان داده است که تولید ماده خشک ارتباط مستقیمی با سطح برگ و سرعت فتوسنتز برگ دارد. جهت حصول میزان بیشتر در تولید ماده خشک، ضروری است که سرعت فتوسنتز در طول فصل رشد افزایش یابد و همچنین سطح برگ در تمام طول دوره رشد حفظ گردد (Tadashi & Theodore, 1999). کاربرد اسید سالیسیلیک سبب افزایش تعداد برگ‌های تشکیل‌شده در گیاهان گردید، لذا سطح برگ گیاهان تیمار شده با اسید سالیسیلیک، ۱۰ درصد بیشتر از گیاهان شاهد افزایش یافته است (Martín-Mex, Villanueva-Couoh, Herrera-Campos, & Larqué-Saavedra, 2005). سدیم نیتروپروساید به‌عنوان یک

References

- Ahmad, P., Latef, A. A. A., Hashem, A., Abd Allah, E. F., Gucel, S., & Tran, L. S. P. (2016). Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. *Frontiers in Plant Science*, 7(347), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00347>
- Ahmed, A. F., Yu, H., Yang, X., & Jiang, W. (2014). Deficit irrigation affects growth, yield, vitamin C content, and irrigation water use efficiency of hot pepper grown in soilless culture. *HortScience*, 49(6), 722-728. <https://doi.org/10.21273/hortsci.49.6.722>
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bhuyan, M. H. M. B., Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Mohsin, S. M., Al Mahmud, J., Nahar, K., & Fujita, M. (2020). Nitric oxide and hydrogen sulfide: two intimate collaborators regulating plant defense against abiotic stress. *Plant Growth Regulation*, 90(3), 409-424. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00594-4>
- Breda, N. J. J. (2003). Ground-based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, 54, 2403-2417.
- Caverzan, A., Casassola, A., & Patussi Brammer, S. (2016). Reactive oxygen species and antioxidant enzymes involved in plant tolerance to stress. *Abiotic and Biotic Stress in Plants - Recent Advances and Future Perspectives*, 20(5), 463-480. <https://doi.org/10.5772/61368>
- Dhindsa, R. S., Plumb-dhindsa, P., & Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32(1), 93-101. <https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93>
- Dokhanieh, A. Y., Aghdam, M. S., Fard, J. R., & Hassanpour, H. (2013). Postharvest salicylic acid treatment enhances antioxidant potential of cornelian cherry fruit. *Scientia Horticulturae*, 154, 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.025>

9. Esim, N., Atici, O., & Mutlu, S. (2014). Effects of exogenous nitric oxide in wheat seedlings under chilling stress. *Toxicology and Industrial Health*, 30(3), 268-274. <https://doi.org/10.1177/0748233712457444>
10. Farahbakhsh, H., & Pasandi Pour, A. (2018). Physiological response of henna, medicinal-industrial plant, to application of salicylic acid under drought stress. *Plant Process and Function*, 6(19), 233-246. (in Persian with English abstract).
11. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185-212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
12. Farouk, S., & Al-Huqail, A. A. (2020). Sodium nitroprusside application regulates antioxidant capacity, improves phytopharmaceutical production and essential oil yield of *marjoram herb* under drought. *Industrial Crops and Products*, 158, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113034>
13. Fayez, K. A., & Bazaid, S. A. (2014). Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(1), 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.01.001>
14. Hossain, Z., Nouri, M. Z., & Komatsu, S. (2012). Plant cell organelle proteomics in response to abiotic stress. *Journal of Proteome Research*, 11(1), 37-48. <https://doi.org/10.1021/pr200863r>
15. Hosseini, M. S., Samsampour, D., Ebrahimi, M., Abadía, J., & Khanahmadi, M. (2018). Effect of drought stress on growth parameters, osmolyte contents, antioxidant enzymes and glycyrrhizin synthesis in licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) grown in the field. *Phytochemistry*, 156, 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.08.018>
16. Jabeen, Z., Fayyaz, H. A., Irshad, F., Hussain, N., Hassan, M. N., Li, J., Rehman, S., Haider, W., Yasmin, H., Mumtaz, S., Bukhari, S. A. H., Khalofah, A., Al-Qthanin, R. N., & Alsubeie, M. S. (2021). Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress. *Plos One*, 16(4), 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248207>
17. Khalvandi, M., Siosemardeh, A., Roohi, E., & Keramati, S. (2021). Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. *Heliyon*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05908>
18. Khazaei, Z., & Estaji, A. (2020). Effect of foliar application of ascorbic acid on *sweet pepper* (*Capsicum annum*) plants under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42(118), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03106-z>
19. Klessig, D. F., Choi, H. W., & Dempsey, D. A. (2018). Systemic acquired resistance and salicylic acid: Past, present, and future. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(9), 871-888. <https://doi.org/10.1094/MPMI-03-18-0067-CR>
20. Kováčik, J., & Klejdus, B. (2012). Tissue and method specificities of phenylalanine ammonia-lyase assay. *Journal of Plant Physiology*, 169(13), 1317-1320. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.04.008>
21. Kreuser, B. (2015). Effective use of plant growth regulators on golf putting greens. *Green Section Record*, 53(7), 1-10.
22. Kukreja, S., Nandwal, A. S., Kumar, N., Sharma, S. K., Sharma, S. K., Unvi, V., & Sharma, P. K. (2005). Plant water status, H₂O₂ scavenging enzymes, ethylene evolution and membrane integrity of *Cicer arietinum* roots as affected by salinity. *Biologia Plantarum*, 49(2), 305-308. <https://doi.org/10.1007/s10535-005-5308-4>
23. Liu, X., Chen, J., Wang, G. H., Wang, W. H., Shen, Z. J., Luo, M. R., Gao, G. F., Simon, M., Ghoto, K., & Zheng, H. L. (2016). Hydrogen sulfide alleviates zinc toxicity by reducing zinc uptake and regulating genes expression of antioxidative enzymes and metallothioneins in roots of the cadmium/zinc hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Plant and Soil*, 400(2), 177-192. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2719-7>
24. Martín-Mex, R., Villanueva-Couoh, E., Herrera-Campos, T., & Larqué-Saavedra, A. (2005). Positive effect of salicylates on the flowering of African violet. *Scientia Horticulturae*, 103(4), 499-502. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.06.020>
25. Mohasseli, V., & Sadeghi, S. (2019). Exogenously applied sodium nitroprusside improves physiological attributes and essential oil yield of two drought susceptible and resistant specie of *Thymus* under reduced irrigation. *Industrial Crops and Products*, 130, 130-136. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.058>
26. Munsif, F., Shah, T., Arif, M., Jehangir, M., Afridi, M. Z., Ahmad, I., Jan, B. L., & Alansi, S. (2022). Combined effect of salicylic acid and potassium mitigates drought stress through the modulation of physio-biochemical attributes and key antioxidants in wheat. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(6), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103294>
27. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22(5), 867-880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
28. Pirasteh-Anosheh, H., & Emam, Y. (2018). Modulation of oxidative damage due to salt stress using salicylic acid in *Hordeum vulgare*. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(9), 1268-1277. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1423556>
29. Rady, M. M., Belal, H. E. E., Gadallah, F. M., & Semida, W. M. (2020). Selenium application in two methods

- promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. *Scientia Horticulturae*, 266(10), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109290>
30. Rezayian, M., Ebrahimzadeh, H., & Niknam, V. (2020). Nitric oxide stimulates antioxidant system and osmotic adjustment in soybean under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 1122-1132. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00198-x>
31. Rouhani, L., Zamani, M. J., & Fotovat, R. (2015). Variation in stomatal size and density of barley genotypes under drought stress and normal conditions. *Plant Research Journal (Iranian Biology Journal)*, 28(5), 986-993. (in Persian with English abstract).
32. Salarpour, F., & Farahbakhsh, H. (2016). Effects of salicylic acid on some physiological traits, yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(2), 216-230. (in Persian with English abstract).
33. Singh, D. K., Luqman, S., & Mathur, A. K. (2015). *Lawsonia inermis* L. - A commercially important primaeval dying and medicinal plant with diverse pharmacological activity: A review. *Industrial Crops and Products*, 65, 269-286. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.025>
34. Tadashi, H., & Theodore, C. H. (1999). Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Research*, 62, 53-62.
35. Valentovič, P., Luxová, M., Kolarovič, L., & Gašparíková, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant, Soil and Environment*, 52(4), 186-191. <https://doi.org/10.17221/3364-pse>
36. Wang, Y. Y., Wang, Y., Li, G. Z., & Hao, L. (2019). Salicylic acid-altering arabidopsis plant response to cadmium exposure: Underlying mechanisms affecting antioxidation and photosynthesis-related processes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 645-653. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.062>
37. Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), 1-36. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>



The Effect of Cytokinin Spraying and Harvest Cutting on Essential Oil Production and Growth Characteristics of Thyme (*Thymus vulgaris* L.)

Y. Norouzi¹, M. Ghobadi^{1*}, M. Saeidi¹, D. Kahrizi², H. Dogan³

1- Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

2- Agricultural Biotechnology Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Department of Plant and Animal Production, Yozgat Bozok University, Yozgat, Turkey

(*- Corresponding Author Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

Received: 28 March 2024

Revised: 01 October 2024

Accepted: 16 October 2024

Available Online: 01 March 2025

How to cite this article:

Norouzi, Y., Ghobadi, M., Saeidi, M., Kahrizi, D., & Dogan, H. (2025). The Effect of Cytokinin Spraying and Harvest Cutting on Essential Oil Production and Growth Characteristics of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(1), 31-44. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87425.1315>

Introduction

Thyme (*Thymus vulgaris* L.) is a perennial plant that belongs to Lamiaceae family, and native to the Mediterranean regions. Thyme is used in the medical, cosmetic and food industries due to its unique aroma and taste. The yield of thyme can be affected by environmental factors and agricultural management. Harvest cutting is one of the important factors determining the quantitative and qualitative characteristics of the thyme. It has also been reported that exogenous application of plant growth regulators at low concentrations has led to yield improvement. Cytokinins (CKs) are one of the five main types of plant growth regulators (PGRs) that affect plant growth and development. In addition to enhancing cell division and growth, CKs also prevent plant aging by inhibiting the breakdown of chlorophyll, nucleic acids, proteins, and other substances. CKs play a role in the transport and accumulation of photosynthesis products and affect the activity of enzymes. CKs also stimulate the growth of lateral branches, too. This study was conducted to investigate the effect of foliar spraying of cytokinin (benzylaminopurine) during harvest cuttings on the essential oil production and growth of thyme plant.

Materials and Methods

This experiment was carried out at the research farm of Razi University, Kermanshah, Iran (Longitude 47°, 9' east and latitude 34°, 21' north, 1319 m above sea level) during three consecutive years of 2017, 2018 and 2019. The research was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete blocks design with three replications. The first factor was the harvest cutting (late June and late September) and the second factor was the concentrations of cytokinin (0, 100, 200 and 400 µM BAP). The measured traits included plant height, stem diameter, number of branches, leaf, stem and total dry weight, percentage and yield of essential oil. The analysis of variances (ANOVA) of data was performed using SAS ver.9 software and the means comparison was done using LSD test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that the effect of harvest cutting on the traits of plant height, stem



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

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87425.1315>

diameter, number of branches, leaf, stem and total dry weights and essential oil yield was significant, but its effect on the essential oil percentage was not significant. Also, the effect of foliar spraying of BAP was significant on all the mentioned traits. The interaction effect of harvest cutting $\times$ BAP spraying was significant on the number of branches, dry weight of leaves and stems, total dry weight and essential oil yield. A comparison of means showed that the highest plant height, number of sub-branches, leaf dry weight, stem dry weight and total dry weight (4355 kg ha^{-1}) were obtained by foliar spraying of $400 \mu\text{M}$ BAP. The percentage of essential oil increased with the increase of BAP concentration. The highest essential oil (2.35%) was obtained by foliar spraying of $200 \mu\text{M}$ BAP. The highest and lowest essential oil percentage were obtained in 2020 and 2018 experiments, respectively. Also, the yields of essential oil were different in different cuttings under the influence of BAP foliar application. The increasing of the essential oil yield in the first harvest was higher compared to the second harvest. Foliar spraying of $400 \mu\text{M}$ BAP in the first harvest produced the highest essential oil yield (59.95 kg ha^{-1}).

Conclusion

In general, the results of this study indicated that cytokinin spraying during the first harvest significantly influenced on the enhancement of traits such as plant height (16%), number of lateral branches (59%), leaf dry weight (200%), total dry weight (194%), and essential oil production (108-217%) in thyme. Additionally, as the plant aged (in the third year of the experiment), this enhancement in essential oil production was more. To enhance essential oil yield and vegetative growth of thyme, it is recommended to apply $400 \mu\text{M}$ cytokinin spraying during the first harvest.

Keywords: Concentration, Growth regulator, Leaf dry matter, Yield

تأثیر محلول پاشی سیتوکنین و چین برداشت بر تولید اسانس و خصوصیات رویشی آویشن (*Thymus vulgaris* L.)

یاسین نوروزی^۱، مختار قبادی^{۱*}، محسن سعیدی^۱، دانیال کهریزی^۲، هولیا دوگان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵

چکیده

آویشن (*Thymus vulgaris* L.) گیاهی چندساله از تیره Lamiaceae و بومی مدیترانه است. عملکرد گیاه آویشن تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریت کشاورزی قرار می‌گیرد. با هدف بررسی اثر محلول پاشی سیتوکنین (از نوع بنزیل آمینوپورین) در چین‌های برداشت بر عملکرد اسانس و رشد رویشی گیاه آویشن، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی در سه سال متوالی ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. چین‌های برداشت (اواخر خرداد و اواخر شهریور) به عنوان فاکتور اول و غلظت‌های سیتوکنین (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار، از منبع بنزیل آمینوپورین) به عنوان فاکتور دوم بودند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر چین روی صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، وزن خشک‌های برگ، ساقه و کل و عملکرد اسانس معنی‌دار، ولی بر درصد اسانس معنی‌دار نبود. همچنین، محلول پاشی سیتوکنین روی تمام صفات قید شده معنی‌دار گردید. اثر متقابل چین × محلول پاشی روی صفات تعداد شاخه جانبی، وزن خشک برگ و ساقه، وزن خشک کل و عملکرد اسانس معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک کل (۴۳۵۵ کیلوگرم در هکتار) با محلول پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکنین به دست آمد. بیشترین درصد اسانس (۲/۳۵ درصد) و عملکرد اسانس (۵۹/۹۵ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب با محلول پاشی ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار سیتوکنین در چین اول حاصل شد. به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که محلول پاشی سیتوکنین در چین اول برداشت تأثیر بیشتری داشت و ارتفاع بوته (۱۶ درصد)، تعداد شاخه جانبی (۵۹ درصد)، وزن خشک برگ (۲۰۰ درصد)، وزن خشک کل (۱۹۴ درصد) و عملکرد اسانس (۱۰۸-۲۱۷ درصد) را افزایش داد. همچنین، با افزایش سن گیاه (سال سوم) این افزایش عملکرد بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: تنظیم کننده رشد، عملکرد، غلظت، ماده خشک برگ

مقدمه

آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) گیاهی چندساله از تیره Lamiaceae است. از این گیاه به عنوان غذا و مصارف دارویی استفاده می‌شود و به دلیل ترکیبات آن از جمله تیمول و کارواکرول که در صنایع دفع آفات، مواد غذایی، بسته‌بندی مواد غذایی و لوازم آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود، گیاه آویشن از اهمیت اقتصادی بالایی

برخوردار است (Silva et al., 2021). یک مسئله مهم در تولید گیاهان دارویی، افزایش مقدار زیست‌توده گیاهان و میزان متابولیت ثانویه بدون استفاده از مواد شیمیایی مضر مانند کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و سموم دفع آفات است (Bybordi, 2007).

محلول پاشی تنظیم کننده‌های رشد گیاه (PGRs) در بهبود رشد، عملکرد و تولید اسانس گیاهان دارویی اهمیت یافته است (Khan, Afreen, Quasar, Khanam, & Uddin, 2023; Zahid, Iftikhar, Shimira, Ahmad, & Kaçar, 2023 در PGRs). غلظت‌های کم، فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه را تغییر داده یا تنظیم می‌کنند. اثربخشی PGRs به عوامل مختلفی مانند روش و زمان کاربرد، غلظت، گونه گیاهی و شرایط محیطی بستگی دارد (Grzesik, 1989). غلظت مناسب کاربرد PGRs برای هر گیاه، نقش مهمی در بهبود نتایج دارد، زیرا واکنش گیاهان به غلظت‌های مختلف، متفاوت است (Carey, Whipker, McCall, & Buhler, 2008).

- ۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
- ۲- گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۳- گروه تولیدات گیاهی و دامی، دانشگاه یوزگات، یوزگات، ترکیه

*- نویسنده مسئول: (Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

doi <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87425.1315>

۳/۰۷ درصد) و کمترین (۲/۸۳ درصد) اسانس به ترتیب مربوط به چین‌های اول و سوم برداشت بود (Akbarinia, Sharifi, Ashoorabadi, & Mirza, 2010). در مطالعه دیگر روی آویشن باغی، نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس در چین اول به دست آمد (Amani Machiani, Javanmard, Ostadi, & Morshedloo, 2021). در بررسی عملکرد اسانس دو گونه آویشن *Thymus daenensis* Celak و *Thymus vulgaris* L. گزارش شد که بیشترین عملکرد اسانس در سال دوم آزمایش تولید شد (Safaii, Ashoorabadi, Emami, & Afiuni, 2014).

با توجه به مطالب ذکر شده، این آزمایش با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سیتوکینین در چین‌های مختلف برداشت روی عملکرد اسانس و همچنین برخی خصوصیات رشد رویشی گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) تحت شرایط آب‌وهوایی شهرستان کرمانشاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در سه سال متوالی ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا گردید. مختصات جغرافیایی محل اجرای آزمایش شامل طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ۱۳۱۹ متر ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. پس از آماده‌سازی اولیه زمین، به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، جدول ۲ نیز اطلاعات هواشناسی منطقه را در زمان اجرای آزمایش به صورت خلاصه نشان می‌دهد.

این آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل چین برداشت (اواخر خرداد و اواخر شهریور در مرحله گل‌دهی) و فاکتور دوم شامل غلظت‌های هورمون سیتوکینین (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار) بود. سیتوکینین از منبع بنزیل آمینو پورین (BAP) ساخت شرکت Duchefa کشور هلند تأمین شد. آویشن کشت‌شده در این آزمایش گونه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) رقم Deutscher Winter از شرکت دانش‌بنیان پارس اکسیر فارس در اردیبهشت سال ۱۳۹۷ تهیه شد. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به فاصله ۴۰ سانتی‌متر و به طول سه متر بود. فاصله بین دو بوته بر روی خطوط کاشت ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کشت نشاها در اوایل اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ و از طریق انتقال نشاهای کشت‌شده در خزانه انجام گرفت.

سیتوکینین‌ها یکی از پنج نوع اصلی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی هستند که رشدونمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Honig, Plihalova, Husickova, Nisler, & Dolezal, 2018). علاوه بر تقویت تقسیم سلولی و رشدونمو گیاهان، سیتوکینین‌ها همچنین با مهار تجزیه کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و سایر مواد در گیاهان و توزیع مجدد آمینواسیدهای ضروری، هورمون‌ها، نمک‌های معدنی و سایر ترکیبات، از پیری گیاه جلوگیری می‌کنند (Ullah et al., 2018). سیتوکینین‌ها در حمل‌ونقل و تجمع محصولات فتوسنتز و تأثیر بر فعالیت سایر آنزیم‌ها نقش دارند و همچنین تأثیر زیادی بر فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دارند (Wang, Yang, & Chan, 2023). سیتوکینین مسئول تحریک رشد شاخه‌های جانبی است، همچنین باعث تحریک سیتوکینز و در نتیجه تقسیم سلولی می‌شود (Sosnowski, Truba, & Vasileva, 2023). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسیدآمینه و سیتوکینین باعث افزایش پارامترهای رشد و عملکرد گیاه شد. با افزایش غلظت اسیدآمینه و سیتوکینین، صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه، وزن خشک برگ، سطح برگ، عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن گیاه *Hibiscus sabdariffa* L. افزایش یافت (Mahdy, Mubarak, El-Azab, Mohammed, & Abd El-Rheem, 2019). محلول‌پاشی اکسین و سیتوکینین (بنزیل آدنین) به دلیل افزایش جذب یون‌های K^+ ، Ca^{2+} و Mg^{2+} ، تجمع اسیدهای آمینه آزاد، قندهای محلول و پروتئین‌های محلول و فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، صفات رشدی را بهبود بخشید (Abdel Latef, Akter, & Tahjib-Ul-Arif, 2021). شایان ذکر است که اثر مثبت سیتوکینین‌ها بر فتوسنتز نیز به تأخیر در پیری برگ نسبت داده می‌شود (Zahid et al., 2023). در یک مطالعه روی آویشن باغی، بیشترین رشد زیست‌توده در غلظت ۰/۵ میکرومولار بنزیل آدنین (BA) به دست آمد. ترکیبات اصلی اسانس شامل ۷-ترپنین، پی‌سایمن و تیمول بودند و تغییرات کمی این ترکیبات تحت تأثیر غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد مشاهده شد (Affonso, Bizzo, Lage, & Sato, 2009). در مطالعه دیگر روی آویشن باغی، نتایج نشان داد که ترکیب GA_3 یا IBA به همراه متانول به طور قابل توجهی بر طول و عرض برگ، تعداد شاخه‌ها، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک گیاه، وزن بذر، میزان اسانس و مقدار تیمول تأثیر داشت (Bahman, Mehrafarin, & Naghdi Badi, 2017).

گزارش شده است که شرایط آب‌وهوایی در طول دوره رویشی تأثیر قابل توجهی بر روی عملکرد کمی و کیفی گیاه آویشن دارد (Beata, & Kieltyka-Dadasiewicz, 2015). در یک مطالعه روی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak.) گزارش شد که بیشترین و کمترین عملکرد ماده خشک به ترتیب در چین اول و چهارم به دست آمد. همچنین، آن‌ها گزارش کردند که بیشترین

جدول ۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical analysis of the soil

بافت Texture	مس Cu (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته PH	کلسیم کربنات CaCO ₃ (%)
رسی-سیلی Clay- silty	1.8	0.48	4.5	14	360	18	0.09	0.99	7.8	28

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی منطقه در دوره اجرای آزمایش

Table 2- Meteorological information of the region during the experiment period.

اطلاعات هواشناسی Weather information	سال Year	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	مهر September	آبان October	آذر November	دی December	بهمن January	اسفند February	مارس March
بارندگی Rainfall (mm)	۱۳۹۷	63.4	169	5.2	0	0	0	29.1	125.3	104	41.5	96.3	79.01
	2018												
	۱۳۹۸	194.8	17.5	0	0	0	0	15.4	56.1	114.8	25.6	43.5	148.2
	2019												
متوسط دما Mean temperature (°C)	۱۳۹۷	88.13	38.86	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
	2018												
	۱۳۹۸	14.9	15.9	23.9	30.6	31.3	27.1	21.1	12.3	7.4	4.5	5.4	6.5
	2019												
متوسط رطوبت Mean humidity (%)	۱۳۹۷	10.4	16.7	26	29.9	31.1	26.3	21.6	10.2	5.9	4.4	3.7	9.7
	2018												
	۱۳۹۸	11.5	17.7	25.7	28.89	29.64	26.09	-	-	-	-	-	-
	2019												
	۱۳۹۷	47	64	33	16	17	17	32	62	71	61	60	60
	2018												
	۱۳۹۸	65	51	29	17	18	18	25	53	67	58	55	56
	2019												
	۱۳۹۹	55.23	39.97	13.52	13.48	13.29	12.06	-	-	-	-	-	-
	2020												

میانی انجام گرفت. جهت اندازه گیری وزن خشک برگ، ساقه و وزن خشک کل، بوته های موجود در سه مترمربع از هر کرت برداشت شد. آویشن برداشت شده در هوای آزاد و سایه خشک گردید و وزن خشک آن ها اندازه گیری شد. اسانس گیری از برگ های خشک شده آویشن در سایه، به روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام گرفت. برای این کار، مقدار ۳۰ گرم ماده گیاهی خشک را وزن نموده، سپس به آن، مقدار ۰/۵ لیتر آب در بالن هایی به حجم یک لیتر اضافه گردید. بالن ها را روی هیتر قرار داده و اتصالات مربوطه وصل گردید. بعد از روشن کردن هیتر، ابتدا دما روی حداکثر هشت درجه نزدیک به دمای جوش قرار گرفت و شیر آب باز شد و حدود ۱۰ الی ۱۵ دقیقه بعد به محض جوش آمدن آب داخل بالن ها، دما روی سه درجه تنظیم شد. به مدت سه ساعت (در گیاهان مختلف این زمان متفاوت است)، آویشن داخل بالن ها جوشانده شد تا مقدار اسانس در لوله های

تیمارهای هورمون سیتوکنین قبل از گل دهی اعمال شد. برای جلوگیری از تبخیر هورمون، محلول پاشی نزدیک غروب آفتاب انجام گرفت. جهت جذب بهتر هورمون سیتوکنین، از ماده توین - ۲۰ با غلظت ۰/۱ درصد به عنوان سورفکتانت استفاده شد. برای گیاهان شاهد، محلول پاشی با آب انجام شد. آبیاری مزرعه متناسب با شرایط محیط و مرحله رشدی گیاه، در ابتدا به صورت نشتی و سپس به صورت بارانی انجام گرفت. وجین علف های هرز در طی فصل رشد به صورت دستی انجام شد. جهت مطالعه صفات مورد بررسی، نمونه برداری در مرحله ۵۰ درصد گل دهی (کد BBCH65) (Meier, 2018) انجام گرفت. ارتفاع گیاه از سطح خاک تا انتهای بلندترین ساقه توسط خط کش اندازه گیری شد. قطر ساقه اصلی در ارتفاع حدود ۱۰ سانتی متری بالای سطح خاک و به وسیله کولیس دیجیتال اندازه گیری شد. شمارش تعداد شاخه جانبی به صورت تصادفی از پنج بوته خطوط

(Salek Mearaji, Tavakoli, & Niazsehpahvand, 2020). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۹/۱۷ سانتی متر) در چین اول برداشت به دست آمد که در مقایسه با چین دوم برداشت حدود ۱۶ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲). بیشتر بودن ارتفاع بوته در چین اول برداشت می تواند متأثر از شرایط آب و هوایی طول دوره رشد باشد. میانگین دما در برداشت اول نسبت به برداشت دوم کمتر بوده است. همچنین متوسط درصد رطوبت و بارندگی نیز بیشتر بوده است (جدول ۲).

تعداد شاخه فرعی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثرات متقابل سال در سیتوکینین، سال در چین و چین در سیتوکینین در سطح احتمال یک درصد روی تعداد شاخه فرعی معنی دار بودند (جدول ۳). تعداد شاخه فرعی در هر بوته تحت تأثیر محلول پاشی سیتوکینین در سال های مختلف آزمایش متفاوت بود. در هر سه سال آزمایش، با افزایش غلظت سیتوکینین در مقایسه با عدم کاربرد آن (شاهد) تعداد شاخه های فرعی در هر بوته افزایش معنی داری نشان داد. به طور مثال، بیشترین تعداد شاخه فرعی (۲۳/۶۷) شاخه) در تیمار محلول پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در سال سوم آزمایش به دست آمد که در مقایسه با کمترین تعداد شاخه فرعی (۱۴/۵) شاخه) در شاهد در سال اول آزمایش، حدود ۶۳ درصد افزایش نشان داد (شکل ۳). براساس نتایج به دست آمده، بیشترین تعداد شاخه فرعی در هر سه سال آزمایش، در چین اول حاصل شد (شکل ۴). به طور کلی، بالاترین تعداد شاخه فرعی در چین اول سال سوم آزمایش به دست آمد (شکل ۴). همچنین، بین چین اول برداشت در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ از نظر آماری تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۴). اثر غلظت های مختلف سیتوکینین بر تعداد شاخه فرعی در چین اول و دوم برداشت متفاوت بود (جدول ۴). به طور مثال، تأثیر غلظت های مختلف سیتوکینین در چین اول برداشت در مقایسه با چین دوم بیشتر بود. در هر دو چین برداشت، با افزایش غلظت سیتوکینین تعداد شاخه فرعی افزایش نشان داد. به طور کلی، بیشترین تعداد شاخه فرعی (۲۳/۸۹) شاخه) در تیمار محلول پاشی غلظت ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول برداشت حاصل شد که در مقایسه با کمترین شاخه فرعی (۱۵) شاخه) به دست آمده در تیمار عدم کاربرد سیتوکینین در چین دوم برداشت، حدود ۵۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). یکی از دلایل افزایش تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر محلول پاشی سیتوکینین می تواند به دلیل کاهش غالبیت انتهایی باشد (Azizi et al., 2015). گزارش شده است که ترکیب سیتوکینین به همراه اکسین ها باعث افزایش سرعت تکثیر شاخه ها می شود (Palai, Rout, & Das, 1997).

تعبیه شده جمع آوری گردد. سپس ویال های خالی را وزن نموده و با استفاده از پیپت، اسانس را داخل ویال ها تخلیه نموده و وزن پر آن ثبت گردید. اسانس به دست آمده با استفاده از مقدار مناسب سدیم سولفات (۰/۱ وزن اسانس به دست آمده) خشک شد. سپس وزن خالص اسانس برای هر نمونه تعیین شد (Omidbeigi, 2000). عملکرد اسانس از حاصل ضرب درصد اسانس در عملکرد ماده خشک برگ در هکتار تقسیم بر عدد ۱۰۰ محاسبه شد. به منظور تجزیه واریانس داده ها، پس از بررسی نرمال بودن آن ها، تجزیه مرکب در سه سال با استفاده از نرم افزار SAS ver.9 انجام شد. در تجزیه مرکب، سال به عنوان اثر تصادفی و چین برداشت و سیتوکینین به عنوان اثر ثابت در نظر گرفته شدند. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها (جدول ۳) نشان داد که اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل سال در سیتوکینین روی ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده ها (شکل ۱) نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر غلظت های مختلف سیتوکینین متفاوت بود. در هر سه سال آزمایش، با افزایش غلظت سیتوکینین در مقایسه با عدم کاربرد آن، ارتفاع بوته افزایش معنی داری یافت. نتایج نشان داد با وجودی که از نظر تأثیر بر ارتفاع بوته بین غلظت های مختلف سیتوکینین در هر سه سال از لحاظ آماری تفاوت معنی داری وجود نداشت؛ اما بیشترین ارتفاع بوته (۱۸/۸۴ سانتی متر) مربوط به محلول پاشی غلظت ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در سال سوم آزمایش (سال ۱۳۹۹) بود (شکل ۱). افزایش ارتفاع بوته تحت تأثیر محلول پاشی سیتوکینین می تواند به دلیل افزایش تعداد و اندازه سلول و یا افزایش جذب مواد غذایی باشد (Halmann, Frei, & Steinfeld, 2002). همچنین، تفاوت ارتفاع بوته در سال های مختلف آزمایش می تواند به دلیل افزایش سن گیاه یا شرایط آب و هوایی باشد. تنظیم کننده های رشد گیاهی می توانند تقسیم و طویل شدن سلول را از طریق افزایش انعطاف پذیری دیواره سلول تحریک کنند و در نتیجه باعث افزایش رشد شوند (Rohamare et al., 2013). گزارش شده است که محلول پاشی سیتوکینین (رایج ترین نوع سیتوکینین) روی گیاه سیب زمینی باعث افزایش ارتفاع بوته و تعداد ساقه اصلی شد (Doustipour, Barmaki, Hassanpanah, & Khomari, 2016). محلول پاشی کینوا^۱ با سیتوکینین باعث افزایش ارتفاع بوته شد

(*Chenopodium quinoa* willd) گزارش شد که حداکثر تعداد شاخه فرعی در محلول پاشی ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین حاصل شد (Salek Mearaji et al., 2020).

(*Mellisa officinalis* L.) با سیتوکینین باعث افزایش تعداد شاخه فرعی، محتوای کلروفیل، تعداد برگ، ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن تر اندام هوایی، طول میان گره و تعداد گره شد (Valiyari & Nourafcan, 2018). در یک مطالعه روی گیاه کینوا

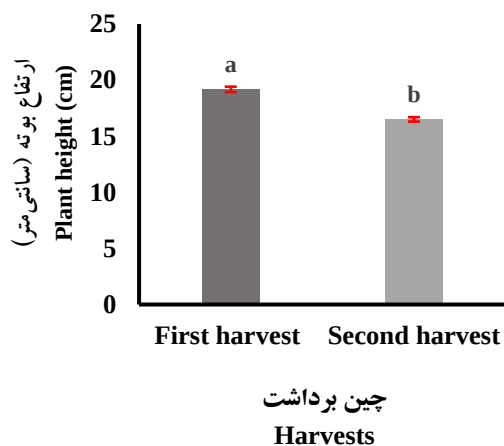
جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثرهای سال، نیتروژن، سیتوکینین و اثر متقابل آن‌ها از نظر صفات مورد بررسی در گیاه آویشن

Table 3- Combined analysis of variance for the effects of year, nitrogen, cytokinin and their interaction in terms of investigated traits in thyme plants

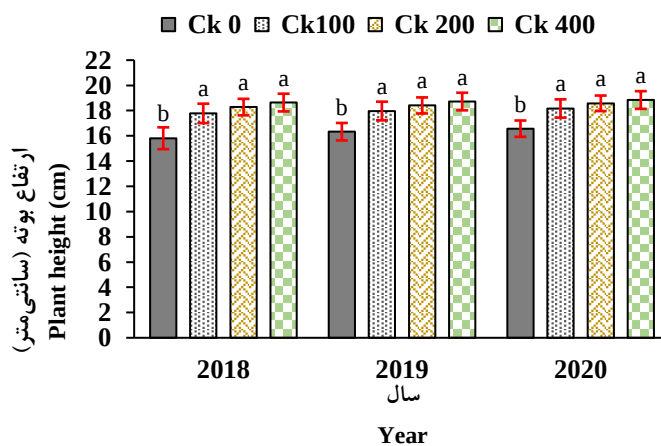
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی No. of branches	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک کل Total dry weight	قطر ساقه Stem diameter	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield
سال (Y) Year	2	1.02 ^{ns}	41.76 ^{**}	92641.62 ^{ns}	267796.01 ^{ns}	436489.56 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.39 [*]	311.12 ^{ns}
بلوک (سال) Block (Year)	6	1.69	0.22	786129.79	698267.58	2838708.28	0.31	0.05	293.14
چین برداشت (A) Harvest cutting	1	127.81 ^{**}	125.34 ^{**}	9046840.06 ^{**}	3614912.34 ^{**}	240999153.13 ^{**}	2.50 ^{**}	0.008 ^{ns}	4432.26 ^{**}
سیتوکینین (B) Cytokinin	3	22.33 ^{**}	143.34 ^{**}	3808723.67 ^{**}	1856503.01 ^{**}	10958391.31 ^{**}	0.46 ^{**}	0.15 ^{**}	2520.97 ^{**}
Y × A	2	0.04 ^{ns}	0.26 ^{**}	2629.01 ^{ns}	4300.18 ^{ns}	11811.50 ^{ns}	0.02 [*]	0.003 ^{ns}	4.60 ^{ns}
Y × B	6	0.10 ^{**}	0.26 ^{**}	1211.46 ^{ns}	5867.18 ^{ns}	6729.41 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	2.33 ^{ns}
A × B	3	0.02 ^{ns}	0.82 ^{**}	69318.24 ^{**}	113851.27 ^{**}	352197.53 ^{**}	0.01 ^{ns}	0.005 ^{ns}	70.68 ^{**}
Y × A × B	6	0.0009 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1123.03 ^{ns}	2602.82 ^{ns}	6333.69 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.005 ^{ns}	2.21 ^{ns}
خطا Error	42	0.99	1.61	124372.27	154298.06	512364.09	0.17	0.01	70.47
ضریب تغییرات CV (%)		20.04	6.66	5.58	34.79	20.97	4.62	22.07	24.66

ns: no significant, *, **, **: به ترتیب بدون اختلاف معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

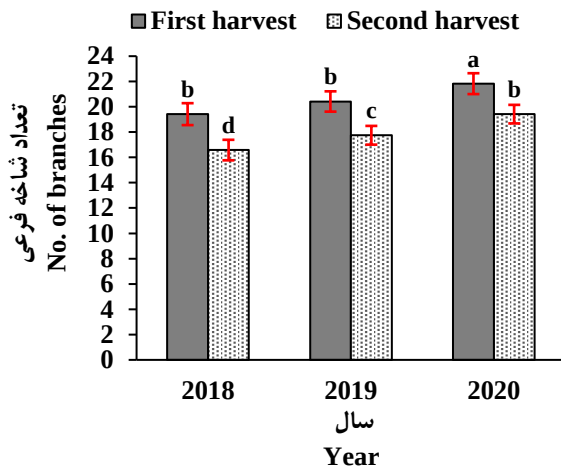
ns: no significant, **, *: Significant at 1 and 5% probability levels, respectively.



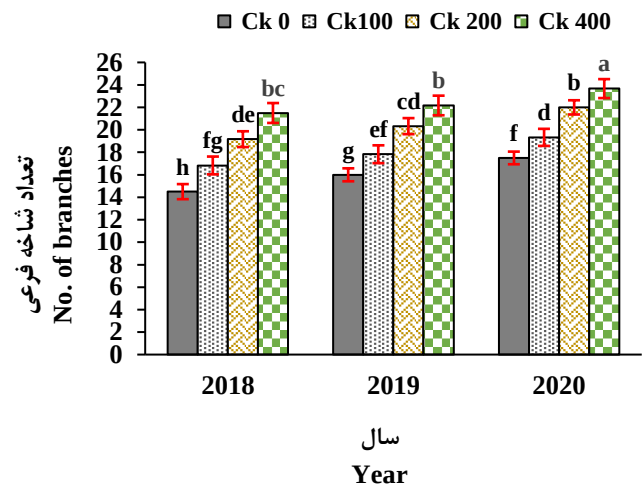
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر چین برداشت بر ارتفاع بوته
Figure 2- Means comparison of harvest cutting in terms of the plant height (LSD=0.47)



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های سیتوکینین × سال از نظر ارتفاع بوته
Figure 1- Means comparison of cytokinin concentrations × year interaction in terms of the plant height (LSD=1.16)



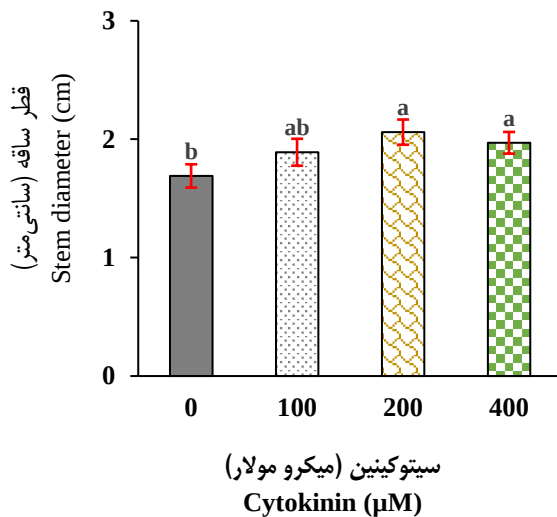
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل چین×سال از نظر ارتفاع بوته
Figure 4- Means comparison of cuttings×year interaction in terms of the number of branches (LSD=1.05)



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های سیتوکینین×سال از نظر تعداد شاخه فرعی

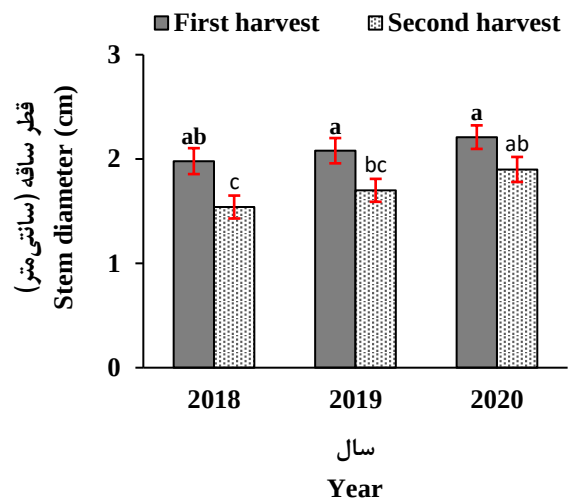
Figure 3- Means comparison of cytokinin concentrations×year interaction in terms of the number of branches (LSD=1.48)

بیشترین قطر ساقه (۲/۰۶ سانتی‌متر) مربوطه به محلول‌پاشی ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین بود (شکل ۵). قطر ساقه در چین‌های مختلف برداشت متفاوت بود. در هر سه سال آزمایش، قطر ساقه در چین اول نسبت به چین دوم برداشت بیشتر بود. به‌طور کلی، بیشترین قطر ساقه در چین اول و در سال سوم (۱۳۹۹) آزمایش به‌دست آمد (شکل ۶). همچنین، بین چین اول در هر سال آزمایش از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶).



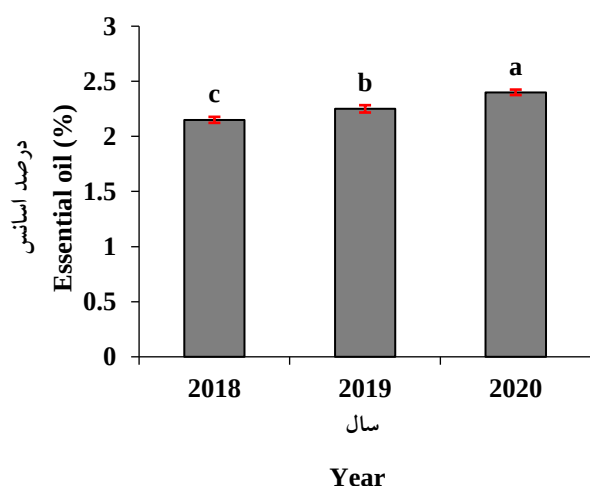
شکل ۶- مقایسه میانگین غلظت‌های سیتوکینین از نظر قطر ساقه
Figure 6- Means comparison of cytokinin concentrations in terms of the stem diameter (LSD=0.28)

بررسی واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل سال در چین روی قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها (شکل ۵) نشان داد که با افزایش غلظت سیتوکینین، قطر ساقه در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری یافت. هرچند از نظر آماری بین غلظت‌های مختلف سیتوکینین تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل چین×سال از نظر قطر ساقه
Figure 5- Means comparison of cuttings×year interaction in terms of the stem diameter (LSD=0.34)

تنظیم کننده های رشد گیاه بر تشکیل ساختار غدد ترشعی اسانس در طی مطالعه اثر سیتوکینین بر تولید اسانس گیاه *Thimus mastichina* مشاهده شد (Farooqi, Khan, & Sharma, 2003). آن ها گزارش کردند که کاربرد بنزیل آدنین (BA) در غلظت ۰/۱ میلی گرم باعث افزایش درصد اسانس شد. در برگ گیاهان *T. mastichina* تیمار شده با BA، تراکم بیشتری از کرک های غده ای (محل تجمع اسانس) وجود داشت. در گیاه اسطوخودوس (*Lavandula dentata*) مقدار بیشتری برگ در گیاهان کشت شده در شرایط آزمایشگاهی به مدت هشت هفته با غلظت ۰/۱ میلی گرم در لیتر (BA) گزارش شد. برگ ها رنگ سبز بیشتری نشان دادند و برای مدت طولانی تری جوان ماندند. اثر مشاهده شده با تأخیر پیری برگ و تمایز غده ترشعی همراه بود (Sudria et al., 2004). محققان گزارش کرده اند که تغییر در درصد اسانس به دلیل تعداد کرک غده ای روی سطح برگ گیاهان است (Khetsha, Sedibe, Pretorius, & van der Watt, 2021; Gershenzon, 1994). بنابراین، تغییر محتوای اسانس پس از محلول پاشی تنظیم کننده های رشد با تغییر سطح برگ و تراکم کرک غده ای برگ، قابل توصیف است. بین سال های مختلف آزمایش از نظر تأثیر بر درصد اسانس آویشن باغی تفاوت معنی داری مشاهده شد. به ترتیب بیشترین (۲/۴) و کمترین (۲/۱۵) درصد اسانس در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۹ حاصل شد که حدود ۱۱/۶ درصد افزایش نشان داد (شکل ۸). شرایط محیطی طی دوره رشد گیاه در سال های مختلف آزمایش متفاوت بود.

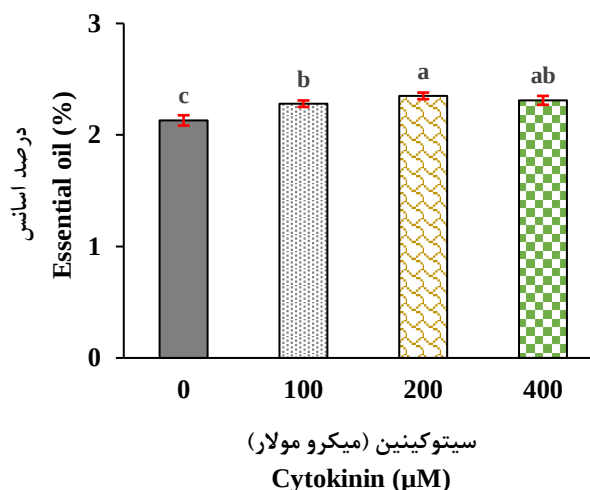


شکل ۸- مقایسه میانگین سال از نظر درصد اسانس
Figure 8- Means comparison of year in terms of the essential oil percentage (LSD=0.06)

سیتوکینین ها (به ویژه BAP) با تحریک تقسیم و تمایز سلول ها در نواحی مرستمی و همچنین تحریک سنتز پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک باعث تقویت رشد ساقه ها و افزایش قطر آن ها می شوند (Rademacher, 2015). گزارش شده است که محلول پاشی محرک های زیستی روی گیاه آویشن باغی باعث افزایش قطر ساقه شد (Naghdi Badi et al., 2015). همچنین، در یک مطالعه دیگر روی گیاه بادرنجبویه گزارش شده است که محلول پاشی با سیتوکینین باعث افزایش قطر ساقه شد (Valiyari & Nourafcan, 2018).

درصد اسانس

اثر سال و سیتوکینین بر درصد اسانس آویشن به ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد معنی دار بودند (جدول ۳). با افزایش غلظت سیتوکینین، درصد اسانس آویشن به شکل معنی داری افزایش یافت. هر چند براساس نتایج مقایسه میانگین اختلاف آماری معنی داری بین غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار وجود نداشت. اما به طور کلی، بیشترین درصد اسانس (۲/۳۵ درصد) با محلول پاشی ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین حاصل شد (شکل ۷). افزایش درصد اسانس آویشن تحت تأثیر محلول پاشی سیتوکینین ممکن است به دلیل افزایش سطح برگ و در نهایت، افزایش تعداد و اندازه سلول های تجمع کننده اسانس که در سطح برگ قرار دارند، باشد. بیوسنتز و تجمع اسانس گیاه آویشن در کرک های غده ای انجام می گیرد (Hornok, 1992; Prakash, 1990). تنظیم کننده های رشد گیاه می توانند در شکل گیری و توسعه بیوسنتز اسانس و ساختارهای ذخیره سازی تأثیر بگذارند. اثر استفاده از



شکل ۷- مقایسه میانگین غلظت های سیتوکینین از نظر درصد اسانس
Figure 7- Means comparison of cytokinin concentrations in terms of the essential oil percentage (LSD=0.07)

تفاوت در پارامترهای هواشناسی (بارندگی، دما و درصد رطوبت) می‌تواند روی درصد اسانس تأثیرگذار باشد. در بررسی اثر شرایط محیطی و مراحل مختلف رشد بر عملکرد محصول و درصد اسانس آویشن مشخص گردید که شرایط محیطی و سن گیاه بر عملکرد گیاه آویشن تأثیرگذار بود، به‌طوری‌که درصد اسانس از ۰/۳۲ تا ۰/۸۳ متغیر بود (Ozguven & Tansi, 1998).

وزن خشک برگ

اثرهای ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل چین در سیتوکینین روی وزن خشک برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وزن خشک برگ تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سیتوکینین در چین‌های برداشت متغیر بود (جدول ۴). در هر دو چین، با افزایش غلظت سیتوکینین، وزن خشک برگ افزایش معنی‌داری نشان داد. محلول‌پاشی سیتوکینین در چین اول برداشت، تأثیر افزایشی بیشتری بر وزن خشک برگ در مقایسه با چین دوم داشت. به‌طور کلی، بیشترین وزن خشک برگ (۲۶۰۸ کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول تولید شد (جدول ۴) که در مقایسه با عدم محلول‌پاشی سیتوکینین (شاهد) در برداشت دوم (۸۶۸ کیلوگرم در هکتار) حدود ۲۰۰ درصد وزن خشک برگ را افزایش داد (جدول ۴). محلول‌پاشی با هورمون سیتوکینین با افزایش تعداد و اندازه سلول (Rohamare et al., 2013) باعث بزرگ شدن برگ‌ها می‌گردد که از این طریق می‌تواند باعث افزایش وزن خشک برگ گردد. گزارش شده است که محلول‌پاشی با سیتوکینین روی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) و بادرنجبویه بیشترین شاخص سطح برگ را نسبت به شاهد داشت (Noroozi Shahri, Jalali, Honarmand, Saeidi, & Mondani, 2020). بیشترین سهم برگ در گیاهان از اولین برداشت و کمترین آن در آخرین برداشت مشاهده شد. این احتمالاً ناشی از برگ‌زدایی و لیگنین شدن ساقه‌ها بوده است (Beata & Kieltyka-Dadasiewicz, 2015).

وزن خشک ساقه

اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل چین در سیتوکینین در سطح احتمال یک درصد روی وزن خشک ساقه آویشن معنی‌دار شدند (جدول ۳). وزن خشک ساقه تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سیتوکینین در دو چین برداشت متفاوت بود، به‌طوری‌که چین اول در مقایسه با چین دوم برداشت، تحت تأثیر تمام غلظت‌های سیتوکینین وزن خشک ساقه بیشتری تولید کرد (جدول ۴). در هر دو چین برداشت، تمام غلظت‌های سیتوکینین در مقایسه با عدم کاربرد آن باعث افزایش وزن خشک ساقه گردید. در هر دو چین برداشت،

محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین، بیشترین وزن ساقه را تولید کرد. به‌طور کلی، بیشترین وزن خشک ساقه (۱۷۴۷ کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول برداشت به دست آمد (جدول ۴). گزارش شده است که تنظیم‌کننده‌های رشد به‌طور قابل توجهی بر اجزاء عملکرد، عملکرد و ترکیب اسانس گل رز (*Rosa damascena* Mill.) تأثیر داشتند. تعداد گل‌های گیاه (۷۳/۳ گل) و وزن تر گل (۲۰۳/۵ گرم) در تیمار ۱۵ میلی‌گرم دی‌فنیل اوره در لیتر در مقایسه با سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. کاربرد ۱۵ میلی‌گرم در لیتر دی‌فنیل اوره، ۳۰ و ۳۵ میلی‌گرم در لیتر کینتین، عملکرد گل تازه را به‌ترتیب ۵۶، ۴۱/۶ و ۳۵/۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دادند (Thakur & Kumar, 2020).

وزن خشک کل

اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل چین در سیتوکینین در سطح احتمال یک درصد روی وزن خشک کل معنی‌دار بودند (جدول ۳). چین برداشت و سیتوکینین تأثیر متفاوتی بر وزن خشک کل گیاه آویشن داشتند. براساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، غلظت‌های مختلف سیتوکینین در هر دو چین برداشت نسبت به شاهد (عدم کاربرد سیتوکینین) باعث افزایش وزن خشک کل شدند. وزن خشک کل در چین برداشت اول در مقایسه با چین برداشت دوم بیشتر بود. به‌طور کلی، بیشترین وزن خشک کل (۴۳۵۵ کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر کاربرد غلظت ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول به دست آمد که در مقایسه با کمترین وزن خشک کل (۱۴۸۳ کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر تیمار عدم کاربرد سیتوکینین در چین اول، حدود ۱۹۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). افزایش وزن ماده خشک کل می‌تواند به‌دلیل تأثیر مستقیم سیتوکینین بر افزایش صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه و وزن خشک برگ و ساقه باشد که در نهایت موجب افزایش عملکرد ماده خشک کل می‌شود. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌توانند باعث تغییر در برخی مسیرهای متابولیکی، عملکرد فتوسنتز، عملکرد و خصوصیات ریخت‌شناسی گیاهان شوند. علاوه‌براین، توصیف شده است که تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌توانند از طریق افزایش سنتز پروتئین، فعالیت نیترات ردوکتاز، جذب آب و تغذیه معدنی، تولید و انتقال کربوهیدرات‌ها، بازده فتوسنتز و بیوسنتز رنگدانه‌ها، رشدونمو گیاه را بهبود بخشند (Muthulakshmi, & Pandiyarajan, 2015; Khan, Mujeib, Aha & Farooqui, 2015; Dar et al., 2015). محلول‌پاشی با سیتوکینین سبب افزایش صفات تعداد برگ، ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر و وزن خشک گیاه بادمجان شد (Opabode & Owojori, 2015).

باعث تولید بیشترین (۵۹/۹۵ کیلوگرم) اسانس در هکتار شد (جدول ۲) که در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد سیتوکینین) در چین اول و دوم به ترتیب ۱۰۸/۷ و ۲۱۷/۸۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). افزایش عملکرد اسانس به دلیل افزایش درصد اسانس و ماده خشک برگ تحت تأثیر محلول پاشی سیتوکینین از طریق بهبود شرایط رشد و افزایش بیوسنتز اسانس می باشد. در گیاه نعنای (*Mentha arvensis* L.)، استفاده از ۲۰۰ ppm کینتین (نوعی سیتوکینین) منجر به افزایش تولید زیست توده شد که به افزایش عملکرد اسانس کمک کرد (Farooqi, Khan, & Sharma, 2003). کاربرد ۱۵ میلی گرم در لیتر دی فنیل اوره و ۳۰ میلی گرم در لیتر کینتین به ترتیب ۷۲/۸ و ۵۲/۸ درصد عملکرد اسانس را در مقایسه با شاهد افزایش دادند (Thakur & Kumar, 2020). تفاوت بین دو چین ممکن است به رشد مجدد گیاه و عوامل آب و هوایی نسبت داده شود (Abbaszadeh & Layegh Haghighi, 2013).

2018). تاریخ برداشت آویشن بر عملکرد گیاه و کیفیت آن تأثیر بسزایی داشت. همچنین، شرایط آب و هوایی در طول دوره رویشی، اثر زیادی بر عملکرد گیاه و تأثیر جزئی بر کیفیت آن بر جا گذاشت (Beata & Kieltyka-Dadasiewicz, 2015).

عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۳) نشان داد که اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل چین در سیتوکینین در سطح احتمال یک درصد روی عملکرد اسانس معنی دار گردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ها (جدول ۴) نشان داد که عملکرد اسانس تولید شده در هکتار در چین های مختلف تحت تأثیر محلول پاشی سیتوکینین متفاوت بود. به طور مثال، در هر دو چین، با افزایش غلظت سیتوکینین، عملکرد اسانس به شکل معنی داری افزایش نشان داد و این افزایش عملکرد اسانس در چین اول در مقایسه با چین دوم بیشتر بود. به طور کلی، محلول پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل چین × غلظت های سیتوکینین از نظر صفات مورد بررسی در گیاه آویشن

Table 4- Means comparison of cutting × cytokinin concentrations interaction in terms of the investigated traits of thyme

تیمارها		تعداد شاخه	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک کل	عملکرد اسانس
Treatments		فرعی	Leaf dry weight (kg ha ⁻¹)	Stem dry weight (kg ha ⁻¹)	Total dry weight (kg ha ⁻¹)	Essential oil yield (kg ha ⁻¹)
چین برداشت	سیتوکینین	No. of branches				
Cutting harvest	Cytokinin (μM)	branches				
	0	17.00 ^{d*}	1402 ^e	841 ^{def}	2244 ^e	28.72 ^f
چین اول	100	19.44 ^c	2082 ^{bc}	1341 ^{bc}	3423 ^{bc}	47.46 ^{bc}
First cutting	200	21.89 ^b	2362 ^{ab}	1541 ^{ab}	3903 ^{ab}	55.38 ^{ab}
	400	23.89 ^a	2608 ^a	1747 ^a	4355 ^a	59.95 ^a
	0	15.00 ^e	868 ^f	614 ^f	1483 ^f	18.86 ^g
چین دوم	100	16.56 ^d	1347 ^e	791 ^{ef}	2139 ^{ef}	30.72 ^{ef}
Second cutting	200	19.11 ^c	1622 ^{de}	1101 ^{cde}	2723 ^{de}	37.86 ^{de}
	400	21.00 ^b	1781 ^{cd}	1170 ^{bcd}	2951 ^{cd}	41.30 ^{cd}
LSD (5%)		1.21	335.50	373.70	681	7.99

* حروف مشابه در هر ستون، نشان دهنده عدم معنی داری بین تیمارها می باشد (LSD ≤ 0.5).

* Similar letters in each column indicate non-significance between treatments (LSD ≤ 0.5).

نتیجه گیری

ارتفاع بوته مربوط به محلول پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در سال سوم آزمایش بود. همچنین بیشترین ارتفاع بوته در چین اول برداشت به دست آمد. در هر سه سال آزمایش، با افزایش غلظت سیتوکینین، تعداد شاخه فرعی در بوته افزایش معنی داری نشان داد. بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمار محلول پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول برداشت حاصل شد. با افزایش غلظت سیتوکینین، قطر ساقه در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش معنی داری یافت. در هر سه سال آزمایش، قطر ساقه در چین اول نسبت به چین دوم برداشت بیشتر بود. با افزایش غلظت سیتوکینین، درصد اسانس افزایش یافت. بیشترین درصد اسانس (۲/۳۵ درصد) با محلول پاشی

در این مطالعه، تأثیر چین های برداشت و محلول پاشی سیتوکینین بر تولید اسانس و خصوصیات رشد رویشی آویشن باغی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که محلول پاشی سیتوکینین روی ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک برگ، ساقه و کل، قطر ساقه، درصد و عملکرد اسانس معنی دار بود. همچنین، اثر چین برداشت روی تمامی این صفات (به جز درصد اسانس) معنی دار گردید. به علاوه، اثر متقابل چین در محلول پاشی سیتوکینین بر صفات تعداد شاخه جانبی، وزن خشک برگ و ساقه، وزن خشک کل و عملکرد اسانس معنی دار گردید. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین

دوم بیشتر بود. محلول پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول باعث تولید بیشترین اسانس (۵۹/۹۵ کیلوگرم در هکتار) شد. به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که محلول پاشی سیتوکینین در هر دو چین برداشت باعث افزایش عملکرد کمی آویشن گردید. با این حال، این افزایش در چین اول در مقایسه با چین دوم در تمام صفات مورد بررسی بیشتر بود. براساس نتایج این مطالعه، برای افزایش تولید اسانس و صفات رویشی آویشن باغی، محلول پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین (به ویژه در چین اول برداشت) توصیه می گردد.

۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین حاصل شد. به ترتیب بیشترین و کمترین درصد اسانس در سال ۱۳۹۹ و ۱۳۹۷ حاصل شد. وزن خشک برگ، ساقه و کل تحت تأثیر غلظت های سیتوکینین در چین های برداشت متغیر بود. بیشترین وزن خشک برگ (۲۶۰۸ کیلوگرم در هکتار)، وزن خشک ساقه (۱۷۴۷ کیلوگرم در هکتار) و وزن خشک کل (۴۳۵۵ کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر کاربرد غلظت ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول به دست آمد. عملکرد اسانس تولید شده در هکتار در چین های مختلف تحت تأثیر محلول پاشی سیتوکینین متفاوت بود. افزایش عملکرد اسانس در چین اول در مقایسه با چین

References

1. Abbaszadeh, B., & Layegh Haghighi, M., (2013). Effect of nutrition and harvest time on growth and essential oil content of *Thymus vulgaris* L. *Journal of Medicinal plants and By-Product*, 2(2), 143-151. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/jmpb.2013.108587>
2. Abdel Latef, A. A. H., Akter, A., & Tahjib-Ul-Arif, M. (2021). Foliar application of auxin or cytokinin can confer salinity stress tolerance in *Vicia faba* L. *Agronomy Journal*, 11(4), 790. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040790>
3. Akbarinia, A., Sharifi Ashoorabadi, E., & Mirza, M. A. H. D. I. (2010). Study on drug yield and essential oil content and composition of *Thymus daenensis* Celak. Under cultivated condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 26(2), 205-212. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6863>
4. Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A., & Morshedloo, M. R. (2021). Evaluation of essential oil yield and ecological indices in the intercropping of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* L.) with application of arbuscular mycorrhizal fungus. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), 31-50. (in Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.13687>
5. Azizi, P., Rafii, M. Y., Maziah, M., Abdullah, S. N. A., Hanafi, M. M., Latif, M. A., Rashid, A. A., & Sahebi, M. (2015). Understanding the shoot apical meristem regulation: A study of the phytohormones, auxin and cytokinin, in rice. *Mechanisms of Development*, 135, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.mod.2014.11.001>
6. Beata, K. R. O. L., & Kiełtyka-Dadasiewicz, A. (2015). Yield and herb quality of thyme (*Thymus vulgaris* L.) depending on harvest time. *Turkish Journal of Field Crops*, 20(1), 78-84. <https://doi.org/10.17557/89347>
7. Bybordi, A. (2007). Effect of foliar applications of Iron and Zinc on the yield and quality of white qom and red ray onion varieties in grown Khosrowshahr regions. *Pajouhesh and Sazandegi*, 74, 153-160. (in Persian).
8. Carey, D. J., Whipker, B. E., McCall, I., & Buhler, W. (2008). Cytokinin based PGR affects growth of vegetative petunia. In Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Plant Growth Regulation Society of America, San Francisco, CA, USA, 3-7 August; Plant Growth Regulation Society of America: Atlanta, GA, USA.
9. Dar, T. A. M., Uddin, M., Khan, M. A., Ali, A., Hashmi N., & Idrees, M. (2015). Cumulative effect of gibberellic acid and phosphorus on crop productivity, biochemical activities and trigonelline production in *Trigonella foenumgraecum* L. *Cogent Food and Agriculture*, 1, 1-14. <https://doi.org/10.1080/23311932.2014.995950>
10. Doustipour, S., Barmaki, M., Hassanpanah, D., & Khomari, S. (2016). Study the effects of synthetic cytokinin on growth and yield of potato cultivars. M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (In Persian).
11. Farooqi, A. H. A., Khan, A., & Sharma, S. (2003). Effect of kinetin and chlormequat chloride on growth, leaf abscission and essential oil yield in *Mentha arvensis*. *Indian Perfumer*, 47(4), 359-363.
12. Gershenzon, J. (1994). Metabolic costs of terpenoid accumulation in higher plants. *Journal of Chemical Ecology*, 20, 1281-1328. <https://doi.org/10.1007/BF02059810>
13. Grzesik, M. (1989). Factors influencing the effectiveness of growth regulators in nursery production. *Acta Horticulturae*, 251, 371-375.
14. Halmann, M., Frei, A., & Steinfeld, A. (2002). Thermo-neutral production of metals and hydrogen or methanol by the combined reduction of the oxides of zinc or iron with partial oxidation of hydrocarbons. *Energy*, 27(12), 1069-1084. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00080-4](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00080-4)
15. Honig, M., Plihalova, L., Husickova, A., Nisler, J., & Doležal, K. (2018). Role of cytokinins in senescence, antioxidant defence and photosynthesis. *International Journal of Molecular Sciences*, 19, 4045. <https://doi.org/10.3390/ijms19124045>
16. Hornok, L. (1992). Cultivation and Processing of Medicinal Plants. Academiai Kiado. Budapest, Hungary. 338 p.
17. Khan, A. F., Mujeeb, F., Aha, F., & Farooqui, A. (2015). Effect of plant growth regulators on growth and essential oil content in palmarosa (*Cymbopogon martinii*). *Asian Journal Pharmaceutical Clinical Research*, 8(2), 373-376.

18. Khan, M. M. A., Afreen, R., Quasar, N., Khanam, N., & Uddin, M. (2023). Steam-mediated foliar application of catechol and plant growth regulators enhances the growth attributes, photosynthesis, and essential oil production of lemongrass [*Cymbopogon flexuosus* (Steud.) WATS]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 48, 102638. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102638>
19. Khetsha, Z. P., Sedibe, M. M., Pretorius, R. J., & van der Watt, E. (2021). Cytokinin, gibberellic acid and defoliation on density and morphology of trichome of pelargonium graveolens l'hér for essential oil biosynthesis. *Agrociencia*, 55(4), 331-346. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i4.2481>
20. Mahdy, H. A. A., Mubarak, D. M., El-Azab, M. E., Mohammed, K. A. S., & Abd El-Rheem, K. M. (2019). Effect of foliar spraying with amino acid and cytokinin on growth, yield quality and quantity of nutritional status of roselle plants. *Bioscience Research*, 16(1), 102-109. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i4.2481>
21. Meier, U. (2018). Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Julius Kuhn-Institute (JKI). Quedlinburg, Germany. <https://doi.org/10.5073/20180906-074619>
22. Muthulakshmi, S., & Pandiyarajan, V. (2015). Effect of Iaa on the Growth, Physiological and Biochemical Characteristics in *Catharanthus roseus* L. G. Don. *International Journal of Science and Research*, 4(3), 442-48.
23. Naghdi Badi, H., Labbafi, M. R., Qavami, N., Qaderi, A., Abdossi, V., Agharebparast, M. R., & Mehrafarin, A. (2015). Responses of quality and quantity yield of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) to foliar application of bio-stimulator based on amino acids and methanol. *Journal of Medicinal Plants*, 14(54), 146-158. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2015.14.54.12.5>
24. Noroozi Shahri, F., Jalali Honarmand, S., Saeidi, M., & Mondani, F. (2020). Evaluation of growth phytohormones and different concentrations of plant derived smoke applications on growth characteristics and biological yield of medicinal plants Lemon balm (*Melissa officinalis*) and Basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Crops Improvement*, 22(1), 89-102. <https://doi.org/10.22059/jci.2019.280801.2211>
25. Omidbeigi R. (2000). Production and processing of medicinal plants. Volume I, Second Edition, Tarahan Publication, Iran. 424 pp. (in Persian).
26. Opabode, J. T. & Owojori, S. (2018). Response of African eggplant (*Solanum macrocarpon* L.) to foliar application of 6-benzylaminopurine and gibberellic acid. *Journal of Horticultural Research*, 26(2), 37-45. <https://doi.org/10.2478/johr-2018-0014>
27. Ozguven, M., & Tansi, S. (1998). Drug yield and essential oil of *Thymus vulgaris* L. as in influenced by ecological and ontogenetical variation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22, 537-542.
28. Palai, S. K., Rout, G. R., & Das, P. (1997). Micropropagation of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.)-interaction of growth regulators and culture conditions. Biotechnology of spices, medicinal and aromatic plants. India: Indian Society for Spices, Kerala. 20-24.
29. Prakash, V. (1990). Leafy Spices. CRS Press. Boca Ra. U.S.A. 114 p.
30. Rohamare, Y., Nikam, T. D., & Dhumal, K. N. (2013). Effect of foliar application of plant growth regulators on growth, yield and essential oil components of ajwain (*Trachyspermum ammi* L.). *International Journal of Seed Spices*, 3(2), 34-41.
31. Safaii, L., Ashoorabadi, E. S., Emami, S. D., & Afiuni, D. (2014). The effect of harvesting stages on quantitative and qualitative characters of essential oil and phenolic yield composition in two thyme species (*Thymus daenensis* Celak and *T. vulgaris* L.) in Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(13), 1346.
32. Salek Mearaji, H., Tavakoli, A., & Niazsepehvand, A. A. (2020). The Effect of cytokinin on physiological and related traits with yield of quinoa under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 22(3), 419-432. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.292821.2298>
33. Silva, A. S., Tewari, D., Sureda, A., Suntar, I., Belwal, T., Battino, M., & Nabavi, S. F. (2021). The evidence of health benefits and food applications of *Thymus vulgaris* L. *Trends in Food Science and Technology*, 117, 218-227. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.010>
34. Sosnowski, J., Truba, M., & Vasileva, V. (2023). The impact of auxin and cytokinin on the growth and development of selected crops. *Agriculture*, 13(3), 724. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030724>
35. Sudria, C., Palazon, J., Cusido, R., Bonfill, M., Pinol, M. T., & Morales, C. (2004). Effect of benzyladenine and indolebutyric acid on ultrastructure, glands formation, and essential oil accumulation in *Lavandula dentata* plantlets. *Physiol Plant*, 44(1), 1-6.
36. Thakur, M., & Kumar, R. (2020). Foliar application of plant growth regulators modulates the productivity and chemical profile of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) under mid hill conditions of the western Himalaya. *Journal Industrial Crops and Products*, 158, 113024. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113024>
37. Ullah, A., Manghwar, H., Shaban, M., Khan, A. H., Akbar, A., Ali, U., Ali, E., & Fahad, S. (2018). Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: A coping strategy. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 33103–33118. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3364-5>
38. Valiyari, M., & Nourafcan, H. (2018). Effect of IAA and BAP on morphophysiological traits of lemon balm. *Agroecology Journal*, 13(4), 23-32. (In Persian).
39. Wang, Y., Li, J., Yang, L., & Chan, Z. (2023). Melatonin antagonizes cytokinin responses to stimulate root growth

- in *Arabidopsis*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(3), 1833-1845. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10663-9>
40. Zahid, G., Iftikhar, S., Shimira, F., Ahmad, H. M., & Kaçar, Y. A. (2023). An overview and recent progress of plant growth regulators (PGRs) in the mitigation of abiotic stresses in fruits: A review. *Scientia Horticulturae*, 309, 111621. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111621>
41. Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34, 845-872. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>
42. Affonso, V. R., Bizzo, H. R., Lage, C. L. S., & Sato, A. (2009). Influence of growth regulators in biomass production and volatile profile of in vitro plantlets of *Thymus vulgaris* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(14), 6392-6395. <https://doi.org/10.1021/jf900816c>
43. Bahman, S., Mehrafarin, A., & Naghdi Badi, H. (2017). Influence of gibberellic acid, indole butyric acid, and methanol on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus vulgaris* L. *Journal of Medicinal Plants*, 16(61), 33-44. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2017.16.61.8.9>

The Outlook for Food Security in Razavi Khorasan Province (2024-2033) from the Perspective of Crop Products (Based on Water Capacity)

A. Keshavarz^{1,2}, A. Zarea Feizabadi^{1,3}, F. Yaghoubi^{1,4*}

- 1- National Center for Strategic Studies of Agriculture and Water use at Iran's Chamber of Commerce, Tehran, Iran
2- Agricultural Research, Education and Extension Organization, Seed and Plant Improvement Institute, Tehran, Iran
3- Agricultural Research, Education and Extension Organization, Research Center of Agricultural and Natural Resources of Razavi Khorasan, Mashhad, Iran
4- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(* - Corresponding Author Email: fa.yaghoubi@mail.um.ac.ir)

Received: 09 April 2024
Revised: 25 July 2024
Accepted: 12 August 2024
Available Online: 01 March 2025

How to cite this article:

Keshavarz, A., Zarea Feizabadi, A., & Yaghoubi, F. (2025). The Outlook for Food Security in Razavi Khorasan Province (2024-2033) from the Perspective of Crop Products (Based on Water Capacity). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(1), 45-64. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87489.1319>

Introduction

The food security of any country is directly dependent on the production of its agricultural sector, and any disruption in the production process of this sector can directly threaten the food, social, economic and even political security of the country. In other words, the agricultural sector, as a productive sector, is responsible for eliminating and reducing poverty and ensuring food security. In the current situation, due to the ever-increasing demand and the significant growth of the population, the indiscriminate and incorrect exploitation of limited and non-renewable resources and reserves, as well as the occurrence of challenges such as climate change, ensuring food security and maintaining it, are of great importance. The purpose of this study was to investigate the availability of crop products in Razavi Khorasan province in two horizons of 5 and 10 years under two scenarios of full irrigation and deficit irrigation in accordance with the water capacity of the province and to provide appropriate solutions.

Materials and Methods

This study was carried out in Razavi Khorasan province for the time period of 2017-2020 as the baseline and 2024-2028 and 2024-2033 as 5- and 10-year horizons, respectively. The information needed for this study was obtained through documentary and library studies, generally by referring to the official centers that publish the country's information and published documents (especially the Ministry of Agriculture and the Agricultural Jihad Organization of Razavi Khorasan province), field information and also by completing the questionnaire from national experts and holding meetings with stakeholders and experts. Finally, the changes in the harvested area, yield, production, volume of water consumption and water productivity of important irrigated (under two scenarios of full irrigation and deficit irrigation) and rainfed crops, as well as indicators of per-capita consumption, production, demand, trade, and the percentage of self-reliance of these crops were estimated and evaluated in 5- and 10-year horizons compared to the baseline (2017-2020).



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

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87489.1319>

Results and Discussion

According to the results, if the objectives of this study are achieved, the crop water requirement and total water consumption will decrease across both scenarios and time horizons, while water productivity will improve compared to the baseline. In the projected horizon periods, the yield of both irrigated and rainfed crops will increase compared to the baseline. The harvested area of irrigated crops will decrease, while the harvested area of rainfed crops will expand. However, under deficit irrigation conditions, the production of both rainfed and irrigated crops will rise, whereas irrigated crop production under full irrigation conditions will decline, aligning with water balance objectives. These changes will occur mainly due to the increase in the harvested area and production of fodder sorghum, silage, fodder beet, and autumn beet and the decrease in the harvest area and production of alfalfa, irrigated vegetable crops, and spring beet. Despite the increase in the demand of important crop products of the province in 5- and 10-year horizons by 10 and 17% (considering population growth and improvement in per-capita consumption), respectively, the amount of production of these products will decrease by 2% in 5-year horizon and increase by only 1% in 10-year horizon. Therefore, it is predicted that the self-reliance of the province's total production will decrease from 74% in the baseline to 68% and 67% in the 5- and 10-year horizons, respectively. In order to achieve the results of this study, solutions such as paying attention to aquifers and watersheds, cultivation of fallow lands, increasing soil organic matter, real development of conservation agriculture, development of autumn and waiting planting, development of alternative crops (especially fodder crops), and provision, production, distribution, and consumption of inputs in a timely and appropriate manner are suggested.

Conclusion

In total, the results of this research showed that the proposed production pattern for crops in Razavi Khorasan province and 5 and 10-year horizons will be consistent with the water capacity of the province, especially in the deficit irrigation scenario. However, the realization of the results of this study requires the categories of "research", "technology", "education and empowerment", and "promotion of achievements".

Keywords: Deficit irrigation, Per-capita consumption, Production, Self-reliance, Water productivity

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۴۵-۶۴

چشم‌انداز امنیت غذایی استان خراسان رضوی (۱۴۱۳-۱۴۰۳) از دیدگاه محصولات زراعی (منطبق بر ظرفیت آب)

عباس کشاورز^{۱*}، احمد زارع فیض‌آبادی^۲، فاطمه یعقوبی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲

چکیده

مطالعه حاضر با هدف تأمین امنیت غذایی و با در نظر گرفتن ظرفیت آبی استان خراسان رضوی، با استفاده از اطلاعات اسنادی و کتابخانه‌ای و همچنین جمع‌آوری داده‌های میدانی و نظرات صاحب نظران، جهت پیش‌بینی ظرفیت‌های آینده تولیدات زراعی در این استان انجام شده است. برای این منظور، سطح برداشت، عملکرد، تولید، حجم آب مصرفی و بهره‌وری آب برای محصولات مهم زراعی آبی و دیم استان خراسان رضوی در افق‌های ۵ (۱۴۰۳-۱۴۰۷) و ۱۰ ساله (۱۴۱۲-۱۴۰۳) برای دو سناریوی آبیاری کامل (آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و کم‌آبیاری (آبیاری بین ۸۰ تا ۹۰ درصد نیاز آبی بسته به نوع محصول) پیش‌بینی و نسبت به دوره پایه (۹۹-۱۳۹۶) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان عملکرد محصولات آبی و دیم در دوره‌های افق نسبت به دوره پایه، افزایش و سطح برداشت محصولات آبی کاهش و محصولات دیم افزایش خواهد یافت. با این حال، میزان تولیدات آبی در شرایط کم‌آبیاری و همچنین تولیدات دیم با افزایش و میزان تولیدات آبی در شرایط آبیاری کامل در راستای تعادل بخشی منابع آب با کاهش مواجه خواهد شد. این تغییرات عمدتاً ناشی از افزایش در سطح برداشت و تولید سورگوم (*Sorghum bicolor*)، قصیل، چغندر علوفه‌ای و چغندر پاییزه (*Beta vulgaris*) و کاهش در سطح برداشت و تولید یونجه (*Medicago sativa*)، محصولات جالیزی آبی و چغندر بهاره رخ خواهد داد. علی‌رغم افزایش تقاضای محصولات مهم زراعی استان در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب به میزان ۱۰ و ۱۷ درصد (با در نظر گرفتن افزایش جمعیت و کاهش اندک مصرف سرانه)، میزان تولید این محصولات در افق ۵ ساله دو درصد کاهش و در افق ۱۰ ساله تنها یک درصد افزایش خواهد یافت. لذا پیش‌بینی می‌شود که میزان خوداتکایی کل تولیدات استان از ۷۴ درصد در دوره پایه به ۶۸ و ۶۷ درصد به ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله کاهش یابد. جهت حصول نتایج این مطالعه، راهکارهایی از جمله توجه به آبخوان و آبخیزداری، ایجاد پوشش گیاهی در اراضی آیش مانند کشت گیاهان دارویی و علوفه‌ای، استفاده از کودهای آلی و زیستی، توسعه واقعی کشاورزی حفاظتی، توسعه کشت‌های پاییزه و انتظار، توسعه کشت محصولات جایگزین به‌ویژه محصولات علوفه‌ای و تأمین، تولید، توزیع و مصرف به‌موقع و مناسب نهاده‌ها پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تولید، خوداتکایی، کم‌آبیاری، مصرف سرانه

مقدمه

امنیت غذایی کشور به‌طور مستقیم به تولیدات بخش کشاورزی

وابسته است و هرگونه اختلالی در روند تولید این بخش می‌تواند به‌طور مستقیم امنیت غذایی، اجتماعی، اقتصادی و حتی سیاسی کشور را تهدید کند. به عبارت دیگر، بخش کشاورزی به‌عنوان بخش مولد، وظیفه از بین بردن و کاهش فقر و تأمین امنیت غذایی را بر عهده دارد (Zarei, 2023). طبق تعریف بانک جهانی، امنیت غذایی زمانی تحقق می‌یابد که همه مردم در تمام اوقات، به غذای کافی برای داشتن یک زندگی سالم دسترسی داشته باشند. این امر خود دارای چهار رکن «فراهمی غذا»، «دسترسی به غذا»، «مصرف و سلامت

- ۱- مرکز ملی راهبردی مطالعات کشاورزی و آب اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران، تهران، ایران
 - ۲- سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر کشور، تهران، ایران
 - ۳- سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد، ایران
 - ۴- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
- (*) - نویسنده مسئول:
(Email: fa.yaghoubi@mail.um.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87489.1319>

غذا^۱ و «ثبات و پایداری^۲» است (Eslami, 2020). در شرایط کنونی، تأمین امنیت غذایی و حفظ آن، با توجه به تقاضای روزافزون و رشد چشمگیر جمعیت از یک سو و بهره‌برداری بیش از حد و ناصحیح از منابع و ذخایر محدود و تجدیدنپذیر و نیز بروز چالش‌هایی چون تغییر اقلیم از سوی دیگر، اهمیت بسیار بالایی دارد. تولید محصولات کشاورزی با کاستی‌ها و چالش‌های فراوانی روبه‌رو است که نیازمند برنامه‌ریزی صحیح است. از این منظر، مدیریت بهینه و بهره‌برداری اصولی و پایدار از منابع تولید متناسب با توان بوم‌شناختی و آمایش سرزمین به‌عنوان ضروریاتی مهم و انکارناپذیر در دستیابی و حفظ امنیت غذایی می‌باشد. لذا در مطالعات مختلف (Simtowe et al., 2010; Rutten, Van Dijk, Van Rooij, & Hilderink, 2014; Khorasanizadeh, Ghasemieh, Soleimani-Motlagh, & Mizavand, 2023) به ارزیابی تولیدات کشاورزی و منابع آب و همچنین برنامه‌ریزی در راستای نیل به هدف امنیت غذایی پرداخته شده است.

استان خراسان رضوی با مساحتی بیش از ۱۱۶۴۸۵ کیلومترمربع، چهارمین استان پهناور کشور می‌باشد. بخش کشاورزی استان خراسان رضوی با برخورداری از ظرفیت‌ها و توانمندی‌های وسیع، جایگاه تعیین‌کننده‌ای در اقتصاد ملی و استان داشته و نقش مهمی در تأمین نیازهای حیاتی جامعه، امنیت غذایی، تأمین مواد اولیه مورد نیاز صنایع و ایجاد اشتغال ایفا می‌کند. این استان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ دارای بیش از ۹۹۳ هزار هکتار سطح زیرکشت انواع محصولات زراعی و باغی بوده که حدود ۷/۶ درصد اراضی زیرکشت کشور را تشکیل می‌دهد. از این مقدار، بیش از ۶۲۰ هزار هکتار زراعی است که حدود ۵/۱ درصد از اراضی زیرکشت کشور را به خود اختصاص داده است. کل تولیدات بخش کشاورزی استان خراسان رضوی حدود ۷/۵ میلیون تن از انواع محصولات زراعی و باغی، دامی و آبزیان بوده که شش درصد از کل تولیدات کشور را به خود اختصاص داده است و دارای ارزش ناخالص اقتصادی بیش از ۴۶۹۵۷۲ میلیارد ریال می‌باشد (Organization of Agricultural-Jihad of Khorasan Razavi, 2022).

با توجه به بحران‌های زیست‌محیطی و در رأس آن بحران آب، افزایش میزان تولید و بهره‌برداری از زمین و منابع آن باید متناسب با توان‌های اکولوژیکی موجود صورت گیرد. این موضوع با توجه به شدت گرفتن سرعت تغییرات اقلیمی (در منطقه خراسان رضوی) و تجربه دوره خشکسالی طولانی‌مدت اخیر (Zarrin, 2021) از نظر زیست‌محیطی و مدیریتی بسیار حائز اهمیت بوده و در صورت عدم توجه، تبدیل به اصلی‌ترین زنگ خطر خواهد شد. براساس طرح مطالعات آب حوضه شرق کشور در سال ۱۴۰۱، میزان کل آب

مصرفی بخش کشاورزی استان خراسان رضوی در سال ۱۳۸۷، ۵۸۵۶ میلیون مترمکعب بوده که ۱۱۰۴ میلیون مترمکعب آن از آب‌های سطحی و ۴۷۲۵ میلیون مترمکعب از آب‌های زیرزمینی برداشت شده است. در سال ۱۳۹۷، میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی با ۱۸ درصد کاهش نسبت به سال ۱۳۸۷ به ۴۷۹۵ میلیون مترمکعب رسیده است که حاصل افزایش هشت درصدی در برداشت آب از آب‌های سطحی و کاهش ۲۴ درصدی برداشت از آب‌های زیرزمینی می‌باشد. پیش‌بینی می‌شود که میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی در افق ۱۴۱۰ با ۳۹ درصد کاهش نسبت به سال ۱۳۹۷ به ۲۹۳۵ میلیون مترمکعب برسد که ۷۱۱ میلیون مترمکعب آن از آب‌های سطحی و ۲۲۲۴ میلیون مترمکعب از آب‌های زیرزمینی خواهد بود. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، کاهش ایجادشده در افق ۱۴۱۰ دو برابر کاهش ایجادشده در سال ۱۳۹۷ خواهد بود (Poursepahi, 2022) که نشان‌دهنده لزوم افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی و منطبق نمودن تولیدات بخش با ظرفیت آب استان در راستای کمک به تعادل بخشی منابع آب به معنای ایجاد تعادل بین منابع و مصرف آب است (Pilvar & Rajabi, 2019).

افت شدید منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک، متولیان آب کشور را بر آن داشته تا طرح‌های تعادل بخشی منابع آب و برون‌رفت از این بحران را ارائه دهند (Yousefi, Sarai Tabrizi, Porhemmat, & Babazadeh, 2022). همچنین در اسناد بالادستی کلیه برنامه‌های مصوب و در سیاست‌ها و راهبردهای توسعه، توجه خاصی به برنامه‌ریزی‌های تأمین (تولید) مواد غذایی در داخل و دسترسی افراد جامعه به سبد غذایی مورد نیاز مبذول شده است. لذا هدف از مطالعه حاضر، بررسی فراهمی تولیدات زراعی استان خراسان رضوی در دو افق ۵ ساله و ۱۰ ساله (۱۴۰۷-۱۴۰۳ و ۱۴۱۲-۱۴۰۳) تحت دو سناریوی آبیاری کامل و کم‌آبیاری منطبق بر ظرفیت آبی استان و ارائه راهکارهای مناسب جهت نیل به اهداف سند ملی و راهبردی تحول امنیت غذایی کشور (National and Strategic Document of Food Security, 2021) در این زمینه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر برگرفته از گزارش طرح تولیدات کشاورزی شرق کشور، چشم‌انداز افق ۵ و ۱۰ ساله تولیدات کشاورزی استان خراسان رضوی (منطبق بر ظرفیت آب) مصوب مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب، اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران در سال ۱۴۰۲ است. لذا منطقه مورد مطالعه آن استان خراسان رضوی و محدوده زمانی مورد مطالعه دوره‌های ۱۴۰۷-۱۴۰۳ و ۱۴۱۲-۱۴۰۳ به‌ترتیب به‌عنوان افق‌های ۵ و ۱۰ ساله و دوره چهار ساله منتهی به ۱۳۹۹ (۹۹-۱۳۹۶) به‌عنوان دوره پایه می‌باشد.

- 1- Food utilization and health
- 2- Stability and sustainability

زیرکشت، نیاز آبی و آب مصرفی محصولات زراعی و باغی استان محاسبه شد. برای سال پایه گروه زراعی و باغی آورده شده است و سپس بر مبنای حجم آب برآورد شده آینده استان توسط وزارت نیرو و توافق شده در سند ملی آب و همچنین برآورد سند برنامه هفتم توسعه در آینده کشور و استان برای افق‌های ۵ و ۱۰ ساله استان در نظر گرفته شده است.

میزان سطح برداشت، عملکرد و تولید محصولات زراعی آبی و دیم استان خراسان رضوی برای دوره پایه از مطالعه زارع فیض‌آبادی و همکاران (Zare-Feizabadi et al., 2022) به دست آمد. از آنجایی که این مطالعه در راستای تعادل بخشی آب استان خراسان رضوی در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله انجام شده است؛ پس از شناخت وضع موجود و با هدف تحلیل اهداف و ارتقاء بهره‌وری آب آبی و سبز (همراه با کاهش برداشت از منابع آب موجود)، در دوره‌های افق، افزایش عملکرد و تولید در محیط‌های بسته و اراضی دیم و همچنین تغییر فصل کشت و جایگزینی برخی از محصولات آبی مدنظر قرار گرفته است. عملکرد پتانسیل محصولات زراعی مهم استان از مطالعه سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2019) به دست آمد.

حجم آب مصرفی از حاصلضرب سطح زیر کشت در نیاز آبی محصولات و بهره‌وری آب نیز از تقسیم میزان تولید بر حجم آب مصرفی برای دوره‌های پایه و افق برآورد شد (Poshtvan & Rajabi, 2023). در این مطالعه، شاخص‌های مصرف سرانه، تولید، تقاضا، تجارت و درصد خوداتکایی برای محصولات مهم کشاورزی محاسبه شده‌اند. با توجه به اینکه مصرف سرانه برای استان موجود نمی‌باشد، در این طرح مقادیر مصرف سرانه استان برابر با مقادیر مصرف سرانه بهینه کشور مستخرج از مطالعه شریعتمدار و همکاران (Shariatmadar, Keshavarz, Kosravi, Kianpour, & Farsi, 2020) برای پایه و براساس مقادیر سند ملی امنیت غذایی مرکز مطالعات برای افق در نظر گرفته شده است. میزان تقاضا از حاصلضرب جمعیت استان در مصرف سرانه محصول مورد نظر برآورد شده است. میزان تجارت براساس تفاوت تقاضا و تولید در نظر گرفته شده (که اضافی به خارج از استان صادر و کمبود از خارج استان تأمین می‌شود) و با محاسبه نسبت میزان تولید به تقاضا، نرخ خوداتکایی محاسبه شده است. در نهایت، تغییرات در سطح برداشت، عملکرد، تولید، حجم آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب محصولات مهم زراعی آبی (تحت دو سناریوی آبیاری کامل و کم‌آبیاری) و دیم و همچنین شاخص‌های مصرف سرانه، تولید، تقاضا، تجارت و درصد خوداتکایی این محصولات در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله نسبت به دوره پایه برآورد و مورد ارزیابی قرار گرفت.

اطلاعات مورد نیاز جهت این مطالعه، به‌طور کلی از طریق مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای عموماً با استفاده از مراجعه به مراکز رسمی منتشرکننده اطلاعات کشور (داده‌های موجود ثبت‌شده در مرکز آمار و اطلاعات وزارت کشاورزی) و اسناد منتشره به‌ویژه وزارت و سازمان جهاد کشاورزی استان و در راستای سند امنیت غذایی و برنامه توسعه هفتم کشور، اطلاعات میدانی و همچنین از طریق تکمیل پرسش‌نامه از خبرگان کشوری و برگزاری جلسات با ذی‌نفعان و خبرگان به دست آمد. نیاز خالص آبی محصولات زراعی برای دوره پایه از طرح مطالعات نیاز آبی محصولات مهم زراعی و باغبانی استان‌های شرق کشور (Studies on the water requirement of important agricultural and horticultural crops in the eastern provinces of Iran, 2023) حاصل شد. در مطالعه حاضر، میزان تولید محصولات زراعی در دو سناریوی آبیاری کامل و کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گرفته است. ضریب اعمال‌شده جهت کم‌آبیاری و کارایی آبیاری برای هر یک از محصولات در جدول ۱ ارائه شده است که این ضریب با توجه به نوع محصول بین ۰/۸ و ۰/۹ نیاز ناخالص هر محصول متغیر می‌باشد. این ضرایب براساس نتایج طرح‌های تحقیقاتی تنش‌های آبی محصولات زراعی مختلف که توسط مؤسسات تحقیقات اصلاح و تهیه بذر کشور، فنی و مهندسی کشاورزی، آب و خاک و مؤسسات تک محصولی چغندر قند، پنبه و برنج و ... انجام شده، تعیین شده‌اند. لازم به ذکر است که این مقادیر قبل از استفاده در جلسات کارشناسی با خبرگان، کارشناسان و محققان بررسی و جمع‌بندی شده است. در این مطالعه پیش‌بینی شده است که کارایی آبیاری محصولات استان در دوره ۵ ساله ۱۵ درصد و در دوره ۱۰ ساله ۲۵ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. حجم آب مصرفی جهت تولیدات کل کشاورزی استان برای شرایط پایه و دوره‌های افق ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب ۴۵۸۶، ۳۸۰۹ و ۳۰۶۶ میلیون مترمکعب در شرایط کم‌آبیاری و ۶۲۷۲، ۳۹۵۱ و ۳۰۲۱ میلیون مترمکعب در شرایط آبیاری کامل لحاظ گردید. این مقادیر بر مبنای سطح زیرکشت محصولات مختلف زراعی استان و محاسبه نیاز آبی از طرح مطالعات نیاز آبی محصولات مهم زراعی و باغبانی استان‌های شرق کشور (Studies on the water requirement of important agricultural and horticultural crops in the eastern provinces of Iran, 2023) و همچنین برآورد حجم آب در آینده (Poursepahi, 2022) تعیین شده‌اند. براساس ظرفیت زراعی و باغی و کشت‌های فعلی و آینده، سهم زراعی در سال پایه و افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب ۶۰، ۶۲ و ۶۳ درصد از حجم آب مصرفی کل تولیدات در نظر گرفته شد. تقسیم حجم آب بین محصولات زراعی و باغی بر مبنای وضعیت میانگین سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ به‌عنوان سال پایه با محاسبه سطح

جدول ۱- ضریب کم‌آبیاری و کارایی آبیاری محصولات زراعی

Table 1- Deficit irrigation coefficient and crop irrigation efficiency		
محصول	ضریب کم‌آبیاری	کارایی آبیاری
Crop	Deficit irrigation coefficient	Irrigation efficiency (%)
Wheat گندم	0.8	50
Barley جو	0.8	50
Rice برنج	0.9	50
Cotton پنبه	0.8	50
Beet چغندر	0.8	50
Autumn beet چغندر پاییزه	0.8	50
Beans حبوبات	0.8	50
Potato سیب‌زمینی	0.9	70
Onion پیاز	0.8	60
Tomato گوجه‌فرنگی	0.9	60
Oily crops گیاهان روغنی	0.8	50
Watermelon هندوانه	0.8	60
Melon خربزه	0.9	60
Other vegetable crops سایر جالیز	0.9	60
Alfalfa یونجه	0.9	50
Fodder maize ذرت علوفه‌ای	0.9	60
Fodder sorghum سورگوم علوفه‌ای	0.8	60
Silage قصیل	0.8	50
Fodder beet چغندر علوفه‌ای	0.8	60
Other fodder crops سایر علوفه	0.9	50
Other crops سایر محصولات	0.8	50
Total crops کل محصولات	0.8	50

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار SigmaPlot 14.0 انجام شد.

نتایج و بحث

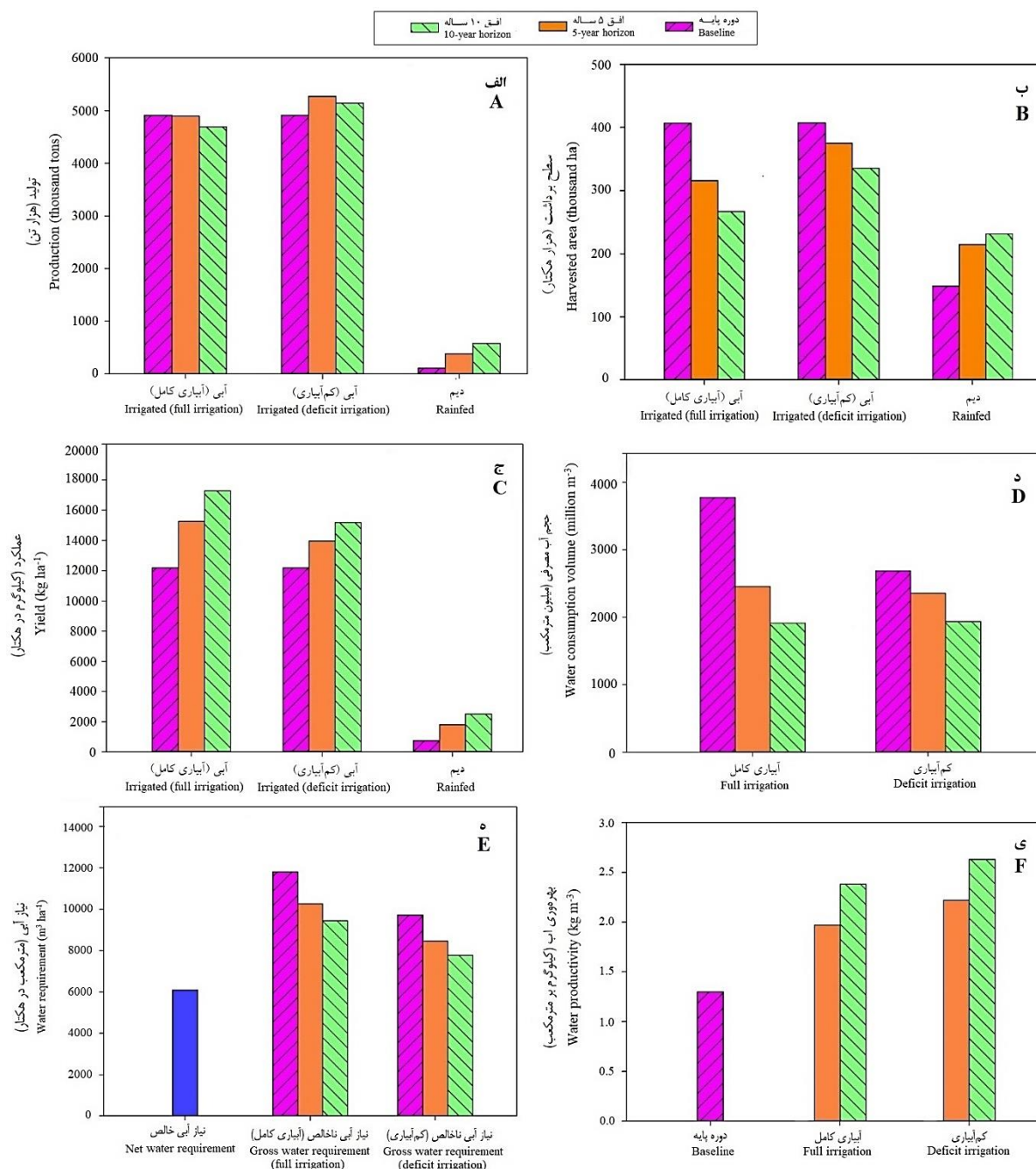
چشم‌انداز تولید و بهره‌وری آب کل محصولات زراعی استان خراسان رضوی

میزان تولید کل محصولات زراعی آبی در دوره پایه ۴۹۱۳ هزار تن بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب به ۴۸۹۶ و ۴۶۹۳ هزار تن در شرایط آبیاری کامل و ۵۲۷۱ و ۵۱۴۰ هزار تن در شرایط کم‌آبیاری خواهد رسید (شکل ۱- الف). به عبارت دیگر، کم‌آبیاری موجب افزایش هفت و پنج درصدی و اجرای آبیاری کامل موجب کاهش ۴/۴ و ۴ درصدی تولید محصولات زراعی به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله نسبت به دوره پایه خواهد شد. میزان تولید محصولات زراعی دیم نیز در دوره پایه ۱۱۱ هزارتن بوده که با ۲۴۸ و ۴۲۳ درصد افزایش به ۳۸۶ و ۵۸۱ هزار تن به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله خواهد رسید. با توجه به شرایط تغییر اقلیم و کاهش پیش‌بینی‌شده در

ریش‌های جوی در سال‌های آتی (Asgharzadeh, Gobadijanbaz, Motevalli, Taherian, & Kouhi, 2024)، دستیابی به این افزایش چشم‌گیر در تولید محصولات زراعی دیم نیازمند توجه ویژه به آبخوان و آبخیزداری و اقدامات مدیریتی مطلوب به‌ویژه در جهت تغییر محصولات و سهم آن‌ها و تأمین، توزیع، مقدار و زمان مصرف مناسب نهاده‌ها می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده است که هر ساله حدود ۴۱۳ میلیارد مترمکعب آب در اثر ریش‌های جوی وارد کشور می‌شود که از این مقدار حدود ۲۸۳ میلیارد مترمکعب از طریق تبخیر و تعرق دوباره وارد اتمسفر می‌شود (Tavasoli, Tabatabaee, Hoseinnia, Bagherzade, & Jabbari, 2016). استان خراسان رضوی نیز از این قاعده مستثنا نمی‌باشد؛ به‌عنوان مثال، سالانه به‌طور متوسط ۲/۵ میلیارد مترمکعب بارش در دشت مشهد، مرکز استان خراسان رضوی رخ می‌دهد که ۸۰ درصد آن به‌صورت رواناب و تبخیر از دسترس خارج می‌گردد (Khorasan, 2023). این در حالی است که می‌توان با مهار کردن این میزان هدررفت آب با عملیات آبخیزداری، علاوه‌بر تقویت سفره‌های آب زیرزمینی، به برون‌رفت از بحران‌های کم‌آبی، سیل، فرسایش و

آبخوان‌داری در کشت دیم استان مثمرتر و مفید خواهد بود و می‌تواند نقش بسیار مهم و مؤثری در افزایش تولید دیم داشته باشد.

رسیدن به امنیت غذایی پایدار کمک نمود. استان خراسان رضوی با توجه به وضعیت توپوگرافی و جنس خاک، یکی از استان‌های مستعد برای پروژه‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری است (Ghods, 2021). با توجه به محدودیت آب استان، قطعاً بهره‌گیری از دانش آبخیزداری و



شکل ۱- تولید (الف)، سطح برداشت (ب)، عملکرد (ج)، حجم آب مصرفی (د)، نیاز آبی (ه) و بهره‌وری آب (و) کل محصولات زراعی در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری در دوره پایه و افق‌های ۵ و ۱۰ ساله

Figure 1- Production (A), harvested area (B), yield (C), water consumption volume (D), water requirement (E), and water productivity (F) of total crops under full and deficit irrigation conditions in the baseline and 5- and 10-year horizon

زراعی آبی و دیم افزایش خواهد یافت. این امر بیانگر آن است که در دوره پایه از پتانسیل موجود استفاده نشده است، که نیازمند توجه و تجدیدنظر اساسی است.

حجم آب مصرفی کل محصولات زراعی در شرایط آبیاری کامل در دوره پایه ۳۷۷۸ میلیون مترمکعب بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب با ۳۵ و ۴۹ درصد کاهش به ۲۴۵۷ و ۱۹۱۳ میلیون مترمکعب خواهد رسید (شکل ۱-د). در شرایط کم‌آبیاری حجم آب مصرفی با ۲۶۹۰ میلیون مترمکعب ۲۹ درصد کمتر از آبیاری کامل بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب با ۳۸ و ۴۹ درصد کاهش نسبت به دوره پایه در شرایط آبیاری کامل به ۲۳۵۶ و ۱۹۳۵ میلیون مترمکعب خواهد رسید. این امر ناشی از کاهش نیاز آبی و سطح برداشت کل محصولات زراعی در افق‌های مورد مطالعه نسبت به دوره پایه است. کاهش بیشتر سطح زیرکشت در شرایط آبیاری کامل نسبت به کم‌آبیاری موجب شده است که علی‌رغم نیاز آبی بیشتر در شرایط آبیاری کامل، حجم آب مصرفی در این شرایط در دوره‌های افق نزدیک به حجم آب مصرفی در شرایط کم‌آبیاری گردد.

میانگین نیاز خالص آبی کل محصولات زراعی ۶۱۰۳ مترمکعب در هکتار است، درحالی‌که نیاز ناخالص آبی این محصولات (۱۱۸۰۵ متر مکعب در هکتار) نزدیک به دو برابر نیاز خالص آبی است (شکل ۱-ه). در شرایط آبیاری کامل، این میزان نیاز ناخالص آبی به ۱۰۲۶۵ و ۹۴۴۴ مترمکعب در هکتار به ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله خواهد رسید. در صورت اعمال کم‌آبیاری (اعمال میانگین ۸۰ درصد نیاز ناخالص آبی)، میزان نیاز ناخالص آبی در شرایط فعلی ۹۷۲۸ مترمکعب در هکتار بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب به ۷۷۸۲ و ۸۴۵۹ مترمکعب در هکتار خواهد رسید.

میانگین بهره‌وری آب کل محصولات زراعی استان در شرایط فعلی ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۱۱ کمتر از میانگین کشوری (۱/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب) بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب به ۱/۹۷ و ۲/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب در شرایط آبیاری کامل و به ۲/۲۲ و ۲/۶۳ کیلوگرم بر مترمکعب در شرایط کم‌آبیاری افزایش خواهد یافت (شکل ۱-ی). این افزایش بهره‌وری آب در هر دو سناریو در نتیجه افزایش در تولید کل محصولات زراعی و تغییر محصولی (شکل ۱-الف) و کاهش در حجم آب مصرفی در هر دو افق (شکل ۱-د) رخ خواهد داد. مجمع جهانی اقتصاد برای چندمین سال متوالی، بحران آب را یکی از تهدیدهای جدی برای دوام ساختار اقتصادی کشورهای معرفتی نمود (Askari Bozayeh, Mohammadzadeh, & Azarin Far, 2020). اهمیت این موضوع به حدی است که اتخاذ راهکارهایی برای کاهش بحران آب، مقدم بر اخذ راهکارهایی برای سازگاری با تغییر اقلیم برشمرده شده است. ازاین‌رو، سازمان ملل متحد حین تدوین اهداف توسعه پایدار، علاوه‌بر توجه به موضوع آب در بسیاری از اهداف خود، هدفش را به‌طور خاص

سطح برداشت کل محصولات زراعی آبی از ۴۰۷ هزار هکتار در دوره پایه در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری به ترتیب به ۳۷۴ و ۳۱۶ هزار هکتار در افق ۵ ساله و به ۳۳۵ و ۲۶۷ هزار هکتار در افق ۱۰ ساله خواهد رسید (شکل ۱-ب). به عبارت دیگر، سطح برداشت کل محصولات زراعی آبی استان در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله نسبت به دوره پایه در شرایط آبیاری کامل به ترتیب ۲۲ و ۳۴ درصد و در شرایط کم‌آبیاری ۸ و ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت. این در حالی است که سطح برداشت محصولات زراعی دیم از حدود ۱۴۹ هزار هکتار در دوره پایه با ۴۴ و ۵۵ درصد افزایش به ۲۱۵ و ۲۳۱ هزار هکتار به ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله خواهد رسید (سطح برداشت دیم سالانه در طی سال‌های ابتدایی مطالعه بیش از ۲۰۰ هزار هکتار به‌صورت رسمی گزارش شده است). لذا در راستای توسعه کشت در دیم‌زارها، سهم سطح برداشت محصولات زراعی دیم از کل محصولات زراعی استان در افق‌های مورد مطالعه افزایش و سهم سطح برداشت محصولات زراعی آبی در هر دو سناریو کاهش خواهد یافت. افزایش سطح زیرکشت دیم نیز منجر به افزایش تولید و حفظ پایداری خواهد گردید؛ چراکه حفظ پوشش گیاهی در این اراضی، کاهش فرسایش آبی و بادی و افزایش ماده آلی خاک را در صورت کشت مناسب و اصولی در پی خواهد داشت (Lebaschi, 2017). دیم‌زارهای آیش و رهاشده دارای ظرفیت تولیدی هستند و قابلیت کشت و درآمدزایی برای کشور دارند. با توجه به اینکه بیشتر این اراضی، رویشگاه‌های مرتعی هستند که پس از تغییر کاربری به اراضی کشاورزی تبدیل شده‌اند، دیم‌کاری گیاهان چندساله بومی و طبیعی که در همان رویشگاه وجود داشته‌اند یا هم‌اکنون در اراضی ملی و مراتع مجاور این دیم‌زارها وجود دارند، نوعی رویکرد نزدیک به طبیعت در کشت دیم به‌شمار می‌رود (Rahmani, Sefidkan, Fayyaz, Jafari, & Motamedi, 2022). با توجه به غیر قابل حصول بودن حق مالکیت کشاورزی، می‌توان با خدمات ترویجی و ارائه طرح‌های حمایتی و تشویقی مناسب در جهت ترغیب کشاورزان به کشت گیاهان با هدف پوشش گیاهی و گونه‌ای مرتعی یا علوفه‌ای در زمین‌های آیش و دیم گام برداشت.

میزان عملکرد کل محصولات زراعی آبی استان در دوره پایه ۱۲۱۷۳ کیلوگرم بر هکتار (در کشور ۱۲۶۸۸ کیلوگرم بر هکتار) بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب به ۱۵۲۵۸ و ۱۷۲۹۸ کیلوگرم بر هکتار در شرایط آبیاری کامل به ۱۳۹۵۵ و ۱۵۱۷۹ کیلوگرم بر هکتار در شرایط کم‌آبیاری افزایش خواهد یافت (شکل ۱-ج). میزان عملکرد کل محصولات زراعی دیم نیز در دوره پایه ۷۴۴ کیلوگرم بر هکتار گزارش شده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب به ۱۸۰۱ و ۲۵۱۶ کیلوگرم بر هکتار با تغییر سطح و نوع محصول خواهد رسید. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، علی‌رغم کاهش ریزش‌های جوی و محدودیت بیشتر منابع آبی در دوره‌های افق، عملکرد محصولات

چشم‌انداز تولید و بهره‌وری آب محصولات مهم زراعی استان خراسان رضوی

در بین محصولات مهم زراعی استان خراسان رضوی، بیشترین نیاز خالص و ناخالص آبی به‌ترتیب مربوط به یونجه (*Medicago sativa*)، چغندر قند (*Beta vulgaris*)، پیاز (*Allium cepa*)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، پنبه (*Gossypium hirsutum*)، برنج (*Oryza sativa*)، خربزه (*Cucumis melo*)، هندوانه (*Citrullus lanatus*) و سایر محصولات جالیزی می‌باشد (جدول ۲). قصیل نیز با ۲۴۰۰ مترمکعب در هکتار، کمترین میزان نیاز خالص و ناخالص آبی را به خود اختصاص داده است.

به آن اختصاص داد. مهم‌ترین راهکار برای رفع چالش‌های آبی، ارتقاء بهره‌وری آب با هدف محدود نمودن برداشت از منابع آب به حد پایدار ذکر شد (Arora & Mishra, 2019).

نتایج این طرح نشان داد که در حال حاضر بهره‌وری آب (شکل ۱-ی) و کارایی آبیاری (جدول ۱) در استان خراسان رضوی پایین بوده که با توجه به محدودیت آب در استان و شرایط تغییر اقلیم، ارتقاء آن‌ها ضروری است. لذا باید حداقل در ۱۰ سال آینده، انتقال آب از منبع به مزارع از طریق لوله و فناوری‌های جدید انجام گیرد و کارایی آبیاری در داخل مزرعه ۱۵ تا ۲۵ درصد به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله افزایش یابد.

جدول ۲- نیاز آبی محصولات زراعی در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری در دوره پایه و افق‌های ۵ و ۱۰ ساله

Table 2- Crop water requirement under full and deficit irrigation conditions in the baseline and 5- and 10-year horizon

محصول Crop	نیاز خالص آبی Net water requirement (m ³ ha ⁻¹)	نیاز ناخالص آبی Gross water requirement (m ³ ha ⁻¹)					
		آبیاری کامل Full irrigation			کم‌آبیاری Deficit irrigation		
		دوره پایه Baseline	افق ۵ ساله		دوره پایه Baseline	افق ۵ ساله	
			5-year horizon	10-year horizon		5-year horizon	10-year horizon
گندم Wheat	2884	6409	5573	5127	5172	4458	4102
جو Barley	2510	5587	4850	4462	4462	3880	3570
برنج Rice	7300	16222	14106	12978	14600	12696	11680
پنبه Cotton	7522	15044	13082	12035	12035	10465	9628
چغندر Beet	8186	16372	14237	13098	13095	11389	10478
چغندر پاییزه Autumn beet	4600	9200	8000	7360	7360	6400	5888
حبوبات Beans	6150	12300	10696	9840	9840	8557	7872
سیب‌زمینی Potato	6851	10540	9165	8432	9486	8249	7589
پیاز Onion	8112	13520	11757	10816	10816	9405	8653
گوجه‌فرنگی Tomato	7974	12268	10668	9814	11041	9601	8833
گیاهان روغنی Oily crops	2884	6409	5573	5127	5127	4458	4102
هندوانه Watermelon	6199	11271	9801	9017	9017	7841	7213
خربزه Melon	7057	12831	11157	10265	10906	9484	8725
سایر جالیز Other vegetable crops	7000	12727	11067	10182	10818	9407	8655
یونجه Alfalfa	10500	21000	18261	16800	17850	15522	14280
ذرت علوفه‌ای Fodder maize	6434	10723	9325	8579	9115	7926	7292
سورگوم علوفه‌ای Fodder sorghum	5000	9091	7905	7273	7273	6324	5818
قصیل Silage	2400	4800	4174	3840	3840	3339	3072
چغندر علوفه‌ای Fodder beet	6000	10000	8696	8000	8000	6957	6400
سایر علوفه Other fodder crops	4000	8000	6957	6400	6800	5913	5440
سایر محصولات Other crops	6000	12000	10435	9600	9000	7826	7200

کاهش خواهد یافت (جدول ۳). با این حال، سطح برداشت گندم در دوره پایه ۱۰۳ هزار هکتار بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب ۲۰ و ۸ درصد افزایش خواهد یافت؛ به‌طوری‌که کل سطح برداشت

سطح برداشت گندم (*Triticum aestivum*) آبی در دوره پایه ۱۳۱ هزار هکتار بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب ۳۳ و ۴۶ درصد در شرایط آبیاری کامل و ۱۶ و ۲۶ درصد در شرایط کم‌آبیاری

گرفته شده است. به عنوان مثال، علی‌رغم نیاز به گندم، سطح برداشت آبی آن در دوره‌های افق کاهش و در سطح دیم نیز کمترین درصد افزایش به گندم اختصاص داده شد، تا از سطح تعریف شده برای آن در تناوب زراعی آبی و دیم فراتر نرود.

گندم از ۲۳۴ هزار هکتار در دوره پایه به ۲۱۲ و ۱۸۲ هزار هکتار در شرایط آبیاری کامل و به ۲۳۳ و ۲۰۸ هزار هکتار در شرایط کم‌آبیاری کاهش خواهد یافت. با توجه به اینکه به علت محدودیت آب در استان خراسان رضوی باید سطح برداشت محصولات زراعی کاهش یابد، در این مطالعه، علاوه بر کاهش سطح برداشت، تناوب زراعی نیز در نظر

جدول ۳- سطح برداشت کل (آبی و دیم) و آبی محصولات زراعی در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری در دوره پایه و افق‌های ۵ و ۱۰ ساله
Table 3- Total (irrigated and rainfed) and irrigated harvested area under full and deficit irrigation conditions in the baseline and 5- and 10-year horizon

محصول Crop	سطح برداشت آبی و دیم Total harvested area (thousand ha)					سطح برداشت آبی Irrigated harvested area (thousand ha)				
	دوره پایه Baseline	آبیاری کامل Full irrigation		کم‌آبیاری Deficit irrigation		دوره پایه Baseline	آبیاری کامل Full irrigation		کم‌آبیاری Deficit irrigation	
		افق ۵ ساله	افق ۱۰ ساله	افق ۵ ساله	افق ۱۰ ساله		افق ۵ ساله	افق ۱۰ ساله	افق ۵ ساله	افق ۱۰ ساله
		5-year horizon	10-year horizon	5-year horizon	10-year horizon		5-year horizon	10-year horizon	5-year horizon	10-year horizon
گندم Wheat	234	212	182	233	208	131	89	71	110	97
جو Barley	137	131	128	148	148	114	97	82	114	102
برنج Rice	2.1	1.1	1.1	1.3	1.1	2.1	1.1	1.1	1.3	1.1
پنبه Cotton	23	19	17	21	19	23	19	17	21	19
چغندر Beet	17	10	9	14	11	17	10	9	14	11
چغندر پاییزه Autumn beet	0	2	2.5	2	2.2	0	2	2.5	2	2.2
حبوبات Beans	10	1	10	9	13	1.8	0.9	0.7	1.1	1
سیب‌زمینی Potato	5	4.2	4	4.7	4.5	4.7	4.2	4	4.7	4.5
پیاز Onion	2.1	1.7	1.5	1.9	1.7	2.1	1.7	1.5	1.9	1.7
گوجه‌فرنگی Tomato	11.3	7.9	6.3	9	8.1	11.3		6.3	9	8.1
گیاهان روغنی Oily crops	11	11	12	14	14	5.5	7.9	5.5	8.3	7.5
هندوانه Watermelon	7	5.0	4	4.4	3.9	6.7	5.5	3.4	4.4	3.9
خربزه Melon	25	18	16	20	18	25	4.0	15	19	17
سایر جالیز Other vegetable crops	3	2	1.8	2.2	2	2.8	17	1.8	2.2	2
یونجه Alfalfa	27	16	13	19	17	27	2	13	19	17
ذرت علوفه‌ای Fodder maize	17	17	14	17	16	17	16	14	17	16
سورگوم علوفه‌ای Fodder sorghum	0	2.2	2.2	3	3	0	17	2.2	2.5	2.5
قصیل Silage	0	27	37	28	28	0	2.2	7	8	8
چغندر علوفه‌ای Fodder beet	0	2	2	2	2	0	7	1.5	1.8	1.8
سایر علوفه Other fodder crops	0	15	21	15	21	2.2	1.5	1.8	2.7	2.7
سایر محصولات Other crops	22	9	8	21	15	13.5	2.2	7.6	12.1	12.1

افزایش خواهد یافت (جدول ۳). افزایش در نظر گرفته شده در کل سطح برداشت این محصول به علت مقاوم بودن این گیاه به شوری و خشکی و در نتیجه، قابلیت کشت آن در اکثر اراضی و محصول آن جهت نیاز تغذیه دام می‌باشد؛ لذا با توجه به خصوصیات زراعی آن، محدودیت آب در استان و شرایط آب‌وهوایی، کشت این گیاه در استان مناسب‌تر از گندم است.

در راستای توسعه کشت گیاهان پاییزه، سطح برداشت چغندر قند بهار در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله نسبت به دوره پایه در شرایط آبیاری کامل به ترتیب ۴۱ و ۴۷ درصد و در شرایط کم‌آبیاری ۱۸ و ۳۵ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت (جدول ۳). با توجه به اینکه

سطح برداشت جو (*Hordeum vulgare*) آبی در شرایط آبیاری کامل ۱۵ و ۲۸ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت، در صورتی که در شرایط کم‌آبیاری سطح برداشت این محصول در افق ۵ ساله حفظ (۱۱۴ هزار هکتار) و در افق ۱۰ ساله به ۱۰۲ هزار هکتار کاهش خواهد یافت (جدول ۳). با این حال، سطح برداشت جو دیم حدود ۵۰ و ۱۰۰ درصد به ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت، به طوری که کل سطح برداشت این محصول (آبی و دیم) از ۱۳۷ هزار هکتار در دوره پایه به ۱۳۱ و ۱۲۸ هزار هکتار به ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله در شرایط آبیاری کامل و به ۱۴۸ هزار هکتار در هر دو افق ۵ و ۱۰ ساله در شرایط کم‌آبیاری

آبی آن‌ها در افق‌های پیش‌رو مدنظر قرار گرفته است. در مقابل، جهت تأمین تقاضا، سطح برداشت دیم این محصولات افزایش و تولید بسیاری از این محصولات در گلخانه افزایش خواهد یافت.

در راستای توسعه کشت علوفه‌های جدید و کم‌آبر، در افق‌های مورد مطالعه، سطح برداشت یونجه به‌عنوان یک محصول با نیاز آبی بالا (جدول ۲) نسبت به دوره پایه کاهش و سطح برداشت ذرت علوفه‌ای در افق ۵ ساله ثابت و در افق ۱۰ ساله کاهش خواهد یافت (جدول ۳). با توجه به محدودیت آب و نیاز به علوفه با کیفیت برای دام‌های استان، به‌جای این محصولات، کشت سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor*)، قصیل و چغندر علوفه‌ای توسعه خواهد یافت. سطح برداشت لگوم و مخلوط دیم نیز با افزایش چشم‌گیری مواجه خواهد شد، به‌طوری‌که سطح برداشت کل محصولات علوفه‌ای استان از ۴۷ هزار هکتار در دوره پایه به ۷۸ و ۸۸ هزار هکتار در شرایط آبیاری کامل و به ۸۴ و ۹۶ هزار هکتار در شرایط کم‌آبیاری به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله خواهد رسید.

به‌طور کلی، میزان عملکرد محصولات زراعی آبی و دیم به‌جز قصیل و چغندر علوفه‌ای در دوره پایه کمتر از میانگین کشور و عملکرد پتانسیل آن‌ها می‌باشد (جدول‌های ۴ و ۵). این امر نشان‌دهنده ضعف مدیریت و عدم استفاده صحیح از پتانسیل موجود و کم‌آبیاری است. اگرچه شرایط آب‌وهوایی و به‌طور خاص بارندگی نقش مهمی در عملکرد محصولات زراعی مختلف به‌ویژه محصولات دیم دارد، اما استفاده از فناوری‌های به‌روز به‌خصوص عوامل ژنتیکی از جمله تنوع ارقام جدید، با عملکرد بالا و سازگار با منطقه، استفاده از عوامل مدیریت اعم از مقادیر مورد نیاز نهاده‌های تولید، زمان مناسب مصرف آن‌ها، تاریخ کاشت و استفاده از ادوات و ماشین‌آلات مناسب و بومی‌سازی منطقه‌ای آن‌ها به جهت کاهش ضایعات و افزایش تولید، بهره‌وری و عملکرد بالا بسیار مهم و ضروری است (Zare-Feizabadi et al., 2022).

میزان تولید کل (آبی و دیم) و آبی محصولات زراعی در دو سناریو (کم‌آبیاری و آبیاری کامل) در دوره پایه و افق‌های ۵ و ۱۰ ساله در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه تولید آبی برخی از محصولات زراعی در افق نسبت به پایه کاهش یافته است، اما مقدار تولید کل (آبی و دیم) کلیه محصولات به‌جز برنج افزایشی می‌باشد (جدول ۶). میزان تولید تمام محصولات دیم نیز در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله با افزایش مواجه خواهد شد.

جایگزین نمودن کشت پاییزه چغندر قند با کشت بهاره آن منجر به کاهش حجم آب مصرفی و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب خواهد شد (Javaheri, Nadi, & Najafinezhad, 2020). کشت پاییزه این محصول در هر دو افق و سناریو افزایش خواهد یافت، به‌طوری‌که کل سطح برداشت چغندر در استان (بهاره و پاییزه) از ۱۷ هزار هکتار در دوره پایه به ۱۶ و ۱۳ هزار هکتار به‌ترتیب به در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله در شرایط آبیاری کامل به ۱۲ هزار هکتار در هر دو افق در شرایط کم‌آبیاری خواهد رسید. توسعه کشت پاییزه چغندر قند ضمن حمایت‌های دولتی، نیازمند معرفی ارقام مناسب منطقه است؛ چراکه بولتینگ و ورنالیزاسیون به همراه یخ‌زدگی، عامل اصلی عدم گسترش کشت پاییزه چغندر قند می‌باشند (Reinsdorf & Koch, 2013).

طالقانی و همکاران (Taleghani, Moharamzadeh, Hemayati, 2011) و Mohammadian, & Farahmand (2011) نشان دادند که با اعمال مدیریت صحیح و استفاده از رقم مناسب می‌توان میزان ساقه رفتن چغندر قند که مهم‌ترین عامل محدودکننده کشت پاییزه چغندر قند محسوب می‌گردد را بین یک تا سه درصد کاهش داد. با توجه به مصرف بالای سرانه روغن‌های گیاهی و وابستگی شدید به واردات و لزوم توجه بیشتر به تولید و تنوع دانه‌های روغنی با هدف نیل به خودکفایی (Zare-Feizabadi et al., 2022)، سطح برداشت دانه‌های روغنی در افق‌های مورد مطالعه در شرایط آبیاری کامل نسبت به دوره پایه تغییری نخواهد کرد، در صورتی‌که در شرایط کم‌آبیاری نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت، به‌طوری‌که از ۵/۵ هزار هکتار در دوره پایه با ۵۱ و ۳۷ درصد افزایش به ۸/۳ و ۷/۵ هزار هکتار به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله خواهد رسید (جدول ۳). سطح برداشت دیم این محصولات نیز در افق ۵ ساله نسبت به دوره پایه تغییری نخواهد کرد و در افق ۱۰ ساله ۲۰ درصد افزایش خواهد یافت. کلزا (*Brassica napus*) بیش از ۷۰ درصد سطح برداشت دانه‌های روغنی استان را به خود اختصاص داده، لذا با توجه به اینکه این گیاه محصولی پاییزه می‌باشد، می‌تواند نقش مؤثری در تناوب محصولات پاییزه به‌ویژه برای محصول استراتژیک گندم داشته باشد (Zare-Feizabadi et al., 2022).

سطح برداشت کل محصولات جالیزی آبی در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله در شرایط آبیاری کامل به‌ترتیب ۳۳ و ۴۱ درصد و در شرایط کم‌آبیاری ۲۶ و ۳۴ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت (جدول ۳). با توجه به محدودیت آب و همچنین آبر بودن محصولات سبزی و صیفی، حبوبات و شلتوک کاهش سطح برداشت

جدول ۴- میانگین عملکرد محصولات زراعی آبی (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری در دوره پایه و افق‌های ۵ و ۱۰ ساله
 Table 4- Average yield of irrigated crops (kg ha⁻¹) under full and deficit irrigation conditions in the baseline and 5- and 10-year horizon

محصول Crop	پایه Baseline		پتانسیل Potential		آبیاری کامل Full irrigation		کم آبیاری Deficit irrigation	
	استان Province	کشور Country	استان Province	کشور Country	افق ۵	افق ۱۰	افق ۵	افق ۱۰
					ساله 5-year horizon	ساله 10-year horizon	ساله 5-year horizon	ساله 10-year horizon
Wheat گندم	3700	4273	7569	12659	4810	5750	4570	5175
Barley جو	3236	3555	6037	11450	4369	5150	4150	4678
Rice برنج	3448	5150	10148	-	4827	5600	4550	5208
Cotton پنبه	2240	2565	6273	7317	3136	3450	2979	3209
Beet چغندر	53030	54776	109592	161821	60985	66500	57500	61845
Autumn beet چغندر پاییزه	-	-	-	-	70000	74000	68000	68820
Beans حبوبات	1616	2208	4957	3956	2182	2500	2073	2300
Potato سیب زمینی	31439	35626	79424	90967	41499	46000	39425	42780
Onion پیاز	43117	46138	79630	174917	56052	61000	53249	56730
Tomato گوجه فرنگی	40026	45481	130576	-	52034	57000	49432	53010
Oily crops گیاهان روغنی	1619	1819	4957	7038	2348	2600	2250	2366
Watermelon هندوانه	25070	31000	73902	-	32090	35000	29843	32550
Melon خربزه	20500	22000	44619	-	26650	29000	24785	26970
Other vegetable crops سایر گیاهان جالبیزی	21324	24000	37435	-	25589	28000	24053	26040
Alfalfa یونجه	9658	10578	30677	20707	12362	13500	11497	12555
Fodder maize ذرت علوفه‌ای	51679	52070	96598	122350	62015	67000	58914	62310
Fodder sorghum سورگوم علوفه‌ای	-	-	-	-	67000	74000	64000	68820
Silage قصبیل	30000	30000	40000	-	32400	35000	30132	32900
Fodder beet چغندر علوفه‌ای	55000	55000	85000	-	68000	75000	66500	69750
Other fodder crops سایر علوفه	7679	8988	9500	-	9599	10500	9119	9765
Other crops سایر محصولات	8128	8700	10500	-	9916	11000	9024	10230

جدول ۵- میانگین عملکرد محصولات زراعی دیم (کیلوگرم در هکتار) در دوره پایه و افق‌های ۵ ساله و ۱۰ ساله

Table 5- Average yield of rainfed crops in the baseline and 5- and 10-year horizon

محصول Crop	کشور Country	دوره پایه Baseline	افق ۵ ساله 5-year horizon	افق ۱۰ ساله 10-year horizon
Wheat گندم	1295	676	879	1055
Barley جو	1291	736	957	1148
Beans حبوبات	577	381	495	594
Oily crops گیاهان روغنی		155	264	316
Watermelon هندوانه	7600	3807	5711	6853
Melon خربزه	13000	3007	4511	5413
Silage قصبیل	13000		9500	11400
Legumes and intercropping لگوم و مخلوط	2000	361	1500	1800
Other crops سایر محصولات	2534	2027	2432	2919

جدول ۶- تولید کل (آبی و دیم) و آبی محصولات زراعی در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری در دوره پایه و افق‌های ۵ و ۱۰ ساله
 Table 6- Production of total (irrigated and rainfed) and rainfed crops under full and deficit irrigation conditions in the baseline and 5- and 10-year horizon

محصول Crop	تولید آبی و دیم Total crop production (thousand tons)					تولید آبی Irrigated crop production (thousand tons)				
	دوره پایه Baseline	آبیاری کامل Full irrigation		کم‌آبیاری Deficit irrigation		دوره پایه Baseline	کم‌آبیاری Deficit irrigation		آبیاری کامل Full irrigation	
		افق ۵ ساله	افق ۱۰ ساله	افق ۵ ساله	افق ۱۰ ساله		افق ۵ ساله	افق ۱۰ ساله	افق ۵ ساله	افق ۱۰ ساله
		5-year horizon	10-year horizon	5-year horizon	10-year horizon		5-year horizon	10-year horizon	5-year horizon	10-year horizon
گندم Wheat	611	537	526	611	618	541	428	409	502	501
جو Barley	385	456	475	505	532	368	423	423	472	450
برنج Rice	7	5	6	6	6	7	5	6	6	6
پنبه Cotton	52	58	58	62	60	52	58	58	62	60
چغندر Beet	1021	634	622	797	686	1021	634	622	797	686
چغندر پاییزه Autumn beet	0	140	185	136	151	0	140	185	136	151
حبوبات Beans	6	6	10	6	10	3	2	2	2	2
سیب‌زمینی Potato	164	176	185	185	191	164	176	185	185	191
پیاز Onion	101	94	92	101	97	101	94	92	101	97
گوجه‌فرنگی Tomato	452	411	360	447	431	452	411	360	447	431
گیاهان روغنی Oily crops	10	14	16	20	20	9	13	14	19	18
هندوانه Watermelon	200	134	127	135	135	198	130	120	131	128
خربزه Melon	603	470	436	469	460	602	465	430	464	454
سایر گیاهان جالیزی Other vegetable crops	79	61	56	65	59	70	50	50	54	53
یونجه Alfalfa	274	218	208	235	247	274	200	174	217	213
ذرت علوفه‌ای Fodder maize	898	1076	938	1022	973	897	1076	938	1022	973
سورگوم علوفه‌ای Fodder sorghum	0	147	163	160	172	0	147	163	160	172
قصیل Silage	0	417	587	431	605	0	227	245	241	263
چغندر علوفه‌ای Fodder beet	0	102	113	120	126	0	102	113	120	126
سایر علوفه Other fodder crops	26	32	25	35	29	17	21	19	24	23
سایر محصولات Other crops	137	94	83	110	112	137	94	83	110	112

۳۰ درصد افزایش به ۴۷۲ و ۴۸۰ هزار تن خواهد رسید (جدول ۶). جو دیم نیز در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب با افزایش ۹۵ و ۲۱۲ درصدی نسبت به دوره پایه مواجه خواهد شد، به‌طوری‌که کل تولید جو استان از ۳۸۵ هزار تن در دوره پایه به ۴۵۶ و ۴۷۵ هزار تن به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله در شرایط آبیاری کامل و به ۵۰۵ و ۵۳۲ هزار تن در شرایط کم‌آبیاری افزایش خواهد یافت (جدول ۶). با توجه به بهره‌وری بالاتر این محصول، قسمتی از اراضی گندم که از پتانسیل تولید پایین‌تری برخوردار هستند و محدودیت آب و شوری خاک دارند را می‌توان به تولید جو اختصاص داد.

تولید چغندر قند بهاره در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله نسبت به دوره پایه در هر دو شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری کاهش (جدول ۶) و در مقابل، میزان تولید پاییزه این محصول افزایش خواهد یافت؛ به‌طوری‌که کل تولید چغندر قند استان (پاییزه و بهاره) از ۱۰۲۱ هزار تن در دوره پایه به ۷۷۴ و ۸۰۷ هزار تن در شرایط آبیاری کامل و

گندم بخش عمده تولیدات زراعی استان را به خود اختصاص داده است (جدول ۶). میزان تولید آبی این محصول در دوره پایه ۵۴۱ هزار تن بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب با ۲۱ و ۲۴ درصد کاهش به ۴۲۸ و ۴۰۹ هزار تن در شرایط آبیاری کامل و با حدود ۷ درصد کاهش به ۵۰۲ و ۵۰۱ هزار تن در شرایط کم‌آبیاری به‌دلیل کاهش سطح آبی (محدودیت تعادل بخشی آب) خواهد رسید. میزان تولید دیم این محصول در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب ۵۶ و ۶۹ درصد افزایش خواهد یافت، به‌طوری‌که میزان کل تولید این محصول در استان در شرایط کم‌آبیاری در افق ۵ ساله مشابه دوره پایه (۶۱۱ هزار تن) خواهد بود و در افق ۱۰ ساله با حدود یک درصد افزایش به ۶۱۸ هزار تن خواهد رسید (جدول ۶).

مقدار کل تولید جو آبی در دوره پایه ۳۶۸ هزار تن بوده که در شرایط آبیاری کامل با ۱۵ درصد افزایش به ۴۲۳ هزار تن در هر دو افق و در شرایط کم‌آبیاری در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب با ۲۸ و

۹۳۳ و ۸۳۷ هزار تن در شرایط کم آبیاری خواهد رسید.

میزان تولید دانه‌های روغنی آبی در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب با ۴۴ و ۵۶ درصد افزایش در شرایط آبیاری کامل و ۱۱۱ و ۱۰۰ درصد افزایش در شرایط کم آبیاری مواجه خواهد شد (جدول ۶). میزان تولید دانه‌های روغنی دیم با افزایش نسبت به دوره پایه به ۱/۴۱ و ۲/۰۳ هزار تن به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله خواهد رسید؛ به‌طوری که کل تولید دانه‌های روغنی استان از ۱۰ به ۱۴ و ۱۶ هزار تن به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله در شرایط آبیاری کامل و ۲۰ هزار تن در هر دو افق در شرایط کم آبیاری خواهد رسید (جدول ۶). توسعه تولید دانه‌های روغنی منجر به کاهش وابستگی به واردات خوراک دام، امکان استحصال روغن‌های خوراکی با کیفیت به‌ویژه از کلزا که روغن بالایی دارد و استفاده از آن در تناوب کشت با گندم به‌منظور تقویت خاک و پایداری تولید گندم در استان خواهد شد (Zare-Feizabadi et al., 2022).

میزان تولید کل محصولات جالیزی آبی در دوره پایه ۸۷۰ هزار تن بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب به ۶۴۵ و ۶۰۰ هزار تن در شرایط آبیاری کامل و به ۶۴۹ و ۶۳۵ هزار تن در شرایط کم آبیاری کاهش خواهد یافت (جدول ۶). کل تولید محصولات جالیزی آبی و دیم استان از ۸۸۲ هزار تن به ۶۶۵ و ۶۱۹ هزار تن به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله در شرایط آبیاری کامل و به ۶۶۹ و ۶۵۴ هزار تن در شرایط کم آبیاری کاهش خواهد یافت (جدول ۶).

میزان تولید کل محصولات علوفه‌ای آبی در دوره پایه ۱۱۸۸ هزار تن بوده که در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ۱۷۷۳ و ۱۶۵۲ هزار تن در شرایط آبیاری کامل و به ۱۷۸۴ و ۱۷۷۰ هزار تن در شرایط کم آبیاری خواهد رسید. لازم به ذکر است که در بین محصولات علوفه‌ای، میزان تولید یونجه با توجه به کاهش سطح برداشت آن کاهش و مابقی محصولات علوفه‌ای افزایش خواهد یافت. میزان تولید محصولات علوفه‌ای دیم نیز با افزایش قابل توجهی مواجه خواهد شد؛ با توجه به موارد بیان‌شده، میزان کل علوفه تولیدی استان (آبی و دیم) در دوره پایه ۱۱۹۸ هزار تن بوده که به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ۱۹۹۲ و ۲۰۳۴ هزار تن در شرایط آبیاری کامل و به ۲۰۰۳ و ۲۱۵۲ هزار تن در شرایط کم آبیاری افزایش خواهد یافت (جدول ۶).

با توجه به سهم بالای گندم از سطح برداشت محصولات زراعی، بیشترین حجم آب مصرفی (۸۳۹ میلیون مترمکعب) به این محصول اختصاص داشته که در شرایط آبیاری کامل به ۴۹۶ و ۳۶۵ و در شرایط کم آبیاری نیز با ۳۱ درصد کاهش نسبت به شرایط آبیاری کامل، حجم آب مصرفی به ۴۹۰ و ۳۹۷ میلیون مترمکعب به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله خواهد رسید (جدول ۷). جو نیز پس از گندم

بیشترین حجم آب مصرفی را دارا بوده که با توجه به کاهش کمتر سطح برداشت این محصول نسبت به گندم در دوره‌های افق، میزان تغییر در حجم آب مصرفی آن نیز کمتر از گندم بوده؛ به‌طوری که از ۶۳۵ میلیون مترمکعب در دوره پایه با ۲۶ و ۴۲ درصد کاهش به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله در شرایط آبیاری کامل و در شرایط کم آبیاری (۴۴۲ میلیون مترمکعب) نیز ۳۰ درصد کمتر از شرایط آبیاری کامل بوده که در افق ۵ ساله حفظ و در افق ۱۰ ساله به ۳۶۶ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت.

پس از گندم و جو، بیشترین حجم آب مصرفی در شرایط آبیاری کامل با ۵۶۵ میلیون مترمکعب به‌علت نیاز آبی بالای یونجه به این محصول اختصاص داشته که با کاهش ۴۸ و ۶۲ درصدی به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله مواجه خواهد شد (جدول ۷). حجم آب مصرفی ذرت علوفه‌ای نیز در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله کاهش خواهد یافت، اما حجم آب مصرفی سورگوم علوفه‌ای، قصیل و چغندر علوفه‌ای به‌عنوان کشت پیشنهاد در دوره افق افزایش خواهد یافت، به‌طوری که حجم آب مصرفی کل محصولات علوفه‌ای از ۷۶۹ میلیون مترمکعب در دوره پایه به ۵۳۱ و ۴۰۳ در شرایط آبیاری کامل و از ۵۶۹ میلیون مترمکعب به ۵۰۳ و ۴۲۱ میلیون مترمکعب در شرایط کم آبیاری خواهد رسید.

حجم آب مصرفی چغندر قند با توجه به تغییرات سطح برداشت آن، در کشت بهاره کاهش و در کشت پاییزه افزایش خواهد یافت (جدول ۷)؛ با این حال کل حجم آب مصرفی این محصول با توجه به نیاز آبی پایین‌تر کشت پاییزه نسبت به بهاره (جدول ۲) در شرایط آبیاری کامل از ۲۸۴ به ۱۶۴ و ۱۴۱ و در شرایط کم آبیاری از ۱۹۷ به ۱۷۱ و ۱۲۹ میلیون مترمکعب به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله کاهش خواهد یافت.

حجم آب مصرفی دانه‌های روغنی با توجه به افزایش سطح برداشت آن‌ها در دوره‌های افق، به نسبت سایر محصولات زراعی از کاهش کمتری برخوردار خواهد شد؛ حجم آب مصرفی این محصولات در شرایط آبیاری کامل در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب ۱۴ و ۲۲ درصد نسبت به دوره پایه کاهش و در شرایط کم آبیاری نیز ۳۱ درصد کمتر از شرایط آبیاری خواهد بود. حجم آب مصرفی محصولات جالیزی نیز با کاهش سطح برداشت آن‌ها در دوره‌های افق با کاهش قابل توجهی مواجه خواهد شد (جدول ۷)، به‌طوری که حجم آب مصرفی کل محصولات جالیزی در شرایط آبیاری کامل از ۴۳۲ دوره پایه به ۲۵۷ و ۲۰۱ و در شرایط کم آبیاری از ۳۱۶ دوره پایه به ۲۳۲ و ۱۹۳ میلیون مترمکعب به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله خواهند رسید.

جدول ۷- حجم آب مصرفی محصولات زراعی (میلیون مترمکعب) در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری در دوره پایه و افق‌های ۵ و ۱۰ ساله
 Table 7- The amount of water consumed by crops (million m³) under full and deficit irrigation conditions in the baseline and 5- and 10-year horizon

محصول Crop	آبیاری کامل Full irrigation			کم‌آبیاری Deficit irrigation		
	دوره پایه Baseline	افق ۵ ساله 5-year horizon	افق ۱۰ ساله 10-year horizon	دوره پایه Baseline	افق ۵ ساله 5-year horizon	افق ۱۰ ساله 10-year horizon
گندم Wheat	839	496	365	583	490	297
جو Barley	635	469	367	442	442	366
برنج Rice	34	15	14	27	16	113
پنبه Cotton	350	243	201	243	219	181
چغندر Beet	284	148	123	197	158	116
چغندر پاییزه Autumn beet		16	18		13	13
حبوبات Beans	23	10	7	16	9	8
سیب‌زمینی Potato	50	39	34	39	39	34
پیاز Onion	28	20	16	20	18	15
گوجه‌فرنگی Tomato	139	84	62	108	87	72
گیاهان روغنی Oily crops	36	31	28	25	37	31
هندوانه Watermelon	76	40	31	53	34	28
خربزه Melon	320	195	152	237	177	147
سایر گیاهان جالیزی Other vegetable crops	36	22	18	26	21	18
یونجه Alfalfa	565	295	217	418	293	242
ذرت علوفه‌ای Fodder maize	186	162	120	138	137	114
سورگوم علوفه‌ای Fodder sorghum	-	17	16	-	16	15
قصیل Silage	-	29	27	-	27	25
چغندر علوفه‌ای Fodder beet	-	13	12	-	13	12
سایر علوفه Other fodder crops	18	15	11	13	16	13
سایر محصولات Other crops	162	98	72	106	95	73

شرایط کم‌آبیاری افزایش خواهد یافت. با این حال، میزان بهره‌وری آب چغندر پاییزه در افق‌های مورد مطالعه در هر دو سناریو با توجه به نیاز آبی کمتر آن نسبت به چغندر بهاره، دو برابر بیشتر از بهره‌وری آب چغندر بهاره خواهد بود.

بهره‌وری آب دانه‌های روغنی استان از ۰/۳ در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب با ۳۳ و ۶۷ درصد افزایش به ۰/۴ و ۰/۵ در شرایط آبیاری کامل و به ۰/۵ و ۰/۶ کیلوگرم بر مترمکعب در شرایط کم‌آبیاری افزایش خواهد رسید (جدول ۸). میانگین بهره‌وری آب کل محصولات جالیزی استان ۲/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب در دوره پایه بوده که کمتر از میانگین کشور (۳ کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد (جدول ۸). این میزان بهره‌وری آب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب ۲۰ و ۴۲ درصد در شرایط آبیاری کامل و ۳۴ و ۵۸ درصد در شرایط کم‌آبیاری افزایش خواهد یافت. بهره‌وری آب محصولات علوفه‌ای نیز در دوره‌های افق نسبت به دوره پایه با افزایش مواجه خواهد شد. در بین این محصولات، بیشترین میزان افزایش در بهره‌وری آب یونجه

میزان بهره‌وری آب تمام محصولات زراعی در هر دو سناریوی آبیاری کامل و کم‌آبیاری در دوره‌های افق نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت و در موارد اندکی ثابت خواهد ماند (جدول ۸). بهره‌وری آب گندم و جو در دوره پایه ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب بوده (که به ترتیب ۰/۲ و ۰/۱ کیلوگرم بر مترمکعب کمتر از میانگین کشوری) است. در شرایط آبیاری کامل، میزان بهره‌وری آب هر دو محصول به ۰/۹ در افق ۵ ساله و ۱/۱ و ۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب برای گندم و جو در افق ۱۰ ساله خواهد رسید. در شرایط کم‌آبیاری، میزان بهره‌وری آب به ترتیب برای گندم و جو به ۱ و ۱/۱ در افق ۵ ساله و به ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب برای هر دو محصول در افق ۱۰ ساله خواهد رسید.

میزان بهره‌وری آب چغندر بهاره استان در دوره پایه ۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود که ۰/۳ از میانگین کشوری آن کمتر است (جدول ۸). این میزان بهره‌وری آب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب به ۴/۳ و ۵/۱ در شرایط آبیاری کامل و به ۵ و ۵/۹ کیلوگرم بر مترمکعب در

مشاهده خواهد شد (جدول ۸): به طوری که از ۰/۵ در دوره پایه به ۰/۷ و ۰/۸ در شرایط آبیاری کامل و به ۰/۷ و ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب در شرایط کم آبیاری به ترتیب در افق های ۵ و ۱۰ ساله خواهد رسید.

چشم انداز بازرگانی محصولات مهم زراعی

مصرف سرانه مجموع محصولات مهم زراعی امنیت غذایی استان در دوره پایه ۵۰۵ کیلوگرم به ازای هر نفر در سال (از ۸۳۹ کیلوگرم کل مصرف سرانه غذایی امنیت غذایی دوره پایه کشور) بوده که در افق های ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب به ۴۹۷ و ۴۹۰ کیلوگرم به ازای هر نفر در سال کاهش خواهد یافت (بر مبنای سند امنیت غذایی کشور) (جدول ۹). مصرف سرانه گندم، برنج، روغن و قند و شکر در افق های

مورد مطالعه کاهش و مصرف سایر محصولات افزایش خواهد یافت. میزان تقاضا برای مجموع محصولات مهم زراعی استان در افق های مورد مطالعه افزایش خواهد یافت، به طوری که از ۳۳۷۹ هزار تن در دوره پایه با ۷ و ۱۱ درصد افزایش به ۳۶۱۷ و ۳۷۶۱ هزار تن به ترتیب در افق های ۵ و ۱۰ ساله خواهد رسید (جدول ۹). بخش عمده تقاضا در دوره پایه به ترتیب مربوط به سبزی و صیفی جات و گندم خواهد بود که در افق های ۵ و ۱۰ ساله نیز این ترتیب حفظ خواهد شد. کمترین میزان تقاضا نیز در دوره پایه و همچنین در دو افق مربوط به حبوبات خواهد بود. میزان تقاضای تمام محصولات زراعی به جز قند و شکر در دو افق و برنج در افق ۱۰ ساله مورد بررسی افزایش خواهد یافت.

جدول ۸- بهره‌وری آب محصولات زراعی (کیلوگرم بر مترمکعب) در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری در دوره پایه و افق های ۵ و ۱۰ ساله

Table 8- Crop water productivity (kg m^{-3}) under full and deficit irrigation conditions in the baseline and 5- and 10-year horizon

محصول Crop	دوره پایه		آبیاری کامل		کم آبیاری	
	Baseline		Full irrigation		Deficit irrigation	
	استان Province	کشور Country	افق ۵ ساله 5-year horizon	افق ۱۰ ساله 10-year horizon	افق ۵ ساله 5-year horizon	افق ۱۰ ساله 10-year horizon
گندم Wheat	0.7	0.9	0.9	1.1	1.0	1.3
جو Barley	0.7	0.8	0.9	1.2	1.1	1.3
برنج Rice	0.2	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
پنبه Cotton	0.2	0.24	0.2	0.3	0.3	0.3
چغندر Beet	4.0	4.3	4.3	5.1	5.0	5.9
چغندر پاییز Autumn beet	-	-	8.8	10.1	10.6	11.7
حبوبات Beans	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3
سیب زمینی Potato	3.3	2.8	4.5	5.5	4.8	5.6
پیاز Onion	4.0	1.4	4.8	5.6	5.7	6.6
گوجه فرنگی Tomato	3.6	3.2	4.9	5.8	5.1	6.0
گیاهان روغنی Oily crops	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6
هندوانه Watermelon	2.8	3.9	3.3	3.9	3.8	4.5
خربزه Melon	1.9	2	2.4	2.8	2.6	3.1
سایر گیاهان جالیزی Other vegetable crops	2.0	3.1	2.3	2.8	2.6	3.0
یونجه Alfalfa	0.5	0.7	0.7	0.8	0.7	0.9
ذرت علوفه‌ای Fodder maize	5.7	5	6.7	7.8	7.4	8.5
سورگوم علوفه‌ای Fodder sorghum	-	-	-	10.2	10.1	11.8
قصبیل Silage	7.8	10	7.8	9.1	9.0	10.7
چغندر علوفه‌ای Fodder beet	6.9	6.1	7.8	9.4	9.6	10.9
سایر علوفه Other fodder crops	1.1	6.5	1.4	1.6	1.5	1.8
سایر محصولات Other crops	0.9	0.2	1.0	1.1	1.2	1.4

جدول ۹- مقادیر مصرف سرانه، تقاضا، تولید، تجارت و خوداتکایی محصولات مهم زراعی برای دوره پایه و افق‌های ۵ و ۱۰ ساله
 Table 9- Per-capita consumption, demand, production, trade, and self-reliance of important agricultural products for the baseline and 5- and 10-year horizons

شاخص Indicator	مصرف سرانه Per-capita consumption (kg person year ⁻¹)			تقاضا Demand (thousand tons)			تولید Production (thousand tons)			تجارت Trade (thousand tons)			خوداتکایی Self-reliance (%)		
	دوره پایه Base line	۵ ساله 5-year horizon	۱۰ ساله 10-year horizon	دوره پایه Base line	۵ ساله 5-year horizon	۱۰ ساله 10-year horizon	دوره پایه Base line	۵ ساله 5-year horizon	۱۰ ساله 10-year horizon	دوره پایه Base line	۵ ساله 5-year horizon	۱۰ ساله 10-year horizon	دوره پایه Base line	۵ ساله 5-year horizon	۱۰ ساله 10-year horizon
محصول Product															
گندم Wheat	160	156	153	1064	1162	1195	611	611	618	-454	-551	-577	57	53	52
برنج Rice	34	31	28	224	232	222	5	4	4	-219	-229	-218	2	2	2
روغن Oil	22	21	21	145	158	162	4	8	8	-141	-150	-154	3	5	5
حبوبات Beans	11	12	12	75	87	96	6	6	10	-69	-81	-87	8	7	10
سیب‌زمینی Potato	48	49	50	318	363	388	164	185	191	-154	-178	-197	52	51	49
قند و شکر Sugar	30	22	19	200	164	149	153	140	126	-46	-24	-23	77	85	85
سبزی و صیفی Vegetables and cucurbits	200	206	207	1333	1535	1620	1557	1485	1567	224	-50	-53	117	97	97
جمع Total	505	497	490	3379	3617	3761	2500	2440	2523	-879	-1177	-1238	74	68	67

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که الگوی تولید پیشنهادی برای محصولات زراعی استان خراسان رضوی در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ویژه در سناریوی کم‌آبیاری در راستای تعادل بخشی آب عمل خواهد نمود. چراکه در این الگو ضمن کاهش حجم آب مصرفی، عملکرد محصولات آبی و دیم در دوره‌های افق نسبت به دوره پایه افزایش و سطح برداشت محصولات آبی کاهش و محصولات دیم افزایش خواهد یافت. با این حال، میزان تولید محصولات زراعی تغییر چندانی در دوره‌های افق نسبت به دوره پایه نخواهد داشت، درحالی‌که میزان تقاضا با افزایش مواجه خواهد شد. لذا الگوی تولیدی در راستای افزایش خوداتکایی استان عمل نخواهد نمود. بدیهی است با توجه به محدودیت‌های آب‌وخاک و اقلیم در کشور، دستیابی به تولید بهینه، نیازمند رعایت الگوی کشت و سوق دادن مشوق‌ها و حمایت‌ها براساس آن است. الگوی کشت پیشنهادی در این مطالعه باید هر دو تا سه سال یک‌بار با توجه به نیاز و تقاضا و تغییرات اقلیمی به‌روزرسانی گردد که می‌تواند محصولات جدیدی در این الگو وارد شود و یا تغییر در سطح محصولات ایجاد گردد. همچنین تحقق نتایج این مطالعه نیازمند مقوله‌های «پژوهش^۱»، «فناوری^۲»، «آموزش و توانمندسازی^۳»، «ترویج دستاوردها^۴» و علاوه بر آن‌ها مدیریت و نیروی انسانی و سیاست‌ها و برنامه‌های تأمین، تولید و توزیع بهینه و مناسب در زمانی صحیح است.

سیاسگزاری

این پژوهش مستخرج از پروژه تحقیقاتی «مطالعه تولیدات کشاورزی شرق کشور» مصوب مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب، اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران بوده که با تصویب و پرداخت هزینه اجرا و همکاری و مساعدت سرپرست محترم و همکاران این مرکز به انجام رسیده است که بدینوسیله از آن‌ها سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

میزان تولید مجموع محصولات مهم زراعی در استان از ۲۵۰۰ هزار تن در دوره پایه به ۲۴۴۰ هزار تن در افق ۵ ساله کاهش و در افق ۱۰ ساله به ۲۵۲۳ هزار تن افزایش خواهد یافت (جدول ۹). میزان تولید برنج، قند و شکر و سبزی و صیفی در دوره‌های افق نسبت به دوره پایه کاهش و مابقی محصولات افزایش خواهد یافت.

همان‌طور که بیان گردید، علی‌رغم افزایش تقاضای محصولات مهم زراعی در استان در افق‌های مورد مطالعه، میزان تولید مجموع این محصولات در استان در افق ۵ ساله دو درصد کاهش و در افق ۱۰ ساله تنها یک درصد افزایش خواهد یافت؛ این امر موجب می‌گردد که میزان تجارت این محصولات منفی‌تر و خوداتکایی تولیدات استان کاهش یابد (جدول ۹). به عبارت دیگر، میزان نیاز به وارد کردن محصولات مهم زراعی به استان افزایش یابد. میزان کسری کل محصولات مهم زراعی در استان در دوره پایه ۸۷۹ هزار تن بوده و در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله به‌ترتیب به ۱۱۷۷ و ۱۲۳۸ هزار تن خواهد رسید. میزان کسری تمام محصولات مهم زراعی استان به‌جز قند و شکر در دوره‌های افق بیشتر از دوره پایه خواهد بود. این بدان معنا است که استان خراسان رضوی برای تمام محصولات مهم زراعی در افق کمبود داشته و خودکفا نبوده، لذا نیاز دارد در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله این محصولات را از خارج استان وارد کند. میزان کسری قند و شکر از ۴۶ در دوره پایه به حدود ۲۰ هزار تن در هر دو افق کاهش خواهد یافت.

با توجه به اینکه میزان افزایش در تولید مجموع محصولات مهم زراعی استان متناسب با افزایش تقاضای این محصولات در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله نبوده (افزایش جمعیت)، میزان خوداتکایی تولیدات مهم زراعی استان به‌جز حبوبات و روغن در هر دو افق کاهش خواهد یافت، به‌طوری‌که میزان خوداتکایی کل تولیدات زراعی محصولات مهم استان از ۷۴ درصد در دوره پایه به ۶۸ و ۶۷ درصد به‌ترتیب در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله کاهش خواهد یافت (جدول ۹). میزان خوداتکایی استان تنها برای محصولات سبزی و صیفی در دوره پایه بیشتر از ۱۰۰ درصد بوده است، چراکه میزان تولید این محصولات در استان بیشتر از تقاضای آن‌ها می‌باشد. لذا استان خراسان رضوی در تولید این محصولات خودکفا بوده و در افق‌های ۵ و ۱۰ ساله نیز در حد خودکفایی خواهد ماند. درصد خوداتکایی استان از نظر تمام محصولات مورد بررسی به‌جز برنج، روغن، قند و شکر در هر دو افق ۵ و ۱۰ ساله کاهش و ثابت خواهد بود، لذا میزان تولید این محصولات در استان خراسان رضوی، هیچ‌گاه کفاف تأمین نیاز استان را نداشته و این استان عملاً تولیدکننده این محصولات به‌حساب نمی‌آید.

- 1- Research
- 2- Technology
- 3- Education and empowerment
- 4- Promote achievements

References

- Arora, N. K., & Mishra, I. (2019). United nations sustainable development goals 2030 and environmental sustainability: Race against time. *Environmental Sustainability*, 2(4), 339-342.
- Askari Bozayeh, F., Mohammadzadeh, R., & Azarin Far, Y. (2020). Water and its landscape in the MENA region (Middle East and North Africa). *Journal of Water and Sustainable Development*, 7(2), 33-44. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jwsd.v7i2.85789>
- Eslami, A. (2020). Effects of climate change on agricultural production and food security. *Journal of Water and Sustainable Development*, 7(4), 83-87. (in Persian)
- Ghods (2021). Watershed and aquifer management plans are the most basic solution to reduce the effects of drought. <https://www.qudsonline.ir/news/755325>
- Asgharzadeh, A., Gobadijanbaz, Gh., Motevalli, S., Taherian, M., & Kouhi, M. (2024). Examining the limit profiles of temperature and precipitation under the conditions of climate change in Razavi Khorasan province. *Journal of Climate Research*, 15, 63-78. (in Persian with English abstract)
- Javaheri, M. A., Nadi, M., & Najafinezhad, H. (2020). Use of agro-climatic zoning in determining zoning of determining the appropriate growth period, planting date and harvesting date of autumn sowing of sugar beet in Kerman province. *Plant Ecophysiology*, 12(41), 148-161. (in Persian with English abstract)
- Khorasan (2023). The statistical challenge of water. <http://khorasanrazavi.khorasannews.com/Newspaper/MobileBlock?NewspaperBlockID=193583>
- Khorasanizadeh, H., Ghasemieh, H., Soleimani-Motlagh, M., & Mizavand, M. (2023). Investigating quantitative status of groundwater resources in Kashan plain, perspective and providing appropriate solutions. *Water Resources*, 15(55), 53-74. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.30495/wej.2023.27982.2313>
- Lebaschi, M. H. (2017). The necessity of producing medicinal plants in the rainfed lands of the country. *Iran Nature*, 2(4), 6-9. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/irn.2017.113376>
- National and strategic document of food security 2022-2031, (2021). Deputy of agricultural education and promotion, office of knowledge network and social media, by order of the supreme council of cultural revolution. (in Persian)
- Organization of Agricultural-Jihad of Khorasan Razavi. (2022). Agricultural outlook of Razavi Khorasan province in 2021. Accessed 21 April 2022. <https://koaj.ir/Modules/showframework.aspx?RelFacilityId=1241&ObjectID=252&FrameworkPageType=SEC>.
- Pilvar, R., & Rajabi, M. (2019). Property rights of water wells; the arena of transformation from private law to public law. *Journal of Research and Development in Comparative Law*, 2(2), 67-91. (in Persian). <https://doi.org/10.22034/law.2019.239542>
- Poshtvan, H., & Rajabi Hashtjin, M. (2023). *Allocation of Water Resources: Risks and Opportunities*. Sabzran Press, Tehran, Iran. pp. 264.
- Poursepahi, H. (2022). Studies on water in the eastern basin of the country (Khorasan Razavi province). National Center for Strategic Studies of Agriculture and Water, Chamber of Commerce, Industries, Mines and Agriculture of Iran. (in Persian)
- Rahmani, A., Sefidkan, F., Fayyaz, M., Jafari, A. A. & Motamedi, J. (2022). The Research Institute of Forests and Rangelands' approach towards the country's wetlands to preserve the basic resources. *Iran's Nature*, 7(4), 87-102. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/IRN.2022.127537>
- Reinsdorf, E., & Koch, H. J. (2013). Modeling crown temperature of winter sugar beet and its application in risk assessment for frost killing in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 182, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.08.001>
- Rutten, M., Van Dijk, M., Van Rooij, W., & Hilderink, H. (2014). Land use dynamics, climate change, and food security in Vietnam: A global-to-local modeling approach. *World Development*, 59, 29-46. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.01.020>
- Shariatmadar, M., Keshavarz, A., Kosravi, A., Kianpour, R., & Farsi, M.M. (2020). Report of Iran's food security, evaluation of Iran's agricultural and food self-reliance with a look at the supply and consumption of food in the society, 1998-2018. National Center for Strategic Studies of Agriculture and Water use at Iran's Chamber of Commerce. (in Persian)
- Simtowe, F., Shiferaw, B., Kassie, M., Abate, T., Silim, S., Siambi, M., Madzonga, O., Muricho, G., & Kananji, G. (2010). Assessment of the current situation and future outlooks for the pigeonpea sub-sector in Malawi. *Nairobi: ICRISAT*, pp. 1-52.
- Soltani, A., Zand, A., Alimagham, M., Nehbandani, A., Barani, H., Soltani, A., Torabi, B., Zeinali, A., Mirkarimi, Sh., & Jolaei, R. (2019). Analysis of the country's food security until 2050 by modeling the correlation of water, land, food and environment: Perspective and necessary policies. Agricultural Research, Education and Promotion Organization. (in Persian)
- Studies on the water requirement of important agricultural and horticultural crops in the eastern provinces of Iran. (2023). National Center for Strategic Studies of Agriculture and Water, Chamber of Commerce, Industries, Mines

- and Agriculture of Iran. (in Persian)
22. Taleghani, D. F., Moharamzadeh, M., Hemayati, S. S., Mohammadian, R., & Farahmand, R. (2011). Effect of sowing and harvest time on yield of autumn-sown sugar beet in Moghan region in Iran. *Seed and Plant Production*, 27(3), 355-371. (in Persian with English abstract)
23. Tavasoli, A., Tabatabaee, J., Hoseinnia, A., Bagherzade, M., & Jabbari, H. (2016). Rainwater harvesting for Urmia Island (I.R.Iran) wildlife. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 3(4), 57-71. (in Persian with English abstract)
24. Yousefi, A., Sarai Tabrizi, M., Porhemmat, J. & Babazadeh, H. (2022). Studying groundwater resources balancing plan under climate change conditions (case study: Hashtgerd study area). *Iranian Water Research Journal*, 16(45), 15-32. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/iwrj.2022.10020.2340>
25. Zare-Feizabadi, A., Keshavarz, A., Shariatmadar, M., Hassanpour, A., Kianpour, R., Fakkari, B., & Farssi, A. (2022). Report of the pathology and analysis of agricultural sector for the period of 1996-2019. National Center for Strategic Studies of Agriculture and Water use at Iran's Chamber of Commerce. (in Persian)
26. Zarei, N. (2023). Governance of the agricultural sector and its consequences on food security. *Economic Security*, 11(4), 41-54. (in Persian)
27. Zarrin, A. (2021). The temporal extension of droughts in the coming decades and the need to pay attention to the drought management plan. *Journal of Water and Sustainable Development*, 8(1), 1-1. (in Persian with English abstract)



The Effect of Seaweed Extract Foliar Application on the Growth and Yield of Different Genotypes of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

H. Najafi¹, A. Mohamadi¹, M. Bagheri^{2*}

1- Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran

2- Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: m-bagheri@areeo.ac.ir)

Received: 21 April 2024

Revised: 24 September 2024

Accepted: 05 October 2024

Available Online: 01 March 2025

How to cite this article:

Najafi, H., Mohamadi, A., & Bagheri, M. (2025). The Effect of Seaweed Extract Foliar Application on the Growth and Yield of Different Genotypes of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(1), 65-76. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87730.1320>

Introduction

In recent years, population growth on the one hand and climate change on the other, have increased the need for higher agricultural production. With the expansion of cultivated areas and increasing use of chemical fertilizers, the health of the environment and humans has been jeopardized. Consequently, recent studies have begun on the type of fertilizers used, the best fertilizer composition, and how to use them. Various studies have shown that organic fertilizer can ensure the sustainability of agricultural systems' production, sometimes as a replacement and most often as a supplement to chemical fertilizers. In conditions where climate change and the salinization of agricultural lands have had noticeable effects on the production of various crops, the need for resilient plants becomes more apparent. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a crop that is resistant to environmental stresses and is nutritionally very rich, to the extent that its amino acid composition is compared to that of mother's milk. The current research aims to investigate the effects of foliar application with seaweed extract on the growth and performance of different quinoa genotypes.

Materials and Methods

This research was conducted in the summer and autumn of 2020 at the educational and research farm of the Faculty of Agriculture and Natural Resources of the Islamic Azad University, Karaj unit. The study was carried out as a split-plot experiment (5×3), based on a randomized complete block design with three replications. The main factor in this research was the fertilizer factor, which included 3 treatments: control: (without foliar application with seaweed extract), foliar application with seaweed extract at a concentration of 10 percent, and foliar application with seaweed extract at a concentration of 20 percent, placed in the main plot. The other factor was the genotype of the quinoa plant, which included 5 genotypes: Giza1, Titicaca, Rosada, Kancolla, and Q12, placed in the subplot. At different stages of plant growth, traits such as seed saponin content, thousand seed weight, seed yield, days to physiological maturity, days to flowering, dry plant weight, fresh plant weight, stem diameter, inflorescence length, and plant height were measured.

Results and Discussion

The foliar application of seaweed extract had a significant effect on various traits, with a **1% significance



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

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87730.1320>

level** for days to flowering, days to physiological maturity, inflorescence length, thousand seed weight, and seed saponin content, and a **5% significance level** for plant height. The simple effect of genotype was significant at the 1% level for all traits except for thousand seed weight. The interaction effect of foliar application $\times$ genotype was significant at the 5% level for days to flowering. The application of seaweed extract reduced the number of days to flowering by **3.8 days**, days to maturity by **4.8 days**, plant height by **5%**, and inflorescence length by **10%**. However, it had no significant effect on seed yield, as well as the fresh and dry weight of aerial parts. The highest seed yield was related to genotype Q12 (2477 kg.ha⁻¹) and the highest thousand seed weight was related to the Giza 1 variety (2.47 g). Plant height showed a significant negative correlation with seed yield and thousand seed weight.

Conclusion

The use of seaweed fertilizer in the nutrition of different quinoa genotypes showed varying effects. However, the impact of this fertilizer in reducing the growth period of quinoa, which is one of the most important issues facing quinoa cultivation in our country, is very significant. The differences between the genotypes studied in this research were quite evident, but it seems that special attention should be paid to the purpose of quinoa cultivation when selecting the superior genotype. If the goal of quinoa cultivation is forage production, the Rosada genotype is recommended, otherwise, the Q12 genotype is advised.

Keywords: Correlation, Organic fertilizer, Seed yield, Quinoa cultivars

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۶۵-۷۶

اثر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

هدیه نجفی^۱، عبدالله محمدی^{۱*}، محمود باقری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴

چکیده

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف کود عصاره جلبک دریایی بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی اثر عصاره جلبک دریایی در سه سطح شاهد (بدون عصاره جلبک دریایی)، محلول پاشی با عصاره جلبک دریایی ۱۰ درصد و محلول پاشی با عصاره جلبک دریایی ۲۰ درصد بود. عامل فرعی نیز نوع ژنوتیپ کینوا شامل پنج ژنوتیپ جیزا ۱، تیتیکاکا، رزادا، کانکولا و Q12 بود. اثر استفاده از عصاره جلبک دریایی بر صفات روز تا گل‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول گل آذین، وزن هزاردانه و محتوای ساپونین دانه در سطح یک درصد و بر صفت ارتفاع بوته در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. اثر ساده ژنوتیپ بر تمامی صفات به غیر از صفت وزن هزاردانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل کود × ژنوتیپ، بر صفت روز تا گل‌دهی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. استفاده از عصاره جلبک دریایی موجب کاهش تعداد روز تا گل‌دهی (۳/۸ روز)، روز تا رسیدگی (۴/۸ روز)، ارتفاع بوته (پنج درصد) و طول گل آذین (۱۰ درصد) شد؛ باین حال بر میزان عملکرد دانه، وزن تر و خشک اندام هوایی اثری نداشت. بالاترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ Q12 (۲۴۷۷ کیلوگرم در هکتار) و بالاترین وزن هزاردانه مربوط به ژنوتیپ جیزا ۱ (۲/۴۷ گرم) بود. ارتفاع بوته همبستگی منفی معنی‌داری با عملکرد دانه و وزن هزاردانه نشان داد. با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از عصاره جلبک دریایی جهت کاهش طول دوره رشد قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: ارقام کینوا، عملکرد دانه، کود آلی، همبستگی

مقدمه

در دهه‌های اخیر افزایش جمعیت و نیاز به غذای بیش‌تر، فشار مضاعفی بر محیط زیست به خصوص منابع آب و بوم‌نظام‌های زراعی وارد کرده است. از سویی، تغییرات محیطی در برخی مناطق به سطح بحرانی رسیده و تهدیدی جدی بر عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی شده است. در بین این محصولات می‌توان به برنج (*Oryza sativa* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) اشاره کرد که ۵۰ درصد از غذای بشر را تأمین می‌کنند و پیش‌بینی می‌شود که این گیاهان در شرایط اقلیمی جدید، عملکرد پایین‌تری خواهند داشت. همین عامل موجب شده

است تا توجه بیشتری به گیاهان مقاوم و پرخاصیت معطوف گردد (Salehi & Dehghani, 2018). در این بین، یکی از گیاهان بسیار مقاوم به شرایط نامطلوب محیطی که در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده پایداری بالایی از خود نشان می‌دهد، کینوا می‌باشد (Ramezanpour, Soltanloo, Seyfi, & Salehi, 2015). کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd. از خانواده تاج‌خروس، یک گیاه سه کربنه با حدود ۹۳ درصد خودگشتی است که از کوه‌های آند کرانه غربی آمریکای لاتین (جنوبی) منشأ گرفته است (Jacobsen et al., 2005). کینوا گیاهی یک‌ساله و دولپه‌ای است، بنابراین به‌عنوان یک شبه‌غله شناخته می‌شود و در این منطقه به مادر دانه‌ها معروف است (Lilian, 2009). کینوا به‌عنوان ابر غذا شناخته می‌شود و از معدود گیاهانی است که می‌تواند تمامی آمینواسیدهای مورد نیاز برای سلامتی بدن انسان را فراهم آورد، به‌نحوی که ارزش غذایی بالای دانه کینوا موجب مقایسه آن با شیر خشک توسط سازمان خواروبار کشاورزی ملل متحد شده است. با وجود ارزش تغذیه‌ای بسیار بالا، گزارش شده است که این گیاه مقاومت زیادی نیز

۱- گروه ژنتیک و به‌نژادی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران

۲- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(*- نویسنده مسئول)

(Email: m-bagheri@areeo.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87730.1320>

در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیر زنده مانند سرما، شوری و خشکی دارد و در نتیجه، جایگزینی مطلوب برای گیاهانی مانند برنج است (Telahigue, Yahia, Aljane, Belhouchett, & Toumi, 2017).

همانند بسیاری از کشورها، در کشور ایران نیز باور عموم بر آن است که مصرف کودها باعث افزایش حاصلخیزی خاک شده و می‌تواند عملکرد در واحد سطح را افزایش دهد. کشاورزان عموماً کود را به عنوان یک عامل مؤثر در بهبود فعالیت‌های کشاورزی می‌شناسند و آن را باعث افزایش عملکرد محصول، بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش درآمد می‌دانند. ولی علی‌رغم اینکه کود یکی از اجزای ضروری در مزارع مدرن است، در صورت استفاده نامناسب از آن، مشکلاتی نیز ایجاد خواهد کرد. در سال‌های اخیر، افزایش بی‌رویه مصرف کودها و مواد شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی، سلامت خاک، آب، هوا و همچنین محصولات تولیدی را به خطر انداخته و نگرانی‌های روزافزونی را برای محیط زیست جهانی و سلامت بشر به وجود آورده است. از این رو در سال‌های اخیر، مطالعاتی در خصوص نوع کود مصرفی، بهترین ترکیب کودی و نحوه استفاده از آن برای ارقام مختلف زراعی با هدف یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک، محصولات کشاورزی و حذف آلاینده‌ها آغاز شده است (Aminian, Mafakheri, & Tahtani, 2018). از جمله این تکنیک‌ها، استفاده از کودهای آلی است. کودهای آلی در مقایسه با مواد شیمیایی مزیت‌های قابل توجهی دارند، از آن جمله اینکه باعث اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند (Moalem & Eshqizade, 2007).

استفاده از جلبک‌ها به عنوان کود به قرن ۱۹ برمی‌گردد که برای

اولین بار توسط ساحل‌نشینان مورد استفاده قرار گرفت. کودهای جلبکی به دلیل میزان فیبر بالا از یک طرف نقش مهمی در نرم کردن بافت خاک، حفظ رطوبت و بهبود ساختمان خاک داشته و از طرف دیگر، با داشتن مواد معدنی و عناصر غذایی فراوان، رشد گیاه، مقاومت به آفات و بیماری‌ها و میزان عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند (Ahmed & Shalaby, 2012). امروزه، انواعی از گونه‌های خزه و جلبک دریایی، علاوه بر اینکه به عنوان یک منبع غذایی طبیعی برای انسان‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند، به علت دارا بودن شماری از ترکیبات تحریک‌کننده رشد گیاهی، به طور وسیعی در تولید محصولات کشاورزی نیز استفاده می‌شوند (Spann & Little, 2011). از جمله سودمندی‌های استفاده از کود جلبک در کشاورزی می‌توان به رشد و گسترش بیشتر ریشه‌ها، جوانه‌زنی بهتر و سریع‌تر بذرها، به تأخیر انداختن پیری میوه‌ها و افزایش عمر پس از برداشت محصولات، افزایش توان و مقاومت گیاهان در مقابل تنش‌های زنده و غیر زنده و افزایش کمیت و کیفیت میوه‌ها اشاره کرد (Norrie & Keathley, 2006). با توجه به مطالب ذکر شده، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات محلول‌پاشی با عصاره جلبک بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف کینوا اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۹ در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج انجام شد. موقعیت جغرافیایی منطقه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع منطقه مورد مطالعه

Table 1- Geographical location and altitude of the study area

ارتفاع از سطح دریا Height above mean sea level (m)	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	محل اجرای طرح Place of execution of the project
1320	50°52'51.4"E	35°49'09.5"N	مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج Educational and research farm of Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Karaj branch

ژنوتیپ گیاه کینوا شامل پنج ژنوتیپ Rosada, Titicaca, Giza1, Kancolla و Q12 بود که در کرت فرعی قرار گرفت. بذر مورد نیاز برای کشت گیاه کینوا (پنج ژنوتیپ مختلف کینوا) از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. آماده‌سازی زمین و کشت بذور در نیمه اول تیرماه انجام شد. تهیه بستر کاشت شامل شخم، دیسک و ایجاد جوی و پشته بود. کشت به صورت ردیفی (جوی و پشته) انجام شد، بدین صورت که وسط پشته با فوکا شیار داده، بذور

پژوهش به صورت آزمایش اسپلیت پلات (۵ × ۳)، بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی در این تحقیق، عامل کود بود که در سه تیمار شامل شاهد (بدون محلول‌پاش)، محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی با غلظت ۱۰ درصد و محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی با غلظت ۲۰ درصد، در کرت اصلی قرار گرفت. در این پژوهش از عصاره جلبک دریایی برند شوک، محصول کارخانه جات Pan American استفاده شد. عامل دیگر،

و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسات میانگین به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به نتیجه تجزیه واریانس داده‌های پژوهش حاضر (جدول ۲)، اثر ساده محلول پاشی عصاره جلبک دریایی در سطح پنج درصد و اثر ژنوتیپ در سطح یک درصد بر تغییرات ارتفاع بوته معنی‌دار بود. همچنین مشخص شد که طول گل‌آذین نیز در سطح یک درصد تحت تأثیر ژنوتیپ و محلول پاشی عصاره جلبک دریایی قرار گرفت، اما اثر متقابل محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر این دو صفت نداشت. استفاده از عصاره جلبک دریایی در مجموع باعث کاهش ارتفاع بوته‌ها و طول گل‌آذین کینوا شده است. افزایش غلظت عصاره جلبک دریایی باعث کاهش بیشتر ارتفاع بوته شد، اما اثر معنی‌داری بر تغییرات طول گل‌آذین نداشت. بیشترین ارتفاع بوته و طول گل‌آذین در ژنوتیپ‌های رزادا و کانکولا اندازه‌گیری شد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). اگر ارتفاع بالای بوته همراه با عملکرد دانه مناسب نباشد، صفت مطلوبی نخواهد بود، تراکم بوته در واحد سطح برگ بر میزان جذب نور توسط پوشش گیاهی اثر گذاشته و در صورتی که پوشش مزرعه بتواند حداکثر نور ورودی را جذب کند، عملکرد افزایش خواهد یافت (Sarjamei, Khorasani, & Nezhad, 2014)؛ در غیر این صورت حجم و وزن بالای گل‌آذین و ساقه نسبتاً ضعیف کینوا، احتمال ورس را افزایش می‌دهد، در این صورت اگر هدف تولید علوفه باشد، ارتفاع بیشتر بوته مطلوب خواهد بود (Bagheri, Anafjeh, Keshavarz, & Foladi, 2021). در مطالعه‌ای که در ترکیه روی ژنوتیپ‌های مختلف کینوا انجام شد، ارتفاع بوته بین ۳۵ تا ۹۳ سانتی‌متر به دست آمد، و ژنوتیپ Q11 بیشترین ارتفاع بوته را داشت (Naneli, & Dokuyucu, 2017). به‌طور کلی، در مطالعات مختلف نتایج متفاوتی از نظر ارتفاع بوته در ارقام مختلف دیده می‌شود که این امر می‌تواند تحت تأثیر مکان و شرایط محیطی باشد (Hirich, Choukr-Allah, & Jacobsen, 2014).

در پژوهش حاضر مشاهده شد که صفت قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر ژنوتیپ قرار گرفت، اما عامل محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و اثر متقابل آن با ژنوتیپ تأثیری بر تغییرات قطر ساقه نداشتند (جدول ۲). ژنوتیپ Q12 با ۱۸/۸۴ میلی‌متر و ژنوتیپ رزادا با ۱۱/۶۱ میلی‌متر به‌ترتیب بیشترین و کمترین قطر ساقه را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳). همان‌طور که مشخص است و جدول همبستگی ساده نیز مؤید آن است، ارتفاع

به‌صورت دستی کشت شدند و بر روی بذور مخلوطی از ماسه بادی، کود دامی الک‌شده و خاک نرم ریخته شد. عمق کاشت حدود یک تا دو سانتی‌متر در نظر گرفته شد، فاصله بین تکرارها ۱/۵ متر، فاصله بین خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی خط هشت سانتی‌متر بود. کود اوره به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله کاشت، مرحله پنج برگ متناوب (ارتفاع بوته ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر) و شروع گل‌دهی (Bagheri, 2018) و کود مونوفسفات پتاسیم به‌میزان پنج کیلوگرم در هکتار به‌صورت تزریق با سیستم آبیاری، یک ماه پس از کشت مورد استفاده قرار گرفت. اولین آبیاری درست پس از کشت بذور انجام شد. آبیاری دوم به فاصله سه روز پس از کشت و آبیاری-های بعدی به‌طور متوسط هفته‌ای یک‌بار انجام شد. از علف کش سوپرگلانت جهت مبارزه با علف‌های هرز باریک‌برگ در مرحله بحرانی علف‌های هرز، یعنی ۴۰ روز پس از کاشت استفاده شد و مهار علف‌های هرز پهن‌برگ نیز با وجین دستی صورت گرفت. محلول-پاشی کود جلبک دریایی در مرحله رشد سریع (۴۲ روز پس از کاشت) انجام شد.

صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی از زمان کاشت تا زرد شدن بوته‌ها و سفت شدن دانه و رسیدن به رطوبت حدود ۱۴ درصد (زمان برداشت) محاسبه شد. ارتفاع بوته (ارتفاع ساقه) از محل اولین گره تا نوک بوته با استفاده از خط‌کش بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. قطر ساقه در مرحله‌ای که گیاه آماده برداشت دانه بود، حدود پنج سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک با استفاده از کولیس بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، نمونه‌ها با استفاده از آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس توسط ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در تک بوته از میانگین عملکرد دانه پنج بوته کینوا در هر تکرار بر حسب گرم که با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند.

جهت اندازه‌گیری میزان ساپونین تمامی نمونه‌های بذری با استفاده از پروتکل توصیف‌شده توسط کوزیول (Koziol, 1991) آزمایش شدند. بدین صورت که ۰/۵ گرم بذر خشک‌شده کینوا به لوله آزمون به‌طول ۱۶۰ میلی‌متر و قطر ۱۶ میلی‌متر توزین شده و پنج میلی‌لیتر آب به آن اضافه شد. لوله‌ها به‌مدت ۳۰ ثانیه به‌شدت تکان داده شدند (چهار ضربه در ثانیه). کف حاصل به‌مدت ۱۰ ثانیه اجازه یافت تا حل شود، سپس یک لرزش نهایی به آن داده و ارتفاع کف از بالای آب اندازه‌گیری شد. در نهایت، میزان ساپونین به‌ازای هر گرم وزن دانه تازه با استفاده از رابطه (۱) برآورد شد (Koziol, 1991).

(۱)

$$\text{Saponin (mg)/Fresh weight} = (0.423) \times \text{foam height (cm)} + 0.008/\text{Sample weight (g)}$$

پس از اندازه‌گیری صفات و جمع‌آوری داده‌های مورد نظر، تجزیه

تأثیر ژنوتیپ باشد، تحت تأثیر مکان و شرایط محیطی قرار داشت (Hirich et al., 2014) به‌طور کلی، سرمایه‌گذاری مواد فتوسنتزی در بخش‌های برگ و ساقه، باعث افزایش زیست‌توده گیاهی می‌شود و به دنبال آن، شاخص سطح برگ و در نتیجه پوشش‌دهی بهتر سطح مزرعه، کارایی استفاده از نور افزایش می‌یابد، که خود می‌تواند منجر به افزایش عملکرد زیستی گیاهان گردد (Karami, 2021).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های این پژوهش نشان داد که اثر ساده محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و ژنوتیپ در سطح یک درصد بر تعداد روز تا گل‌دهی اثر معنی‌داری داشته است. همچنین مشخص شده که اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۳) نشان می‌دهد که استفاده از کود جلبک دریایی در غلظت‌های مختلف موجب کاهش تعداد روز تا گل‌دهی شد. همچنین مشخص شد که ژنوتیپ تیتیکاکا در کمترین زمان و ژنوتیپ رزادا در بیشترین زمان نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها وارد فاز گل‌دهی شدند. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و ژنوتیپ (شکل ۱) نشان داد که ژنوتیپ‌های تیتیکاکا، جیزا ۱ و Q12 نسبت به استفاده از کود جلبک واکنش معنی‌داری داشتند و تحت تأثیر آن، تعداد روز تا گل‌دهی را کاهش دادند. افزایش غلظت کود جلبک در ژنوتیپ‌های تیتیکاکا و جیزا ۱، تفاوت معنی‌داری در تعداد روز تا گل‌دهی ایجاد نکرد، اما در ژنوتیپ Q12، کاهش ایجاد شده در تعداد روز تا گل‌دهی (۵/۳ روز) معنی‌دار بود. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتایج تحقیقات قبلی هم‌سو می‌باشد (Mansouri, Omid, & Bostani, 2023; Etaati, Ardakani, Bagheri, Paknejad, & Golzardi, 2023; Bagheri, Miri, Khoshkam, Anafteh, & Keshavarz, 2022; Nadali, Asghari, Abbasdokht, Dorostkar, & Bagheri, 2022; Bagheri et al., 2021). عصاره جلبک دریایی به‌دلیل داشتن هورمون‌های رشد مانند اکسین‌ها و سیتوکینین، عناصر ریزمغذی، ویتامین‌ها و آمینواسیدها سبب افزایش رشد گیاه و تحریک رشد ریشه می‌گردد (Taghadosi, Hasani, & Sinki., 2012). وجود هورمون‌های گیاهی، به‌خصوص سیتوکینین، در عصاره جلبک دریایی موجب افزایش سنتز کلروفیل می‌گردد. همچنین گزارش شده که وجود بتائین در عصاره جلبک دریایی مانع تخریب ساختار کلروفیل می‌گردد (Shahbazi, Seyyed Nejad, Salimi, & Gilani, 2015). احتمالاً وجود عناصر منیزیم و آهن در کود جلبک دریایی نیز تأثیری مثبت بر سنتز کلروفیل دارد (Pise & Sabale, 2010). مجموع این اتفاقات موجب افزایش سرعت و میزان رشدونمو گیاه شده و در نتیجه موجب کاهش طول دوره رشد و زمان تا آغاز گل‌دهی می‌گردد.

بوته و قطر بوته، همبستگی منفی معنی‌دار ($r = -0.65^{**}$) داشته و تیمارهای با ارتفاع کمتر، قطورتر هستند (جدول ۴). این موضوع در خصوص مقاومت به ورس حائز اهمیت بوده و در مناطق مرطوب و بادخیز و همچنین در فصولی که نزولات آسمانی بالاتری را شاهد هستیم، می‌تواند در انتخاب نوع ژنوتیپ نقش بسزایی داشته باشد. در برخی مطالعات گذشته روی ژنوتیپ‌های دیگر کینوا، نتایجی هم‌سو با نتایج تحقیق حاضر به دست آمد (Mansouri, Omid, & Bostani, 2022; Bagheri et al., 2021). البته نتایج برخی تحقیقات نیز خلاف این موضوع را نشان داده بود و گزارش شده که ژنوتیپ‌های مختلف کینوا از نظر صفت قطر ساقه تفاوت معنی‌داری نشان نداده بودند (Molaei, 2016; Miri, 2017). اختلافات ژنتیکی و عوامل محیطی می‌توانند دلیل اصلی هم‌سو نبودن نتایج تحقیقات مختلف باشند.

باقری و همکاران (Bagheri et al., 2021) نیز هم‌سو با نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر، گزارش کردند که ارقام مختلف مورد مطالعه از نظر قطر ساقه، دارای اختلاف معنی‌دار بودند، به‌طوری‌که ژنوتیپ Marangani با میانگین قطر ساقه ۱۴/۳۶ میلی‌متر، بالاترین قطر ساقه را به خود اختصاص داد و ژنوتیپ‌های EQ104، EQ106، و Atlas با متوسط قطر ساقه ۱۰/۷۷ میلی‌متر حائز حداقل قطر ساقه بودند. به‌طور کلی، بوته کینوا در فصول پرباران و همچنین مصارف بالای کود ازته به ورس حساسیت دارد، لذا ژنوتیپ‌های با قطر ساقه بیشتر، در مقایسه با ارقام با ارتفاع بلند مقاومت بیشتری به ورس خواهند داشت.

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده، اثر ژنوتیپ بر تغییرات وزن تر و خشک بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین مشخص شد که اثر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی بر وزن خشک بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، اما اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک بوته نداشت (جدول ۲). ژنوتیپ رزادا به‌عنوان ژنوتیپ دیررس و پابلند بیشترین وزن تر (۱۷۲۸۴ کیلوگرم در هکتار) و خشک (۳۸۶۸ کیلوگرم در هکتار) بوته را به خود اختصاص داده است. کمترین وزن تر (۸۸۲۶ کیلوگرم در هکتار) و خشک (۱۶۶۸ کیلوگرم در هکتار) بوته نیز مربوط به ژنوتیپ زودرس و پاکوتاه تیتیکاکا بود (جدول ۳). ذکر این نکته بسیار ضروری است که این اعداد مربوط به کشت کینوا با هدف مصرف دانه و تراکم پایین کشت است. کشت با هدف مصرف علوفه، تراکم به مراتب بالاتری داشته و به‌ترتیب وزن تر و خشک بیش از ۵۰ و ۱۰ تن در هکتار نیز قابل انتظار می‌باشد. در بیشتر مطالعات قبلی روی ژنوتیپ‌های دیگر کینوا برخلاف نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر، صفت وزن ساقه و برگ تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مختلف نشان نداده بودند که دلیل آن می‌تواند ناشی از این باشد که وزن ساقه و برگ بیش از آنکه تحت

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ژنوتیپ‌های مختلف کینوا تحت تأثیر رژیم‌های مختلف کودی
Table 3- Analysis of variance of the studied traits of different quinoa genotypes under the influence of different fertilizer regimes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	طول گل‌آذین Inflorescence length	قطر ساقه Stem diameter	وزن تر بوته Plant fresh weight	وزن خشک بوته Plant dry weight	روز تا گل‌دهی Days to flowering	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days until physiological maturity	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه Weight of a thousand grains	محتوای ساپونین بذر Saponin content
بلوک Block	2	2.95ns	15.04ns	1.86ns	40861015.0ns	2572245.27*	233.86**	767.75**	27012.95ns	1.826**	2.484**
محلول پاشی (F) Foliar application	2	102.48*	67.54**	0.18ns	2075125.7ns	241824.6ns	62.60**	88.82**	3490.82ns	0.097**	2.114**
خطای عامل اصلی Main error	4	11.45	3.84	3.49	9477573.7	97.280494	6.26	23.38	25780.28	0.002	0.017
ژنوتیپ (G) Genotype	4	1482.97**	3897.56**	72.63**	89685663.5**	6394511.67**	673.85**	1816.18**	1805384.70**	0.099**	6.198**
اثر متقابل F × G	8	33.87ns	5.4ns	3.24ns	1926023.5ns	129997.1ns	24.07*	11.67ns	70978.76ns	0.005ns	0.188ns
خطای عامل فرعی Random error	16	21.63	7.44	3.09	3074026.5	17.108865	6.32	11.68	34229.19	0.008	0.143
ضریب تغییرات (%) CV (%)		4.60	7.65	11.22	14.00	14.13	4.06	3.03	10.32	4.03	7.10

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی ژنوتیپ و رژیم کودی بر صفات رشد و عملکرد کینوا
Table 3- Comparison between the main effects of genotype and fertilizer regime on the growth traits and yield of quinoa

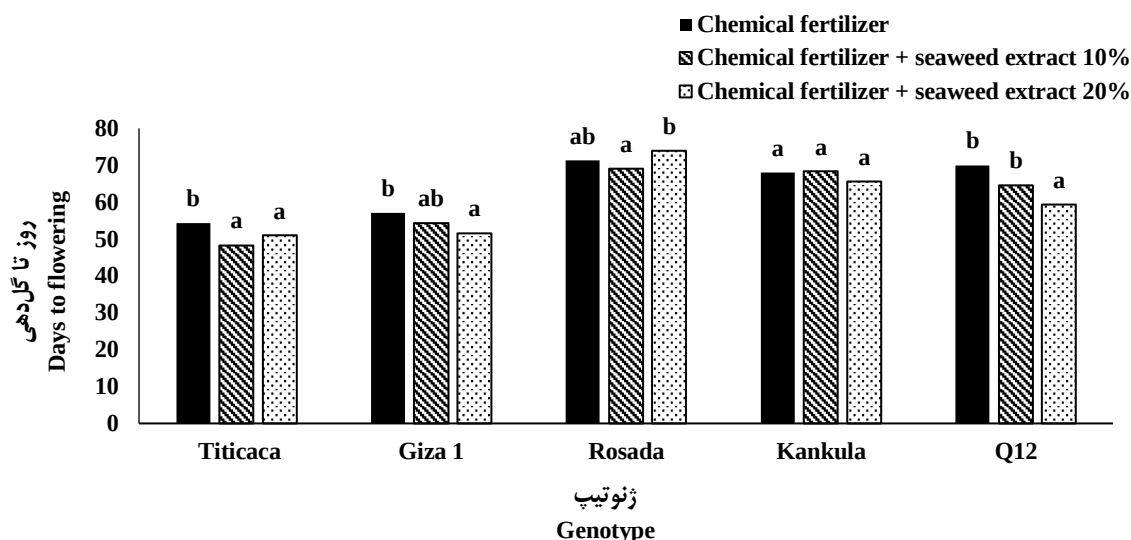
تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول گل‌آذین Inflorescence length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	وزن تر بوته Plant fresh weight (kg ha ⁻¹)	وزن خشک Plant dry weight (kg ha ⁻¹)	روز تا گل‌دهی Days to flowering (day)	روز تا رسیدگی Days until physiological maturity(day)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	وزن هزار دانه Weight of a thousand grains (g)	محتوای ساپونین بذر Saponin content (mg g ⁻¹)
شاهد Control	103.80a*	38.06a	15.60a	12257a	2405a	64.13b	115.06b	1774.0a	2.24b	5.62a
عصاره جلبک دریایی ۱۰ درصد Seaweed extract 10%	100.73ab	34.54b	15.60a	12363a	2476a	60.93a	112.66ab	1803.6a	2.36a	5.46a
عصاره جلبک دریایی ۲۰ درصد Seaweed extract 20%	98.60b	34.24b	15.79a	12948a	2651a	60.33a	110.20a	1795.4a	2.39a	4.90b
ژنوتیپ Genotype										
تیتیکا Titicaca	85.33c	20.55b	17.53ab	8826d	1668d	51.22a	95.88a	1715.1b	2.35b	5.45a
جیزا ۱ Giza 1	97.55b	20.44b	15.11b	13557b	2698b	54.33b	100.44a	1740.3b	2.47a	5.71a
روزا Rosada	113.33a	58.21a	11.61d	17284a	3868a	71.44e	129.44d	1222.2c	2.20c	3.87b
کانکولا Kankula	115.11a	58.61a	14.23c	11117c	2212c	67.33d	122.00c	188.4b	2.26bc	5.67a
Q12	93.88b	20.25b	18.84a	11826bc	2106c	64.66c	115.44d	2477.0a	2.35b	5.93a

* In each column, numbers with a common letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test at the five percent probability level.
در هر ستون، اعداد دارای یک حرف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۴- نتایج همبستگی ساده بین صفات ژنوتیپ‌های مختلف کینوا تحت تأثیر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی
Table 4- The results of simple correlation between the traits of different quinoa genotypes under the influence of Seaweed Extract foliar application

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
۱- روز تا گل دهی 1- Days to flowering	1								
۲- روز تا رسیدگی فیزیولوژیک 2- days until physiological maturity	0.92**	1							
۳- ارتفاع بوته 3- Plant height	0.67**	0.65**	1						
۴- طول گل آذین 4- Inflorescence length	0.59**	0.56**	0.83**	1					
۵- قطر ساقه 5- Stem diameter	-0.49**	-0.53**	-0.65**	-0.65**	1				
۶- وزن تر بوته 6- Plant fresh weight	0.27ns	0.29*	0.49**	0.32*	-0.35*	1			
۷- وزن خشک بوته 7- Plant dry weight	0.23ns	0.26ns	0.52**	0.36*	-0.40**	0.95**	1		
۸- عملکرد دانه 8- Seed yield	-0.11ns	-0.15	-0.34*	-0.46**	0.62**	-0.40**	-0.50**	1	
۹- وزن هزار دانه 9- Weight of a thousand grains	-0.29ns	-0.27ns	-0.30*	-0.36*	0.25ns	0.09ns	0.10ns	0.10ns	1
۱۰- محتوای ساپونین بذر 10- Seed saponin content	-0.10ns	-0.14ns	-0.25ns	-0.32*	0.47**	-0.37*	-0.43**	0.54**	0.35*

ns, * و **: به ترتیب به معنی غیر معنی دار، معنی دار در سطح پنج درصد و معنی دار در سطح یک درصد می باشد.
ns, * and **: are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively



شکل ۱- اثر متقابل ژنوتیپ و محلول پاشی بر صفت روز تا گل دهی

Figure 1- Effects of genotype and Foliar application For days to flowering

در هر ژنوتیپ، ستون‌های دارای حرف مشترک براساس نتایج آزمون برش دهی اثر متقابل فاقد اختلاف آماری معنی دار هستند

In each genotype, columns with the same letter, according to the results of the interaction effect slicing test, lack significant statistical difference

فیزیولوژیک در سطح یک درصد معنی دار بود، اما اثر متقابل عامل-های ذکر شده تأثیری بر تغییرات زمان تا رسیدگی فیزیولوژیک نداشت. به طور کلی، استفاده از کود جلبک دریایی ۱۰ درصد تأثیر

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، اثر ساده ژنوتیپ و محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر صفت زمان تا رسیدگی

که در مصر روی کینوا انجام شد، وزن هزاردانه ژنوتیپ‌های کینوا بین ۳/۵ تا ۴/۸ گرم به دست آمد (Abdelazim Sayed, 2018) که بالاتر از نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر است. در مطالعه دیگری، این صفت بین ارقام و سال‌های مختلف متفاوت بود، به‌طوری‌که کمترین وزن هزاردانه مربوط به ژنوتیپ Puno با ۱/۳ گرم و بیشترین وزن هزاردانه متعلق به ژنوتیپ Zeno با ۳/۳ گرم بود (Prager, Munz, Nkebiwe, Mastand, & Graeff-Honninger, 2018)؛ که می‌تواند تأییدکننده تأثیر عوامل محیطی بر صفت وزن هزاردانه در ارقام مختلف باشد.

اثر ساده عصاره جلبک دریایی و ژنوتیپ بر محتوای ساپونین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی در سطح ۱۰ درصد تأثیری بر محتوای ساپونین دانه نداشت، ولی مصرف همین کود در سطح ۲۰ درصد میزان ساپونین دانه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۳). به‌طور معمول، بهبود شرایط محیطی، کاهش تنش‌ها و افزایش مواد غذایی در دسترس گیاه منجر به افزایش محتوای ساپونین در گیاه می‌گردد (Mansouri & Omid, 2023)؛ اما نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش خلاف این مطلب را نشان می‌دهد. ممکن است نوع ترکیبات موجود در عصاره جلبک دریایی موجب تغییر مسیرهای سنتز ساپونین در گیاه شده باشد. این مسئله نیازمند تحقیقات بیشتری است. محتوای ساپونین پایین از نظر تغذیه‌ای صفت بسیار مهمی به شمار رفته و تأثیر بسزایی در بازارپسندی دانه کینوا دارد. از نقطه نظر نوع ژنوتیپ نیز به غیر از ژنوتیپ رزادا که با میزان ساپونین ۳/۸۷ میلی‌گرم در گرم در گروه آماری b قرار گرفته است، بقیه ژنوتیپ‌ها بدون اختلاف معنی‌دار در گروه آماری a قرار گرفته‌اند. با توجه به محتوای ساپونین دانه، تمامی پنج ژنوتیپ مورد مطالعه در طبقه نیمه‌شیرین (نیمه‌تلخ) قرار گرفته و جهت مصرف نیاز به پوست‌گیری (ساپونین‌زدایی) دارند. این نتایج با مطالعات قبلی مطابقت دارد (Bagheri et al., 2021; Santis et al., 2016; El Hazzam et al., 2020). در بررسی محتوای ساپونین ژنوتیپ‌های کینوا در ایتالیا نشان داده شد که این میزان بین ۰/۱ تا ۱/۸ درصد متغیر بود و ژنوتیپ Q12 کمترین مقدار را دارا بود (Santis et al., 2016). در مطالعه مرووری که آنجلی و همکاران (Angeli et al., 2020)، روی خصوصیات ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در مکان‌های متفاوت انجام دادند، میزان ساپونین را تا ۶/۱ میلی‌گرم در گرم وزن خشک گزارش کردند، به‌طوری‌که ژنوتیپ جسی شیرین‌ترین و ژنوتیپ Q52 تلخ‌ترین ژنوتیپ گزارش شد (Angeli et al., 2020).

علی‌رغم مزیت ظاهری ارقام شیرین، متأسفانه این ارقام غذای مناسبی برای پرندگان بوده و معمولاً مزارع ارقام شیرین کینوا با مشکل هجوم پرندگان و تلفات بالا مواجه هستند (Graf et al., 2015). مضاف به اینکه معمولاً وجود ساپونین در گیاهان، سطح

معنی‌داری بر کاهش طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک نداشت، اما استفاده از جلبک دریایی ۲۰ درصد به همراه کود شیمیایی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک را ۴/۲۲ درصد کاهش داد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر ساده ژنوتیپ، کمترین دوره رشد تا رسیدگی فیزیولوژیک در ژنوتیپ‌های تیتیکا (۹۵/۸۸ روز) و جیزا ۱ (۱۰۰/۴۴ روز)، و بیشترین طول دوره رشد تا رسیدگی فیزیولوژیک در ژنوتیپ رزادا (۱۲۹/۴۴ روز) مشاهده شد (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، همبستگی طول دوره رشد تا رسیدگی فیزیولوژیک با صفات ارتفاع بوته ($r = 0.65^{**}$) و وزن تر بوته ($r = 0.29^{*}$) مثبت و معنی‌دار بود که براساس این اصل، استفاده از ژنوتیپ‌های دیررس به‌عنوان علوفه توصیه می‌گردد. ژنوتیپ‌های با ارتفاع کم و زودرس برای کشت دانه‌ای مناسب‌تر بوده و به‌خصوص در کشت‌های بهاره، امکان برخورد مرحله گل‌دهی با دماهای بالا نیز کاهش می‌یابد. منصوری و همکاران (Mansouri et al., 2022) با مطالعه اثر روش کاشت بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف کینوا، نتایج مشابهی را گزارش کردند.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌های پژوهش حاضر، اثر ژنوتیپ بر عملکرد بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. استفاده از کود جلبک دریایی در کنار کود شیمیایی نتوانست تغییر معنی‌داری در عملکرد نهایی ژنوتیپ‌های مختلف کینوا ایجاد کند (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده ژنوتیپ (جدول ۳)، بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ Q12 (۲۴۷۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین میزان عملکرد نهایی مربوط به ژنوتیپ رزادا (۱۲۲۲/۳ کیلوگرم در هکتار) بود. میزان عملکرد سایر ژنوتیپ‌ها، بنیابین این دو ژنوتیپ بوده و تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند.

انتظار می‌رفت که صفت عملکرد دانه با وزن هزار دانه همبستگی مثبت معنی‌دار داشته باشند، ولی با توجه به جدول ۴ رابطه معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ($r = 0.10$ ns). اصلی‌ترین دلیل این موضوع مربوط به سایر اجزای عملکرد از جمله طول گل‌آذین و تعداد آن، تعداد دانه در گل‌آذین می‌باشد که تنوع بالایی در ژنوتیپ‌های کینوا از این حیث وجود دارد. تفاوت عملکرد بذر و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف کینوا توسط منصوری (Mansouri, 2022) نیز گزارش شده است.

استفاده از عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد (جدول ۲) اثر معنی‌داری بر افزایش وزن هزاردانه داشته است (جدول ۳). ژنوتیپ‌های مختلف نیز از نقطه نظر این صفت اختلاف معنی‌داری داشتند و بیشترین (۲/۴۷ گرم) و کمترین (۲/۲ گرم) وزن هزاردانه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های جیزا ۱ و رزادا بود (جدول ۳). در مطالعات مختلف، متوسط وزن هزاردانه در کینوا حدود دو تا شش گرم و در ژنوتیپ‌های زراعی معمول در کشور، بین دو تا سه گرم ذکر شده است (Bagheri et al., 2021) که نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر نیز از نظر وزن هزار دانه هم‌سو با این نتایج است. در مطالعه‌ای

اثرات متفاوتی را نشان داد، اما به‌طور ویژه اثر استفاده از این کود در کاهش طول دوره رشد کینوا که یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی زراعت کینوا در کشور ایران می‌باشد، بسیار قابل توجه می‌باشد. تفاوت‌های ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این پژوهش کاملاً مشهود بود، اما به نظر می‌رسد که در انتخاب ژنوتیپ برتر این مطالعه باید توجه خاصی به هدف کشت کینوا داشت. در صورتی که هدف از کشت کینوا تولید علوفه باشد، ژنوتیپ رزادا و در غیر این صورت ژنوتیپ Q12 توصیه می‌گردد.

مقاومت یا تحمل به آفات و بیماری‌ها را بالاتر می‌برد و لذا وجود ساپونین علی‌رغم ایجاد تلخی دارای مزیت می‌باشد (Bagheri et al., 2021)، به‌طوری‌که ژنوتیپ جسی در مطالعه پراگر و همکاران (Prager et al., 2018)، به‌دلیل شیرین بودن مقاومت کمی در برابر هجوم حشرات و آفات داشت (Prager et al., 2018).

نتیجه‌گیری

استفاده از کود جلبک دریایی در تغذیه ژنوتیپ‌های مختلف کینوا

References

1. Abdelazim Sayed, A. A. (2018). Chemical and technological evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivated in Egypt. *Journal of Acta Scientific Nutritional Health*, 7(2), 42-53.
2. Ahmed, Y. M., & Shalaby, E. A. (2012). Effect of different seaweed extracts and compost on vegetative growth, yield and fruit quality of cucumber. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 4(3), 235-240. <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.252>
3. Aminian, R., Mafakheri, S., & Tahtani, S. (2018). *Effect of biological fertilizers on some physiological traits of quinoa*. The First National Conference on Recent Developments in Engineering and Modern Science. Qarchak, Iran. (in Persian)
4. Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the "Golden Grain" and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, 9(2), 216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
5. Bagheri, M. (2018). *Quinoa Cultivation Handbook*. Seed and plant improvment Institiut. Seed and Plant Improvment Institute. Karaj. Iran. 48 pp. (in Persian).
6. Bagheri, M., Anafjeh, Z., Keshavarz, S., & Foladi, B. (2021). Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of new quinoa genotypes in spring cultivation at Karaj. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18(4), 465-475. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2020.37139.0>
7. Bagheri, M., Miri, Kh., Khoshkam, S. G., Anafjeh, Z., & Keshavarz, S. (2022). Assessment of adaptability and seed yield stability of autumn sown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes using AMMI analysis. *Seed and Plant Journal*, 38(4), 453-472. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/spj.2023.362282.1308>
8. El Hazzam, K., Hafsa, J., Sobeh, M., Mhada, M., Taourirte, M., Kacimi, K. E. L., & Yasri, A. (2020). An insight into saponins from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): A review. *Molecules*, 25(5), 1–22. <https://doi.org/10.3390/molecules25051059>
9. Etaati, M., Ardakani, M., Bagheri, M., Paknejad, F., & Golzardi, F. (2023). Grain yield adaptability and stability of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes using different stability indices. *Journal of Crop Ecophysiology*, 17(1), 1-14. (in Persian with English abstract). <http://doi.org/10.22067/jam.v12i2.81004>
10. Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M. E., & Raskin, I. (2015). Innovations in health value and functional food development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1(4), 431-445. <https://doi.org/10.1111%2F1541-4337.12135>
11. Han, H. S., & Lee, K. D. (2006). Effect of inoculation with phosphate and potassium co-in solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. *Plant, Soil and Environment*, 52(3), 130-136. <https://doi.org/10.17221/3356-PSE>
12. Hirich, A., Choukr-Allah, R., & Jacobsen, S. E. (2014). Quinoa in Morocco–Effect of sowing dates on development and yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(5), 371-377. <https://doi.org/10.1111/jac.12071>
13. Jacobsen, S. E., Monteros, C., Christiansen, J. L., Bravo, L. A., Corcuera, L. J., & Mujica, A. (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy*, 22(2), 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.01.003>
14. Karami, M. (2021). *The effect of seed priming alone and combined with foliar spraying or silicon irrigation on the growth and yield of pinto beans under drought stress*. MSc. Thesis, Agriculture Faculty. Shahrekord University. Shahrekord, Iran. 71 pp. (in Persian with English abstract)
15. Koziol, M. J. (1991). Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Science of Food and Agriculture*, 54(2), 211–219.

- <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740540206>
16. Lilian, E. A. J. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58, 1-3. [https://doi.org/10.1016/s1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/s1043-4526(09)58001-1)
17. Mansouri, A. (2022). *The effect of seed cultivation, priming and boron (B) foliar spraying on morphophysiological and phytochemical traits of quinoa genotypes (Chenopodium quinoa willd.)*. PhD. Thesis, Agriculture Faculty. Shahed University, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract).
18. Mansouri, A., Omid, H., & Bostani, A. (2022). The effect of planting method and boron nutrition on phenological traits and seed yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). *Crop Physiology Journal*, 54(14), 123-138. (in Persian with English abstract).
19. Mansouri, A., Omid, H., & Bostani, A. (2023). Effect of direct sowing, transplanting, priming and boron foliar application on growth and yield of quinoa genotypes. *Journal of Crops Improvement*, 25(2), 469-484. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2022.343131.2709>
20. Mansouri, A., & Omid, H. (2023). *Introduction and Cultivation of Valuable Quinoa Plant*. Iran University Press. Tehran, Iran. 158 pp. (in Persian).
21. Miri, K. (2018). *Examining the compatibility of quinoa genotypes with Iranshahr region*. Final report of the research project of Balochistan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (Iranshahr). Agricultural Research and Promotion Organization. (in Persian).
22. Moalem, A., & Eshqizade, H. (2007). *Application of biological fertilizers: Advantages and limitations*. Second National Conference of Ecological Agriculture of Iran. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran. (in Persian).
23. Molaie, A. (2017). *Evaluation of compatibility and response of some quinoa cultivars to day length in Shahrekord*. The Final Report of the Research Project of the Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources of Chaharmahal and Bakhtiari Province. Agricultural Research and Promotion Organization. (in Persian).
24. Nadali, F., Asghari, H., Abbasdokht, H., Dorostkar, V., & Bagheri, M. (2022). Agrophysiological response of different cultivars of *Chenopodium quinoa* Willd to hydropriming under drought stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), 1-18. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/csrar.2022.333785.1211>
25. Naneli, I., & Dokuyucu, T. (2017). Response of the quinoa genotypes to different locations by grain yield and yield components. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 3(6), 446-451.
26. Norrie, J., & Keathley, J. (2006). Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to 'Thompson seedless' grape production. *Acta Horticulturae*, 727(27), 243-245. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.727.27>
27. Pise, N. M., & Sabale, A. B. (2010). Effect of seaweed concentrates on the growth and biochemical constituents of *Trigonella foenum-graecum* L. *Journal of Phytochemistry*, 2(4), 50-56
28. Prager, A., Munz, S., Nkebiwe, P. M., Mastand, B., & Graeff-Honninger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in southwestern Germany. *Agronomy Journal*, 10(8), 1-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100197>
29. Ramezanpour, S., Soltanloo, M., Seyfi, H., & Salehi, A. (2015). *The first report of the successful cultivation and propagation of vegetable caviar (quinoa) in Golestan province*. Research Proposal Report. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (in Persian).
30. Salehi, M., & Dehghani, F. (2018). *Quinoa, a suitable grain for brackish water sources*. Publications of the Agricultural Research, Education and Promotion Organization. Tehran, Iran. 31 pp. (in Persian).
31. Santis, G., Maddaluno, C., Ambrosio, T., Rascio, A., Rinaldi, M., & Troisi, J. (2016). Characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) accessions for the saponin content in Mediterranean environment. *Italian Journal of Agronomy*, 11(4), 277-281. <https://doi.org/10.4081/ija.2016.774>
32. Sarjamei, F., Khorasani, S., & Nezhad, N. (2014). Effect of planting methods and plant density, on morphological, phenological, yield and yield component of baby corn. *Journal of Advance in Agriculture and Biology*, 2(8), 20-25.
33. Shabbazi, F., Seyyed Nejad, F., Salimi, M., & Gilani, A. (2015). Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of wheat. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(3), 283-287.
34. Spann, T. M., & Little, H. A. (2011). Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown 'Hamlin' sweet orange nursery trees. *Hort Science*, 46(4), 577-582. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.4.577>
35. Taghadosi, M., Hasani, N., & Sinki, J. (2012). Irrigation stress and spraying with humic acid and seaweed extract in antioxidant enzymes and proline in sorghum. *Crop Production under Environmental Stresses*, 4(1), 1-12.
36. Telahigue, D., Yahia, L. B., Aljane, F., Belhouchett, K., & Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). under drought stress. *Science of Food and Agriculture*, 1, 222-232. <https://doi.org/10.25081/jsa.2017.v1.67>



Investigating the Effect of U46 Combi Fluid and Bromicide MA Herbicides in Different Growth Stages of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) on Weeds Control and Yield of Dryland Wheat

S. Porheidar Ghafarbi^{1*}, J. Jafarzadeh¹, G. R. Gahramanian¹, M. Kohestani²

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

2- Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran

(*- Corresponding Author Email: porheidarghafar@ut.ac.ir)

Received: 01 May 2024

Revised: 21 October 2024

Accepted: 26 October 2024

Available Online: 02 March 2025

How to cite this article:

Porheidar Ghafarbi, S., Jafarzadeh, J., Gahramanian, G. R., & Kohestani, M. (2025). Investigating the Effect of U46 Combi Fluid and Bromicide MA Herbicides in Different Growth Stages of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) on Weeds Control and Yield of Dryland Wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(1), 77-90. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87849.1322>

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is important in the food regime of three-quarters of the world's population because it is nutritious and cheap compared to other similar foods. The competition between wheat and weeds is considered as one of the most important limitations of global wheat production. In Iran, weeds are of particular importance in reducing wheat yield, and according to the surveys, the average damage caused by weeds in the country's wheat fields is 23%. The most common way to manage wheat weeds is herbicide application. Every crop resists herbicides at a given growth stage, otherwise, herbicide application will damage the main crop. In recent years, the most frequent broadleaf herbicides used for weed chemical control in wheat are 2-4-D + MCPA (U46 combi fluid). To apply the 2,4-D herbicide, wheat should be at the tillering to the appearance of the first visible node stage. Application of 2,4-D after the first node will cause spike deformation and yield reduction due to the adverse effect of herbicide on sporogenesis. This study investigated different application times effects of 2-4-D + MCPA (U46combifluid) and Bromoxynil + MCPA (Bromicide MA) on winter wheat yield and weed control. The study aimed to determine the application time of the best herbicide with minimal damage on dryland wheat.

Materials and Methods

To investigate the effect of hormone herbicides on weeds and the yield of dryland bread wheat in different vegetative growth stages in cold dryland areas, a field experiment was conducted as a randomized complete block design arrangement with four replications during 2021-23 cropping seasons at the Dryland Agriculture Research Institute, Maragheh, East Azerbaijan. Treatments included the application of 2-4-D + MCPA (U46combifluid) and Bromoxynil + MCPA (Bromicide MA) (1.5 L ha⁻¹) at the tillering (Z29), the 2nd node (Z32), and the booting stages (Z45) with two control treatments of weeding (weed infested) and no weeding (weed free). The Varan wheat cultivar was sown at a depth of 4–6 cm with a seeding density of 380 seeds per square meter. To evaluate weed type and density (plant m⁻²), sampling was done 30 days after herbicide



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

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87849.1322>

application. The crop was harvested at full maturity to collect data for grain yield and a thousand grain weight and grain/spike. After checking the normality of the data, they were analyzed with GenStat (V.12) software and the mean comparison was performed by the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results indicated that the weed growth time is affected by the rainfall in dryland conditions so that in the 2021-2 year, the main spring precipitations occurred in May while in the 2022-23 year, it happened in April. Therefore, for the first cropping season, the highest weed density was recorded in the second node stage whereas at the tillering stage in the second cropping season. In the first year, due to lower rainfall, and drought stress, a further decrease in wheat yield was observed in response to the delayed herbicide application so that it was higher in the 2-4-D + MCPA herbicide treatment. In the 2021-22 year, the lowest yields were recorded for 2-4-D + MCPA and Bromoxynil + MCPA herbicides in the booting stage with 1568 and 1710 kg ha⁻¹, respectively. In the 2022-23 year, the lowest grain yield was observed for 2-4-D + MCPA in the second node, and booting stages, respectively, 1701 and 1747 kg ha⁻¹.

Conclusion

Based on the results, wheat is more sensitive to delayed application of 2-4-D + MCPA and reduces wheat yield more, in contrast, it is more tolerant to bromoxynil + MCPA herbicide (Bromicide MA), and it can be applied up to the 2nd node stage (Z32).

Keywords: Biomass, Chemical control, Density, Dryland

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۷۷-۹۰

بررسی اثر علف‌کش‌های یو ۶۷ کمی فلوید و برومایسیدام آ در مراحل مختلف رشدی گندم (*Triticum aestivum* L.) بر مهار علف‌های هرز و عملکرد گندم

سهیلا پورحیدرغفاری^۱، جعفر جعفرزاده^۱، غلامرضا قهرمانیان^۱، محمد کوهستانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

چکیده

علف‌های هرز یکی از عوامل کاهش‌دهنده عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) می‌باشد. جهت بررسی اثرات کاربرد علف‌کش‌های هورمونی بر علف‌های هرز و عملکرد گندم در مراحل مختلف رشد گندم، آزمایشی بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم در مراغه اجرا شد. تیمارها شامل کاربرد علف‌کش‌های توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ (۱/۵ لیتر در هکتار) و بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌آ (۱/۵ لیتر در هکتار) در سه مرحله ۱- پنجه‌زنی کامل (Z29)، ۲- گره دوم ساقه (Z32) و ۳- تورم غلاف برگ پرچم (Z45) و دو شاهد وجین و عدم وجین بود. نتایج نشان داد که در شرایط دیم، زمان سبز شدن علف‌های هرز با بارندگی ارتباط دارد. در سال اول عمده بارندگی‌های بهاره در اردیبهشت ماه و در سال دوم در فروردین ماه رخ داد، در نتیجه بیشترین تراکم علف‌های هرز در سال اول در مرحله گره دوم ساقه گندم و در سال دوم در مرحله پنجه‌زنی گندم ثبت شد. در سال اول کمترین عملکرد برای علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ و بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌آ در مرحله تورم غلاف برگ پرچم به‌میزان ۱۵۶۸ و ۱۷۱۰ کیلوگرم در هر هکتار و در سال دوم فقط برای توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در مرحله گره دوم ساقه و تورم غلاف برگ پرچم به‌ترتیب به‌میزان ۱۷۰۱ و ۱۷۴۷ کیلوگرم در هکتار ثبت شد. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، گندم به کاربرد تأخیری علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌آ متحمل بوده و می‌توان این علف‌کش را تا گره دوم نیز به‌کار برد.

واژه‌های کلیدی: تراکم، دیم، زیست‌توده، کنترل شیمیایی

مقدمه

۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) بسیار پایین است (Faizi et al., 2015). در میان عوامل کاهش‌دهنده تولید گندم کشور، علف‌های هرز از اهمیت خاصی برخوردار بوده و براساس مطالعات انجام‌شده، میانگین خسارت علف‌های هرز مزارع گندم کشور ۲۳ درصد می‌باشد (Dehghan, 2017). استفاده از روش‌های مدیریت علف‌های هرز باید به صورتی باشد که ضمن حفظ تنوع گیاهی و خصوصیات مناسب در زیست‌بوم یا محیط زیست موجب کاهش خسارت آن‌ها در محصولات زراعی شود (Scursoni et al., 2014). یک علف‌کش هنگامی انتخابی عمل نموده و بدون آسیب به گیاه زراعی، علف‌هرز هدف را مهار می‌کند که زمان و میزان مصرف و همچنین شیوه کاربرد آن‌ها بر پایه توصیه‌های فنی رعایت شود. در غیر این صورت، کاربرد علف‌کش نه تنها موجب افزایش بازدهی محصول نمی‌شود، بلکه ممکن است با ایجاد خسارت، عملکرد آن را کاهش دهد، کشاورزان بسته به هزینه سموم مورد نیاز، در دسترس بودن علف‌کش، زمان مناسب برای سم‌پاشی (زمان توصیه‌شده برای هر محصول به‌طور مثال در گندم از زمان پنجه زدن تا پیدایش اولین گره ساقه) و مناسب

گندم (*Triticum aestivum* L.) در الگوی غذایی سه‌چهارم جمعیت جهان که عمدتاً شامل ملل فقیر و کم‌درآمد می‌باشد، به‌دلیل مغذی و ارزان بودن نسبت به سایر مواد غذایی مشابه، جایگاه مهمی دارد. گندم در کشاورزی ایران نقش محوری ایفا می‌کند و آردی که از آن به دست می‌آید، عمدتاً به تولید نان می‌رسد. حدود ۶۳ درصد سطح زیر کشت گندم و ۴۰ درصد تولید آن در ایران به‌صورت دیم می‌باشد. آمار نشان می‌دهد که میانگین گندم دیم در ایران (در پنج سال اخیر ۱۰۴۷ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با میانگین جهانی (۱۳۰۰ الی

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

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: porheidarghfar@ut.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87849.1322>

توفوردی در مرحله دو الی چهار برگی گندم سبب کاهش ۲۰ درصدی محصول گندم می‌گردد. براساس همین تحقیق، حساس‌ترین مرحله کاربرد توفوردی در گندم، آغاز مرحله ظهور سنبله می‌باشد. گندم از مرحله جوانه‌زنی تا چهار برگی و از ساقه‌دهی تا مرحله خمیری نرم نسبت به علف‌کش‌های گروه فنوکسی آسیب‌پذیر است (Whitesides, 1983) و کاربرد علف‌کش‌های هورمونی بعد از به ساقه رفتن گندم منجر به پیچیدگی و بدشکلی ساقه شده و عملکرد را کاهش می‌دهد (Lee, 1996). سم‌پاشی گندم با علف‌کش‌های هورمونی پس از مرحله ۳۱ زادکس (تشکیل اولین گره) سبب غیر طبیعی شدن بوته‌های گندم می‌شود (Miller & Travis, 1992). اگر علف‌کش‌های هورمونی قبل از شروع پنجه‌زنی یا بعد از سنبله‌دهی استفاده شوند، به عملکرد گندم لطمه می‌زنند (Johnson & Nice, 2005). به اعتقاد لوکس و همکاران (Loux et al., 2007)، زمان مصرف علف‌کش بروماکسینیل + ام‌سی‌پی‌آ (بروماکسیدام) باید قبل از تشکیل گره اول ساقه گندم (۳۰ زادوکس) باشد. بنا به گزارش مارمای (Marmaei, 2006)، کاربرد علف‌کش‌های هورمونی توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ، برومایسیدام آ و دیکلورپ پ + مکوپروپ + ام‌سی‌پی‌آ در مرحله دو تا سه برگی سبب کاهش عملکرد گندم می‌شود. براساس تحقیقات میلر و تراویس (Miller & Travis, 1992)، بهترین زمان مصرف توفوردی و علف‌کش‌های هورمونی در گندم محدود به پنجه‌زنی کامل تا گره اول است. الخطیب (Al-Khatib, 1995) نیز توصیه کرده است که توفوردی و ام‌سی‌پی‌آ فقط از زمان پنجه‌زنی کامل تا شروع به ساقه رفتن گندم استفاده شود و گندم از این مرحله تا خمیری نسبت به این سموم حساس است و در صورت استفاده از سموم فوق در این مراحل باعث کاهش عملکرد گندم می‌گردد. بورلین (Beuerlein, 2007) معتقد است که سم‌پاشی علف‌کش‌های هورمونی باید در مرحله ۳۱-۳۰ زادوکس انجام گیرد. بعد از این مراحل، گندم وارد فاز سنبله شده و کاربرد علف‌کش در این زمان باعث غیر طبیعی شدن سنبله و عقیمی بذر در گندم می‌شود. یکی از مهم‌ترین دلایل ضعف مدیریتی علف‌های هرز، مبارزه دیر هنگام می‌باشد. در شرایط دیم، زمان و میزان سبزشدگی علف‌های هرز به دما و بارندگی وابسته بوده و ممکن است علف‌های هرز در زمان توصیه‌شده برای کاربرد علف‌کش‌ها در مزارع گندم (از ابتدا تا انتهای پنجه‌زنی) سبز نگردند یا درصد کمتری سبز گردد، یا به دلیل شرایط نامساعد محیطی (بارندگی و عدم امکان ورود به مزرعه، وزش باد، افت شدید دما و ...) سم‌پاشی با تأخیر صورت گیرد. لذا این تحقیق با هدف بررسی تأثیر زمان‌های مختلف کاربرد علف‌کش‌های هورمونی رایج بر عملکرد گندم و مهار علف‌های هرز در شرایط دیم سردسیر اجرا شد.

بودن شرایط جوی و گاورو بودن خاک، از علف‌کش‌ها استفاده می‌کنند. هر گیاه زراعی در یک مرحله خاص از دوره رویش خود به علف‌کش متحمل است و از سوی دیگر علف‌هرز نیز در دوره‌ای از رویش خود به آن حساس می‌باشد. اگر زمان توصیه‌شده رعایت نشود، کاربرد علف‌کش یا موجب خسارت به محصول می‌شود و یا کارایی لازم را در مهار علف‌های هرز نخواهد داشت. مهار زود هنگام علف‌های هرز در صورت مناسب بودن شرایط جوی و مرحله رشدی مناسب محصول و علف‌هرز هم ساده‌تر است و هم خسارت کمتری در گیاه زراعی را به دنبال خواهد داشت (Montazeri, Zand, & Baghestani, 2005). در ارتباط با زمان مناسب برای استفاده از علف‌کش‌های انتخابی مزارع گندم، گزارش‌های متنوعی وجود دارد (Montazeri et al., 2005).

در ایران تا سال ۱۳۹۴، ۲۲ علف‌کش برای گندم به ثبت رسیده بود که از میان این علف‌کش‌ها، نه علف‌کش مخصوص علف‌های هرز باریک‌برگ، هشت علف‌کش مخصوص علف‌های هرز پهن‌برگ و پنج علف‌کش دومنظوره هستند (Zand, Mousavi, & Heidari, 2008). علف‌کش‌های اکسینی، اولین علف‌کش‌های آلی انتخابی مورد استفاده در کشاورزی بوده و بیش از ۵۰ سال سابقه کاربرد برای مهار انتخابی علف‌های هرز پهن‌برگ در غلات را دارند (Zheng & Hall, 2001). برخی از محققان معتقدند که تأخیر در زمان کاربرد مصرف علف‌کش‌های اکسینی بر عملکرد تأثیر سوء دارد (Martin, 1998). از جمله علف‌کش‌های اکسینی پرکاربرد در مهار علف‌های هرز پهن‌برگ توفوردی می‌باشد. متحمل‌ترین مرحله رشدی گندم به کاربرد توفوردی از شروع پنجه‌زنی تا پیش از دومین گره در ساقه گندم گزارش شده است (Montazeri, Baghestani, & Zand, 2015). کاربرد توفوردی پس از اولین گره می‌تواند باعث کاهش اجزای عملکرد از طریق تداخل در فرآیند تولید دانه گرده گردد (Roman, Vargas & Rodrigues, 2006). کاربرد توفوردی در اواخر پنجه‌زنی، بیشترین عملکرد گندم را نسبت به سایر زمان‌های کاربرد در پی داشته است (Mohajery, Allahverdi, & Zand, 2007). در گندم کاربرد توفوردی نباید پس از مرحله غلاف بستن^۱ انجام شود، زیرا این تیمار موجب کاهش ارتفاع، تأخیر در رسیدگی و کاهش عملکرد دانه از طریق جلوگیری از تقسیم سلولی و رشد در ناحیه مرستمی می‌شوند (Klingman & Ashton, 1991). مهم‌ترین دلیل حساسیت گندم به علف‌کش‌ها و کاهش عملکرد، تغییرات فیزیولوژیکی در زمان انتقال از فاز رویشی به زایشی، گزارش شده است (Nice, Johnson, & Bauman, 2003). منتظری و فرزانه (Montazeri & Farzaneh, 1982) گزارش کردند که کاربرد

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تأثیر کاربرد علف‌کش‌های هورمونی در مراحل مختلف رشد رویشی گندم بر علف‌های هرز و عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان زمستانه دیم، آزمایشی بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه اجرا شد. دشت مراغه-هشترود که در بین شهرهای مراغه و هشترود واقع شده است، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های کشت دیم گندم مطرح می‌باشد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه (منطقه سردسیر نیمه‌خشک) که در این دشت واقع شده است، در جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی واقع در ۲۵ کیلومتری جاده مراغه - هشترود در ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده که از یک اقلیم نیمه‌خشک سرد هم‌مرز با فراسرد برخوردار است. تیمارهای علف‌کشی شامل ۱- توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ (یو ۴۶ کمبی فلوئید) ۱/۵ لیتر در هکتار، ۲- بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌آ (برومایدیدام) ۱/۵ لیتر در هکتار در سه مرحله مختلف رشدی گندم ۱- پنجه‌زنی کامل (Z29) ۲- گره دوم ساقه (Z32) و ۳- تورم غلاف برگ پرچم (Z45) و دو شاهد وجین کامل علف هرز و عدم وجین بود. رقم گندم واران با تراکم ۳۸۰ دانه در مترمربع با کارنده بذرکار-کودکار آسکه ۲۲۰۰ در نیمه دوم مهر ماه (۱۴۰۰/۷/۱۸) و ۱۴۰۱/۷/۱۹) و در عمق چهار الی شش سانتی‌متری کشت شد. فاصله بین دو بلوک دو متر، و فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و ابعاد هر کرت آزمایش ۸ × ۵ متر و در ۲۲ ردیف کاشت بود (مساحت کل آزمایش ۱۵۰۰ مترمربع). اولین بارندگی مؤثر در سال اول در ۸ و ۹ آبان ماه به‌میزان ۲۰/۱ میلی‌متر و در سال دوم ۹ و ۱۰ آذر ماه به‌میزان ۲۲/۳ میلی‌متر رخ داد. تاریخ سبز شدن در سال اول ۲۲ آذر ماه و در سال دوم ۱۰ دی ماه ثبت شد. سم‌پاشی با سم‌پاش پستی موتوری با نازل بادبزی و فشار ۲ تا ۲/۵ بار و میزان آب مصرفی ۲۵۰ لیتر در هکتار انجام شد. مصرف کود نیتروژنه و فسفات براساس آزمون خاک از منبع اوره (۹۰ کیلوگرم) و سوپرفسفات تریپل (۵۰ کیلوگرم) و به‌صورت جای‌گذاری (۵-۴ سانتی‌متر زیر بذر) انجام گردید (Faizi et al., 2015). برای بررسی تأثیر علف‌کش‌ها و زمان‌های مختلف کاربرد آن‌ها روی علف‌های هرز، نمونه‌برداری با استفاده از کوادرات ۰/۵ در ۰/۵، ۳۰ روز پس از کاربرد علف‌کش‌ها در هر مرحله رشدی گندم صورت گرفت و نوع و تراکم علف‌های هرز به تفکیک گونه ثبت گردید. در انتهای فصل رشد، بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی محصول، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک (سطح اندازه‌گیری ۲ × ۵ متر)، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله (از میانگین ۱۰ بوته) اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای مورد مطالعه توس نرم‌افزارهای Genstat ۱۲ انجام و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

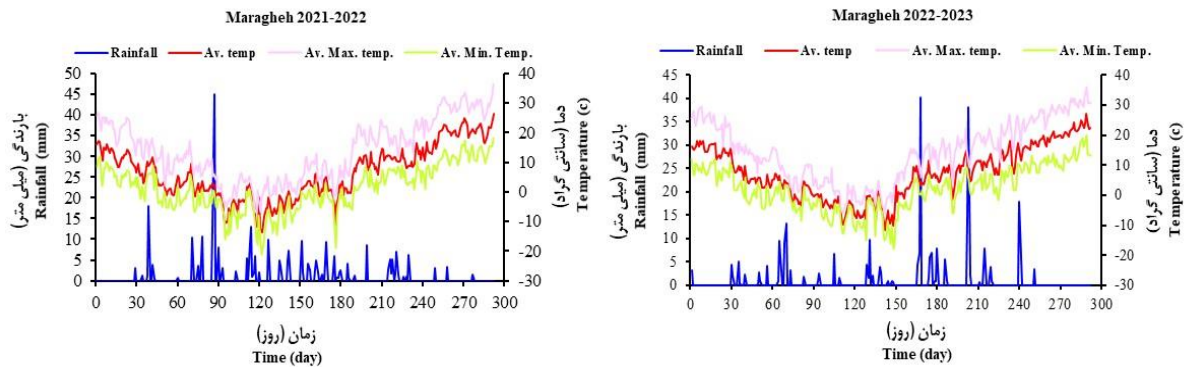
نتایج و بحث

در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ میزان بارندگی ۳۰۲/۴ میلی‌متر بود که نسبت به آمار بلندمدت ۵۱/۶ میلی‌متر (۱۴/۵۷ درصد) کمتر بود. پراکنش این بارندگی در پاییز ۳۹/۳۵ درصد (۱۱۹ میلی‌متر)، زمستان ۴۱/۴۷ درصد (۱۲۵/۴۰ میلی‌متر)، ۱۸/۶۸ درصد (۵۱/۹ میلی‌متر) در بهار و ۰/۵ درصد (۱/۵ میلی‌متر) در تابستان به وقوع پیوسته است. مقایسه این ارقام با میانگین بلندمدت نشان می‌دهد که اگرچه در فصل پاییز ۱۶/۸ میلی‌متر و در فصل زمستان ۵/۷ میلی‌متر افزایش بارندگی وجود داشت، ولی در فصل بهار ۷۶/۵ میلی‌متر در مقایسه با آمار بلندمدت بارندگی کاهش داشت. علاوه‌بر کاهش شدید بارندگی در بهار، توزیع آن نیز بسیار نامناسب بود، به‌طوری‌که از کل ۵۱/۹ میلی‌متر بارندگی، به‌ترتیب ۱۶/۸، ۳۳/۴ و ۶/۳ میلی‌متر در فروردین، اردیبهشت و خرداد اتفاق افتاد (شکل ۱). در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ میزان بارندگی ۲۹۰/۷ میلی‌متر بود و پراکنش این بارندگی در پاییز ۲۳/۸ درصد (۶۹/۳ میلی‌متر)، در زمستان ۳۶/۸ درصد (۱۰۷/۱ میلی‌متر)، در بهار ۳۹/۳ درصد (۱۱۴/۱ میلی‌متر) و در تابستان ۰/۰۷ درصد (۰/۲ میلی‌متر) بود. در این سال توزیع بارندگی در بهار نسبت به سال قبل بیشتر و مطلوب‌تر بود، به‌طوری‌که از ۱۱۴/۱ میلی‌متر بارندگی بهار به‌ترتیب ۴۹/۶ و ۳/۵ میلی‌متر در فروردین، اردیبهشت و خرداد اتفاق افتاد (شکل ۱).

تأثیر زمان کاربرد و نوع علف‌کش‌های اکسینی بر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز

در سال اول در اولین نمونه‌برداری که ۳۰ روز پس از کاربرد علف‌کش‌ها در مرحله پنجه‌زنی صورت گرفت، علف‌های هرز پیچک (*Convolvulus arvensis*) و فریون (*Euphorbia heteradana*) از غالبیت بیشتری برخوردار بودند، اما در آخرین نمونه‌برداری که یک ماه پس از سم‌پاشی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم صورت گرفت، علف‌های هرز پیچک و تلخه (*Acroptilon repens*) در مزرعه غالب بودند (جدول ۱).

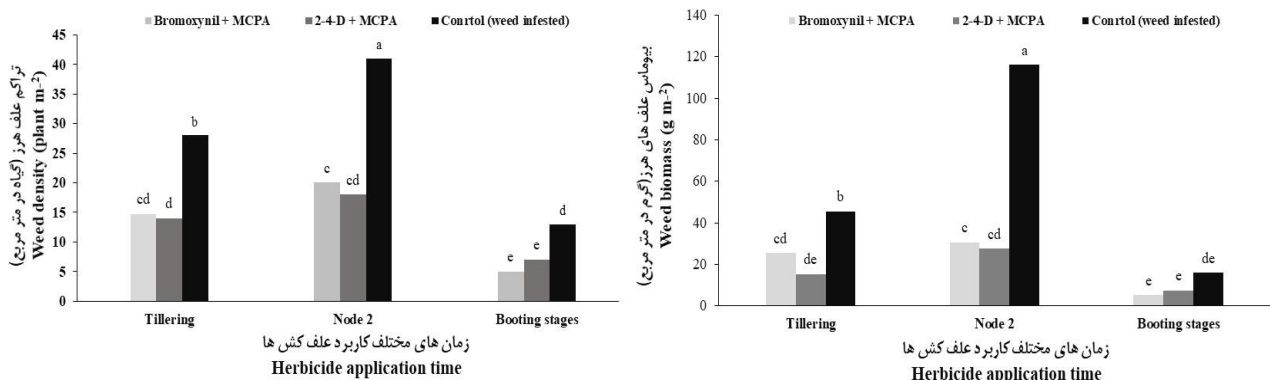
بیشترین تراکم (۴۱ بوته در مترمربع) و زیست‌توده (۱۱۶ گرم در مترمربع) علف‌های هرز در دومین مرحله نمونه‌برداری (یک ماه پس از سم‌پاشی در مرحله گره دوم ساقه گندم) و برای شاهد عدم وجین ثبت شد (شکل ۲). با گذشت زمان از تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز یک‌ساله و چندساله بهاره کاسته شده و به‌تدریج علف‌های هرز چندساله تابستانه مانند تلخه و پیچک شروع به سبز و تکثیر شدن در مزرعه کرده و علف هرز غالب در مرحله تورم غلاف برگ پرچم را تشکیل دادند. هر دو تیمار علف‌کشی، تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز را کاهش دادند و تفاوت بین آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲).



شکل ۱- تغییرات بارندگی و دمای هوا در طول دوره رشد در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱
Figure 1- Rainfall and air temperature changes during the growth period in the crop year 2021-2022 and 2022-2023.

جدول ۱- تراکم و فراوانی نسبی علفهای هرز مزرعه گندم در سه مرحله مختلف نمونه برداری (۱۴۰۰-۱۴۰۱)
Table 1- Density and relative abundance of wheat field weeds in three different stages of sampling (2021-2022)

نام علمی Scientific name	نام فارسی Persian name	مراحل مختلف سم پاشی Different stages of spraying					
		پنجه زنی Tillering		گره دوم ساقه 2th node		تورم غلاف برگ پرچم Booting	
		تراکم Density (plant m ⁻²)	فراوانی نسبی Relative frequency (%)	تراکم Density (plant m ⁻²)	فراوانی نسبی Relative frequency (%)	تراکم Density (plant m ⁻²)	فراوانی نسبی Relative frequency (%)
<i>Convolvulus arvensis</i>	پیچک	17	20.5	35	49.3	19	76
<i>Euphorbia heteradena</i>	فرغیون	15	18.1	5	7	-	-
<i>Tragopogon graminifolius</i>	شنگ معمولی	8	9.6	-	-	-	-
<i>Cirsium arvense</i>	کنگر صحرايي	6	7.2	7	9.9	-	-
<i>Acroptilon repens</i>	تلخه	6	7.2	14.2	3	6	24
<i>Polygonum patulum</i>	علف هفت بند	1	1.2	3	4	-	-
<i>Eremopyrum bonaepartis</i>	بیابان گندمی	-	-	5	7	-	-



شکل ۲- تراکم (تعداد بوته در مترمربع) و زیست توده (گرم در مترمربع) علفهای هرز در تیمارهای مختلف علف کشی و عدم وجین (شاهد)، ۳۰ روز پس از کاربرد علف کشها

Figure 2- Weeds density (plant.m⁻²) and biomass (g.m⁻²) in different herbicide treatments and weed infest (control) at 30 days after herbicide application

میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار تفاوت معنی داری ندارند. (۱۴۰۰-۱۴۰۱)

Means with at least one common letter, are not significantly different, based on Least significant difference. (2021-2022)

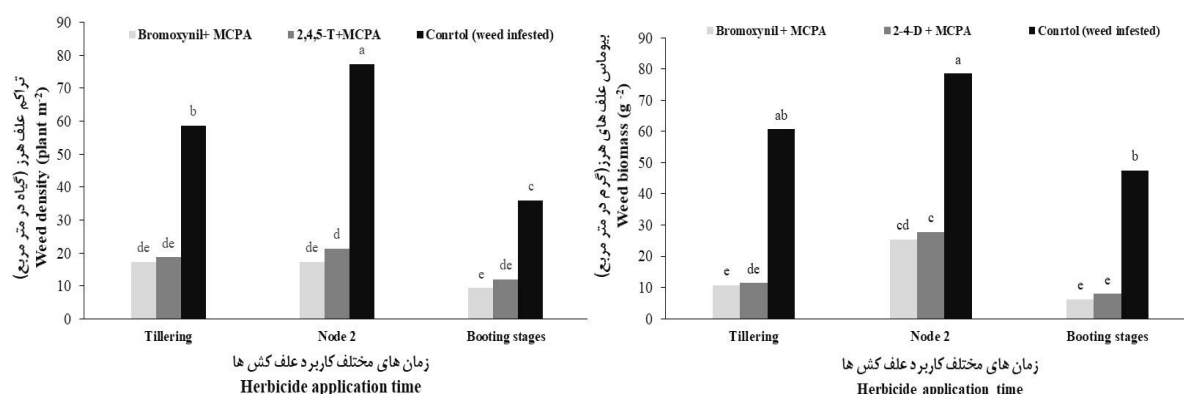
جدول ۲- تراکم و فراوانی نسبی علف‌های هرز مزرعه گندم در سه مرحله مختلف نمونه‌برداری (۱۴۰۱-۱۴۰۲)
Table 2- Density and relative abundance of wheat field weeds in 3 different stages of sampling (2022-2023)

نام علمی Scientific name	نام فارسی Persian name	پنجه‌زنی Tillering		گره دوم ساقه 2th node		تورم غلاف برگ پرچم Booting	
		تراکم Density (plant m ⁻²)	فراوانی نسبی Relative frequency (%)	تراکم Density (plant m ⁻²)	فراوانی نسبی Relative frequency (%)	تراکم Density (plant m ⁻²)	فراوانی نسبی Relative frequency (%)
<i>Eremopyrum bonaepartis</i>	بیابان گندمی	22	31	28	55	14	32
<i>Cardaria draba</i>	ازمک	12	17	13	15	2	5
<i>Cirsium arvense</i>	کنگر	10	14	12	14	5	11.6
<i>Galium tricornutum</i>	بی تی راخ	8	11.3	-	-	-	-
<i>Parapholis incurva</i>	دماری خمیده	7	9	-	-	3	7
<i>Tragopogon graminifoli</i>	شنگ	3	4.2	-	-	-	-
<i>Acroptilon repens</i>	تلخه	3	4.2	3	3.4	4	9.3
<i>Isaia heterocarpa</i>	لیزا	3	4.2	12	14	4	9.3
<i>Polygonum patulum</i>	علف هفت‌بند	2	2.8	6	7	-	-
<i>Euphorbia heteradena</i>	فرفیون	-	-	8	9.2	3	7
<i>Convolvulus arvensis</i>	پیچک	-	-	-	-	8	19

در مرحله گره دوم)، اولین مرحله نمونه‌برداری (یک ماه پس از کاربرد علف‌کش در مرحله پنجه‌زنی) و سومین مرحله نمونه‌برداری (یک ماه پس از کاربرد علف‌کش در مرحله تورم غلاف برگ پرچم) به‌میزان ۷۷، ۵۹ و ۳۶ بوته در مترمربع ثبت شد (شکل ۳). در سال دوم کمترین زیست‌توده برای تیمار بروموکسینیل + ام‌سی‌پی با شش گرم در مترمربع و در مرحله تورم غلاف برگ پرچم ثبت شد (شکل ۳).

در سال دوم، در اولین نمونه‌برداری که ۳۰ روز پس از کاربرد علف‌کش‌ها در مرحله پنجه‌زنی گندم صورت گرفت، علف‌های هرز بیابان گندمی (*Eremopyrum bonaepartis*)، ازمک (*Cardaria draba*) و کنگر صحرایی (*Cirsium arvense*) سه علف هرز غالب در مزرعه بودند (جدول ۲).

در سال دوم بیشترین تراکم علف‌های هرز در شاهد عدم وجین و به‌ترتیب در دومین مرحله از نمونه‌برداری (یک ماه پس از کاربرد



شکل ۳- تراکم علف‌های هرز (تعداد بوته در مترمربع) و زیست‌توده علف‌های هرز (گرم در مترمربع) در تیمارهای مختلف علف‌کشی و عدم وجین (شاهد)، ۳۰ روز پس از کاربرد علف‌کش‌ها

Figure 3- Weeds density (plant m⁻²) and biomass (g m⁻²) in different herbicide treatments and weed infest (control) at 30 days after herbicide application

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار تفاوت معنی‌داری ندارند. (۱۴۰۱-۱۴۰۲)

Means with at least one common letter, are not significantly different, based on Least significant difference. (2022-2023)

پنجه‌زنی کامل) از تراکم بیشتری برخوردار بود. با مقایسه شرایط آب‌وهوایی دو مرحله سم‌پاشی، مشخص شد که در اولین مرحله سم‌پاشی (پنجه‌زنی کامل) میزان بارندگی تا یک ماه قبل از آن ۳۳

در سال اول (۱۴۰۰-۱۴۰۱)، علف‌های هرز در دومین مرحله نمونه‌برداری (یک ماه پس از سم‌پاشی در مرحله گره دوم ساقه گندم) در مقایسه با اولین مرحله نمونه‌برداری (یک ماه پس از سم‌پاشی در

پرچم (زادوکس ۴۵) بودند، اما در سال دوم در اواسط مرحله تورم غلاف برگ پرچم بود. در سال اول، بیشترین عملکرد دانه گندم به ترتیب برای تیمار پنجه زنی + برومایدیدام (بروموکسینیل + ام سی پی آ) و شاهد وجین به ترتیب به میزان ۱۹۲۶ و ۱۹۰۲ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (جدول ۴). دلیل کمتر بودن جزئی عملکرد در شاهد وجین نسبت به تیمار پنجه زنی + برومایدیدام (بروموکسینیل + ام سی پی آ) به خاطر وقوع بارندگی بالا بود که امکان ورود به مزرعه و وجین علفهای هرز در شاهد (وجین) در زمان مناسب مقدور نبود. با تأخیر در زمان کاربرد علف کش بروموکسینیل + ام سی پی آ عملکرد دانه گندم کاهش یافت و از ۱۹۲۶ کیلوگرم در مرحله پنجه زنی به ۱۷۱۰ کیلوگرم در مرحله تورم غلاف برگ پرچم رسید. در واقع، تأخیر در سمپاشی به ترتیب در مرحله گره دوم ساقه و تورم غلاف برگ پرچم باعث کاهش ۴، ۱۰ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد (وجین) شد. در تیمار علف کشی توفوردی + ام سی پی آ نیز عملکرد گندم به ترتیب کاهش ۸ و ۱۸ درصدی در مقایسه با شاهد (وجین) نشان داد. در سال اول، عملکرد گندم در تیمار بروموکسینیل + ام سی پی آ در مقایسه با توفوردی + ام سی پی آ ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار بیشتر بود، هرچند که این اختلاف از نظر آماری معنی دار نبود.

در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ عملیات وجین به موقع صورت گرفت، به همین دلیل بیشترین عملکرد دانه گندم برای شاهد وجین با ۲۱۲۹ کیلوگرم در هکتار ثبت شد. در سال دوم برخلاف سال اول، بعد از شاهد بیشترین عملکرد برای تیمارهای توفوردی + ام سی پی آ و بروموکسینیل + ام سی پی آ به ترتیب با ۲۰۹۸ و ۲۰۴۱ کیلوگرم در هکتار ثبت شد و تفاوت بین آنها از نظر آماری معنی دار نبود.

میلی متر و یک هفته پس از سمپاش ۲۲/۴ میلی متر بود، اما در دومین مرحله از سمپاشی میزان بارندگی یک ماه قبل آن ۶۶/۸ میلی متر و یک هفته پس از آن ۳۳ میلی متر بود. همچنین میانگین دمایی تا یک هفته پس از سمپاشی در اولین مرحله ۱۱/۵ و دومین مرحله ۱۳/۷ درجه سانتی گراد بود. پس با توجه به شرایط بارندگی و دمایی، عمده علفهای هرز در دومین نمونه برداری (یک ماه پس از سمپاشی در مرحله گره دوم ساقه گندم) ثبت شد. در سال دوم نیز بیشترین تراکم علفهای هرز برای دومین مرحله نمونه برداری (یک ماه پس از سمپاشی در مرحله گره دوم) با ۷۷ بوته در مترمربع و سپس برای اولین مرحله نمونه برداری (یک ماه پس از سمپاشی در مرحله پنجه زنی) با ۵۸ بوته در مترمربع ثبت شد (شکل ۳). در سال دوم، میزان بارندگی یک ماه قبل از سمپاشی در مرحله پنجه زنی و گره دوم ساقه به ترتیب ۱۴۰ و ۸۲ میلی متر ثبت شد و میزان بارندگی یک هفته پس از سمپاشی نیز به ترتیب ۱۷ و ۲۴ میلی متر ثبت شد. همچنین میانگین دمایی تا یک هفته پس از سمپاشی در اولین مرحله ۱۱/۵ و دومین مرحله ۱۲ درجه سانتی گراد بود. در سال دوم شرایط بارندگی از سال اول مطلوب تر بود، به همین دلیل در هر دو مرحله نمونه برداری تراکم علفهای هرز در سال دوم بیشتر از سال اول بود.

تأثیر زمان کاربرد علف کش ها و نوع علف کش بر گندم عملکرد دانه

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، اثرات تیمارها در هر دو سال بر عملکرد دانه از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۳) در سال اول (۱۴۰۱-۱۴۰۰)، سومین مرحله از سمپاشی زمانی صورت گرفت که عمدتاً گندم در مراحل آخر فاز تورم غلاف برگ

جدول ۳- تجزیه واریانس وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه گندم

Table 3- Statistical analysis thousand grain weight, biological yield and grain yield wheat

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (۱۴۰۱-۱۴۰۰)			درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (۱۴۰۱-۱۴۰۲)		
		Mean squares (2021-2022)				Mean squares (2022-2023)		
		عملکرد	عملکرد	وزن هزار		عملکرد	عملکرد	وزن هزار دانه
		دانه	بیولوژیکی	دانه		عملکرد دانه	بیولوژیکی	Thousand grain weight
		Grain yield	Biological yield	Thousand grain weight		Grain yield	Biological yield	
Block بلوک	3	63257 ^{ns}	1039315 ^{ns}	1.53 ^{ns}	3	121910 ^{ns}	169551 ^{ns}	0.53 ^{ns}
Herbicide علف کش	7	50788 [*]	1229867 ^{**}	1.6 [*]	7	108660 [*]	1080956 [*]	1.36 ^{ns}
Error خطا	21	19589	166090	0.5	21	43362	404301	1.7
Total کل	28				31			
ضریب تغییرات CV (%)		7.9	7.4	1.9		11	11.3	3.7

ns و **: به ترتیب بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی دار می باشد.

ns, * and **: not significant, significant at 5% and 1% level

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه گندم

Table 4- Comparison mean of yield biological and wheat grain yield

علف‌کش Herbicide	مراحل مختلف سم‌پاشی Different stages of spraying	عملکرد بیولوژیکی Yield biological (kg ha ⁻¹)		عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	
		۱۴۰۲-۱۴۰۱	۱۴۰۱-۱۴۰۰	۱۴۰۲-۱۴۰۱	۱۴۰۱-۱۴۰۰
		2022-2023	2021-2022	2022-2023	2021-2022
بروموکسینیل + ام سی پی Bromoxynil + MCPA (1.5 l ha ⁻¹)	پنجه‌زنی Tillering	6304 a*	6205 a	2041 abc	1926 a
	گره دوم ساقه 2th node	5538 abc	5844 abc	1824 abcd	1810 ab
	تورم غلاف برگ پرچم Booting	5699 abc	5037 de	1859 abcd	1710 bc
توفوردی + ام سی پی 2-4-D + MCPA (1.5 l ha ⁻¹)	پنجه‌زنی Tillering	6138 ab	5578 bcd	2098 ab	1790 ab
	گره دوم ساقه 2th node	4927 c	5464 cd	1701 d	1746 abc
	تورم غلاف برگ پرچم Booting	5471 abc	4569 e	1747 cd	1568 c
شاهد (وجین) Weed free	-	6310 a	6176 ab	2129 a	1902 ab
	شاهد (عدم وجین) -Weed infested	5352 bc	5444 cd	1810 bcd	1758 abc

* حروف غیر مشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD است

* In the same column, values followed by the same letter are not significantly different according to LSD at $P \leq 0.05$.

را توجیه می‌نماید. از سوی دیگر، با توجه به کاهش ۱۵ درصدی عملکرد در شاهد عدم وجین در مقایسه با کاهش هشت درصدی در سال اول و با در نظر گرفتن تراکم بیشتر علف‌های هرز در سال دوم، به دلیل مساعد شدن شرایط بارندگی زمینه برای تکثیر علف‌های هرز چند ساله پهن‌برگ مانند کنگر صحرایی و ازمک و علف هرز پهن‌برگ یک‌ساله لیزا فراهم گردید و در پی آن، افت عملکرد گندم را به همراه داشت. بنابراین افت بیشتر عملکرد در سال دوم احتمالاً به دلیل تفاوت در توزیع میزان بارندگی در سه مرحله سم‌پاشی، رطوبت نسبی و تراکم علف‌های هرز بود.

در سال دوم، افت عملکرد در صورت کاربرد علف‌کش در مرحله تورم غلاف برگ پرچم در مقایسه با گره دوم از شدت کمتری برخوردار بود. در سال دوم، میزان حداقل دمای مطلق تا یک هفته پس از کاربرد علف‌کش در مرحله گره دوم ۵/۸، اما در سم‌پاشی مرحله تورم غلاف برگ پرچم ۹/۸ درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت نسبی نیز به ترتیب ۴۲ و ۵۲ بود. اما در سال اول، حداقل دمای مطلق تا یک هفته پس از سم‌پاشی در مرحله گره دوم و تورم غلاف برگ پرچم ۷/۸ و ۸/۵ درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت نسبی ۶۹ و ۳۹ درصد بود. در واقع در سال دوم، پایین بودن دمای حداقل (۵/۸) درجه سانتی‌گراد در مقایسه با ۸/۸ مرحله تورم غلاف برگ پرچم و رطوبت نسبی (۴۳) درصد در مقایسه با ۵۲ درصد مرحله تورم غلاف برگ پرچم) در سم‌پاشی در مرحله گره دوم در مقایسه با مرحله تورم غلاف برگ پرچم، عملکرد را بیشتر تحت تأثیر قرار داد. اما در سال اول حداقل دمای مطلق تا یک هفته پس از سم‌پاشی در هر دو مرحله تورم غلاف برگ پرچم و گره دوم ساقه تقریباً به یک میزان بود (۸/۵ و ۷/۸)، افت ۳۰ درصدی رطوبت نسبی هوا باعث شد که عملکرد در سم‌پاشی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم در سال اول بیشتر شود.

این تفاوت در میزان عملکرد گندم در بین دو تیمار علف‌کشی در سم‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی می‌تواند مربوط به تفاوت میزان بارندگی‌های فروردین ماه در دو سال باشد. در سال اول، میزان بارندگی‌های فروردین ماه ۱۶/۸ میلی‌متر و در سال دوم ۶۹ میلی‌متر و در اردیبهشت ماه به ترتیب ۳۳ و ۴۲ میلی‌متر ثبت شد. پس در واقع، کاربرد علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی آ در شرایط تنش خشکی از اثرات منفی بر عملکرد گندم برخوردار بود که می‌تواند مربوط به اثرات سینرژیستیک^۱ ناشی از تلفیق علف‌کش‌ها و افزایش سمیت آن‌ها باشد.

در سال دوم به دلیل بارندگی‌های بهاره عملکرد گندم بیشتر بود، اما افت عملکرد در پی تأخیر در سم‌پاشی در سال دوم پنج الی هشت درصد بیشتر از سال اول بود. در سال دوم، سم‌پاشی در دو مرحله گره دوم و تورم غلاف برگ پرچم در تیمار علف‌کشی بروموکسینیل + ام‌سی‌پی آ عملکرد گندم را به ترتیب ۱۴ و ۱۳ درصد و در توفوردی + ام‌سی‌پی آ ۲۰ و ۱۸ درصد کاهش داد. در واقع، در سال دوم در مقایسه با سال اول، افت عملکرد در کاربرد تأخیری علف‌کش بیشتر بود. این کاهش عملکرد در شاهد عدم وجین نیز قابل مشاهده بود. با توجه به اینکه در سال دوم عمده بارندگی در فروردین ماه به میزان ۶۹ میلی‌متر در اردیبهشت ماه به میزان ۴۱/۶ میلی‌متر بود که بخش عمده آن (۱۲/۵ میلی‌متر) طی دو روز پس از سم‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی صورت گرفت (با رطوبت نسبی ۵۴ درصد برای یک هفته بعد از سم‌پاشی) در مقایسه با عدم بارندگی پس از یک هفته از سم‌پاشی در دو مرحله گره دوم و تورم غلاف برگ پرچم (با رطوبت نسبی ۳۶ درصدی)، افت عملکرد در مقایسه با کاربرد علف‌کش در مرحله پنجه

عملکرد بیولوژیک

میزان عملکرد بیولوژیک نیز مانند عملکرد متأثر از شرایط بارندگی در سال دوم بیشتر از سال اول بود (جدول ۴). بیشترین عملکرد بیولوژیکی در سال اول برای کاربرد بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌آ در مرحله پنجه‌زنی و شاهد و جین به‌ترتیب ۶۲۰۵ و ۶۱۷۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و این تفاوت در بین آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. در سال دوم نیز بیشترین مقدار برای شاهد و جین و بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌آ به‌ترتیب با ۶۳۱۰ و ۶۳۰۴ کیلوگرم در هکتار ثبت شد. کمترین میزان آن برای کاربرد تأخیری علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در هر دو سال ثبت شد.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه گندم در سال اول بیشتر و اختلاف در بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۳)، اما در سال دوم با توجه به افزایش عملکرد، وزن هزار دانه کاهش نشان داد و به‌دلیل مطلوب‌تر بودن شرایط بارندگی (با توجه به اینکه در شرایط دیم مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد رطوبت است) اختلاف در بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۵). شیمی و همکاران (Shimi et al., 2011) گزارش کردند که وزن هزار دانه در شرایطی که گندم تحت کشت آبی بود تحت تأثیر زمان کاربرد علف‌کش قرار نگرفت، اما در شرایط دیم تا حدی بین تیمارها تفاوت وجود داشت، اما این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود. در این تحقیق نیز در سال دوم که از بارندگی مطلوب‌تر بهار برخوردار بود، در بین تیمارها از نظر آماری تفاوتی مشاهده نشد، اما در سال اول که در مقایسه با سال دوم میزان بارندگی بهار کم‌تر بود، وزن هزار دانه تا حدی تحت تأثیر زمان کاربرد علف‌کش قرار گرفت. بین وزن هزار دانه و عملکرد دانه در هر دو سال هیچ ارتباطی وجود نداشت. کاربرد علف‌کش توفوردی در مراحل پیش از پنجه‌زنی، پنجه‌زنی، گره اول ساقه و تورم غلاف برگ پرچم، وزن هزار دانه را گندم را تحت تأثیر قرار نداد (Soligo et al., 2020). بیشترین تعداد دانه در سنبله با کاربرد توفوردی در مرحله شروع ساقه دهی گزارش شده است (Shoorbilal & Hashemi, 2017). مارتین و همکاران (Martin et al., 1990) گزارش کردند که کاربرد علف‌کش‌های دایکامبا، دایکامبا + توفوردی و دایکامبا + ام‌سی‌پی‌آ در مرحله زادوکس ۴۴، تعداد دانه را در سنبله کاهش داد.

عملکرد دانه گندم در تیمار توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در زمان کاربرد در گره دوم ساقه و تورم غلاف برگ پرچم در مقایسه با شاهد عدم وجین کاهش بیشتری نشان داد و این کاهش در سال اول بیشتر سال دوم بود، اگرچه از نظر آماری معنی‌داری نبود (جدول ۴). شیمی و همکاران (Shimi, Baghestani, Haqid, Rahimian, & Alizadeh, 2018) گزارش کردند که کاربرد علف‌کش در مراحل نامناسب، به همراه سایر تنش‌های اقلیمی و محیطی غیر قابل کنترل، سبب بروز خسارت بیشتری به گندم می‌شود. کاربرد علف‌کش‌های توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در مرحله قبل از تورم غلاف برگ پرچم (زادوکس ۴۵) در مناطقی که آبیاری صورت می‌گیرد، تأثیر منفی روی محصول ندارد، ولی در شرایط دیم باعث کاهش ۲۸ درصدی عملکرد دانه نسبت شاهد عدم وجین گردید (Shimi et al., 2011). کاهش عملکرد گندم در کاربرد تأخیری علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ می‌تواند به اثرات سینرژیستیک ناشی از تلفیق علف‌کش‌ها و افزایش سمیت آن‌ها مربوط باشد (Wehtje & Flint & Barrett, 1989; Gilliam, 2012). بهترین زمان کاربرد توفوردی از پنجه‌زنی تا گره اول ساقه گزارش شده و کاربرد آن پیش از پنجه‌زنی و در مرحله تورم غلاف برگ پرچم، کاهش عملکرد دانه را در پی داشت (Soligo et al., 2020). شوریلال و هاشمی (Shoorbilal & Hashemi, 2017) بیشترین عملکرد گندم را در کاربرد مرحله آغازین ساقه دهی علف‌کش توفوردی گزارش کردند. کاهش عملکرد ۱۲ تا ۲۳ درصدی با کاربرد علف‌کش‌های ام‌سی‌پی‌آ، توفوردی و دایکامبا در مرحله زادوکس ۴۵ گزارش شد (Martin, Miller & Alley, 1989). گزارش شده که کاربرد علف‌کش ترکیبی دایکامبا + ام‌سی‌پی‌آ + مکروپروپ در مرحله زادوکس ۳۹، عملکرد گندم را تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد (Robinson, Letarte, Cowbrough, Sikkema, & Tardif, 2015). پارکر و بال (Parker & Ball, 2007) گزارش کردند که کاربرد علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌آ در مرحله ۳-۴ برگی گندم بیشترین کارایی را دارد و آن را مطمئن‌ترین علف‌کش در بین پهن‌برگ‌های گندم گزارش کردند. شیمی و همکاران (Shimi et al., 2011) گزارش کردند که کاربرد علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌آ از پنجه‌زنی تا قبل از ظهور سنبله، تأثیر آماری معنی‌داری بر کاهش عملکرد گندم نداشته و قابل کاربرد در این مراحل می‌باشد. رابینسون و همکاران (Robinson et al., 2015) گزارش کردند که علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌آ در مرحله زادوکس ۳۹، هیچ خسارتی به عملکرد گندم پاییزه، ارتفاع گندم و وزن هزار دانه در هر دو سال زراعی وارد نکرد.

جدول ۵- مقایسه میانگین وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله گندم (میانگین ۱۰ بوته)

Table 5- Comparison mean of wheat thousand grain weight and number of seed per spike (average of 10 plants)

علف‌کش Herbicide	مراحل مختلف سم‌پاشی Different stages of spraying	وزن هزار دانه Thousand grain weight (g)		تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	
		2022-2023	2021-2022	2022-2023	2021-2022
بروموکسینیل + ام سی پی آ Bromoxynil + MCPA (1.5 l ha ⁻¹)	پنجه‌زنی (Tillering) گره دوم ساقه (2th node) تورم غلاف برگ پرچم (Booting)	34.66 a*	37.8 bc	27.13 abc	25.4 a
توفوردی + ام سی پی 2-4-D + MCPA (1.5 l ha ⁻¹)	پنجه‌زنی (Tillering) گره دوم ساقه (2th node) تورم غلاف برگ پرچم (Booting)	34.15 a	38.62 abc	28.3 a	24.13 abc
شاهد (وجین) (Weed free)	-	34.07 a	38.09 bc	28 ab	25.2 ab
شاهد (عدم وجین) (Weed infested)	-	34.4 a	38.19 bc	24.1 cd	20 d

* حروف غیر مشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD است

* In the same column, values followed by the same letter are not significantly different according to LSD at $P \leq 0.05$.

تعداد دانه در سنبله

تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر زمان کاربرد علف‌کش کاهش نشان داد و این کاهش از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۶). با توجه به اینکه در سال دوم (۱۴۰۲-۱۴۰۱) از بارندگی مطلوب‌تری در فصل بهار برخوردار بود، لذا بیشترین تعداد دانه در سنبله برای سال دوم ثبت شد. بیشترین تعداد دانه در سنبله در سال اول بعد از شاهد وجین برای تیمار بروموکسینیل + ام سی پی آ به‌کاربرده‌شده در مرحله پنجه‌زنی (به‌ترتیب با میانگین ۲۵/۴ و ۲۵/۲ دانه در هر سنبله) و در سال دوم برای تیمار توفوردی + ام سی پی آ به‌کاربرده‌شده در مرحله پنجه‌زنی و شاهد وجین (به‌ترتیب ۲۸/۳ و ۲۸ دانه در هر سنبله) مشاهده شد (جدول ۵). در سال اول، کمترین تعداد دانه در سنبله در شاهد عدم وجین و توفوردی + ام سی پی آ به‌کاررفته در مرحله تورم غلاف برگ پرچم با میانگین ۲۰ دانه در هر سنبله تعلق داشت، اما در سال دوم کمترین تعداد دانه در سنبله در تیمار توفوردی + ام سی پی آ به‌کاررفته در مرحله گره دوم ساقه با میانگین ۲۲/۵ در هر سنبله بود. در سال دوم، میزان حداقل دمای مطلق تا یک هفته پس از کاربرد

علف‌کش در مرحله گره دوم ۵/۸، اما در سم‌پاشی مرحله تورم غلاف برگ پرچم ۹/۸ درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت نسبی نیز به‌ترتیب ۴۲ و ۵۲ بود. اما در سال اول حداقل دمای مطلق تا یک هفته پس از سم‌پاشی در مرحله گره دوم و تورم غلاف برگ پرچم ۷/۸ و ۸/۵ درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت نسبی ۶۹ و ۳۹ درصد بود. در واقع، در سال دوم پایین بودن دمای حداقل (۵/۸) درجه سانتی‌گراد در مقایسه با ۸/۸ درجه سانتی‌گراد مرحله تورم غلاف برگ پرچم) و رطوبت نسبی (۴۳ درصد در مقایسه با ۵۲ درصد مرحله تورم غلاف برگ پرچم) در سم‌پاشی در مرحله گره دوم در مقایسه با مرحله تورم غلاف برگ پرچم، تعداد دانه را بیشتر تحت تأثیر قرار داد. سم‌پاشی در مرحله نامناسب می‌تواند باعث کاهش تعداد دانه در سنبله گردد (Tawaha, Turk, & Maghaireh, 2002). شیمی و همکاران (1Shimi et al., 201) گزارش کردند که کاربرد علف‌کش دیکلورپروپ پی + مکوپروپ پی + ام سی پی آ در مرحله زادوکس، ۴۵، تعداد دانه را کاهش داد.

جدول ۶- تجزیه واریانس تعداد دانه در سنبله گندم

Table 6- Statistical analysis number of wheat grain per spike

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (۱۴۰۱-۱۴۰۰) Mean squares (2021-2022)	میانگین مربعات (۱۴۰۲-۱۴۰۱) Mean squares (2022-2023)
Block بلوک	2	0.7 ^{ns}	8.4 ^{ns}
Herbicide علف‌کش	7	13.62 *	14.1 *
Error خطا	14	3.93	3.6
(CV)% ضریب تغییرات		8.8	7.6

ns و **: به‌ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

ns, * and **: not significant, significant at 5% and 1% level

مثبت و معنی‌داری را بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله مشاهده و همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری را بین وزن هزاردانه و تعداد دانه در سنبله گزارش شده است (Farahani & Arzani, 2006). محققان دیگری نیز بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری را مشاهده نمودند (Poorsiahbidi, 1998; Gerami, 1998). عواملی که منجر به افزایش تعداد دانه در گیاه می‌شوند، معمولاً کاهش وزن دانه را به دنبال دارند و در چنین شرایطی دلیل اصلی این امر، اختصاص کمتر مواد فتوسنتزی می‌باشد (Krupnova, 2010).

عملکرد دانه با تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌دار، ولی با وزن هزار دانه همبستگی منفی نشان داد (جدول ۷). همبستگی منفی بین وزن هزار دانه با تعداد دانه در سنبله مشاهده شد، اما از نظر آماری معنی‌دار نبود. وجود همبستگی منفی بین وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (Reynolds, Chegeni, Molero, Quilligan, Listman, & Braun, 2014; Askari, Dastan, Ajamnouroz, & Ghanbari, 2011; Malidreh, 2016). اسپیلینگر (Schillinger, 2005) مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در عملکرد گندم را به ترتیب تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله بیان کرد. در بررسی ۴۲ ژنوتیپ گندم دوروم، همبستگی

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه گندم

Table 7- Correlation coefficients between wheat Thousand grain weight, Number of grain per spike and Grain yield

صفات Traits	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه Thousand grain weight	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike
عملکرد دانه Grain yield	1		
وزن هزار دانه Thousand grain weight	-0.27	1	
تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	0.95**	-0.36	1

*, **: به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.
ns, * and **: not significant, significant at 5% and 1% level

سی پی آ در مناطق دیم سردسیر از ابتدا تا انتهای پنجه‌زنی می‌باشد، اما علف‌کش بروموکسینیل + ام سی پی آ با حداقل اثرات کاهشی در عملکرد گندم تا گره دوم قابل کاربرد است.

سپاسگزاری

این پژوهش براساس نتایج حاصل از اجرای پروژه مصوب به شماره ۰۰۱۰۳۹-۰۱۶-۱۵-۱۵-۲ مؤسسه تحقیقات دیم کشور در شهر مراغه نگارش شده است. بدینوسیله از تمام همکاران مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم که در اجرای این پروژه یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که زمان سبز شدن علف‌های هرز و کاربرد علف‌کش‌های هورمونی در مناطق دیم به زمان و میزان بارندگی وابسته می‌باشد. در سالی که بهار از بارندگی کمتری برخوردار بود، عملکرد گندم در تیمار علف‌کش بروموکسینیل + ام سی پی آ نسبت به علف‌کش توفوردی + ام سی پی آ بیشتر بود. همچنین با تأخیر در سم‌پاشی و تشدید تنش خشکی (با افزایش دما و کاهش بارندگی) عملکرد گندم نیز کاهش نشان داد، اما این کاهش در تیمار علف‌کشی توفوردی + ام سی پی آ از شدت بیشتری برخوردار بود. براساس نتایج حاصل از این تحقیق، بهترین زمان کاربرد علف‌کش توفوردی + ام

References

- Al-Khatib, K. (1995). *Weed control in wheat*. Washington State University, Pullman, United States.
- Beuerlein, J. E. (2007). *Wheat growth stages and associated management*. The Ohio State University, Columbus, United States.
- Askari, K., Dastan, S., Ajamnourozi, H., & Ghanbari Malidreh, A. (2016). The effect of grain growth components and yield components on grain yield of wheat cultivars in climatic conditions of Golestan province. *Journal of Plant Crop Sciences*, 2, 33-44. (in Persian).
- Chegeni, H. (2011). Effect of plant density on yield and yield components of wheat cultivars. *Agronomy Journal Pajouhesh and Sazandegi*, 104, 9-21. (in Persian with English abstract)
- Dehghan Benadaki, M. (2017). *Management of weeds in wheat fields*. Jihad Agricultural Higher Educational Institution. Tehran, Iran. 69 p. (in Persian).
- Farahani, E., & Arzani, A. (2006). Study on genetic diversity of cultivars and F1 hybrids using agronomic and morphologic traits. *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 10(4), 341-354. (in Persian).
- Faizi Asl, V., Fatut, A., Astarai, A., Lakzian, A., Mir Mousavi Shlamani, A., & Khorasani, A. (2015). Comparison

- of usable nitrogen and soil water content with dry wheat grain yield. *Water and Soil Journal*, 5, 1556-1573. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.36954>.
8. Flint, J. L., & Barrett, M. (1989). Effects of glyphosate combinations with 2,4-D or dicamba on field bindweed (*Convolvulus arvensis*). *Weed Science*, 37(1), 12-18.
9. Gerami, A. (1998). Study on relationship of grain yield with quantitative traits in 500 wheat lines using factor analysis. *Journanl of Agricultural Sciences of Iran*, 29, 263-377. (in Persian).
10. Johnson, B., & Nice, G. (2005). *Weed Control in Wheat*. Purdu University, West Lafayette.
11. Klingman, G. L., & Ashton, F. M. (1991). *Weed Sciences, Principles and Practices*. John Wiley and Sons. New York.
12. Krupnova, O.V. (2010). Relation between grain weight and falling number in soft spring wheat. *Russian Agricultural Sciences*, 36(5), 321-323.
13. Lee, R. D. (1996). *Intensive weed management in Georgia*. The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences Cooperative Extension Service.
14. Loux, M., Stachler, J. M., Johnson, W. G., Nice, G. R., Nice, W., & Bauman, T. T. (2007). *Weed control guide for Ohio and Indiana*, Ohio State University Extension Media.
15. Marmaei, A. (2006). *Investigating the response of various growth stages of wheat to some conventional broad leaf herbichdes*. MSc.Thesis, Azad University, Science and Research Branch. (in Persian with English abstract)
16. Martin, J. R. (1998). Timing of herbicide application relative to wheat growth stage. *University of Kentucky College of Agriculture News Letter*, 2(2), 112-117.
17. Martin, D. A., Miller, S. D., & Alley, H. P. (1990). Spring wheat response to herbicides applied at three growth stages. *Agronomy Journal*, 82, 95-97.
18. Martin, M. H., Miller, S. D., & Alley, H. P. (1989). Winter wheat response to herbicide applied three growth stages. *Weed Technology*, 3, 90-94.
19. Mohajery, F., Allahverdi, I., & Zand, E. (2007). *Investigating application of 2,4-D in various growth stages of wheat*. MSc. Thesis. Tehran University, Abureihan campus, Iran. (in Persian with English abstract).
20. Miller, S. D., & Travis, D. (1992). Growth stages of wheat: Identification and understing improve crop management. *Better Crops*, 76(3), 1-12.
21. Montazeri, M., & Farzaneh, Gh. (1982). *Technical Recommendations for Herbicide Application in Wheat and Barley Fields*. Publications of Golestan Research and Natural Center, Golestan, Iran, 2 p. (in Persian with English abstract)
22. Montazeri, M., Zand, E., & Baghestani, M. A. (2005). *Weeds and Their Control in Wheat Fields of Iran*. Publications of Iran's Plant Protection Research Institute. Tehran, Iran, 97 p. (in Persian with English abstract).
23. Montazeri, M., Baghestani, M. A., & Zand, A. (2015). *Weeds and Their Control in Wheat Fields of Iran*. Publications of Iran's Medicinal Plant Research Institute. Tehran, Iran, 85 p. (in Persian with English abstract).
24. Nice, G., Johnson, B., & Bauman, T. (2003). Herbicide application timing for corn, soybean, wheat. Available. www.btny.Purdue.edu/weedscience/, p. 20-30
25. Parker, B., & Ball, D. (2007). *Winter Wheat-Irrigated, East of Cascades*. Pacific Northwest Weed Management Handbook. Oregon State University Agricultural, Corvallis, United States.
26. Poorsiahbidi, M. M. (1998). *Study on genetic diversity of durum wheat lines in Esfahan zone and providing amphiploid wheat*. MSc. Thesis, Isfahan Technology University, Isfahan, Iran. 131 p. (in Persian with English abstract).
27. Reynolds, M., Molero, G., Quilligan, E., Listman, M., & Braun, H. (2014). *Proceedings of the 4th International Workshop of the Wheat Yield Consortium CENEB, CIMMYT, Cd. Obregón, Sonora, Mexico (24-25th March)*.
28. Robinson, M. A., Letarte, J., Cowbrough, M. J., Sikkema, P.H., & Tardif, F. (2015). Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) response to herbicides as affected by application timing and temperature. *Canadian Journal of Plant Science*, 95, 325333. <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-109>
29. Roman, E. S., Vargas, L., & Rodrigues, O. (2006). Manejo e controle de plantas daninhas em trigo. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 63). Passo Fundo: Embrapa Trigo. Available from: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/852518/1/pdo63.pdf>. Accessed on: 6 June 2020.
30. Scursoni, J. A., Gigon, R. Martin, A. N., Vigna, M., Leguizamon, E. S., Istilart, C., & Lopez, R. (2014). Changes in weed communities of spring wheat crops of Buenos Aires province of Argentina. *Weed Science*, 62, 51-62. <https://www.jstor.org/stable/43700633>
31. Schillinger, W. F. (2005). Tillage method and sowing rate relations for dryland spring wheat, barley, and oat. *Crop Science*, 45, 2636-2643. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.04-0016>
32. Shoorbilal, S. K., & Hashemi, L. (2017). The effects of different application times of broadleaf herbicides on winter wheat. *Research on Crop Ecophysiology*, 12(2), 108-114
33. Skiba, E., & Wolf, W. M. (2017). Commercial phenoxyacetic herbicides control heavy metal uptake by wheat in a divergent way than pure activesubstances alone. *Environmental Sciences Europe, Nantes*, 29(1), 1-6. <https://doi.org/10.1186/s12302-017-0124-y>

34. Soligo, V., Galon, L., Tiago Forte, C., Brunetto, L., Loureiro da Silva, A., Gallina, & Francisco Perin, G. (2020). Does doses and time of 2,4-D application interfere in the physiology and wheat grains yield components? *Arquivos do Instituto Biologico*, 89, 1-12. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000342020>
35. Shimi, P., Baghestani, M. A., Haqid, A., Rahimian, H., & Alizadeh, H. (2011). Effect of time of auxin herbicides application on yield and yield components of wheat. *Iranian Journal of Weed Science*, 7, 1-12. (in Persian with English abstract)
36. Tawaha, A. M., Turk, M. A. & Maghaireh, G. A. (2002). Response of barley to herbicide versus mechanical weed control under semi-arid conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188, 106-112. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2002.00546.x>
37. Wehtje, G., & Gilliam, C. H. (2012). Cost-effectiveness of glyphosate, 2,4-D, and triclopyr, alone and in select mixtures for poison ivy control. *Weed Technology*, 26(2), 469-473. <https://doi.org/10.1614/WT-D-11-00183.1>
38. Whitesides, R. E. (1983). Identification of growth stages of winter wheat and response to broad leaf herbicides. *Proc. West. Soc. Weed Science*, 36, 123-124.
39. Zand, E., Mousavi, S., & Heidari, A. (2008). *Herbicides and Their Application*. Publications of Jahade Daneshgahi Mashhad, 567 pp. (in Persian).
40. Zheng, H. G., & Hall, J. C. (2001). Understanding auxinic herbicide resistance in wild mustard: Physiological, biochemical, and molecular genetic approaches. *Weed Science*, 49(2), 276-281. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2001\)049\[0276:UAHRIW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0276:UAHRIW]2.0.CO;2)



Effects of Supplementary Irrigation and some Stress Modifiers (Vermicompost, Nano Iron Oxide, and Humic Acid) on Grain Filling Components, Nodulation and Grain Yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Rainfed Conditions

R. Seyed Sharifi^{1*}, R. Seyed Sharifi²

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

2- Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(*- Corresponding Author Email: raouf_ssharifi@uma.ac.ir)

Received: 05 May 2024
Revised: 01 September 2024
Accepted: 5 September 2024
Available Online: 02 March 2025

How to cite this article:

Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2025). Effects of Supplementary Irrigation and some Stress Modifiers (Vermicompost, Nano Iron Oxide, and Humic Acid) on Grain Filling Components, Nodulation and Grain Yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Rainfed Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(1), 91-108. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87923.1323>

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is an important pulse crop that also serves as a soil enhancer. Among the abiotic stresses, water deficit under rain-fed conditions limits crop production. In this regard, stress modifiers application (such as humic acid, nano iron oxide, and vermicompost) can decrease the effects of water deficit under rain-fed conditions and increase grain filling components, relative water content and quantum yield of plants. Iron (Fe) is an essential element in crop plants. Application of iron and humic acid alleviates drought effects due to enhancement in chlorophyll content, relative water content and nodulation in chickpea plants under stress. The aim of this study was to evaluate the effects of supplementary irrigation and stress modifiers (such as humic acid, nano iron oxide and vermicompost) on nodulation and yield of chickpeas under rain fed conditions.

Materials and Methods

A factorial experiment was performed at a farm near Ardabil city in 2023 using a RCBD with three replications. Experimental treatments were vermicompost (without application as control, application of 4 and 8 ton ha⁻¹), irrigation at two levels (rainfed as control and supplementary irrigation at the flowering stage) and application of humic acid and nano iron oxide (no application as control, application of humic acid, nano iron oxide, humic acid and nano iron oxide foliar application). The chickpea cultivar 'Adel' was planted with the optimal density of 35 seeds.m⁻². Vermicompost was prepared by Gilda Corporation and nano iron oxide from Pishgaman Nanomaterials Company. Application of nano iron oxide and humic acid was in two growth stages (vegetative growth and before flowering). In order to study the nodulation, three pots (with a diameter of 45 and depth of 60 cm) were sown in each plot before planting. The pots were removed at flowering and after washing, some traits like the number of inactive and active nodules were recorded. To investigate grain filling components, the first sampling was taken 14 days after podding and other samplings were taken in 5-days intervals to determine the accumulation of grain weight. The protein amount was calculated by multiplying the nitrogen content by 6.25. For the determination of grain yield, 0.5 m² were harvested in each plot.



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

 <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.87923.1323>

Results and Discussion

The results showed that chlorophyll index, relative water content, quantum yield and number of pod per plant were significantly affected by the main effects of irrigation levels, vermicompost and humic acid. Also, irrigation levels×vermicompost×humic acid interactions had a significant effect on grain filling components (grain filling period; grain filling rate; effective grain filling period; maximum of grain weight) and grain yield. The results indicated that water deficit under rainfed conditions compared to supplementary irrigation at flowering stage led to a significant decrease in chickpea yield and yield components. However application of stress modulators (vermicompost, nano iron oxide and humic acid) and supplementary irrigation at flowering stage moderated the adverse effects of stress. Modulating effects of studied vermicompost, nano iron oxide and humic acid were emerged by physiological traits improvement (SPAD, quantum yield, grain filling components, number of active nodules and nodule dry weigh, and improvement of the water status (relative water content)). The use of supplementary irrigation and stress modifiers (vermicompost, nano iron oxide and humic acid) increased grain filling rate (51.96%), grain filling period (62.5%) and effective grain filling period (44.61%) in compared to the no application of stress modifiers under rainfed condition. Application of vermicompost with nano iron oxide and humic acid increased number of active nodules (2.8 fold), nodule dry weigh (45%) and percentage of active nodules (2.3 fold) in compared to control (no application of stress modulators). Also, the application of stress modulators and supplementary irrigation at flowering stage had the highest efficiency in improving grain yield and led to 57% increase in grain yield compared to the no application of theirs under rain fed conditions.

Conclusion

Based on the results of this study, applying supplementary irrigation at flowering along with stress modifiers can enhance nodulation, grain filling components, and grain yield of chickpea under rainfed conditions.

Keywords: Cholorophyll index, Grain per pod, Quantum yield, Relative water content, Water limitation

تأثیر آبیاری تکمیلی و برخی تعدیل کننده‌های تنش (ورمی کمپوست، اسید هیومیک و نانواکسید آهن) بر اجزای پر شدن دانه، گره‌زایی و عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) دیم

رئوف سید شریفی^{۱*}، رضا سید شریفی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

چکیده

آبیاری تکمیلی و کاربرد تعدیل کننده‌های تنش (همانند ورمی کمپوست، اسید هیومیک و نانواکسید آهن) می‌تواند اثرات کمبود آب تحت شرایط دیم را کاهش داده و اجزای پر شدن دانه و گره‌زایی را در نخود (*Cicer arietinum* L.) دیم افزایش دهد. در این راستا، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای در نزدیکی اردبیل در سال زراعی ۱۴۰۲ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی کاربرد ورمی کمپوست در سه سطح (عدم استفاده به عنوان شاهد، کاربرد چهار و هشت تن در هکتار) و محلول پاشی اسید هیومیک و نانواکسید آهن در چهار سطح (محلول پاشی یک گرم در لیتر نانواکسید آهن، ۰/۲ گرم در لیتر اسید هیومیک، کاربرد توأم اسید هیومیک و نانواکسید آهن، عدم کاربرد به عنوان شاهد) و آبیاری در دو سطح (دیم به عنوان شاهد و انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی) را شامل می‌شدند. نتایج نشان داد که شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی و تعداد غلاف در بوته به طور معنی داری تحت اثرات اصلی سطوح آبیاری، ورمی کمپوست و اسید هیومیک قرار گرفتند. همچنین سطوح آبیاری × ورمی کمپوست × اسید هیومیک بر اجزای پر شدن دانه (سرعت پر شدن دانه، حداکثر وزن دانه، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه) و عملکرد دانه اثر معنی داری داشت. نتایج نشان داد که کمبود آب تحت شرایط دیم در مقایسه با آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی، منجر به کاهش معنی داری در عملکرد و اجزای عملکرد نخود شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که استفاده از آبیاری تکمیلی و کاربرد تعدیل کننده‌های تنش (ورمی کمپوست و محلول پاشی با اسید هیومیک و نانواکسید آهن)، سرعت پر شدن دانه (۵۱/۹ درصد)، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه (به ترتیب ۶۲/۵ و ۴۴/۶ درصد) و عملکرد دانه را (۵۷ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل کننده‌های تنش تحت شرایط دیم افزایش داد. کاربرد ورمی کمپوست و محلول پاشی با نانواکسید آهن و اسید هیومیک، تعداد گره فعال (۲/۸ برابر)، وزن خشک گره (۴۵ درصد) و درصد گره فعال (۲/۳ برابر) را در مقایسه با سطح شاهد (عدم کاربرد ورمی کمپوست و نانواکسید آهن و اسید هیومیک) افزایش داد. از این رو، با در نظر گرفتن نتایج این آزمایش، می‌توان اظهار داشت که استفاده از تعدیل کننده‌های تنش و آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی می‌تواند گره‌زایی، اجزای پر شدن دانه و عملکرد دانه نخود دیم را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: دانه در نیام، شاخص کلروفیل، عملکرد کوانتومی، محتوای نسبی آب، محدودیت آبی

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از منابع مهم پروتئین

گیاهی، در بین حبوبات به دلیل قرارگیری در تناوب با سایر گیاهان زراعی از جمله غلات و بر خورداری از ارزش غذایی بالا، از نظر سطح زیر کشت مقام اول را در کشور دارد (Sam Dalire, Seyed Sharifi, & Esmaelpour, 2010). اگرچه این گیاه به شرایط نیمه خشک سازگار است، ولی عملکرد آن در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک تحت شرایط دیم به دلایل مختلفی از جمله محدودیت آبی در مرحله گل‌دهی و رسیدگی (Talebi, Ensafi, Baghbani, Karami, & Mohammadi, 2013)، کمبود مواد آلی و عناصر ریزمغذی در خاک (DeSouza-Torres et al., 2021)، بسیار پایین

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: raouf_ssharifi@uma.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87923.1323>

است. در این راستا، یکی از راه کارهای مؤثر در بهبود عملکرد گیاهان زراعی و تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی در مناطق نیمه خشک تحت شرایط دیم، انجام آبیاری تکمیلی در مواردی است که گیاه زراعی می تواند با بارندگی طبیعی به تنهایی رشد کند، ولی کاربرد اندازه محدودی آب در زمان توقف بارندگی یا در شرایط کمبود آب به ویژه خشکی آخر فصل رشد، موجب می شود تا آب کافی با تداوم رشد بوته ها به عملکردی پایدار و رضایت بخش در شرایط دیم منجر شود (Stone & Schlegel, 2006). سلطانی و همکاران (Soltani, Hajjar Pour, & Vadez, 2016) در بررسی عملکرد نخود دیم در پنج منطقه عمده اظهار داشتند که خلأ عملکرد ناشی از نبود یک دور آبیاری به میزان ۶۰ میلی متر در مرحله تشکیل اولین غلاف، می تواند عملکرد محصول را تا ۸۵ درصد کاهش دهد. توبایسر و همکاران (Tubabicer, Narin Kolenderand, & Akar, 2004) نیز بیشترین عملکرد دانه نخود را، در انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل دهی گزارش کردند.

کاربرد برخی تعدیل کننده های تنش همانند ورمی کمپوست می تواند در بهبود رشد و عملکرد نخود مؤثر واقع شود. ورمی کمپوست از محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم و قابلیت جذب بالایی از عناصر ریز مغذی نظیر روی و مس برخوردار است (Theunissen, Ndakidemi, & Laubscher, 2010) و کاربرد آن در شرایط محدودیت آبی، با افزایش توان نگهداری آب در خاک، در افزایش محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل و عملکرد کوانتومی مؤثر است (Heidarpour, Esmailpour, Soltani Toolarood, & Samiran, Kusum, 2020). سمیران و همکاران (Biman, & Ayanadar, 2010) افزایش معنی دار عملکرد دانه لوبیا (*Phaseolus Vulgaris*) را در کاربرد مقادیر مناسب کود کمپوست، به افزایش مواد مغذی به ویژه نیتروژن موجود در این کود نسبت دادند. نتایج یک بررسی نشان داد که کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست در شرایط تنش آبی، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) را افزایش داد (Najarian, Ghonudi, Masoud Sinaki, & Valaei, 2016). در پژوهشی دیگر، کاربرد ورمی کمپوست موجب افزایش ۸۷ درصدی تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف لوبیا چیتی شد (Baluchi, Amini, Movahedi, Dehnavi, & Atarzadeh, 2016). خسروی و همکاران (Khosravi, Daneshvar, Hosseini, & Mir, 2015) اظهار داشتند که افزایش مقادیر ورمی کمپوست مانع از ریزش اندام های زایشی و غلاف های جوان شده و تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته نخود را افزایش می دهد. برخی پژوهشگران، افزایش عملکرد نخود در کاربرد ورمی کمپوست را به تأثیر این کود در توان جذب و نگهداری بالای رطوبت خاک و بهبود شرایط فیزیکی خاک (تهویه، سبکی خاک و نفوذپذیری) نسبت دادند (Jat & Ahlawat, 2006).

آهن یکی از عناصر ریز مغذی مؤثر در رشد بوده و در بیوستنز کلروفیل و فتوسنتز نقش اساسی دارد (Irmak, Nuran Cil, Yucel, Kaya, 2012). کمبود این ریز مغذی در خاک های قلیایی نواحی خشک و نیمه خشک برخوردار از مقادیر بالایی از pH و کلسیم کربنات، به دلیل مشکل تثبیت و عدم جذب آهن شایع بوده (Fahad et al., 2014) و محدودیت آبی با کاهش تحرک آهن در خاک، موجب می شود که گیاهان به طور فزاینده ای با کمبود این عنصر مواجه شوند. در این راستا، کاربرد آهن به خصوص به شکل نانو به دلیل سرعت جذب، انتقال و تجمع بیشتر این ذرات در مقایسه با فرم معمولی، یک راهکار مؤثر برای اصلاح کمبود آهن و بهبود عملکرد گیاهان به خصوص در شرایط تنش است (Kreslavskia et al., 2023). محمدی و همکاران (Mohammadi, Roozrokh, Talebi, 2015) اظهار داشتند که استفاده از آبیاری تکمیلی و نانواکسید آهن از تأثیر مثبت و معنی داری بر عملکرد دانه نخود برخوردار بود. مهربان (Mehraban, 2017) گزارش کرد که محلول پاشی آهن موجب افزایش تعداد دانه در بوته، عملکرد و پروتئین دانه عدس (*Lens culinaris*) شد. حمزه ای و همکاران (Hamzei, Seyedi, Azadbakht, & Fesahat, 2018) اظهار داشتند که محلول پاشی آهن ضمن بهبود وزن گره های ریشه و محتوای پروتئین دانه، موجب افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه نخود شد.

اسید هیومیک یکی دیگر از ترکیبات مؤثر در بهبود مقاومت گیاهان در شرایط محدودیت آبی است که فضای مناسبی را برای موجودات داخل خاک و نفوذ بهتر هوا و آب در منطقه ریشه فراهم کرده (Ayas & Gulser, 2005) و با افزایش سرعت تقسیم سلولی و رشد بیشتر ریشه گیاه، می تواند اثر مخرب تنش خشکی را کاهش دهد (Maccarthy, 2001). از آنجایی که گیاه نخود در آغاز گل دهی یک رشد سریع را طی می کند، فراهمی رطوبت در دسترس در طول دوره زایشی با افزایش فتوسنتز جاری و تشکیل گل های بیشتر در گیاه، بر افزایش تشکیل غلاف های بارور و تولید دانه مؤثر خواهد بود (Armin & Moslehi, 2012). در این زمینه، شیانی و آرمین (Shabani & Armin, 2017) اظهار داشتند که کاربرد اسید هیومیک به دلیل بهبود مقاومت گیاه در برابر کم آبی، در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد نخود دیم مؤثر است. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش ارتفاع بوته، سطح برگ، عملکرد و محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه لوبیا چشم بلبلی با کاربرد اسید هیومیک گزارش شده است (El-Henfy, 2010).

محدودیت آبی در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک از مهم ترین عوامل مؤثر در کاهش عملکرد نخود دیم محسوب می شود. در این راستا، اهمیت برخی از تعدیل کننده های تنش (اسید هیومیک، ورمی-

کمپوست و نانواکسید آهن) و انجام آبیاری تکمیلی در تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی در نخود دیم و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش توأم این عوامل، موجب شد تا اثر آن‌ها بر عملکرد و برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک در این گیاه مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای در نزدیکی اردبیل با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۴۰۲ اجرا شد. براساس طبقه‌بندی گوسن، اقلیم محل اجرای آزمایش از نوع نیمه‌خشک سرد بود. فاکتورهای مورد بررسی شامل کاربرد ورمی کمپوست در سه سطح (عدم استفاده به‌عنوان شاهد، کاربرد چهار و هشت تن در هکتار) و محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانواکسید آهن در چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی نانواکسید آهن، اسید هیومیک، کاربرد توأم اسید هیومیک و نانواکسید آهن) و آبیاری در دو سطح (شرایط دیم به‌عنوان شاهد و انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی) بود. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح در هفته اول اردیبهشت صورت گرفت. در مرحله بعدی تهیه جوی و پشته‌ها توسط فاروژ انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف سه متری با فاصله بین ردیفی ۵۰ سانتی‌متر بود. بین هر واحد آزمایشی حداقل سه ردیف نکاشت به‌منظور جلوگیری از اثر محلول‌پاشی و آبیاری تکمیلی به کرت‌های مجاور در نظر گرفته شد. در آخرین مرحله تهیه زمین و قبل از کاشت، به‌منظور تعیین اثر تیمارها بر گره‌زایی و وزن خشک گره، سه گلدان پلاستیکی به قطر ۴۵ سانتی‌متر در عمق ۶۰ سانتیمتری خاک که کف گلدان‌ها به‌منظور

زهکشی سوراخ شده بود، در خطوط اصلی هر واحد آزمایشی با همان تراکم سایر ردیف‌های کاشت، قرار داده شد. نحوه کاشت و سایر عملیات زراعی در گلدان‌های پلاستیکی، مشابه سایر خطوط کاشت بود. کاشت در تاریخ ۱۳ اردیبهشت انجام شد. رقم مورد استفاده "عادل" بود. این رقم از تحمل مناسبی نسبت به سرمای ابتدای فصل برخوردار بوده و در مرحله چهار تا پنج برگ، گیاهچه‌ها به‌منظور اعمال تراکم مناسب (۳۵ بوته در مترمربع) تنک شدند. از آنجاکه کاشت در مزرعه‌ای بود که سال قبل به کشت نخود اختصاص داده شده بود، از این‌رو عمل تلقیح بذر با ریزوبیوم لگومینوز/روم انجام نشد. برای تعیین ویژگی‌های فیزیوشیمیایی خاک، قبل از کاشت تا عمق ۴۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری انجام شد. ویژگی‌های خاکی و شرایط اقلیمی منطقه مورد کشت در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. ورمی کمپوست مصرفی در این آزمایش از شرکت گیلدا خریداری و قبل از کاشت براساس سطوح تعریف‌شده در هر واحد آزمایشی اعمال و مشخصات فیزیوشیمیایی آن در جدول ۳ ارائه شده است. نانواکسید آهن از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه و مشخصات آن‌ها در جدول ۴ درج شده است. محلول‌پاشی با اسید هیومیک و نانواکسید آهن در دو مرحله (در رشد رویشی BBCH 11 و قبل از گل‌دهی BBCH 54) انجام شد. فاصله زمانی بین محلول‌پاشی با اسید هیومیک و نانواکسید آهن، چهار روز در نظر گرفته شد. نانواکسید آهن با غلظت یک گرم در لیتر و اسید هیومیک با غلظت ۰/۲ گرم در لیتر (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر براساس توصیه شرکت تولیدکننده) استفاده شد. اسید هیومیک مورد استفاده دارای ۶۰ درصد اسید هیومیک، پنج درصد اسید فولویک، یک درصد نیتروژن، یک درصد کلسیم، ۰/۱۵ درصد منیزیم، ۱۲ درصد پتاسیم و ۰/۵ درصد آهن بود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیوشیمیایی خاک

Table 1- Soil physico-chemical characteristics

عمق نمونه‌برداری	pH	کلسیم کربنات	رس	لوم	شن	بافت	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
Sampling depth		CaCO ₃	Clay	Loam	Sand	Texture	O.C	N	P	K
(cm)			(%)			رسی لومی	(%)		(mg.kg ⁻¹)	
0-40	7.3	11.2	38	33	29		0.55	0.063	9.02	192

جدول ۲- مشخصات آب و هوایی در طول دوره رشدی نخود

Table 2- Climatic characteristics during growth of chickpea

پارامتر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
Parameter	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
بارندگی (mm) Rainfall	8.4	76	36.8	3.5	2.2	9.2
میانگین دما (°C) Temperature mean	10.4	13.9	18.3	18.3	20.4	17.2
ساعات آفتابی Sunny hours	7	7.8	8.4	10.3	11.3	7.8
متوسط رطوبت نسبی (%) Relative humidity mean	63.8	65.6	69	66.6	55.4	72.8

جدول ۳- نتایج تجزیه ورمی کمپوست شرکت گیلدا

Table 3- Result of vermicompost analysis of Gilda corporation

مشخصه Characteristic	EC (dS m ⁻¹)	آهن Fe	منگنز Mn	مس Cu	روی Zn	سرب Pb	کادمیوم Cd	pH
مقادیر Amount	1.12	5000	275	20	110	19	1	
مشخصه Characteristic	مواد آلی Organic materials	کربن آلی Organic C	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	7.64
مقادیر Amount	56.8	32.9	1.5	0.4	0.4	2.7	0.95	

جدول ۴- خصوصیات نانو اکسید آهن

Table 4- Nono iron oxide characteristics

نانوذرات Nanoparticles	رنگ Color	خلوص Purity (%)	میانگین اندازه ذرات Average particle size (nm)	سطح ویژه ذرات Surface of particles specific
نانو اکسید آهن Nano iron oxide	پودری قرمز Red powder	99	<30	>30 m ² .g ⁻¹

حاشیه‌ای تعدادی بوته به ظاهر مشابه و یکنواخت انتخاب و با نخ رنگی علامت‌گذاری شد. در فواصل زمانی هر پنج روز یک بار و در هر مرحله از مراحل نمونه‌برداری، سه بوته مشابه و به ظاهر یکنواخت از بوته‌های علامت‌گذاری شده، انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از غلاف جدا شده و سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini, Savin, & Hal, 2004). برای برآورد و تفسیر اجزای مربوط به پر شدن دانه، از یک مدل رگرسیون خطی دو تکه‌ای براساس رویه DUD و دستورالعمل Proc Nlin نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد (Soltani, 1998).

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases} \quad (2)$$

که در آن، GW: وزن دانه، t: زمان، b: سرعت پر شدن دانه، t₀: پایان دوره پر شدن دانه و a: عرض از مبدأ است. این مدل، تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t₀ که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله (t < t₀) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد. با برآزش این مدل بر کلیه داده‌ها، ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t₀) به‌دست آمده و سپس مقدار عددی t₀ در قسمت دوم رابطه (۲) قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه (۳) استفاده شد (Ellis & Pieta-Filho, 1992).

$$EFP = MGW / GFR \quad (3)$$

که در آن، EFP: دوره مؤثر پر شدن دانه (روز)، MGW: حداکثر وزن دانه (میلی گرم) و GFR: سرعت پر شدن دانه (میلی گرم در روز)

عملکرد کوانتومی^۱، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب، دو هفته بعد از مرحله گل‌دهی از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی بر روی شش برگ توسعه‌یافته با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، اندازه‌گیری شد. در این راستا، شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD-502 مینولتای ژاپن) و عملکرد کوانتومی توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (مدل OS-30p، شرکت OPTI SCIENCES، آمریکا) در هر واحد آزمایشی بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، در فاصله زمانی ساعت ۸-۱۰ صبح اندازه‌گیری شد (Kheirizadeh Arough, & Seyed Sharifi, 2018). برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، برگ‌ها در فویل‌های آلومینیومی داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از رابطه پیشنهادی کوستوپولو و همکاران (Kostopoulou, Barbayiannis, & Basile, 2010) مقدار آن تعیین شد.

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100 \quad (1)$$

که در آن، RWC: محتوای نسبی آب، FW: وزن تر، TW: وزن آماس‌یافته و DW: وزن خشک است. از آنجاکه مناسب‌ترین زمان برای ارزیابی گره‌زایی، مرحله گل‌دهی است، از این‌رو در این مرحله بوته‌های هر گلدان به همراه ریشه به‌طور کامل جدا شده و پس از شست‌وشوی ریشه‌ها، تعداد و وزن گره‌ها بعد از قرارگیری در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰±۵° (Namvar et al., 2011). به‌منظور تعیین اجزای پر شدن دانه، ۱۴ روز پس از تشکیل غلاف در داخل خطوط اصلی هر واحد آزمایشی با در نظر گرفتن اثر

۱- عملکرد کوانتومی یا حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II از نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (F_v/F_m) به‌دست می‌آید.

است. برای برآورد تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه‌ای، شش بوته برداشت و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه داده‌ها استفاده شد. عملکرد دانه با برداشت از سطحی معادل ۰/۵ مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. محتوای نیتروژن دانه به‌روش کج‌دال تعیین و با ضرب در ضریب ۶/۲۵ درصد پروتئین دانه تعیین شد (Bakshi Moghadam, Mortazavi, Milani, & Hashemi, 2015). برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و برای رسم نمودارها از Excel و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، اسید هیومیک و نانواکسید آهن) و سطوح

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانواکسید آهن بر اجزای پر شدن دانه، عملکرد کمی و کیفی و برخی صفات نخود در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Table 5- Analysis of variance of the effects of vermicompost, nano iron oxide and humic acid on grain filling components, quantitative and qualitative yield and some traits of chickpea under rainfed and supplementary irrigation

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	Mean squares میانگین مربعات							
		تعداد گره فعال NAN	وزن خشک گره NDW	درصد گره فعال PAN	تعداد گره غیرفعال NIN	شاخص کلروفیل SPAD	عملکرد کوانتومی FV/FM	محتوای نسبی آب RWC	حداکثر وزن دانه MGW
R بلوک	2	4.23 *	108.7 **	112.1**	5.7 **	75.3**	0.08**	411.81**	0.0093**
I آبیاری	1	2.26ns	0.91 ns	23.98	0.259 ns	778.8**	0.515**	1150**	0.0078**
V ورمی کمپوست	2	17.63**	938.4**	934.3**	39.9**	303.5**	0.206**	277.2**	0.00511**
M آهن و اسید هیومیک	3	225**	6115 **	5842.7**	103.5**	27.94**	0.0119*	81.59**	0.0123**
V × I	2	0.95 ns	4.04 ns	4.53	1.01 ns	0.393 ns	0.0026 ns	0.569 ns	0.00307**
I × M	3	1.04 ns	24.2 ns	4.85	1.12 ns	1.027 ns	0.00021 ns	0.355 ns	0.00075ns
M × V	6	2.77*	43.7 **	38.66**	3.46**	0.208ns	0.000054 ns	3.61 ns	0.00467**
V × I × M	6	0.58	4.6 ns	1.79	0.237 ns	0.585 ns	0.000068 ns	0.54 ns	0.00306*
Error خطا	46	0.93	12.3	7.46	0.596	1.82	0.003	18.48	0.00022
درصد ضریب تغییرات C.V (%)	-	10	5.8	4.6	12.5	3.8	8.3	6.1	6.4

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

NAN: تعداد گره فعال، PAN: درصد گره فعال، NIN: تعداد گره غیرفعال، SPAD: شاخص کلروفیل، FV/FM: عملکرد کوانتومی، RWC: محتوای نسبی آب، NDW: وزن

خشک گره، MGW: حداکثر وزن دانه

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

I: Irrigation; V: Vermicompost; M: foliar application of humic acid and nano iron oxide; NAN: number of active nodule; NDW: nodule dry weight; PAN: percentage of active nodule; NIN: number of inactive nodule; SPAD: chlorophyll index; FV/FM: quantum yield; RWC: relative water content; MGW: maximum of grain weight

ادامه جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر ورمی کمپوست و محلول پاشی اسید هیومیک و نانواکسید آهن بر اجزای پر شدن دانه، عملکرد کمی و کیفی و برخی صفات نخود در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Continued Table 5- Analysis of variance of the effects of vermicompost, nano iron oxide and humic acid on grain filling components, quantitative and qualitative yield and some traits of chickpea under rainfed and supplementary irrigation
Continue

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		طول دوره پر شدن دانه	سرعت پر شدن دانه	دوره مؤثر پر شدن دانه	دانه در غلای	غلای در بوته	عملکرد دانه	محتوای پروتئین
		GFP	GFR	EGFP	NGP	NPP	GY	PC
(R) بلوک	2	99.43**	0.000021**	41.62**	0.076 ns	1.41ns	23892.2**	24.4**
(I) آبیاری	1	36.07**	0.0000092**	50.01**	0.12 ns	235.9**	90212.6**	37.8**
(V) ورمی کمپوست	2	28.54**	0.000004 **	12.15**	0.003 ns	97.9**	55772.7**	64.5**
(M) آهن واسید هیومیک	3	47.04**	0.000006**	17.8**	0.054 ns	116.3**	78771.1**	68.6**
V × I	2	20.81**	0.000003**	1.244*	0.025 ns	1.29ns	1583.8**	0.1ns
I × M	3	12.98**	0.000001 **	1.79*	0.025 ns	1.04ns	367.1ns	1.5 ns
M × V	6	12.15**	0.0000022**	1.17*	0.023 ns	0.58ns	1328**	0.16 ns
V × I × M	6	10.36**	0.00000187**	0.918*	0.025 ns	0.074ns	624.5*	0.13 ns
خطا Error	46	1.93	0.0000003	0.429	0.039	2.55	255.6	1.52
درصد ضریب تغییرات C.V (%)	-	4.3	4.4	3.2	8.4	10.5	12.1	7.1

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

PC: محتوای پروتئین، NPP: تعداد غلای در بوته، NGP: تعداد دانه در غلای، EGFP: دوره مؤثر پر شدن دانه، GFR: سرعت پر شدن دانه، GFP: طول دوره پر شدن دانه، GY: عملکرد دانه

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

GFP: grain filling period; GFR: grain filling rate; EGFP: effective grain filling period; NGP: number of grain per plant; NPP: number of pod per plant; GY: grain yield; PC: protein content

ورمی کمپوست و محلول پاشی توأم نانواکسید آهن و اسید هیومیک از افزایش ۲/۸ برابری برخوردار بود (جدول ۷). بیشترین تعداد گره فعال، وزن خشک گره و درصد گره فعال (به ترتیب ۱۰/۵ گره در بوته، ۶۶/۴ میلی گرم در بوته و ۶۵/۳ درصد) در کاربرد مقادیر بالایی از ورمی کمپوست به دست آمد که در مقایسه با عدم کاربرد آن به ترتیب از افزایش ۲۰، ۲۳/۱ و ۶/۴ درصدی برخوردار بود. همچنین محلول پاشی توأم نانواکسید آهن و اسید هیومیک از افزایش به ترتیب ۱/۷، ۱/۲۱ و ۱/۲ برابری تعداد گره فعال، وزن خشک گره و درصد گره فعال در مقایسه با سطح شاهد برخوردار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین ها نشان داد که کاربرد توأم ورمی کمپوست و محلول پاشی با نانواکسید آهن و اسید هیومیک، تعداد گره فعال (۲/۸ برابر)، وزن خشک گره (۴۵ درصد) و درصد گره فعال (۲/۳ برابر) را در مقایسه با سطح شاهد (عدم کاربرد ورمی کمپوست و نانواکسید آهن و اسید هیومیک) افزایش داد (جدول ۷). به نظر می رسد که بالا بودن دمای محیط در طول دوره رشدی گیاه و کمی نزولات حاکم بر شرایط دیم (جدول ۲) به دلیل کاهش کلروفیل و عملکرد کوانتومی (جدول ۶)، ضمن کاهش فتوسنتز و تجمع مواد محلول، موجب کاهش تعداد گره های فعال و افزایش تعداد گره های غیرفعال در ریشه می شود،

گره زایی (تعداد گره فعال، تعداد گره غیرفعال، وزن

خشک گره و درصد گره فعال): اثرات اصلی سطوح مختلف ورمی کمپوست، محلول پاشی با نانواکسید آهن و اسید هیومیک و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر تعداد گره فعال، تعداد گره غیرفعال، وزن خشک گره و درصد گره فعال در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار شد (جدول ۵). در بین سطوح مختلف ورمی کمپوست، بیشترین تعداد گره غیرفعال (۷/۴ گره غیرفعال به ازای هر بوته) در حالت عدم کاربرد ورمی کمپوست و کمترین آن (۴/۹ عدد به ازای هر بوته) در بالاترین سطح از کاربرد ورمی کمپوست به دست آمد (جدول ۶). روند مشابهی نیز در محلول پاشی با نانواکسید آهن و اسید هیومیک به دست آمد. به طوری که بالاترین تعداد گره غیرفعال (نه عدد به ازای هر بوته) در عدم کاربرد نانواکسید آهن و اسید هیومیک و کمترین آن (۳/۴ عدد به ازای هر بوته) در محلول پاشی توأم نانواکسید آهن و اسید هیومیک به دست آمد (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری کاربرد ورمی کمپوست و محلول پاشی با نانواکسید آهن و اسید هیومیک نشان داد که بیشترین تعداد گره غیرفعال (۱۱/۴ عدد به ازای هر بوته) در عدم کاربرد ورمی کمپوست و نانواکسید آهن و اسید هیومیک به دست آمد که در مقایسه با کاربرد مقادیر بالایی از

چراکه در اثر محدودیت آبی، میزان فتوسنتز و مواد حاصل از فتوسنتز کاهش می‌یابد و این امر موجب کاهش تجمع مواد محلول و در نتیجه، کاهش فعالیت گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در ریشه می‌شود. نتایج مشابهی نیز توسط ابوالفضل و همکاران (Abolfazli, Alikani, & Rejali, 2017) مبنی بر اینکه محدودیت آبی به دلیل کاهش دسترسی به جذب آب و عناصر و کاهش میزان فتوسنتز، تأثیر منفی بر تشکیل گره‌زایی دارد، گزارش شده است. البته به نظر می‌رسد که علت عدم تأثیرپذیری صفات مرتبط با گره‌زایی (اعم از تعداد گره فعال، تعداد گره غیرفعال، وزن خشک گره و درصد گره فعال) به واسطه انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی شاید به این دلیل بوده باشد که اوج تکامل و تشکیل گره در حیواناتی مانند نخود در مرحله گل‌دهی است (Namvar et al., 2011) و چون ارزیابی گره‌زایی در مرحله گل‌دهی بوده است، از این رو انجام آبیاری تکمیلی در این مرحله رشدی که قبل از آن گره‌ها به مرحله حداکثری تکامل و تشکیل خود رسیده‌اند، نتوانسته است اثر معنی‌داری بر این صفات داشته باشد، درحالی‌که کاربرد ورمی کمپوست در زمان کاشت و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن و هیومیک در مراحل رشد رویشی و قبل از گل‌دهی، موجب شده است تا اثر این عوامل بر گره‌زایی، معنی‌دار شود (جدول ۵)، از این رو به نظر می‌رسد که کاربرد نانواکسید آهن و اسید هیومیک با کمک به تسهیل جذب عناصر کم‌مصرف مانند آهن به‌عنوان عنصر مؤثر در سنتز کلروفیل (Goos & Johnson, 2000)، و ورمی کمپوست با دارا بودن مقادیر بالایی از منیزیم، فسفر و نیتروژن (جدول ۳) و مؤثر در سنتز کلروفیل و افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۶)، همچنین بر خورداری از توان نگهداری بالای آب در خاک و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۶)، میزان فتوسنتز را افزایش داده و به تبع آن موجب بهبود فرایند گره‌زایی شده است (جدول ۶ و ۷).

شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی: مقایسه میانگین

اثرات اصلی فاکتورهای مورد بررسی بر شاخص کلروفیل نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص در آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی (۴۵/۹)، کاربرد مقادیر بالای ورمی کمپوست (۴۳/۲) و محلول‌پاشی توأم نانواکسید آهن با اسید هیومیک (۴۱/۰۳) به دست آمد که در مقایسه با شرایط دیم، عدم کاربرد ورمی کمپوست و نانواکسید آهن و اسید هیومیک، به ترتیب از افزایش ۲۹، ۱۹/۶ و ۷/۶ درصدی برخوردار بود (جدول ۶). البته در بین سطوح مختلف محلول‌پاشی، بین کاربرد نانواکسید آهن با کاربرد توأم نانواکسید آهن و اسید هیومیک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد از نظر شاخص کلروفیل وجود نداشت (جدول ۶). بالا بودن دما و کمی نزولات جوی (جدول ۲) به دلیل تشدید اثرات ناشی از محدودیت آبی در شرایط دیم، می‌تواند توجیه‌کننده بخشی از کاهش شاخص کلروفیل در شرایط دیم در

مقایسه با آبیاری تکمیلی باشد. به نظر می‌رسد که محدودیت آبی ناشی از شرایط دیم با افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و تشدید سرعت تجزیه آن، مانع از بیوسنتز کلروفیل شده و می‌تواند میزان کلروفیل را به میزان چشمگیری کاهش دهد (Jiao, Chen & Yi, 2010). نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش شاخص کلروفیل برگ نخود در شرایط دیم در مقایسه با انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است (Barzali, Nasri, & Karimifar, 2016). بخش دیگری از افزایش شاخص کلروفیل در کاربرد ورمی کمپوست می‌تواند به دلیل وجود عناصر روی، منیزیم، آهن و نیتروژن موجود در آن (جدول ۳) باشد که از عناصر اساسی در سنتز کلروفیل محسوب می‌شوند. تئوئیس و همکاران (Theunissen et al., 2010) نیز بالا بودن غلظت آهن و سایر عناصر موجود و مؤثر در ورمی کمپوست را، یکی از دلایل اصلی افزایش شاخص کلروفیل گزارش کردند. افتاده فدافن، امینی فرد، بهدانی و مرادی نژاد و همکاران (Oftadeh Fadafan, Aminifard, Behdani, & Moradinezhad, 2018) اظهار داشتند که کاربرد ورمی کمپوست از طریق بهبود فعالیت میکروبی خاک و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه توسط این موجودات و نیز کمک به جذب عناصر غذایی، موجب افزایش شاخص کلروفیل شد. برخی پژوهشگران اظهار داشتند که کاربرد کودهای آلی نظیر اسید هیومیک نیز به دلیل افزایش دسترسی به عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن، و یا کمک به بهبود جذب منیزیم و فسفر، موجب افزایش کلروفیل می‌شوند (Nikbakht et al., 2008).

اثر تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد کوانتومی نیز معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد کوانتومی در آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی (۰/۷۸)، کاربرد هشت تن در هکتار ورمی کمپوست (۰/۷۸) و محلول‌پاشی توأم نانواکسید آهن با اسید هیومیک (۰/۷۲) به دست آمد که در مقایسه با شرایط دیم، عدم کاربرد ورمی کمپوست، نانواکسید آهن و اسید هیومیک به ترتیب از افزایش ۲۷/۸، ۳۰ و ۹ درصدی برخوردار بود (جدول ۶). در ضمن در بین سطوح مختلف محلول‌پاشی، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین کاربرد نانواکسید آهن با کاربرد توأم نانواکسید آهن و اسید هیومیک از نظر شاخص کلروفیل وجود نداشت (جدول ۶). بخشی از افزایش عملکرد کوانتومی در کاربرد آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی و ورمی کمپوست می‌تواند با تعدیل شرایط ناشی از محدودیت آبی در زراعت دیم و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۶) مرتبط باشد. هرچند که عملکرد کوانتومی تا حدود زیادی نسبت به کم‌آبی مقاوم است (Yordanov, Velikova & Tsonev, 2003)، ولی خشکی می‌تواند با اختلال در انتقال الکترون در واکنش مربوط به تجزیه آب (واکنش هیل) به کاهش عملکرد کوانتومی کمک کرده و کارایی کوانتومی فتوسنتز خالص را کاهش دهد (Kheirizadeh Arough &)

(Seyed Sharifi, 2018). همچنین محدودیت آبی موجب برهم زدن تعادل تغذیه‌ای گیاه و فراهمی مواد غذایی می‌شود، در چنین شرایط تنشی، کاربرد ورمی‌کمپوست و نانو اکسید آهن و اسید هیومیک، راهکار مناسبی برای رفع این مشکل بوده و می‌تواند وضعیت رشدی گیاه را بهبود بخشد. در این راستا، برخی محققان اظهار داشتند که نانو اکسید آهن با افزایش تولید آنزیم‌های حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد، مقاومت گیاه در برابر تنش رطوبتی را افزایش می‌دهد (Narimani, Seyed Sharifi, Khalilzadeh, & Aminzadeh, 2018).

محتوای نسبی آب: مقایسه میانگین اثرات اصلی فاکتورهای

مورد بررسی بر محتوای نسبی آب نشان داد که بیشترین مقدار این صفت در آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی (۷۳/۹ درصد)، کاربرد هشت تن در هکتار ورمی‌کمپوست (۷۳/۳ درصد) و محلول‌پاشی توأم نانو اکسید آهن با اسید هیومیک (۷۲/۲ درصد) به دست آمد که در مقایسه با شرایط دیم، عدم کاربرد ورمی‌کمپوست، عدم نانو اکسید آهن و اسید هیومیک به ترتیب از افزایش ۱۲/۱، ۱۰/۲ و ۷/۴ درصدی برخوردار بود (جدول ۶). بخشی از کاهش محتوای نسبی آب در شرایط دیم می‌تواند از کمی نزولات و افزایش دمای محیط (جدول ۲) در طول دوره رشدی ناشی شود که به دلیل کاهش جذب آب از ریشه، منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود.

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر ورمی‌کمپوست، محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو اکسید آهن بر برخی صفات نخود در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Table 6- Means comparison of effects of vermicompost, nano iron oxide and humic acid foliar application on some traits of chickpea under rainfed and supplementary irrigation conditions

تیمارها Treatment	شاخص کلروفیل SPAD	عملکرد کوانتومی FV/FM	محتوای نسبی آب RWC (%)	تعداد گره غیرفعال NIN	تعداد گره فعال NAN	وزن خشک گره NDW (mg per plant)	درصد گره فعال PAN	غلظت در بوته NPP	محتوای پروتئین PC (%)
دیم Rainfed	36.37b*	0.61b	65.9b	-	-	-	-	13.30b	16.5b
آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی Supplementary irrigation at flowering stage	46.95a	0.78a	73.9a	-	-	-	-	16.92a	18.02a
LSD	0.64	0.027	2.03	-	-	-	-	0.75	0.58
سطوح ورمی‌کمپوست Vermicompo st levels (ton ha ⁻¹)	36.1c	0.60c	66.5c	7.4a	8.7c	53.9c	52.9c	13c	15.5c
4	39.5 b	0.71b	69.8b	6.09b	9.5b	60b	59.1b	15.2b	17.6b
8	43.2a	0.78a	73.3a	4.9c	10.5a	66.4a	65.3a	17a	18.7a
LSD	0.78	0.0338	2.498	0.44	0.56	2.03	1.58	0.92	0.71
شاهد Control	38.1 c	0.66 b	67.2 c	9 a	4.92 d	35.7 d	35.1d	11.9 d	14.6d
اسید هیومیک Humic acid	39.2 b	0.69 ab	69.3 bc	6.9 b	9.39c	57.7 c	57.8c	14.3 c	17.1c
نانو اکسید آهن Nano iron oxide	40.2 a	0.71a	70.6 ab	5.1 c	10.79b	67.9 b	65.6 b	16.2 b	18.6b
اسید هیومیک + نانو اکسید آهن	41.03 a	0.72a	72.2 a	3.4 d	13.36a	79 a	77.9a	17.8 a	18.8a
LSD	0.90	0.03	2.8	0.51	0.64	2.35	1.83	1.07	0.82

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

NAN: تعداد گره فعال، PAN: درصد گره فعال، SPAD: شاخص کلروفیل، FV/FM: عملکرد کوانتومی، RWC: محتوای نسبی آب، NDW: وزن خشک گره، PC: محتوای

پروتئین

* Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test at the 5% probability level
SPAD: chlorophyll index; FV/FM: quantum yield; RWC: relative water content; NIN: number of inactive nodule; NAN: number of active nodule; ANP: percentage of active nodule; NDW: nodule dry weight; NPP: number of pod per plant; NGP: number of grain per plant; PC: protein content

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو اکسید آهن بر برخی صفات مرتبط با ریشه نخود
Table 8- Means comparison of effects of vermicompost and nano iron oxide and humic acid on some traits of related to chickpea root

تیمارها Treatment	تعداد گره غیرفعال NIN	تعداد گره فعال NAN	وزن خشک گره NDW (mg per plant)	درصد گره فعال PAN
V1M1	11.47a*	4.006i	0.831f	24.9j
V1 M2	8.17b	8.94g	0.883 ef	53g
V1 M3	6.36cd	10.07ef	0.936de	60.1e
V1 M4	8.85b	12.16bc	1.006c	73.4c
V2 M1	8.85b	4.85hi	0.88 e	35.6i
V2 M2	6.95c	9.67fg	0.973cd	57f
V2 M3	5e	11.04de	0.998c	66.1d
V2 M4	3.59fg	12.63b	1.071b	77.8b
V3 M1	6.92c	5.9h	0.991c	44.8h
V3 M2	5.65de	9.56fg	1.071b	63.4d
V3 M3	4.05f	11.25cd	1.15a	70.5c
V3 M4	2.99g	15.3a	1.208a	82.6a
LSD	0.89	1.11	0.0545	3.04

V: vermicompost; M: foliar application of humic acid+nano iron oxide

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

NAN: تعداد گره فعال، NIN: تعداد گره غیرفعال، NDW: وزن خشک گره، PAN: درصد گره فعال

* Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test at the 5% probability level
NIN: number of inactive noudules; NAN: number of active noudules; NDW: noudules dry weight; PAN: percentage of active noudules

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر وزن دانه در آبیاری تکمیلی با کاربرد ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و اسید هیومیک و کمترین آن در شرایط دیم و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و نانو اکسید آهن و اسید هیومیک به دست آمد (جدول ۸). بخشی از کاهش وزن دانه در شرایط دیم می‌تواند از کاهش نزولات و افزایش دمای هوا در طول دوره رشدی به‌خصوص دوره پر شدن دانه ناشی شود (جدول ۲) که موجب می‌شود، اثرات ناشی از محدودیت آبی تحت چنین شرایطی در زراعت دیم مضاعف شده و به‌دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه (جدول ۸)، وزن نهایی دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یابد. از آنجا که وزن نهایی دانه به‌وسیله دو عامل سرعت و طول دوره پر شدن دانه تعیین می‌شود (Yang & Zhang, 2006)، از این‌رو در شرایط محدودیت آبی ناشی از زراعت دیم، کاهش طول دوره و یا سرعت پر شدن دانه (جدول ۸) و پیری زودرس برگ‌ها، منجر به کاهش تأمین مواد غذایی برای پر شدن دانه و در نهایت کاهش وزن دانه می‌شود (Pashnezhad, Majid Hervean, Nourmohammadi, Sayyadat, & Wazan, 2010). نتایج مشابهی نیز توسط سایر پژوهشگران مبنی بر اینکه تنش‌های محیطی با کاهش طول دوره پر شدن دانه، به‌طور معنی‌داری وزن نهایی دانه را کاهش می‌دهند گزارش شده است (Khalilzadeh, Seyed Hadi, Seyed Sharifi, & Jalilian, 2018).

هادی و همکاران (Hadi, Seyed Sharifi, & Namvar, 2016) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی، تعادل تغذیه‌ای گیاه به هم می‌خورد، ولی با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، این مواد

ولی انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی ضمن تعدیل دمای گیاه و افزایش آب در دسترس گیاه، موجب افزایش ۱۲/۱ درصدی محتوای نسبی آب شد. به نظر می‌رسد که کاربرد ورمی‌کمپوست به‌عنوان کود آلی مؤثر در جذب آب، با بهبود ساختار خاک و کمک به حفظ رطوبت، منجر به بهبود وضعیت آبی گیاه شد. نتایج مشابهی نیز توسط سایر پژوهشگران مبنی بر افزایش محتوای نسبی آب برگ با کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط محدودیت آبی گزارش شده است (Nazari, Seyed Sharifi & Narimani, 2021).

اجزای پر شدن دانه: تغییرات الگوی نموی بذر در تمامی ترکیبات تیماری از روند مشابهی برخوردار بود (شکل ۱). بدین ترتیب که وزن دانه در مراحل اولیه نمونه‌برداری (۱۴ روز بعد از غلاف‌دهی) کم بوده و با گذشت زمان در تمامی ترکیبات تیماری وزن دانه به‌صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید، سپس از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به‌صورت یک خط افقی در آمد (شکل ۱). البته میزان افزایش وزن دانه در تمامی مراحل نمونه‌برداری در شرایط کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی با اسید هیومیک و نانو اکسید آهن) تحت شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی، بیشتر از عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش تحت شرایط دیم بود (شکل ۱). روند مشابه با تغییرات وزن دانه در هر یک از اجزای پر شدن دانه (اعم از سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه) در شرایط کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش تحت شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش تحت شرایط دیم مشاهده شد (جدول ۸).

تنش تحت شرایط دیم برخوردار باشد. همچنین، تحت شرایط دیم، کاربرد تعدیل کننده های تنش به ترتیب از افزایش ۳۸، ۵۶، ۴۷ و ۳۸/۱ درصدی حداکثر وزن دانه، طول دوره، سرعت و دوره مؤثر پر شدن دانه در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل کننده های تنش تحت همین شرایط از زراعت دیم برخوردار بود. اوک و همکاران (Ouk et al., 2003) اظهار داشتند که تنش خشکی موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه می شود، ولی با تأمین آب کافی، طول دوره پر شدن دانه بیشتر شد.

به سهولت در اختیار گیاه قرار گرفته و با افزایش شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی (جدول ۶) و بهبود شرایط فتوسنتزی و به تبع آن افزایش انتقال مواد تولیدی به دانه ها، موجب می شود که طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه (جدول ۸) افزایش یابد. در این زمینه، کاربرد تعدیل کننده های تنش نظیر ورمی کمپوست و محلول پاشی با اسید هیومیک و نانو اکسید آهن به همراه آبیاری تکمیلی در مرحله گل دهی ضمن افزایش وزن دانه، موجب شد که حداکثر وزن دانه، طول دوره سرعت و دوره مؤثر پر شدن دانه به ترتیب از افزایش ۵۶/۹، ۶۲/۵، ۵۱/۹ و ۴۴/۶ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل کننده های

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر ورمی کمپوست، اسید هیومیک و نانو اکسید آهن بر اجزای پر شدن دانه و عملکرد دانه نخود در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Table 8- Means comparison of the effects of vermicompost, nano iron oxide and humic acid on grain filling components and grain yield of Chickpea under rainfed and supplementary irrigation

تیمارها treatment	حداکثر وزن دانه MGW (g)	طول دوره پر شدن دانه GFP (day)	سرعت پر شدن دانه GFR (g day ⁻¹)	دوره مؤثر پر شدن EGFP (day)	عملکرد دانه GY (kg ha ⁻¹)
DV1M1	0.186±0.03	21.2±4.8	0.0102±0.002	15.69±1.7	600.87±37.8
DV1M2	0.214±0.013	31.2±2.1	0.013±0.0009	19.45±1.35	633.9±30.26
DV1M3	0.242±0.027	32.3±2.2	0.0149±0.001	19.13±1.33	674.48±31.23
DV1M4	0.259±0.017	33.1±2.3	0.015±0.001	20.6±1.43	714.52±32.17
DV2 M1	0.261±0.023	31.76±2.21	0.014±0.001	18.47±1.29	637.68±30.35
DV2 M2	0.233±0.023	32.83±2.28	0.0149±0.001	20.06±1.4	673.53±31.2
DV2 M3	0.254±0.012	33.64±2.34	0.015±0.0010	20.41±1.42	706.01±21.35
DV2 M4	0.265±0.012	34.45±2.4	0.0152±0.001	21.11±1.47	808.89±33.8
DV3 M1	0.222±0.0179	31.22±2.17	0.0142±0.001	19.78±1.38	670.19±31.12
DV3 M2	0.240±0.016	32.03±2.23	0.0145±0.001	20.1±1.40	735.49±32.67
DV3 M3	0.243±0.0162	32.30±2.25	0.0147±0.001	20.55±1.43	791.57±40.22
DV3 M4	0.258±0.0251	33.1±2.3	0.015±0.001	21.68±1.51	832.08±22.47
IV1 M1	0.228±0.02	31.49±2.19	0.0145±0.001	20.05±1.39	692.19±30.02
IV1 M2	0.245±0.024	32.3±2.25	0.0149±0.001	20.99±1.46	710.9±32.09
IV1 M3	0.257±0.015	32.83±2.28	0.0152±0.001	20.73±1.44	745.02±32.9
IV1 M4	0.277±0.010	33.91±2.36	0.0152±0.001	21.87±1.52	818.27±54.84
IV2 M1	0.236±0.017	31.49±2.19	0.01453±0.001	20.37±1.41	685.92±31.49
IV2 M2	0.261±0.022	32.3±2.25	0.0149±0.0010	21.8±1.52	739.3±32.76
IV2 M3	0.276±0.012	32.83±2.28	0.0152±0.0010	21.53±1.5	769.81±33.49
IV2 M4	0.252±0.04	33.91±2.36	0.0152±0.0010	22.02±1.5	844.82±22.76
IV3 M1	0.261±0.0135	33.1±2.3	0.015±0.00105	21.14±1.47	737.78±32.73
IV3 M2	0.275±0.0106	33.64±2.34	0.0152±0.0010	21.72±1.5	800.31±34.21
IV3 M3	0.270±0.0242	33.91±2.36	0.0152±0.0010	22.10±1.54	842.25±35.12
IV3 M4	0.292±0.010	34.45±2.4	0.0155±0.0011	22.69±1.58	942.25±66
LSD	0.0249	2.28	0.001	1.077	26.28

D و I: به ترتیب شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در مرحله گل دهی؛ V1، V2 و V3 به ترتیب عدم کاربرد و کاربرد چهار و هشت تن در هکتار ورمی کمپوست.

M1، M2، M3 و M4 به ترتیب محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول پاشی با اسید هیومیک، نانو اکسید آهن، اسید هیومیک و نانو اکسید آهن.

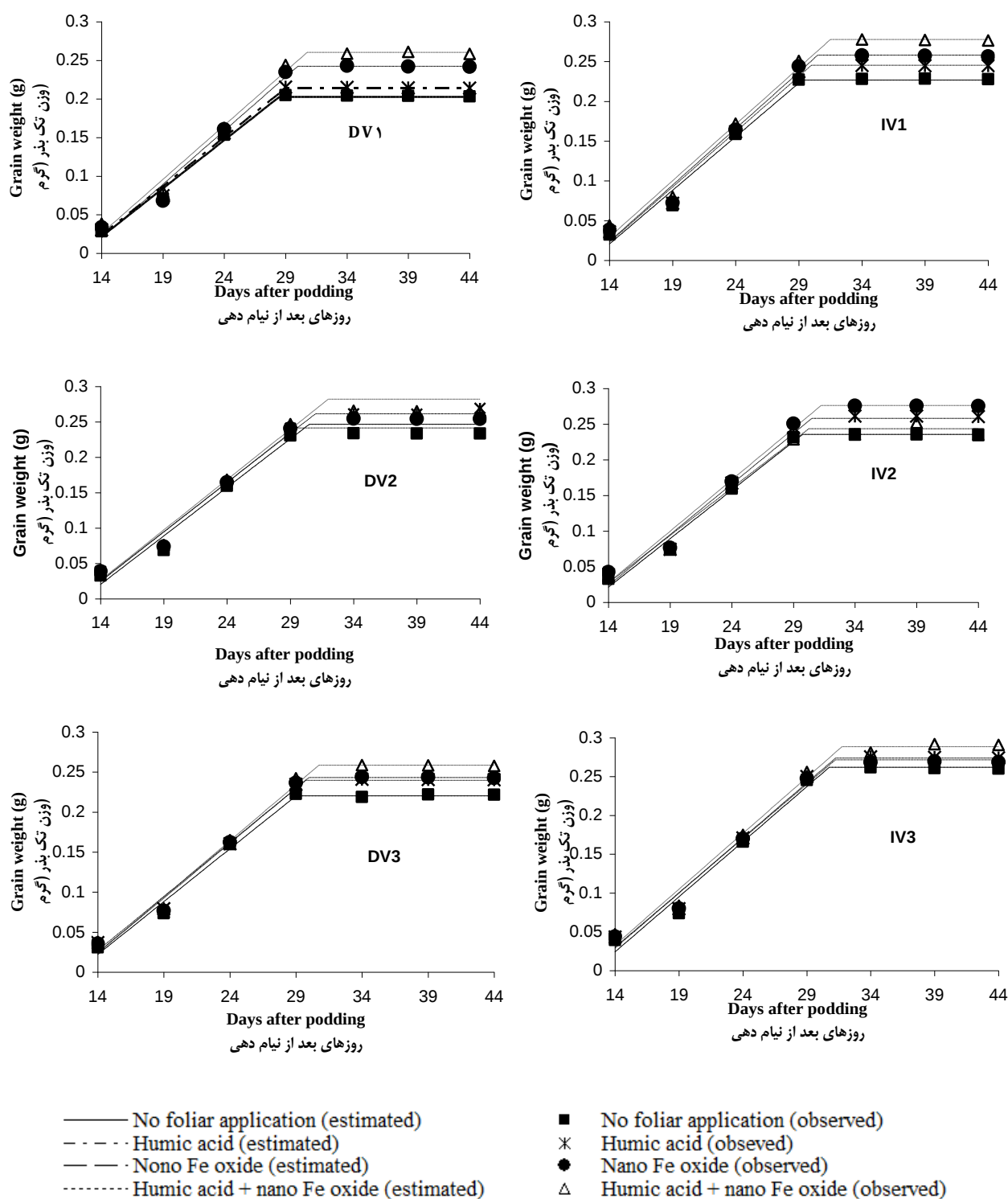
* میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم براساس آزمون LSD ندارند.

GY: عملکرد دانه، EGFP: دوره مؤثر پر شدن دانه، GFR: سرعت پر شدن دانه، GFP: طول دوره پر شدن دانه، MGW: حداکثر وزن دانه

D and I: are rain-fed and supplementary irrigation at flowering stage, respectively. V1, V2 and V3: are no application and application of 4 and 8 ton/ha vermicompost. M1, M2, M3 and M4: are foliar application with water as control, foliar application of humic acid, nano iron oxide, foliar application nano iron and humic acid, respectively.

* Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

GFP: grain filling period, GFR: grain filling rate, EGFP: effective grain filling period, GY: grain yield



شکل ۱- تأثیر ورمی کمپوست و محلول پاشی اسید هیومیک و نانواکسید آهن بر روند تغییرات پر شدن دانه نخود در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی D و I: به ترتیب شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در مرحله گل دهی؛ V1، V2 و V3 به ترتیب عدم کاربرد و کاربرد چهار و هشت تن در هکتار ورمی کمپوست.

Figure 1- Effects of humic acid and nano iron oxide foliar application and vermicompost on trend of changes of grain filling of chickpea under rainfed and supplementary irrigation

D and I are rainfed and supplementary irrigation conditions, respectively. V1, V2 and V3 are no application and application of 4 and 8 ton vermicompost ha^{-1} .

مینگ و همکاران (Meng, Yu, Zhao, Zhang, & Shi, 2017) اظهار داشتند که آبیاری در مراحل حساس رشدی می‌تواند از طریق افزایش سرعت فتوسنتز موجب افزایش اجزای پر شدن دانه و انتقال بیشتر ماده خشک تولیدی به سمت دانه‌ها شود. بخش دیگری از بهبود اجزای پر شدن دانه در کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش به همراه آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی می‌تواند به اثر این تیمارها بر افزایش شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی (جدول ۶) نسبت داده شود. از آنجایی که کاهش عدد شاخص کلروفیل می‌تواند نتیجه تخریب کلروفیل به واسطه محدودیت آبی باشد که به کاهش فتوسنتز خالص منجر می‌شود، از این رو به نظر می‌رسد که آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی با تعدیل بخشی از کاهش نزولات و افزایش دمای محیط در مرحله پر شدن دانه (جدول ۲) و همچنین کاربرد ورمی کمپوست به دلیل دسترسی به عناصر غذایی مؤثر در سنتز کلروفیل مانند نیتروژن و منیزیم (جدول ۲)، و نانو اکسید آهن به دلیل نقش کلیدی این عنصر در بیوسنتز کلروفیل، توسعه کلروپلاست و بهبود فتوسنتز (Feng et al., 2022)، موجب می‌شود که میزان آسمیلاسیون و نقل و انتقال مواد به دانه افزایش یافته و بدیهی است که تحت چنین شرایطی اجزای پر شدن دانه افزایش می‌یابد. جهانگیری نیا و همکاران (Jahangiri Nia, Syadat, Koochakzadeh, Sayyahfar, & Moradi Telavat, 2016) اظهار داشتند که کاربرد ورمی کمپوست با افزایش قابلیت جذب آب و دسترسی بهتر به عناصر غذایی توسط گیاه، موجب افزایش شاخص سبزیگی، طولانی کردن دوره انتقال مواد فتوسنتزی به دانه، افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نهایت عملکرد دانه سویا (*Glycine max* L.) شد. همچنین اسید هیومیک با قدرت کلات‌کنندگی عناصر غذایی و با کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه، قرار دادن آب و مواد غذایی بیشتر و مناسب‌تر در اختیار گیاه، می‌تواند با افزایش ساخت رنگیزه‌ها و بهبود فتوسنتز و متابولیسم گیاهی، انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه آسان‌تر کرده و با بهبود شرایط منبع، موجب دسترسی بهتر مواد پرورده به سمت دانه و افزایش وزن دانه شود (Sabouri, Siroosmehr, & Gorgini, 2017).

تعداد دانه در غلاف و غلاف در بوته: تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر سطوح آبیاری، ورمی کمپوست و محلول‌پاشی با نانو اکسید آهن و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی، تعداد غلاف در بوته را در مقایسه با شرایط دیم ۲۷/۲ درصد افزایش داد (جدول ۶). به نظر می‌رسد که دلیل اصلی کاهش تعداد غلاف در بوته تحت شرایط دیم، ناشی از افزایش دمای محیط و کاهش نزولات در مرحله گل‌دهی (جدول ۲) باشد که با ایجاد محدودیت در فرآیند فتوسنتزی و تولید مواد مورد نیاز برای بقاء گل و

غلاف در طول دوره گل‌دهی، موجب عقیم شدن گل‌ها و ریزش آن‌ها تحت چنین شرایطی شده است. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان مبنی بر کاهش تعداد غلاف در بوته ژنوتیپ‌های مختلف نخود تحت تنش آبی گزارش شده است (Rahman & Uddin, 2000). کاربرد مقادیر چهار و هشت تن در هکتار ورمی کمپوست نیز، تعداد غلاف در بوته را به ترتیب ۱۶/۹ و ۳۰/۷ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش داد. همچنین محلول‌پاشی توأم نانو اکسید آهن و اسید هیومیک، تعداد غلاف در بوته را ۲۸/۷ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایش داد. تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت و به نظر می‌رسد که علت عدم تأثیرپذیری این صفت، آن است که این صفت بیشتر تحت کنترل عوامل ژنتیکی و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد.

عملکرد کمی و کیفی دانه: اثر ترکیب تیماری هر سه عامل آبیاری، کاربرد ورمی کمپوست و محلول‌پاشی با نانو اکسید آهن و اسید هیومیک بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر عملکرد دانه (۹۴۲/۲ کیلوگرم در هکتار) در ترکیب تیماری آبیاری تکمیلی با کاربرد ورمی کمپوست و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و اسید هیومیک به دست آمد که در مقایسه با شرایط دیم و عدم کاربرد ورمی کمپوست و نانو اکسید آهن و اسید هیومیک، از افزایش ۵۶/۸ درصدی برخوردار بود (جدول ۸). تحت شرایط دیم، کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش از افزایش ۳۸/۴ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با عدم کاربرد این تعدیل‌کننده‌های تنش تحت چنین شرایطی برخوردار بود (جدول ۸). همچنین بدون در نظر گرفتن کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش، آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی به‌تنهایی عملکرد دانه را ۱۵/۲ درصد در مقایسه با شرایط دیم افزایش داد (جدول ۸). بخشی از کاهش عملکرد دانه در شرایط دیم می‌تواند از کاهش نزولات و افزایش دمای هوا در طول دوره رشدی به‌خصوص دوره پر شدن دانه ناشی شود (جدول ۲) که تحت چنین شرایطی اثرات ناشی از محدودیت آبی در زراعت دیم مضاعف شده و به دلیل کاهش اجزای دوره پر شدن دانه (جدول ۸)، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. بخش دیگری از بهبود عملکرد دانه تحت شرایط دیم با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش و انجام آبیاری تکمیلی می‌تواند با بهبود برخی صفات مؤثر همانند محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی (جدول ۶) و با افزایش تعداد غلاف در بوته مرتبط باشد. در این راستا، پژوهشگران اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی، کاربرد برخی تعدیل‌کننده‌های تنش همانند ورمی کمپوست به دلیل افزایش محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل و عملکرد کوانتومی (Heidarpour et al., 2020) و همچنین افزایش نگهداری آب در خاک مانع از ریزش اندام‌های زایشی و غلاف‌های

محدودیت آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌هایی است که آثار مخربی بر واکنش‌های مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه داشته و می‌تواند منجر به کاهش عملکرد می‌شود. در این راستا، انجام آبیاری تکمیلی در مراحل حساس رشدی گیاه نظیر مرحله گل‌دهی و کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش نظیر ورمی کمپوست، اسید هیومیک و نانواکسید آهن از جمله راهکارهایی است که می‌تواند به دلیل بهبود برخی صفات فیزیولوژیکی نظیر محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی و شاخص کلروفیل، به افزایش مقاومت گیاهان در برابر محدودیت آبی کمک نموده و از کاهش بیشتر عملکرد در شرایط تنش جلوگیری نماید. براساس نتایج این بررسی معلوم شد که کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش (نظیر ورمی کمپوست، اسید هیومیک و نانواکسید آهن) به تنهایی و یا توأم با یکدیگر قادر بودند که ضمن کمک به بهبود فرآیند گرزه‌زایی (افزایش وزن و تعداد گره در بوته) و برخی دیگر از صفات فیزیولوژیکی نظیر محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی و شاخص کلروفیل، به بهبود عملکرد کمی و کیفی دانه نخود کمک نمایند. به‌طوری‌که استفاده از آبیاری تکمیلی و کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی کمپوست و محلول‌پاشی با اسید هیومیک و نانواکسید آهن) عملکرد دانه را (۵۷ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش تحت شرایط دیم، افزایش داد. از این‌رو به استناد نتایج به‌دست‌آمده می‌توان انجام آبیاری تکمیلی به همراه کاربرد توأم تعدیل‌کننده‌های تنش را مناسب‌ترین ترکیب برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه پیشنهاد نمود، ضمن آنکه انجام آبیاری تکمیلی در دیگر مراحل رشدی نخود به همراه به‌کارگیری سایر تعدیل‌کننده‌های تنش برای ادامه کار پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدینوسیله نگارندگان وظیفه خود می‌دانند که مراتب سپاس و قدردانی خود را از مساعدت صمیمانه یکایک همکاران ارجمند در بخش‌های مختلف دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اعلام دارند.

جوان شده و تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته نخود را افزایش می‌دهد (Jat & Ahlawat, 2006). از طرفی، محدودیت آبی با کاهش تحرک برخی عناصر ریزمغذی ضروری در محتوای کلروفیل و فرآیند گرزه‌زایی ریشه نظیر آهن، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود، درحالی‌که کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش مانند ورمی کمپوست با فراهمی رطوبت در دسترس در طول دوره زایشی و یا محلول‌پاشی با اسید هیومیک (El-Hefny, 2010) از طریق افزایش فتوسنتز جاری و تشکیل گل‌های بیشتر در گیاه، ضمن افزایش تعداد غلاف در بوته (جدول ۶)، در افزایش عملکرد مؤثر خواهد بود. نتایج مشابهی نیز توسط سایر پژوهشگران مبنی بر افزایش عملکرد نخود دیم با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش گزارش شده است (Armin & Moslehi, 2012; Shabani & Armin, 2017). محتوای پروتئین دانه تحت تأثیر سطوح آبیاری، ورمی کمپوست و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی ۹/۲ درصد محتوای پروتئین را در مقایسه با شرایط دیم افزایش داد. روند مشابهی نیز مبنی بر افزایش ۳۰ و ۱۹/۹ درصدی محتوای پروتئین دانه به ترتیب با کاربرد مقادیر هشت و چهار تن ورمی کمپوست در هکتار به دست آمد. همچنین محلول‌پاشی توأم نانواکسید آهن و اسید هیومیک منجر به افزایش ۲۸/۷ درصدی محتوای پروتئین دانه نخود نسبت به عدم کاربرد اسید هیومیک و نانواکسید آهن شد (جدول ۶). کاهش شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی (جدول ۶) ناشی از افزایش دما و کاهش نزولات (جدول ۲) در زمان پر شدن دانه تحت شرایط دیم، می‌تواند با اختلال در فرآیند فتوسنتزی و انتقال آسمیلات‌ها به دانه، منجر به کاهش اجزای پر شدن دانه شود (جدول ۸)، ولی انجام آبیاری تکمیلی و به‌کارگیری تعدیل‌کننده‌های تنش، با افزایش اجزای پر شدن دانه (جدول ۸) می‌تواند به دلیل تأمین فرصت کافی برای سنتز و ذخیره محتوای پروتئینی دانه، موجب افزایش محتوای پروتئینی دانه نخود شود.

نتیجه‌گیری

References

- Abolfazli, B., Alikani, H. A., & Rejali, F. (2017). Evaluating synergistic effects of Arbuscular mycorrhizal fungi on symbiotic nitrogen fixation in lentil plant under water stress conditions. *Journal of Soil Biology*, 4(2), 123-134. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/SBJ.2017.109307>
- Armin, M., & Moslehi, J. (2012). Response of yield and yield components of chickpea to time and amount of humic acid. *Modern Science of Sustainable Agriculture Journal*, 4, 1-9. (in Persian with English abstract).
- Ayas, H., & Gulser, F. (2005). The effect of sulfur and humic on yield components and macronutrient contents of spinach. *Journal of Biological Sciences*, 5(6), 801-804. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.3923/jbs.2005.801.804>
- Baluchi, H.R., Amini, F., Movahedi Dehnavi, M., & Atarzadeh, M. (2016). Effect of different growing organic substrates on growth and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under heavy metals stress.

- Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(2), 57-72. (in Persian with English abstract).
5. Barzali, M., Nasri, M., & Karimifar, M. (2016). Effects of plant density on some growth and physiological responses and activity of antioxidant enzymes in chickpea. *Plant Physiology*, 11(43), 25-38. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.76712423.1395.11.43.3.0>
 6. Bakshi Moghadam, F., Mortazavi, S. A., Milani, E., & Hashemi, M. (2015). Evaluation of the diversity of nitrogen fractions and functional characteristics of chickpea protein isolate. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 5(4), 93-104. (in Persian with English abstract).
 7. DeSouza-Torres, A., Govea-Alcaide, E., Gómez-Padilla, E., Masunaga, S. H., Effenberger, F., Rossi, L. M., López-Sánchez, R., & Jardim, R. F. (2021). Fe₃O₄ nanoparticles and *Rhizobium* inoculation enhance nodulation, nitrogen fixation and growth of common bean plants grown in soil. *Rhizosphere*, 17, 100275. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100275>
 8. El-Hefny, E. M. (2010). Effect of saline irrigation water and humic acid application on growth and productivity of two cultivars of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(12), 6154-6168.
 9. Ellis, R. H., & Pieta-Filho, C. (1992). The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*, 2, 19-25. <https://doi.org/10.1017/S0960258500001057>
 10. Fahad, S., Ahmad, M., Akbar Anjum, M., & Hussain, S. (2014). The effect of micronutrients (B, Zn and Fe) foliar application on the growth, flowering and corm production of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) in calcareous soils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 1671-1682. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2014.16.7.10.6>
 11. Feng, Y., Kreslavski, V. D., Shmarev, A. N., Ivanov, A. A., Zharmukhamedov, S. K., Kosobryukhov, A., Yu, M., Allakhverdiev, S. I., & Shabala, S. (2022). Effects of iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄) on growth, photosynthesis, antioxidant activity and distribution of mineral elements in wheat (*Triticum aestivum*) plants. *Plants*, 11, 1-15. <https://doi.org/10.1071/FP23085>
 12. Goos, R. J., & Johnson, B. E. (2000). A comparison of three methods for reducing iron-deficiency chlorosis in soybean. *Agronomy Journal*, 92, 1135-1139. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.9261135x>
 13. Hadi, H., Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2016). *Phytoprotectants and Abiotic Stresses*. Uremia University Press. 342 pp.
 14. Hamzei, J., Seyedi, M., Azadbakht, A., & Fesahat, A. (2018). Effect of foliar application of iron on growth, nodulation and quantity and quality of yield of chickpea (*Cicer arietinum*) in Hamedan. *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(3), 427-444. (in Persian with English abstract).
 15. Heidarpour, O., Esmailpour, B., Soltani Toolarood, A., & Khorramdel, S. (2020). Effect of vermicompost on morphophysiological, biochemical and yield characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 12(3), 507-522. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V12I3.79634>
 16. Irmak, S., Nuran Cıl, A., Yucel, H., & Kaya, Z. (2012). The effects of iron application to soil and foliarly on agronomic properties and yield of peanut (*Arachis hypogaea*). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(3 & 4), 417-422. <https://doi.org/10.15316/SJAIFS.2022.025>
 17. Jahangiri Nia, E., Syadat, S. A., Koochakzadeh, A., Sayyahfar, M., & Moradi Telavat, M. R. (2016). The effect of vermicompost and mycorrhizal inoculation on grain yield and some physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water stress condition. *Journal of Agroecology*, 8(4), 583-597. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V8I4.51116>
 18. Jat, R. S., & Ahlawat, I. P. S. (2006). Direct and residual effect of vermicompost biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *Journal of Sustainable Agriculture*, 28, 41-56. https://doi.org/10.1300/J064v28n01_05
 19. Jiao, J., Chen, K., & Yi, C. (2010). Effects of soil moisture content on growth, physiological and biochemical characteristics of *Jatropha curcas* L. *Acta Ecologica Sinica*, 30, 4460-4466.
 20. Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., & Jalilian, J. (2018). Growth, physiological status, and yield of salt-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants affected by bio fertilizer and cystoclele applications, *Arid Land Research Management*, 23, 1-17. <https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1378282>
 21. Kheirizadeh Arough, Y., & Seyed Sharifi, R. (2018). Effects of bio fertilizers and zinc on yield, variations of quantum yield, stomatal conductance and some physiological traits of triticale (*Triticosecale*) under withholding conditions. *Journal of Process and Function*, 7(26), 57-74. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1397.7.26.14.3>
 22. Khosravi, H., Daneshvar, M., Hosseini, S. Z., & Mir, Y. (2015). Survey the effects of vermicompost and bio superabsorbent on yield components and physiological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology*, 8(26), 215-229. (in Persian with English abstract).
 23. Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., & Basile, N. (2010). Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil*, 33(1), 65-71. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0176-x>

24. Kreslavskia, V. D., Shmarev, A. N., Ivanova, A., Zharmukhamedov, S. K., Strokina, V., Kosobryukhov, A., Yu, M., Allakhverdiev, S. I., & Shabala, S. (2023). Effects of iron oxide nanoparticles (Fe_3O_4) and salinity on growth, photosynthesis, antioxidant activity and distribution of mineral elements in wheat (*Triticum aestivum*). *Functional Plant Biology*, 50(11), 932-940. <https://doi.org/10.1071/fp23085>
25. Maccarthy, P. (2001). The principles of humic substances. *Soil Science*, 166, 738-751.
26. Mehraban, A. (2017). Effect of foliar application of iron on yield, yield component, and grain protein of lentil crop. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 12(45), 27-37. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.76712423.1396.12.45.3.1>
27. Meng, W., Yu, Z., Zhao, J., Zhang, Y., & Shi, Y. (2017). Effects of supplemental irrigation based on soil moisture levels on photosynthesis, dry matter accumulation, and remobilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Plant Production Science*, 20, 215-226. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2017.1302307>
28. Mohammadi, M., Roozrokh, M., & Talebi, R. (2015) Effect of supplemental irrigation and iron spraying on chickpea genotypes in Kermanshah. *Journal of Plant Ecophysiology*, 8(27), 113-103. (in Persian with English abstract).
29. Najarian, D., Ghonudi, F., Masoud Sinaki, J., & Valaei, G. (2016). Effect of water stress and vermicompost fertilizer on yield and yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Crop Physiology*, 8(29), 59-72. (in Persian with English abstract).
30. Namvar, A., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Asghari Zakaria, R., Khandan, T., & Eskandarpour, B. (2011). Study on the effects of organic and inorganic nitrogen fertilizer on yield, yield components, and nodulation state of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(9), 1097-1109. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.562587>
31. Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Aminzadeh, G. (2018) Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Journal of Plant Biology*, 10, 21-40. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.110895.1098>
32. Nazari, G., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2021). Effect of mycorrhiza, vermicompost and nano silicon on agronomic and physiological traits of triticale under different intensities drought stress. *Journal of Crop Production*, 14(4), 21-45 (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/EJCP.2022.18925.2413>
33. Nikbakht, A., Mohseni, K., Mesbah, B., Xia, Y. P., Ancheng, L., & Nemat, E. (2008). Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake and post harvest life of gerbera. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 2155-2167. <https://doi.org/10.1080/01904160802462819>
34. Oftadeh Fadafen, A., Aminifard, M. H., Behdani, M. A., & Moradinezhad, F. (2018). Evaluation of 44 nitroxin and vermicompost on quantitative characteristics and photosynthetic pigments of 45 saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research (semi-annual)*, 5(2), 163-179 (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/jsr.2017.320.1013>
35. Ouk, M., Shu, F., Ken, F., Jaya, B., Mark, C., & Harry, N. (2003). *Routine selection for drought resistance in rain fed lowland rice (Oryza sativa L.) in Cambodia*. In: Proceedings of the International Conference on Research on Water in Agriculture, CARDI, Cambodia, 25-29.
36. Pashnezhad, F., Majid Hervan, A., Nourmohammadi, A., Sayyadat A., & Wazan, S. (2010). Evaluation of the effect of drought stress on effective traits on the accumulation of materials in grain of different wheat cultivars. *Agricultural Science*, 13, 149-137.
37. Rahman, S. M., & Uddin, A. S. M. (2000). Ecological adaptation of chickpea to water stress. *Legume Research*, 23, 1-8.
38. Ronanini, D., Savin, R., & Hal, A. J. (2004). Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Research*, 83, 79-90. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00064-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00064-9)
39. Sabouri, F., Siroosmehr, A. R., & Gorgini Shabankareh, H. (2017). Effect of irrigation regimes and humic acid solution on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Iranian Journal of Plant Biology*, 9(34), 13-24. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/IJPB.2018.22437>
40. Sam Dalire, M., Seyed Sharifi, R., & Esmaelpour, B. (2010). *Pulses Agronomy*. Islamic Azad University Press, Iran. pp. 282. (in Persian).
41. Samiran, R., Kusum, A., Biman, K. D., & Ayanadar, A. (2010). Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. *Applied Soil Ecology*, 45, 78-84. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.02.004>
42. Shabani, R., & Armin, M. (2017). The effect of foliar application of urea and humic acid in rain-fed conditions on yield and yield components of chickpea. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 1(1), 77-88. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2423611.1396.1.1.7.4>
43. Soltani, A. (1998). *Application of SAS statistical analysis (in Agriculture)*. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. 188 pp. (in Persian).

44. Soltani, A., Hajjar Pour, A. & Vadez, V. (2016) Analysis chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Filed Crops Research*, 185, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.015>
45. Stone, L. R., Schlegel, A. J. (2006). Yield–water supply relationships of grain sorghum and winter wheat. *Agronomy Journal*, 98, 1359-1366. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0042>
46. Talebi, R., Ensafi, M. H., Baghbani, N., Karami, E., & Mohammadi, K. H. (2013). Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes to drought stress. *Environmental and Experimental Biology*, 11, 9-15
47. Theunissen, J., Ndakidemi, P. A., & Laubscher, C. P. (2010). Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of Physiological Science*, 5(13), 1964-1973.
48. Tuba Bicer, B., Narin Kolenderand, A., & Akar, D. A. (2004). The effect of irrigation on spring-sown chickpea. *Journal of Agronomy Asian Network for Scientific Information*, 3, 154-158. <https://doi.org/10.3923/ja.2004.154.158>
49. Yang, J., & Zhang, J. (2006). Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist*, 169, 223-236. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01597.x>
50. Yordanov, I., Velikova, V., & Tsonev, T. (2003). Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology, Special Issues*, 187-206.

Contents

Research Articles

- Effect of Planting Methods and Water Consumption on Quantitative and Qualitative Traits of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)** 1
F. Mashhadi, H. R. Khazaei, M. R. Ramazani Moghaddam
- The Effect of Using Salicylic Acid and Sodium Nitroprusside on the Physiological Characteristics of Henna (*Lawsonia inermis* L.) under Drought Stress** 19
F. Chamani, H. Farahbakhsh, M. N. Alavi, A. Pasandi Pour
- The Effect of Cytokinin Spraying and Harvest Cutting on Essential Oil Production and Growth Characteristics of Thyme (*Thymus vulgaris* L.)** 31
Y. Norouzi, M. Ghobadi, M. Saeidi, D. Kahrizi, H. Dogan
- The Outlook for Food Security in Razavi Khorasan Province (2024-2033) from the Perspective of Crop Products (Based on Water Capacity)** 45
A. Keshavarz, A. Zarea Feizabadi, F. Yaghoubi
- The Effect of Seaweed Extract Foliar Application on the Growth and Yield of Different Genotypes of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)** 65
H. Najafi, A. Mohamadi, M. Bagheri
- Investigating the Effect of U46 Combi Fluid and Bromicide MA Herbicides in Different Growth Stages of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) on Weeds Control and Yield of Dryland Wheat** 77
S. Porheidar Ghafarbi, J. Jafarzadeh, G. R. Gahramanian, M. Kohestani
- Effects of Supplementary Irrigation and some Stress Modifiers (Vermicompost, Nano Iron Oxide, and Humic Acid) on Grain Filling Components, Nodulation and Grain Yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Rainfed Conditions** 91
R. Seyed Sharifi, R. Seyed Sharifi

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 23

No. 1

2025

Publisher	Ferdowsi University of Mashhad
Managing	P. Rezvani Moghaddam (Agroecology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Editor- in-chief	H.R. Khazaei (Crop Physiology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

AghaAlikhani, M.	Department of Cultivation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Ehsanzadeh, P.	Department of Agronomy & Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
Emam, Y.	Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran
Bagheri, A.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Behdani, M.A.	Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
Banayan Awal, M.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Jami Alahmadi, M.	Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
Raei, Y.	Department of Plant Eco physiology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
Rahimian-Mashhadi, H.	Department of Agriculture, Tehran University, Iran
Zamani, Gh.R.	Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
Zare- Feizabadi, A.	Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province, Iran
Shahriari-Ahmadi, F.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Kafi, M.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Nezami, A.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Khazaei, H.R.	Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Eyshi Rezaei, E.	Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research: Müncheberg, Brandenburg, Germany
Lashakri, A.	Crop modeling
Bazrgar, A.B.	John Innes Centre, Norwich Research Park, Norwich, UK
	School of Environmental Sciences, University of Guelph, Canada

Address: Iranian Journal of Field Crops Research Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture
Mashhad, Iran

P.O. Box: 91775-1163

Email: cesc@um.ac.ir

Web Site: <https://jcesc.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol.23 No.1

2025

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Research Articles

- Effect of Planting Methods and Water Consumption on Quantitative and Qualitative Traits of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)** 1
F. Mashhadi, H. R. Khazaei, M. R. Ramazani Moghaddam
- The Effect of Using Salicylic Acid and Sodium Nitroprusside on the Physiological Characteristics of Henna (*Lawsonia inermis* L.) under Drought Stress** 19
F. Chamani, H. Farahbakhsh, M. N. Alavi, A. Pasandi Pour
- The Effect of Cytokinin Spraying and Harvest Cutting on Essential Oil Production and Growth Characteristics of Thyme (*Thymus vulgaris* L.)** 31
Y. Norouzi, M. Ghobadi, M. Saedi, D. Kahrizi, H. Dogan
- The Outlook for Food Security in Razavi Khorasan Province (2024-2033) from the Perspective of Crop Products (Based on Water Capacity)** 45
A. Keshavarz, A. Zarea Feizabadi, F. Yaghoubi
- The Effect of Seaweed Extract Foliar Application on the Growth and Yield of Different Genotypes of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)** 65
H. Najafi, A. Mohamadi, M. Bagheri
- Investigating the Effect of U46 Combi Fluid and Bromicide MA Herbicides in Different Growth Stages of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) on Weeds Control and Yield of Dryland Wheat** 77
S. Porheidar Ghafarbi, J. Jafarzadeh, G. R. Gahramanian, M. Kohestani
- Effects of Supplementary Irrigation and some Stress Modifiers (Vermicompost, Nano Iron Oxide, and Humic Acid) on Grain Filling Components, Nodulation and Grain Yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Rainfed Conditions** 91
R. Seyed Sharifi, R. Seyed Sharifi