

Investigation of the effect of year and plant density on some growth traits, biochemical characteristics, and essential oil content of medicinal plant cumin (*Cuminum cyminum* L.) under irrigation at different growth stages

**Abolfazl Sardashti-Nehi¹, Hamidreza Ganjali^{1*}, Hamidreza Mobaser¹,
Hamidreza Fanai², Ahmad Mehraban¹**

¹ Agriculture Department, Faculty of Agriculture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran,
Email: hr.ganjali@yahoo.com

² Seed and Plant Improvement Research Institute, Karaj, Iran

Article type:	Abstract
Research article	This study aimed to evaluate the quantitative and qualitative responses of cumin (<i>Cuminum cyminum</i> L.) to irrigation at different growth stages and varying plant densities. A split-plot design based on a randomized complete block design with three replications was employed. The main plots consisted of five irrigation treatments applied during different phenological stages: irrigation during the vegetative, flowering, and seed-filling stages (control treatment I ₁); irrigation during the vegetative and flowering stages (treatment I ₂); irrigation during flowering and seed-filling stages (treatment I ₃); irrigation only during the flowering stage (treatment I ₄); and no irrigation (treatment I ₅). The secondary factor was plant density, tested at three levels: 30, 50, and 100 plants per square meter. One week after applying the irrigation treatment during the seed-filling stage, leaf samples were randomly collected to measure physiological traits, including photosynthetic pigments and proline, from the youngest leaf in each plot. Further sampling to assess growth traits and yield components was conducted randomly, avoiding marginal effects, after physiological maturity in early July. The essential oil content of the fruits was extracted and measured using the water distillation method with a Clevenger apparatus. Fruit yields across the treatments ranged from an average of 107.4 to 692 kg/ha. The highest cumin seed yield was recorded at a density of 50 plants/m ² under the I ₃ irrigation treatment in the first year. Essential oil content varied from 0.96% to 5.44%, with the highest percentage achieved at plant densities of 30 and 50 plants/m ² under the I ₄ irrigation treatment in the first year. The maximum total chlorophyll content was observed at a density of 50 plants/m ² under the I ₂ treatment (24.74 µg/g FW) and at 100 plants/m ² under the I ₁ treatment (22.6 µg/g FW). In conclusion, to achieve optimal quantitative and qualitative yields in cumin, it is recommended to cultivate cumin at a density of 50 plants/m ² with irrigation applied during the vegetative (stem elongation) and flowering stages.
Article history	
Received: 2024/07/17	
Revised: 2025/02/02	
Accepted: 2025/02/08	
Keywords	
Essential oil	
Proline	
irrigation interval	
photosynthetic pigments	
growth stages	

Cite this article as: Sardashti-Nehi, A., Ganjali, H.R., Mobaser, H.R., Fanai, H.R., Mehraban A. (2025). Investigation of the effect of year and plant density on some growth traits, biochemical characteristics, and essential oil content of medicinal plant cumin (*Cuminum cyminum* L.) under irrigation at different growth stages. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 12(4): 11-30.

بررسی اثر سال و تراکم بوته بر برخی صفات رشدی، بیوشیمیایی و محتوای اسانس گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت شرایط آبیاری در مراحل مختلف رشد

ابولفضل سردشتی نهی^۱، حمیدرضا گنجعلی^{۱*} , حمیدرضا مبصر^۱، حمیدرضا فنایی^۲، احمد مهربان^۱

^۱ گروه کشاورزی، دانشکده کشاورزی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران، رایانامه: hr.ganjali@yahoo.com

^۲ موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

پژوهشی با هدف ارزیابی پاسخ‌های کمی و کیفی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) به آبیاری در مراحل مختلف رشدی و تراکم بوته به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در طی دو سال زراعی اجرا شد. آبیاری در مراحل فنولوژیکی مختلف در پنج سطح، آبیاری در مراحل ساقه‌دهی، گلدهی و دانه‌بندی (I₁)، آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و گلدهی (I₂)، آبیاری در مرحله دانه‌بندی و دانه‌بندی (I₃)، آبیاری در مرحله گلدهی (I₄) به همراه عدم آبیاری (I₅) در کرت‌های اصلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. عامل فرعی در این آزمایش تراکم بوته در سه سطح ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع بود. پس از گذشت یک هفته بعد از اعمال تیمار آبیاری در مرحله دانه‌بندی، نمونه‌گیری از جوان‌ترین برگ در هر کرت به صورت تصادفی انجام شد. استخراج و اندازه‌گیری اسانس میوه از نمونه‌های خشک شده به روش تقطیر با آب با استفاده از کلونجر انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد میوه زیره سبز در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در آبیاری I₃ در سال اول آزمایش مشاهده شد. محتوای اسانس از ۰/۹۶ درصد تا ۵/۴۴ درصد متغیر بود. کاشت زیره سبز با تراکم ۳۰ و ۵۰ بوته در مترمربع به همراه تیمار آبیاری در مرحله گلدهی در سال اول آزمایش منجر به ایجاد بالاترین میانگین درصد اسانس شد. بیشترین محتوای کلروفیل کل در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع تحت تیمار آبیاری I₂ (۲۴/۷۴ و ۱۶/۵۶ میکروگرم بر گرم وزن تر) و تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع در تیمار آبیاری I₁ (۲۲/۶ و ۱۴/۲۵ میکروگرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد. به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به منظور دستیابی به عملکرد کمی و کیفی در گیاه زیره سبز کشت این گیاه با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و همچنین دو مرحله آبیاری در مراحل رشد رویشی (ساقه‌دهی) و گلدهی قابل توصیه می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰

واژه‌های کلیدی:

اسانس

پروлін

دور آبیاری

رنگیزه‌های فتوسنتزی

مراحل رشد.

استناد: سردشتی نهی، ابولفضل؛ گنجعلی، حمیدرضا؛ مبصر، حمیدرضا؛ فنایی، حمیدرضا؛ مهربان، احمد. (۱۴۰۳). بررسی اثر سال و تراکم

بوته بر برخی صفات رشدی، بیوشیمیایی و محتوای اسانس گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت شرایط

آبیاری در مراحل مختلف رشد. فصلنامه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی، ۱۲(۴)، ۳۰-۱۱.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

Doi: <https://doi.org/10.71847/ejmp.2025.1126639>

© نویسندگان.



در گیاهان دارویی تولید و بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه همچون اسانس تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار می‌گیرد. تنش خشکی یا کم‌آبی از بین عوامل محیطی، مهم‌ترین عامل در بیوسنتز ترکیبات ثانویه محسوب می‌شود (Alavi Samani et al., 2021). تنش خشکی از مؤثرترین تنش‌های غیرزیستی است که بر رشد، عملکرد گیاهان اثرگذار است و منجر به تغییرات فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی داخل گیاه می‌شود (Afshari et al., 2022). زیره سبز گیاهی معطر است که با شرایط خشکی یا تنش‌های کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشدی سازگار است. گزارش‌ها حاکی از آن است که گیاهان ممکن است تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را به دلیل تنش خشکی تجربه کنند (Noori et al., 2022). تنش خشکی می‌تواند به زنجیره انتقال الکترون آسیب برساند که منجر به افزایش گونه‌های فعال اکسیژن به‌عنوان محصول فرعی الکترون می‌شود. انتقال در کلروپلاست‌ها، میتوکندری‌ها، پراکسی‌زوم‌ها و غشاهای پلاسمایی را مختل می‌کند. هنگامی که سلول‌های گیاهی تحت تنش هستند، رادیکال‌های آزاد برای پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک بسیار مضر بوده و در نهایت منجر به آسیب سلولی و مرگ می‌شوند (Shafiee-Adib et al., 2020). در مطالعات مختلفی اثرات منفی تنش کم‌آبیاری یا خشکی بر عملکردی و اجزای عملکردی و همچنین تغییر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه زیره سبز گزارش شده است (Shafiee-Adib et al., 2020; Noori et al., 2022). پژوهشگران بیان داشتند که تنش خشکی منجر به افزایش محتوای اسانس و کاهش عملکرد اسانس در گیاه زیره سبز شد (Rahghoshahi et al., 2022). علاوه بر این گزارش شد که تعداد چتر در بوته، وزن هزار میوه، عملکرد میوه، بیولوژیک و

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)، گیاهی یکساله، علفی و از خانواده چتریان (Apiaceae) است که غنی از متابولیت‌های ثانویه معطر می‌باشد (Hazrati et al., 2021; Mohammed et al., 2024). از این گیاه در تهیه و درمان داروهای ضد صرع، ضد نفخ، سوءهاضمه و ضد تشنج استفاده می‌شود. زیره سبز در داخل کشور، تنهاترین زیره زراعی محسوب می‌شود که بعد از فلفل سیاه پرکاربردترین ادویه جهان می‌باشد و یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی صادراتی محسوب می‌شود. براساس آخرین آمارنامه جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۱، سطح زیر کشت آن ۲۰ هزار و ۷۲۵ هکتار با تولیدی معادل ۱۲ هزار و ۴۳۵ تن می‌باشد (Anonymous, 2020; Bayati et al., 2020). از مزیت‌های کشت و کار این گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که اغلب دچار تنش خشکی در مراحل رشدی گلدهی تا دانه‌بندی هستند، می‌توان به نیاز آبی کم، دوره رشد کوتاه و ارزش اقتصادی بالا اشاره کرد (Ghalibaf et al., 2020; Moslemi et al., 2023). براساس مطالعات انجام شده میزان اسانس در بذر زیره سبز از دو تا پنج درصد متغیر بوده که مهم‌ترین ترکیبات اسانس آلفا و بتا-پینن (α -Pinene and β -Pinene)، آلفا و بتا-فلاندرن (α -Phellandrene and β -Phellandrene)، اوژنول (Eugenol)، پاراسیمن (p-Cymene) و میرسن (Myrcene) می‌باشند (Hazrati et al., 2021). قسمت‌های رویشی گیاه همچنین حاوی فلاونوئیدها و همچنین ترکیبات فنلی و آنتوسیانین است که می‌توانند به‌عنوان آنتی‌اکسیدان طبیعی مورد استفاده قرار گیرند و علاوه بر این، دفاع سلولی را در برابر آسیب‌های اکسیداسیون به اجزای سلول افزایش می‌دهند (Alinian et al., 2016; Sanaei-Hoveida et al., 2024).

اسانس در گیاه زیره در اثر افزایش شدت تنش خشکی، کاهش معنی داری داشتند (Ghalibaf et al., 2020; Moslemi et al., 2023).

از مهم ترین عوامل به زراعی که می تواند عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی را تحت تأثیر قرار دهد، می توان به تراکم و تاریخ کاشت، آبیاری، علف های هرز و شرایط اقلیمی اشاره کرد (Bghbani-Arani and Poureisa, 2024). تراکم کاشت یکی از مهم ترین عوامل اثرگذار بر عملکرد دانه در گیاهان و از عوامل مهم در مبارزه با علف های هرز می باشد (Karydogianni et al., 2022). با توجه به ژنتیک گیاه، شرایط آب و هوایی، روش تکثیر و حاصلخیزی خاک، تراکم مطلوب برای هر منطقه متفاوت خواهد بود (Tahmasebi et al., 2020). پژوهشگران بیان داشتند که افزایش تراکم کاشت در گیاه زیره تحت شرایط تنش خشکی، منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شد (Aryafar et al., 2021). تغییر تراکم کاشت میزان دسترسی به منابع آب توسط ریشه، مراحل مختلف رشد گیاه و همچنین طول فصل رشد را تغییر دهد (Ghalibaf et al., 2020). این پژوهشگران همچنین گزارش کردند که افزایش تراکم بوته در واحد سطح تحت شرایط تنش خشکی متوسط و همچنین در کشت های دیر هنگام، منجر به افزایش کارایی مصرف آب و تعدیل اثرات منفی ناشی از تنش بر روی عملکرد میوه در گیاه زیره سبز شد. تعیین میزان تراکم مطلوب در شرایط تنش کم آبیاری با توجه به یافته های مطالعات پیشین ضروری به نظر می رسد. در این راستا، گزارش شد که کاهش تراکم کاشت در گیاه زیره به دلیل وجود رقابت کمتر، کارایی مصرف و جذب عناصر را افزایش نداد (Ghaderi et al., 2016). در این پژوهش، با فرض اینکه تراکم کاشت و رژیم های آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه زیره سبز می تواند بر ویژگی های

رشدی، عملکردی و بیوشیمیایی آن تأثیر بگذارد، به بررسی این موضوع پرداخته شده است. هدف اصلی این تحقیق، تعیین تراکم بهینه کاشت و دوره های آبیاری مناسب برای حداکثر عملکرد و کیفیت محصول زیره سبز در شرایط تنش آبی است. به عبارت دیگر، این پژوهش به دنبال یافتن پاسخی برای این سوال است که چگونه می توان با مدیریت مناسب تراکم کاشت و آبیاری، عملکرد و کیفیت محصول زیره سبز را در شرایط محدودیت آبی بهینه کرد

مواد و روش ها

مواد آزمایشی و روش اجرای آزمایش: به منظور ارزیابی اثر رژیم های مختلف آبیاری در مراحل مختلف رشدی بر برخی صفات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و ترکیبات اسانس گیاه زیره سبز تحت تراکم های مختلف بوته، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان (زهک، با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۴۸۳ متر از سطح دریا) در طی دو سال زراعی اجرا شد. بر اساس طبقه بندی اقلیمی، سیستان دارای آب و هوای بیابانی و بر اساس نوع اقلیمی Koppen دارای آب و هوای خشک و گرم با تابستان های خشک است. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار انجام شد که در آن رژیم های آبیاری بر اساس انجام آبیاری در مراحل فنولوژیکی مختلف در پنج سطح شامل: آبیاری در مراحل ساقه دهی، گلدهی و دانه بندی (شاهد) (I₁)، آبیاری در مرحله ساقه دهی و گلدهی (I₂)، آبیاری در مرحله گلدهی و دانه بندی (I₃)، آبیاری در مرحله گلدهی (I₄) به همراه عدم آبیاری (I₅) در کرت های اصلی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

عامل فرعی در این آزمایش میزان تراکم بوته در سه سطح ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع بود. قبل از کاشت نمونه برداری از خاک انجام و آنالیز فیزیکی و شیمیایی آن صورت گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۱ ارائه شده که براساس آن عناصر غذایی به خاک اضافه شد. هر کرت فرعی شامل ۱۲ خط کاشت با فاصله ردیف ۲۰ سانتی متری و طول سه متر و سطح ۷/۲ مترمربع بود. کاشت ابتدا با میزان بذر (اکوتیپ سیستان) بالا به شیوه دستی انجام (در اواسط اسفند) و در زمان چهار تا شش برگی اقدام به تنک بر اساس تراکم های بوته تعریف شده صورت گرفت. فاصله هر کرت فرعی در بلوک ۱/۵ متر و در بین بلوک ها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد تا از انتقال و نشست زیرزمینی آب آبیاری از کرت ها به همدیگر ممانعت شود. قبل از کاشت جهت افزایش درصد جوانه زنی، بذور به مدت ۲۴ ساعت در آب جاری قرار داده شد تا مواد بازدارنده جوانه زنی حل شده و از بین برود. اعمال تیمارهای آبیاری برای هر کرت، فقط در مرحله نموی مورد نظر به صورت یکبار و غرقابی انجام شد. تعیین مرحله نموی برای هر کرت نیز به صورت

چشمی و حصول ۵۰ درصد بوته های هر کرت به مرحله نموی مورد نظر صورت گرفت. **اندازه گیری صفات فیزیولوژیک:** پس از گذشت یک هفته بعد از اعمال تیمار آبیاری در مرحله دانه بندی، نمونه گیری برگ، از جوان ترین برگ در هر کرت به صورت تصادفی انجام و برای اندازه گیری صفات فیزیولوژیک (رنگبزه های فتوستتزی و پرولین) در داخل نیتروژن مایع به آزمایشگاه انتقال در داخل فریزر ۸۰- درجه سانتی گراد نگهداری شد. بعد از رسیدگی فیزیولوژیک (اوایل تیرماه) نمونه گیری برای اندازه گیری صفات رشدی و اجزای عملکرد به صورت تصادفی و با حذف اثر حاشیه، به تعداد پنج بوته در هر کرت انجام و صفات ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در بوته و وزن هزار میوه (با استفاده از ترازوی ۰/۰۰۱ گرم) اندازه گیری شد. بعد از رسیدگی فیزیولوژیک (اوایل تیرماه)، عملکرد میوه در واحد سطح (یک مترمربع) با حذف اثرات حاشیه ای محاسبه و در نهایت شاخص برداشت از تقسیم عملکرد میوه به عملکرد بیولوژیک به صورت درصد تعیین گردید (Noori et al., 2022).

جدول ۱: برخی ویژگی های فیزیکو-شیمیایی خاک (صفر-۳۰ سانتی متر) آزمایش در طی سال های آزمایش

سال دوم	سال اول	
۰-۳۰	۰-۳۰	عمق نمونه برداری (cm)
لوم شنی	لوم شنی	بافت
۱/۲۲	۱/۲۰	هدایت الکتریکی (dS/m)
۰/۴۹	۰/۴۴	کربن آلی (%)
۰/۲۳	۰/۱۷	نیتروژن (mg/soil kg)
۸/۷۵	۹/۲	فسفر (mg/soil kg)
۳۳۳	۳۲۵	پتاسیم (mg/soil kg)
۶/۹۴	۶/۸	سدیم (mg/L)
۸/۸۸	۹/۴	منیزیم (mg/L)

شده) بدین صورت انجام شد که ۰/۲ گرم از نمونه با پنج میلی لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی همگن

اندازه گیری کلروفیل کل: اندازه گیری محتوای کلروفیل کل از نمونه های برگ برداشت شده (فریزر

$$= \text{میکرومول پرولین در گرم وزن تر} \\ \left(\frac{\mu\text{g prolin}}{\text{ml}} \frac{\text{ml toluen}}{115.5 \left(\frac{\mu\text{g}}{\mu\text{mol}} \right)} \right) / \frac{\text{g sample}}{5}$$

اندازه‌گیری درصد و عملکرد اسانس: برای استخراج و اندازه‌گیری اسانس میوه از نمونه‌های خشک شده به مقدار ۳۰ گرم پس از آسیاب کردن و با به روش تقطیر با آب (به مدت سه ساعت) با استفاده از کلونجر انجام شد. در ادامه با استفاده از سولفات سدیم اسانس رطوبت‌زادایی شد و در آخر مقدار اسانس با ترازوی ۰/۰۰۱ گرم وزن و برحسب درصد محاسبه شد. همچنین عملکرد اسانس براساس درصد اسانس و عملکرد میوه در گیاه (درصد اسانس × عملکرد میوه) محاسبه گردید (Mehrabi et al., 2020).

تجزیه و تحلیل‌های آماری

بعد از جمع‌آوری داده‌ها و تست نرمال بودن خطای آزمایش با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov و Shapiro-Wilk، به منظور تجزیه واریانس مرکب در سال یا جداگانه از آزمون‌های تست متجانس بودن واریانس سال براساس آزمون‌های Bartlett's و Levene's استفاده شد که براساس این آزمون‌های در صفات تعداد میوه در چتر، وزن هزار میوه، عملکرد میوه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، کلروفیل b و محتوای اسانس، اثر سال غیر معنی‌دار بوده و تجزیه واریانس مرکب (براساس امید ریاضی) در مورد این صفات انجام شد و در مابقی صفات نیز تجزیه واریانس سال به صورت جداگانه با توجه به معنی‌دار بودن اثر سال صورت گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌ها به همراه همبستگی ساده بین صفات با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS نسخه ۹/۲ و Minitab نسخه ۱۸ صورت گرفت.

گردید. سپس در سانتیفریوژ (HB-170, Behsan co) با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه صاف شد. در نهایت میزان جذب نور نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (Jenway-6305 مجهز به میکروسول کوارتز) اندازه‌گیری و با استفاده از فرمول‌های زیر محتوای کلروفیل کل محاسبه شد (Lichtenthaler and Buschmann, 2001).

معادله ۱

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V / 00 W$$

معادله ۲

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V / 100 W$$

معادله ۳

$$\text{Chlorophyll T} = \text{Chl a} \pm \text{Chl b}$$

که در آن $V =$ حجم محلول صاف شده، $A =$ جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵، $W =$ وزن تر نمونه برحسب گرم بودند.

اندازه‌گیری محتوای اسیدآمینه پرولین: برای اندازه‌گیری محتوای پرولین، ۰/۲۵ گرم نمونه تازه در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک سه درصد با استفاده هاون همگن شده و در دستگاه سانتیفریوژ با دور ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه صاف شد. سپس دو میلی‌لیتر از عصاره‌های به دست آمده به همراه دو میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال ترکیب شدند. بعد از یک ساعت بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و سرد کردن سریع آن‌ها در داخل حمام یخ، به هر نمونه چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید. در نهایت محتوای پرولین با قرائت میزان جذب نمونه در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و منحنی استاندارد برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه براساس معادله ۴ محاسبه گردید (Bates et al., 1973).

معادله ۴

جدول ۲: آزمون متجانس بودن واریانس صفات اندازه‌گیری شده براساس آزمون‌های بارتلت و لوین

متغیرها	میانگین صفات		df	Bartlett's test for homogeneity variance		Levene's test for equality of variances	
	سال اول	سال دوم		Chi-Square	Pr > ChiSq	F	Sig
ارتفاع بوته (سانی متر)	۱۷/۲	۲۹/۴	۱	۱۷/۱۹	۰/۰۰۰۱	۱۸/۵۸	۰/۰۰۰۱
تعداد چتر در بوته	۱۵/۱۳	۲۱/۵۱	۱	۳/۱۳	۰/۰۱۶۵	۴/۴۰	۰/۰۳۸۸
تعداد چترک در بوته	۳/۳۱	۴/۵۳	۱	۱۳/۶۸	۰/۰۰۰۲	۱۵/۶۶	۰/۰۰۰۲
تعداد میوه در چتر	۲۷/۲۷	۱۹/۲۲	۱	۱/۲۱	۰/۲۷۰۱	۱/۵۳	۰/۲۱۸۷
وزن هزار میوه (گرم)	۳/۲۱	۳/۷۲	۱	۰/۶۳	۰/۴۲۶۲	۰/۵۵	۰/۴۵۹۵
عملکرد میوه (کیلوگرم در هکتار)	۴۱۶/۱۲	۳۰۸/۱۵	۱	۰/۱۱	۰/۷۳۸۷	۰/۱۵	۰/۶۹۶۰
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم د هکتار)	۱۴۹۰/۹۷	۱۲۰۰/۲	۱	۰/۸۱	۰/۳۶۷۴	۱/۰	۰/۳۲۰۱
شاخص برداشت (درصد)	۲۸/۸۸	۲۵/۲۳	۱	۰/۷۸	۰/۳۶۶۷	۰/۳۴	۰/۵۶۰۸
کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم وز تر)	۱۳/۳۲	۲۰/۱۱	۱	۵/۹۱	۰/۰۱۵۱	۵/۹۴	۰/۰۱۶۸
کلروفیل a (میکروگرم بر گرم وز تر)	۹/۶۵	۹/۹۵	۱	۲۴/۸۱	۰/۰۰۰۱	۲۴/۱۴	۰/۰۰۰۱
کلروفیل b (میکروگرم بر گرم وز تر)	۳/۶۷	۱۰/۱۶	۱	۰/۲۳	۰/۶۲۵۷	۰/۲۱	۰/۶۵۰۵
پرویلین (میکرومول بر گرم وز تر)	۲/۵۹	۲/۸۳	۱	۳۲/۴۴	۰/۰۰۰۱	۲۹/۸۹	۰/۰۰۰۱
درصد اسانس	۳/۶۵	۲/۵۴	۱	۰/۸۳	۰/۳۶۱۲	۱/۴۰	۰/۲۳۹۹
عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار)	۱۵/۷۲	۶/۹۸	۱	۲۹/۰۴	۰/۰۰۰۱	۲۶/۰۹	۰/۰۰۰۱

نتایج

عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و کلروفیل b

معنی دار بود. همچنین اثر تراکم بوته بر تعداد میوه در چتر، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و کلروفیل b معنی دار به‌دست آمد.

تجزیه واریانس مرکب (سال): براساس نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر تعداد میوه در چتر، وزن هزار میوه، عملکرد میوه،

جدول ۳: تجزیه واریانس (مرکب) اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و تراکم بوته بر ویژگی‌های عملکردی، محتوای کلروفیل b و

اسانس گیاه زیره سبز

منابع تغییرات	درجه	میانگین مربعات (MS)					
		آزادی (df)	تعداد میوه در چتر	وزن هزار میوه	عملکرد میوه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
سال (Y)	۱	۱۴۵۸/۰ ns	۵/۷۸ ns	۲۶۲۳۰۰/۶ ns	۱۹۰۲۲۳۶/۲ ns	۲۹۸/۸ ns	۹۴۸/۱ ns
بلوک (B)	۴	۱۴/۰۴	۰/۲۳	۶۰۰/۹	۴۷۵۱۴/۵	۵۴/۱۷	۰/۴۲
آبیاری (I)	۴	۲۹۶/۸**	۷/۱۱**	۳۸۶۵۹۴/۶**	۲۴۷۰۵۴۵/۷**	۴۷۱/۱*	۴۴/۰۲*
Y × I	۴	۱/۱۷ ns	۰/۱۹ ns	۲۰۹۲۳/۸ ns	۱۴۷۳۷۳/۹ ns	۴۹/۳۷ ns	۸/۳۶ ns
تکرار (Y × I)	۱۶	۸/۷۲	۰/۱۴	۲۷۸۵/۵	۹۱۱۸۱/۶	۴۱/۳۰	۱/۳۴
تراکم (D)	۲	۹۲/۷*	۱/۹۳ ns	۷۲۲۵۲/۶ ns	۶۹۸۹۱۵/۱*	۲۶۵/۵*	۱۷/۸۶**
Y × D	۲	۳/۴۶ ns	۰/۲۴ ns	۱۱۱۵۹/۹ ns	۹۲۳۱/۰ ns	۱۱/۱۹ ns	۰/۱۱ ns
I × D	۸	۳۱/۹ ns	۰/۵۰ ns	۷۳۷۵۱ ns	۴۴۲۱۵۰/۷ ns	۴۱۴/۹ ns	۱۱/۰۳ ns
Y × I × D	۸	۸۵/۱**	۱/۱۴**	۳۹۵۵۱/۶**	۱۶۹۶۰۸/۲*	۳۵۰/۲**	۸/۱۳**
خطا	۸۹	۴۷/۶۶	۰/۷۲	۳۶۷۱۳/۹	۲۵۸۴۸۰/۷	۱۳۵/۴۸	۱۵/۹۸
ضریب تغییرات (%)	-	۱۱/۱۰	۱۳/۷۴	۲۲/۰۴	۱۹/۲۰	۲۶/۹۳	۱۶/۵۱

ns: غیر معنی دار و * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه سال اجرای آزمایش، آبیاری و تراکم بوته بر ویژگی های عملکردی، محتوای کلروفیل b و اسانس گیاه زیره سبز

محتوای اسانس (%)	کلروفیل b (μg/g FW)	شاخص برداشت (%)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	عملکرد میوه (kg/ha)	وزن هزار میوه (g)	تعداد میوه در چتر	تراکم (plant/m ²)	آبیاری	سال
۲/۷۱±۰/۰۸۳۰-j	۳/۴۱±۰/۰۹۲۱-j	۲۷/۲±۰/۰۹۰۰-g	۱۵۳/۶±۳۹/۴۰-h	۴۱/۸±۲۵/۴۰-cd	۳/۸۵±۰/۱۷۰۰-f	۳۰/۰۸±۱/۳۸abc	۳۰	I ₁	۱۳۹۰
۲/۰۸±۰/۱۰۸۱-jk	۳/۲۸±۰/۰۸۲۱-j	۳۳/۸±۰/۰۹۰۰-de	۱۶۷/۷±۴۶/۳۰-f	۵۳/۹±۲۶/۱۰-bc	۳/۷۸±۰/۲۶۰۰-g	۲۶/۹±۲۶/۱۰-cde	۵۰		
۱/۹۷±۰/۰۴۲۱-kl	۸/۳۵±۱/۳۱۰۰-ef	۲۹/۷±۰/۰۹۰۰-f	۲۱۹/۷±۳۳/۳۸-ab	۶۵/۱/۹±۱۰۰/۰۹۰۰-ab	۳/۷۲±۰/۰۵۱۰۰-g	۳۴/۸±۳/۸۸a	۱۰۰		
۵/۸±۰/۰۳۶۰-ab	۵/۰۸±۰/۰۳۶۰-ghi	۵۰/۹±۳/۱۰-a	۱۱۷/۴±۱۰/۳۰۸۰-g-m	۴۰/۸±۵۰/۰۹۰۰-cde	۲/۶۱±۰/۰۵۲۱-jk	۲۳/۸±۱/۰۵۷۰-d-i	۳۰		
۴/۸±۰/۰۸۰۰-cd	۸/۲۱±۲/۲۱۰۰-ef	۲۰/۴±۴/۰۵۰۰-h	۲۰۳/۰۷±۳۳/۰۰-abc	۶۰/۰/۸±۸۷/۰۵۰۰-ab	۳/۷۲±۰/۰۴۴۰۰-g	۳۱/۸±۲/۱۰۷۰-ab	۵۰		
۵/۸±۰/۰۷۰۰-ab	۲/۲۳±۰/۰۴۱۰-j	۲۴/۳±۲۰۰-h	۲۲۲/۱/۹±۳۳/۸۰-a	۵۳/۶±۴۱۰-bc	۴/۱۲±۰/۰۲۶۰۰-e	۳۴/۲۷±۲/۷۸a	۱۰۰	I ₂	۱۳۹۰
۳/۶±۰/۰۵۰۰-def	۲/۵۱±۰/۰۸۲۱-j	۱۶/۹±۱۱/۱۰۰-fgh	۱۴۴/۷±۳۹/۹۰-d-j	۲۱۵/۷±۱۱/۱۰۰-f-k	۳/۰۴±۰/۰۳۱۰۰-f-k	۲۷/۷±۱/۳۱۰۰-bcd	۳۰		
۳/۷۳±۰/۰۵۰۰-def	۳/۲۷±۰/۰۵۲۱-j	۵۴/۵±۰۰-a	۱۲۷/۰/۶±۳۶/۰۵۰۰-l	۶۹/۲±۹/۳۰-ia	۳/۳۲±۰/۰۲۶۰۰-j	۲۷/۷±۱/۰۵۰۰-bcd	۵۰		
۴/۵±۰/۰۸۰۰-bc	۱/۶۳±۰/۰۲۱۰-j	۳۴/۷±۰/۰۹۰۰-cd	۱۸۱/۷±۲۲/۰۰۰-ia-d	۶۲/۴/۸±۹/۷۰-iab	۴/۲۱±۰/۰۴۰۰-b-e	۳۳/۹±۶/۲۰۰-iaa	۱۰۰		
۵/۴±۰/۰۷۹۰-a	۴/۸۲±۲/۰۴۲۱-j	۲۲/۵±۰/۰۳۰۰-cd	۱۶۰/۳/۱±۴۱/۱۰۰-vc-g	۳۴/۷/۵±۵/۰۵۰۰-od-g	۲/۷۳±۰/۰۳۱۰۰-h-k	۲۴/۲۶±۰/۰۹۰۰-d-h	۳۰		
۴/۷±۰/۰۲۹۰-bc	۱/۹۳±۰/۰۴۲۱-j	۲۲/۸±۰/۰۳۰۰-cd	۱۵۳/۹/۳±۲۴/۰۵۰۰-i	۳۴/۳/۹±۳۲/۰۵۰۰-d-g	۳/۴۵±۰/۰۰۵۰۰-d-i	۳۴/۱±۳/۳۸a	۵۰	I ₄	۱۳۹۰
۳/۷۸±۰/۰۱۶۰۰-h	۲/۲۴±۰/۰۵۲۱-j	۲۵/۳±۰/۰۳۰۰-cd	۱۳۲/۰/۹±۳۲/۰۹۰۰-k	۳۳/۰/۸±۱۱/۱۰۰-od-h	۲/۸۹±۰/۰۳۹۰۰-g-k	۱۸/۱۷±۵/۱۳۱۰-klm	۱۰۰		
۱/۶±۰/۰۴۰۰-klm	۲/۲۴±۰/۰۵۲۱-j	۲۸/۱±۰/۰۳۰۰-cd	۹۷/۱/۸±۲۳/۰۵۰۰-j-n	۱۸۶/۲±۱۰/۰۵۰۰-h-k	۲/۳۱±۰/۰۸۸۱	۱۸/۷±۵/۱۳۱۰-klm	۳۰		
۱/۶±۰/۰۴۰۰-klm	۲/۲۴±۰/۰۵۲۱-j	۲۸/۱±۰/۰۳۰۰-cd	۷۸/۷±۲۰/۰۵۰۰-lmn	۲۰۹/۵±۱۰/۰۶۰۰-g-k	۲/۹۱±۰/۰۳۴۰۰-f-k	۲۳/۸±۲/۱۳۰۰-d-i	۵۰		
۲/۰۱±۰/۰۵۰۰-ijk	۲/۳۶±۰/۰۷۲۱-j	۲۲/۳±۱۷/۲۰۰-cd	۷۲/۵/۹±۲۰/۰۴۰۰-lmn	۱۳۹/۵±۱۱/۱۰۰-od-h	۱/۵۵±۰/۰۴۱۰	۱۹/۳۸±۲/۹۷۰۰-h-l	۱۰۰		
۰/۹۶±۰/۰۰۴۰۰-lm	۹/۵±۰/۰۵۴۰-de	۲۴/۷±۰/۰۸۰۰-cd	۲۰۰/۹/۱±۲۳/۰۹۰۰-j-n	۲۴/۱/۴±۹/۰۰-k	۳/۷۱±۰/۰۳۹۰۰-d-g	۲۴/۰/۱±۳/۷۷۰۰-d-i	۳۰	I ₁	۱۳۹۰
۱/۸۳±۰/۰۱۱۰۰-m	۱۳/۵±۲/۳۳a	۲۹/۴±۰/۰۹۰۰-f	۲۰۰/۳/۳±۳۳/۰۷۰۰-abc	۵۵/۵/۷±۸/۰۰-abc	۵/۱±۰/۰۰۹۰	۲۵/۷±۵/۲۳۸۰-c-f	۵۰		
۱/۴±۰/۰۱۱۰۰-klm	۱/۶۹±۰/۰۲۵۰۰-abc	۳۴/۷±۰/۰۹۰۰-cd	۱۹۴/۳/۱±۲۰/۰۶۰۰-abc	۶۷/۲/۴±۹/۱۰۰-abc	۴/۹۸±۰/۰۲۵۰۰-b	۱۸/۴/۱±۳/۱۳۱۰-klm	۱۰۰		
۲/۷±۰/۰۰۷۰۰-g-j	۱/۲/۹±۱/۲۱۰۰-ab	۳۰/۸±۱/۳۰۰-cd	۱۲۱/۸±۲۸/۰۰۰-vc-m	۳۵/۷±۵/۰۰-def	۳/۷۵±۱/۱۸۰۰-d-g	۱۷/۷/۱±۲/۲۲۱۰-klm	۳۰		
۱/۲±۰/۰۱۹۰۰-lm	۱/۱/۲۸±۰/۰۲۶۰۰-bcd	۴۸/۳±۲/۰۹۰۰-ab	۱۱۵/۶/۴±۲۱/۰۰-g-m	۵۳/۰/۵±۱۳/۱۰۰-abc	۴/۷۶±۰/۰۴۰۰-b	۲۵/۸/۱±۲/۲۲۰۰-d-g	۵۰		
۳/۹±۰/۰۳۴۰۰-cde	۱/۰/۸±۱/۰۴۰۰-cd	۳۲/۷±۲/۰۹۰۰-cd	۱۰۸/۷±۸/۷۰۰-h-n	۲۵۹/۱/۴±۱۷/۰۰-k	۳/۴۷±۰/۰۱۹۰۰-d-i	۲۲/۵۷±۲/۹۶۰۰-k	۱۰۰	I ₂	۱۳۹۰
۳/۳۷±۰/۰۴۲۰۰-fg	۱/۲/۱±۰/۰۷۴۰۰-abc	۳۷/۴±۲/۰۹۰۰-cd	۱۱۳/۲/۸±۲۰/۰۰-g-m	۴۱۵/۵/۴±۱۰/۰۶۰۰-cd	۴/۳±۰/۰۳۰۰-d	۱۹/۱/۹±۱/۱۰۰-i-m	۳۰		
۲/۹۷±۰/۰۱۲۰۰-f-i	۱/۱/۸±۰/۰۷۴۰۰-abc	۱۹/۴±۲/۰۹۰۰-cd	۱۵۸/۷±۲۴/۰۷۰۰-cd-h	۳۰/۴/۷±۱۱/۰۴۰۰-d-i	۳/۵±۰/۰۲۶۰۰-d-i	۲۳/۶±۲/۰۵۷۰۰-d-j	۵۰		
۴/۵±۰/۰۳۰۰-bc	۷/۱۳±۲/۷۷۲۰-f	۳۶/۸±۳/۲۰۰-cd	۱۰۷/۷±۱۴/۱۰۰-i-n	۲۸۴/۴±۳۹/۰۹۰۰-d-j	۳/۵±۰/۰۲۶۰۰-d-i	۲۰/۵±۱/۰۵۰۰-g-l	۱۰۰		
۴/۳۳±۰/۰۴۳۰۰-cd	۱/۱/۰/۲±۰/۰۴۷۰۰-bcd	۱۲/۵±۳/۰۹۰۰-ab	۹۵/۹/۴±۹/۸۰۰-j-n	۲۸۴/۴±۳۹/۰۹۰۰-d-j	۳/۷۳±۰/۰۴۳۰۰-d-g	۱۴/۳±۳/۶۷۰۰-mno	۳۰		
۲/۳۳±۰/۰۳۲۱۰۰-ijk	۹/۴±۰/۰۴۷۰۰-cde	۲۰/۴±۲/۰۹۰۰-cd	۸۹/۶±۲۰/۰۶۰۰-ak-n	۱۲۰/۵±۱۰/۰۰-k	۳/۵±۰/۰۴۳۰۰-d-g	۱۶/۳±۴/۰۰۸۱۰۰-mn	۵۰	I ₄	۱۳۹۰
۲/۵±۰/۰۰۷۰۰-gh	۲/۵±۱/۱۱۱۰-fgh	۱۷/۶±۲/۰۹۰۰-cd	۸۳/۶±۸/۳۰۰-k-n	۱۹۹/۴±۱۹/۰۹۰۰-h-k	۳/۳۳±۰/۰۰۸۰۰-j	۲۰/۸±۳±۰/۰۵۱۰۰-f-l	۱۰۰		
۲/۷±۰/۰۳۵۰۰-g-j	۲/۹±۰/۰۲۶۰۰-fg	۱۹/۴±۲/۰۹۰۰-cd	۷۷/۱/۸±۶/۰۷۰۰-lmn	۱۵۲/۲±۱۰/۰۳۱۰۰-ijk	۳/۰/۶±۰/۰۰۵۰۰-f-k	۱۲/۱۶±۰/۰۵۰۰-o	۳۰		
۲/۷±۰/۰۲۸۰۰-g-j	۷/۳±۱/۰۰۰-f	۱۷/۹±۷/۱۰-fgh	۵۹/۹/۴±۲۱/۱۰-an	۱۰۷/۴±۴۵/۰۳۰۰-k	۲/۶±۰/۰۹۷۰۰-h-k	۹/۸±۳/۱۰۶۰	۵۰		
						۱۷/۵±۱/۲۸۱۰-m	۱۰۰		

میانگین های (±SD) دارای حروف مشابه در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی دار ندارند.
I₁: آبیاری در مرحله ساقدهی، گلدهی و دانه بندی (شاهد)، I₂: آبیاری در مرحله ساقدهی و گلدهی، I₃: آبیاری در مرحله گلدهی و دانه بندی، I₄: آبیاری در مرحله گلدهی و I₅: عدم آبیاری.

ولی تمامی صفات تجزیه مرکب (تعداد میوه در چتر، وزن هزار میوه، عملکرد میوه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، کلروفیل b و محتوای اسانس) تحت تأثیر اثر متقابل رژیم آبیاری و تراکم بوته تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۳). در مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه سال، آبیاری و تراکم، بیشترین تعداد میوه در چتر مربوط به تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع در تیمارهای آبیاری I₁ (آبیاری در مرحله رشد رویشی، گلدهی و دانه‌بندی)، I₂ (آبیاری در مرحله رشد ساقه‌دهی و گلدهی) و I₃ (آبیاری در مرحله گلدهی و دانه‌بندی) (به‌ترتیب با میانگین ۳۴/۱۹، ۳۴/۲۷ و ۳۳/۹۶ عدد) در سال اول آزمایش بود. علاوه بر این، در تیمار آبیاری I₄ تراکم بوته ۵۰ بوته در مترمربع بیشترین میانگین این صفت را نشان داد. کمترین تعداد میوه در چتر نیز در تیمار عدم آبیاری (I₅) و تراکم ۵۰ در مترمربع (۹/۸۸ عدد) مشاهده شد (جدول ۴).

وزن هزار میوه در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع تحت تیمار آبیاری شاهد (I₁) در سال دوم بیشترین میانگین (۵/۱ گرم) را نشان داد. علاوه بر این تراکم ۱۰۰ در مترمربع نیز در همین تیمار آبیاری در سال دوم و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در تیمارهای آبیاری I₂ و I₃ نیز بالاترین میانگین این صفت را داشت. کمترین وزن هزار میوه مربوط به بالاترین تراکم بوته (۱۰۰ بوته در مترمربع) و عدم آبیاری در سال اول آزمایش (۱/۵۵ گرم) بود (جدول ۴). عملکرد میوه در تیمارهای مورد آزمایش از میانگینی مابین ۱۰۷/۴ تا ۶۹۲ کیلوگرم در هکتار برخوردار بود. بیشترین عملکرد میوه زیره سبز در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در آبیاری I₃ (آبیاری در گلدهی و دانه‌بندی) در سال اول آزمایش مشاهده شد. علاوه بر این، تراکم ۱۰۰ در I₁، ۵۰ در I₂ و ۱۰۰ بوته در مترمربع در I₃ در سال اول آزمایش و همچنین تراکم‌های ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع در I₁ در سال

دوم نیز بیشترین عملکرد میوه را داشتند. کمترین عملکرد میوه در تیمار عدم آبیاری (I₅) و هر سه تراکم ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع (به‌ترتیب با میانگین ۱۴۶/۶، ۱۵۲/۲ و ۱۰۷/۴ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۴).

بیشترین عملکرد بیولوژیک در مقایسه اثر متقابل سه‌گانه، در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع در آبیاری I₂ (آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و گلدهی) و در سال اول با میانگین ۲۲۲۲/۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. علاوه بر این، در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع به همراه تیمارهای آبیاری I₁ و I₃ و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در آبیاری I₂ نیز بالاترین عملکرد بیولوژیک مشاهده شد. عدم آبیاری به همراه بالاترین تراکم بوته (۱۰۰ عدد در مترمربع) در سال دوم آزمایش، کمترین عملکرد بیولوژیک (۵۹۸/۴ کیلوگرم در هکتار) را نشان داد (جدول ۴).

استفاده از کمترین تراکم بوته (۳۰ عدد در مترمربع) در آبیاری I₂ و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در آبیاری I₃ در سال اول آزمایش منجر به ایجاد بالاترین میانگین شاخص برداشت (به‌ترتیب با میانگین ۵۰/۹ و ۵۴/۵ درصد) شدند. در حالی که در سال دوم آزمایش، تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در تیمار آبیاری I₄ (۱۲/۵ درصد) و هر سه تراکم کاشت در تیمار عدم آبیاری (I₅)، کمترین میانگین شاخص برداشت را نشان دادند (جدول ۴).

میانگین محتوای کلروفیل b در برگ گیاه زیره سبز از ۱/۶۳ تا ۱۳/۵ میکروگرم بر گرم وزن تر متغیر بود. بیشترین محتوای کلروفیل b در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و آبیاری شاهد (I₁) در سال دوم مشاهده شد. علاوه بر این، تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع در آبیاری I₁ و همچنین تراکم ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع در آبیاری I₃ در سال دوم نیز بالاترین میانگین این رنگیزه را نشان دادند. کمترین رنگیزه کلروفیل b در هر سه

تیمار تراکم بوته تحت شرایط عدم آبیاری در سال اول آزمایش (به ترتیب ۱/۹۳، ۲/۲۴ و ۲/۳۶ میکروگرم بر گرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۴).

براساس نتایج جدول مقایسه میانگین اثر متقابل، محتوای اسانس در تیمارهای مورد آزمایش از ۰/۹۶ درصد تا ۵/۴۴ درصد متغیر بود. کاشت زیره سبز با تراکم ۳۰ و ۵۰ بوته در مترمربع به همراه تیمار آبیاری در مرحله گلدهی (I₄) در سال اول آزمایش منجر به ایجاد بالاترین میانگین درصد اسانس شد. علاوه بر این، تراکم‌های ۳۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع تحت تیمار آبیاری I₂ در سال اول آزمایش نیز بالاترین میانگین این صفت را داشتند. برعکس، کاشت با تراکم‌های ۳۰ و ۵۰ بوته در مترمربع تحت تیمار آبیاری شاهد (I₁) منجر به ایجاد کمترین محتوای اسانس (به ترتیب با میانگین ۰/۹۶ و ۱/۱۳ درصد) شدند (جدول ۴).

تجزیه واریانس ساده (هر سال جداگانه): براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمار آبیاری بر صفات ارتفاع بوته، کلروفیل کل، کلروفیل a، پرولین و عملکرد اسانس در هر دو سال آزمایش اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. اثر تراکم بوته بر صفات ارتفاع بوته (در سال اول)، تعداد چتر در بوته (در هر دو سال)، تعداد چترک در بوته (در سال اول)، کلروفیل کل و a (در سال اول)، پرولین و عملکرد اسانس (در سال دوم) معنی‌دار به دست آمد. در نهایت، اثر متقابل آبیاری بر تراکم بر تمامی صفات (ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در بوته، کلروفیل کل و a و عملکرد اسانس) به جز محتوای

پرولین در هر دو سال آزمایش معنی‌دار بود (جدول ۵). بلندترین ارتفاع بوته در استفاده از تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در آبیاری شاهد در هر دو سال آزمایش (به ترتیب ۲۲/۹۴ و ۴۱/۰۷ سانتی‌متر) مشاهده شد. علاوه بر این تراکم ۱۰۰ بوته در آبیاری I₁ و I₂ و تراکم ۵۰ بوته در I₃ نیز در هر دو سال بیشترین میانگین این صفت را داشتند. کمترین ارتفاع بوته در هر دو سال آزمایش در کمترین تراکم بوته (۳۰ بوته در مترمربع) و عدم آبیاری (I₅) (به ترتیب ۷/۸۹ و ۱۴/۹۷ سانتی‌متر) به دست آمد (جدول ۶ و ۷).

در سال اول آزمایش میانگین تعداد چتر در بوته از ۷/۸۹ تا ۱۸/۷۱ عدد متغیر بود در حالی که این مقدار در سال دوم از ۱۴/۴۶ تا ۲۲/۱۷ عدد بود. کاشت با هر سه تراکم بوته در مترمربع در شرایط آبیاری I₁ در هر دو سال آزمایش بیشترین تعداد چتر در بوته را نشان داد. علاوه بر این در سال اول آزمایش، تراکم‌های ۵۰ و ۱۰۰ تحت شرایط آبیاری I₂، I₃ و I₄ نیز دارای بیشترین تعداد چتر در بوته بودند. در سال دوم، تراکم‌های ۳۰ و ۵۰ در آبیاری I₂، تراکم ۳۰ در I₃ و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در آبیاری I₄ دارای بیشترین میانگین این صفت بودند. استفاده از تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در شرایط عدم آبیاری در هر دو سال آزمایش منجر به ایجاد کمترین میانگین تعداد چتر در بوته (به ترتیب ۷/۸۹ و ۱۴/۹۱ عدد) شد. علاوه بر این در سال دوم، تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع نیز تحت شرایط عدم آبیاری کمترین میانگین این صفت را نشان داد (جدول ۶ و ۷).

جدول ۵: تجزیه واریانس اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و تراکم بوته بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد اسانس گیاه زیره سبز در طی دو سال آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)											
		ارتفاع بوته		تعداد چتر در بوته		تعداد چترک در بوته		کلروفیل کل		کلروفیل a		پروکلین	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
بلوک	۲	۳/۵۲ ns	۴/۱۵ ns	۶/۰۱ ns	۱۲/۴۳ ns	۰/۱۶ ns	۰/۹۴ ns	۳/۲۹ ns	۰/۳۷ ns	۱/۸۳ ns	۰/۴۸ ns	۰/۱۳ ns	۰/۳۰ ns
آبیاری (I)	۴	۱۳۱/۱ ***	۴۳۲/۶ ***	۶۳۶/۶ ***	۱۲۵/۷ ns	۱/۴۵ ns	۱۳/۱ ***	۱۲۹/۵ ***	۱۱۵/۵ ***	۵۵/۶ ***	۲۲/۳ ***	۲/۸۹ ***	۲۹/۶ ***
خطای ۱	۸	۱/۷۹	۱۶/۲۵	۷/۴۹	۵/۱۹	۰/۵۸	۰/۱۴	۵/۰۲	۲/۰۷	۲/۵۵	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۰۹
تراکم (D)	۲	۳۹/۶ ***	۵۲/۲ ns	۳۳/۱ ***	۲۴/۷ *	۱/۳۶ ***	۱/۲۹ ns	۴۱/۳ ***	۸/۶۷ ns	۱۳/۹ ***	۰/۶۷ ns	۰/۲۲ ns	۳/۲۹ ***
I × D	۸	۱۶/۰ *	۹۵/۷ ***	۱۴/۹ *	۳۴/۸ ***	۱/۲۹ ***	۱/۹۴ ***	۸۲/۰ ***	۱۱/۵ ***	۳۲/۶ ***	۲/۱۵ ***	۰/۴۸ *	۰/۲۸ ns
خطای کل	۲۰	۵/۳۲	۲۰/۷	۴/۸۰	۷/۳۳	۰/۱۱	۰/۴۷	۳/۲۲	۲/۹۸	۲/۳۰	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۱۴
ضریب تغییرات (%)	-	۱۳/۴۱	۱۵/۵۰	۱۴/۴۸	۱۲/۵۸	۱۰/۴۲	۱۵/۱۴	۱۳/۴۸	۸/۵۹	۱۵/۷۲	۶/۶۱	۱۵/۰۸	۱۳/۵۸

ns: غیر معنی دار و * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

تعداد چترک در بوته در سال اول از ۲/۱۴ تا ۴/۴۸ عدد و در سال دوم از ۲/۷۵ تا ۶/۵۱ عدد متغیر بود. استفاده از تراکم ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع در سطح آبیاری I₁ در هر دو سال آزمایش، بیشترین تعداد چترک در بوته را نشان داد. علاوه بر این، تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع در سطح آبیاری I₂ در سال اول و تراکم ۳۰ بوته در مترمربع در آبیاری شاهد، تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع در آبیاری‌های I₂ و I₃ در سال دوم آزمایش دارای بیشترین میانگین تعداد چترک در بوته بودند. در سال اول آزمایش کمترین تعداد چترک در بوته در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع در تیمار عدم آبیاری (۲/۱۴ عدد) مشاهده شد در حالی که در سال دوم آزمایش هر سه تراکم بوته در سطح تیمار عدم آبیاری کمترین میانگین این صفت را نشان داد (جدول ۶ و ۷).

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و تراکم بوته بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد اسانس گیاه زیره سبز در سال اول آزمایش

آبیاری	تراکم (Plant/m ²)	ارتفاع بوته (cm)	تعداد چتر در بوته	تعداد چترک در بوته	کلروفیل کل (μg/g FW)	کلروفیل a (μg/g FW)	پروکلین (μmol/g FW)	عملکرد اسانس (kg/ha)
I1	۳۰	۱۸/۳۱±۱/۰۹b-f	۱۸/۷۱±۲/۱۶a	۲/۷۲±۰/۷۲ef	۱۵/۷۲±۱/۳۰bc	۱۲/۳۲±۰/۴۲bc	۱/۴۳±۰/۱۶g	۱۱/۳۷±۲/۶۳c-f
	۵۰	۲۲/۹۴±۱/۸۱a	۱۷/۰۳±۳/۲ab	۴/۴۸±۰/۵۸a	۱۲/۰۵±۰/۵۲de	۸/۷۶±۰/۳de	۲/۲۷±۰/۵۵def	۱۱/۳۵±۲/۶۲c-g
	۱۰۰	۲۱/۹۱±۲/۲۳ab	۱۸/۳۲±۴/۷a	۴/۴۳±۰/۴۶a	۲۲/۶۱±۱/۵۹a	۱۴/۲۵±۰/۴۴ab	۱/۶۷±۰/۵۳fg	۱۳/۰۴±۴/۶cde
I2	۳۰	۱۹/۹۲±۱/۷۳a-d	۱۳/۳۲±۲/۰۹bc	۳/۱۳±۰/۰۵cde	۱۸/۶۵±۲/۰۶b	۱۳/۵۷±۱/۸۴bc	۲/۶۳±۰/۳۷a-d	۳۰/۷۵±۲/۸۴a
	۵۰	۱۵/۳۸±۳/۱۶efg	۱۸/۶۷±۲/۱۶a	۲/۸۷±۰/۲۳de	۲۴/۷۶±۳/۲a	۱۶/۵۶±۱/۰۶a	۲/۴۵±۰/۱۲cde	۱۶/۹۴±۳/۸۹c
	۱۰۰	۲۲/۶۲±۲/۵۶ab	۱۶/۹۹±۱/۳ab	۴/۳۱±۰/۴۱ab	۹/۹۷±۱/۳۹efg	۷/۷۵±۱/۵۵ef	۱/۸۲±۰/۱۶efg	۲۷/۶۴±۵/۴۹a
I3	۳۰	۱۶/۰۸±۱/۲۸d-g	۱۱/۳۸±۱/۲۱cd	۳/۴۵±۰/۵۸cd	۹/۵۹±۲efg	۷/۰۹±۱/۴۲ef	۲/۵±۰/۳۵b-e	۸/۲۳±۵/۱۸d-h
	۵۰	۱۸/۹۳±۰/۵۳a-e	۱۶/۱۸±۲/۴۵ab	۳/۱۱±۰/۹۲cde	۱۱/۸۱±۱/۹۷def	۸/۵۴±۱/۴۸de	۲/۸۳±۰/۲۶a-d	۲۵/۷۹±۳/۴۷ab
	۱۰۰	۲۰/۷۱±۱/۰۳abc	۱۷/۹۱±۲/۵۷a	۳/۲۷±۰/۸۸cde	۱۴/۲۹±۳/۱۲cd	۱۱/۰۲±۳/۱۹cd	۳/۱۱±۰/۲۷abc	۲۸/۲۵±۵/۰۳a
I4	۳۰	۱۶/۵۵±۱/۸۱c-g	۱۳/۰۳±۲/۵۶bc	۲/۶۹±۰/۱۴ef	۷/۰۶±۰/۶۸g	۵/۴۴±۰/۵۱f	۲/۸۶±۰/۱۲a-d	۱۶/۳۸±۲/۳۵cd
	۵۰	۱۴/۴۸±۲/۸۴fg	۱۶/۵۵±۱/۸۱ab	۳/۳±۰/۲۳cde	۱۷/۷۴±۲/۰۱b	۱۲/۹۳±۲/۵۱bc	۲/۳۲±۰/۲۷def	۱۸/۸۱±۴/۱۹bc
	۱۰۰	۱۶/۴۶±۲/۴۳c-g	۱۶/۴۶±۲/۴۳ab	۳/۷۳±۰/۱۶fbc	۸/۵±۱/۶۲fg	۶/۵۶±۱/۱۹ef	۳/۱۹±۰/۷۳abc	۱۵/۰۶±۴/۳۴cd
I5	۳۰	۷/۸۹±۱/۳۴h	۱۱/۵۲±۱/۳۸cd	۲/۹۸±۰/۲۴de	۸/۷۱±۲/۰۵efg	۶/۴۷±۱/۵۷ef	۳/۳۱±۰/۵۱a	۶/۰۹±۰/۳۷e-h
	۵۰	۱۲/۸۱±۱/۵۴g	۷/۸۹±۱/۳۴d	۳/۱۶±۰/۴۹cde	۹/۴۵±۰/۲۵efg	۶/۹۸±۰/۳۷ef	۳/۳۴±۰/۲۷a	۳/۴۴±۰/۸۹f h
	۱۰۰	۱۳/۰۸±۱/۷۶g	۱۳/۰۸±۱/۷۶bc	۲/۱۴±۰/۲۱f	۸/۸۸±۲/۳۷efg	۶/۵۲±۱/۶۷ef	۳/۲۱±۰/۰۹ab	۲/۶۷±۰/۹۷h

میانگین‌های (±SD) دارای حروف مشابه در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

I1: آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، گلدهی و دانه‌بندی (شاهد)، I2: آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و گلدهی، I3: آبیاری در مرحله گلدهی و دانه‌بندی، I4: آبیاری در مرحله گلدهی و I5: عدم آبیاری.

میانگین این صفات مربوط به تراکم ۳۰ بوته در آبیاری I4 (۷/۰۶ و ۵/۴۴ میکروگرم بر گرم وزن تر) و همچنین هر سه سطح تراکم بوته تحت تیمار عدم آبیاری به‌دست آمد (جدول ۶). در سال دوم آزمایش تراکم ۵۰ بوته در مترمربع در آبیاری شاهد و ۳۰ بوته در آبیاری I2، بیشترین میانگین کلروفیل کل و a را

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول آزمایش بیشترین محتوای کلروفیل کل و a در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع تحت تیمار آبیاری I2 (۲۴/۷۴ و ۱۶/۵۶ میکروگرم بر گرم وزن تر) و تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع در تیمار آبیاری I1 (۲۲/۶ و ۱۴/۲۵ میکروگرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد و کمترین

داشتند در حالی که هر سه سطح تراکم بوته (۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع) تحت شرایط عدم آبیاری دارای کمترین میانگین این صفات بودند (جدول ۷).

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و تراکم بوته بر برخی صفات مورفو-فیزیولوژیکی و عملکرد اسانس گیاه زیره سبز در سال دوم آزمایش

آبیاری	تراکم (Plant/m ²)	ارتفاع بوته (cm)	تعداد چتر در بوته	تعداد چتر در بوته	کلروفیل کل (μg/g FW)	کلروفیل a (μg/g FW)	عملکرد اسانس (kg/ha)
I1	۳۰	۳۲/۵۷±۴/۶۸a-d	۲۷/۱۳±۳/۸a	۶/۴±۰/۹a	۲۰/۹۳±۱/۵۷c	۱۱/۴۳±۱/۰۶abc	۲/۳۱±۰/۰۴e
	۵۰	۴۱/۰۷±۲/۴۶a	۲۴/۲۳±۴/۱۹abc	۵/۲۶±۰/۷۶abc	۲۵/۹۶±۳/۰۲a	۱۲/۴۷±۰/۷a	۶/۸۲±۱/۶۷cd
	۱۰۰	۳۹/۱±۲/۹۱ab	۲۶/۷۲±۱/۰۸ab	۶/۵۱±۰/۴۸a	۲۱/۵۲±۰/۶۴c	۹/۸۳±۰/۳۸de	۱۰/۰۵±۲/۰۴bc
	۳۰	۲۸/۹±۵/۸۱cde	۲۷/۱۷±۱/۲۱a	۴/۱۲±۰/۲۵cde	۲۵/۱۴±۲/۲۲ab	۱۲/۱۹±۱/۰۱ab	۹/۷۱±۱/۹۶bc
I2	۵۰	۳۲/۴۷±۲/۲a-d	۲۲/۸۲±۰/۱۶a-d	۴/۷۵±۰/۵۴bcd	۲۱/۲۴±۱/۱۷c	۹/۹۶±۰/۵۲de	۶/۷۳±۲/۸۷cd
	۱۰۰	۳۴/۶۳±۹/۱۳abc	۱۸/۴۴±۲/۱۱def	۶/۲۶±۰/۲۶a	۲۱/۴۱±۲/۱۷c	۱۱/۲۴±۰/۹۸bc	۲/۹۶±۰/۲۱de
	۳۰	۳۰/۴۷±۴/۹bcd	۲۶/۷۵±۳ab	۴/۵۶±۰/۹۸bcd	۲۱/۰۴±۰/۹۲c	۱۰/۵۹±۰/۶۷cd	۱۰/۳۳±۲/۰۶abc
	۵۰	۳۷/۴۷±۴/۸۱abc	۲۰/۴۱±۱/۴۹cde	۴/۵۵±۰/۵۵bcd	۲۲/۵۴±۱/۳bc	۱۰/۴۵±۰/۵۷cd	۱۳/۹۷±۳/۵۴a
I3	۱۰۰	۲۵/۷۳±۲/۰۳def	۲۱/۸۸±۱/۵bcd	۵/۴۶±۰/۴۴ab	۲۲/۵۳±۱/۲bc	۱۰/۷±۰/۵cd	۹/۰۶±۰/۹۱bc
	۳۰	۲۹/۷۳±۵/۱۲cd	۱۶/۶±۰/۴۶ef	۳/۷±۰/۶de	۱۶/۱۷±۲/۷۴d	۹/۰۴±۰/۴۶e	۱۲/۸۲±۲/۱۱ab
	۵۰	۱۷/۹۷±۲/۴۷fg	۲۳/۶۵±۳/۸۵abc	۴/۸۷±۰/۷۲bcd	۲۰/۴۹±۰/۸۵c	۹/۴۸±۰/۳۹de	۴/۵۷±۱/۷۲de
	۱۰۰	۳۴/۲۳±۱/۷۵a-d	۱۹/۵۳±۴/۷۵c-f	۲/۹±۰/۳۸e	۱۹/۳۹±۰/۷۶c	۹/۴۶±۰/۳۲de	۴/۰۴±۱de
I4	۳۰	۱۴/۹۷±۴/۳۸g	۱۷/۹۱±۱/۳۴def	۲/۷۵±۰/۳۸e	۱۴/۰۶±۰/۹۵d	۷/۴۹±۰/۳۴f	۳/۷۷±۰/۹۱de
	۵۰	۲۰/۵۷±۱/۸۶efg	۱۴/۹۱±۲/۰۲f	۲/۷۵±۰/۴۶e	۱۴/۵۱±۰/۴۴d	۷/۵۶±۰/۳f	۴/۳۴±۲/۳۱de
	۱۰۰	۲۱/۰۷±۳/۰۵efg	۱۴/۴۶±۳/۲۵f	۳/۱۹±۱/۱۷e	۱۴/۷۴±۱/۳d	۷/۴۱±۰/۲۶f	۳/۳۱±۰/۶۳de

میانگین‌های (±SD) دارای حروف مشابه در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

I1: آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، گلدهی و دانه‌بندی (شاهد)، I2: آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و گلدهی، I3: آبیاری در مرحله گلدهی و دانه‌بندی، I4: آبیاری در مرحله گلدهی و I5: عدم آبیاری.

آبیاری (۲/۶۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد در حالی که در سال دوم آزمایش در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع و تیمار آبیاری شاهد (۲/۳۱ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۶ و ۷).

همبستگی ساده بین صفات: به‌منظور بررسی روابط بین صفات تجزیه همبستگی ساده به روش پیرسون انجام و نتایج آن در جدول ۸ ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده صفات رشدی، اجزای عملکرد و عملکرد با محتوای کلروفیل کل همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. علاوه بر این عملکرد میوه به غیر از محتوای پروتئین و درصد اسانس با سایر صفات اندازه‌گیری شده همبستگی مثبت و معنی‌داری

نتایج نشان داد که عملکرد اسانس از ۲/۶۷ تا ۳۰/۷۵ در سال اول و ۲/۳۱ تا ۱۳/۹۷ کیلوگرم در هکتار در سال دوم متغیر بود. به‌منظور دستیابی به حداکثر عملکرد اسانس در گیاه زیره سبز استفاده از تراکم‌های ۳۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع تحت تیمار آبیاری I2 و ۳۰ و ۵۰ بوته در مترمربع در تیمار آبیاری I3 در مقایسه با سایر ترکیب‌های تیماری در سال اول از کارایی بالایی برخوردار بودند. در حالی که در سال دوم آزمایش استفاده از تراکم‌های ۳۰ و ۵۰ بوته در مترمربع در آبیاری I3 و تراکم ۳۰ بوته در مترمربع در آبیاری I4 کارایی بالایی داشتند. در سال اول کمترین عملکرد اسانس در بالاترین تراکم کاشت و عدم تیمار

نشان داد. محتوای پرولین و درصد اسانس با صفات مورفولوژیکی، عملکردی، فیزیولوژیکی و عملکرد اسانس همبستگی منفی (به ترتیب معنی دار و غیر معنی دار) داشتند.

بحث

هدف از اجرای پژوهش حاضر ارزیابی اثر آبیاری براساس مراحل فنولوژی گیاه بر ویژگی های رشدی،

عملکردی و بیوشیمیایی زیره سبز تحت تراکم های مختلف بوته بود. نتایج نشان داد که آبیاری براساس مراحل فنولوژی گیاه اثر معنی داری بر اکثر صفات رشدی و عملکردی داشت. از طرف دیگر، تراکم بوته، وزن هزار میوه، عملکرد میوه و محتوای اسانس غیر معنی دار به دست آمد.

جدول ۸: همبستگی ساده بین صفات رشدی، اجزای عملکرد، عملکرد و فیزیولوژیک گیاه زیره سبز تحت تأثیر رژیم های آبیاری و تراکم بوته

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۲	۰/۶۰**												
۳	۰/۷۴**	۰/۷۵**											
۴	۰/۶۷**	۰/۷۹**	۰/۸۴**										
۵	۰/۷۷**	۰/۷۹**	۰/۸۵**	۰/۸۷**									
۶	۰/۸۲**	۰/۶۶**	۰/۷۰**	۰/۶۷**	۰/۸۵**								
۷	۰/۷۶**	۰/۶۵**	۰/۹۱**	۰/۸۰**	۰/۸۹**	۰/۷۸**							
۸	۰/۵۴**	۰/۳۶*	۰/۱۵ns	۰/۲۹*	۰/۴۳*	۰/۷۶**	۰/۲۱ns						
۹	۰/۵۳**	۰/۸۸**	۰/۶۳**	۰/۷۴**	۰/۷۶**	۰/۷۶**	۰/۶۲**	۰/۵۷**					
۱۰	۰/۴۴**	۰/۸۸**	۰/۶۲**	۰/۷۴**	۰/۷۳**	۰/۶۸**	۰/۵۹**	۰/۵۰**	۰/۹۸**				
۱۱	۰/۵۷**	۰/۸۲**	۰/۶۲**	۰/۷۰**	۰/۷۶**	۰/۸۱**	۰/۶۳**	۰/۶۱**	۰/۹۷**	۰/۹۱**			
۱۲	۰/۷۰**	۰/۸۳**	۰/۷۶**	۰/۷۲**	۰/۷۹**	۰/۷۰**	۰/۷۲**	۰/۴۱*	۰/۷۸**	۰/۸۲**	۰/۷۰**		
۱۳	۰/۲۷ns	۰/۱۵ns	۰/۲۶ns	۰/۱۰ns	۰/۲۰ns	۰/۲۳ns	۰/۱۶ns	۰/۱۴ns	۰/۱۱ns	۰/۱۰ns	۰/۱۳ns	۰/۲۸ns	
۱۴	۰/۴۸**	۰/۳۷*	۰/۳۵*	۰/۴۶**	۰/۴۷**	۰/۶۴**	۰/۴۶**	۰/۵۹**	۰/۴۹**	۰/۴۷**	۰/۴۹**	۰/۳۴*	۰/۵۳**

ns: غیر معنی دار و * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

۱. ارتفاع بوته، ۲. تعداد چتر در بوته، ۳. تعداد چترک در بوته، ۴. تعداد میوه در چتر، ۵. وزن هزار میوه، ۶. عملکرد میوه، ۷. عملکرد بیولوژیک، ۸. شاخص برداشت، ۹. کلروفیل کل، ۱۰. کلروفیل a، ۱۱. کلروفیل b، ۱۲. پرولین، ۱۳. درصد اسانس، ۱۴. عملکرد اسانس

نتایج مقایسات میانگین داده ها نشان داد که تمامی تیمارهای آبیاری در مقایسه با عدم آبیاری (I_5) منجر به افزایش پارامترهای رشدی و عملکردی و تغییر صفات فیزیولوژیکی و کیفی شدند. با در نظر گرفتن مجموع صفات مطالعه شده آبیاری شاهد (I_1)، آبیاری در مراحل ساقه دهی و گلدهی (I_2) و آبیاری در مرحله گلدهی و دانه بندی (I_3)، منجر به ایجاد بالاترین میانگین صفات شدند. نکته مشترک در بین

سه تیمار آبیاری، اهمیت آبیاری در مرحله گلدهی است. مطالعه پاسخ محصول به کم آبیاری برای کاهش مصرف آب کشاورزی در مناطق خشک اهمیت دارد. پژوهشگران بیان داشتند که کمبود آب در مراحل رویشی و گلدهی اثرات مضر بر اکثر ویژگی های گلدهی داشت و کمبود آب در این مراحل پارامترهای عملکرد و اجزای عملکرد را کاهش می دهد (Tang et al., 2024). از آنجایی که بیشترین کاهش عملکرد

نهایت تولید میوه را بالاتر خواهد برد (Rahghoshahi et al., 2022).

گیاهان برای مقابله با تنش کم آبی از دو مکانیسم اجتناب و تحمل تنش استفاده می کنند (Razzaghi et al., 2020). به نظر می رسد که زیره سبز با داشتن ریشه های عمیق، کاهش تعرق از طریق وزیکول های برگ حاوی اگزالات کلسیم، کاهش سطح برگ، سلول های کوچک و دیواره ضخیم به حفظ تورگر و تنظیم روزنه ها کمک کرده و توانایی تحمل تنش کم آبی را دارد (Alinian et al., 2016; Noori et al., 2022).

با افزایش شدت تنش کم آبی، میزان رنگیزه های فتوسنتزی کاهش معنی داری نشان داد به طوری که کمترین میانگین کلروفیل کل، a و b در تیمار عدم آبیاری (I_5) مشاهده شد. در راستا با نتایج پژوهش حاضر، Noori و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که تنش کم آبی منجر به کاهش معنی داری میانگین صفات کلروفیل کل، a و b و همچنین افزایش محتوای پرولین شد. جذب کمتر آب توسط گیاه در شرایط تنش خشکی (I_5) و افزایش همزمان گونه های فعال اکسیژن (ROS) از جمله دلایل احتمالی کاهش رنگدانه های فتوسنتزی و ویژگی های عملکرد در شرایط تنش خشکی است (Ghahremani et al., 2022; Afshari et al., 2019). پژوهشگران استدلال کردند که کاهش غلظت رنگیزه های فتوسنتزی، افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و تولید سطح بیشتری از محافظت کننده های اسمزی مانند پرولین می تواند یکی از دلایل فیزیولوژیکی کاهش رشد، شاخص ها و ویژگی های عملکردی تحت شرایط تنش خشکی باشد (Ahmad et al., 2020; Gelaw and Sanan-Mishra, 2024). کاهش محتوای رنگدانه های فتوسنتزی، یعنی کلروفیل a ، b و کل به عنوان یک علامت معمولی از تنش اکسیداتیو در گیاه تحت تنش

ناشی از کمبود آب در مرحله گلدهی بود، می توان آبیاری در این مرحله از رشد گیاه را به عنوان یک رژیم بهینه برای کم آبیاری در طول مراحل رویشی و گلدهی توصیه کرد. در تحقیقی هم راستا با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، تنش کم آبیاری منجر به کاهش ارتفاع بوته، تعداد میوه، وزن هزار میوه، عملکرد میوه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد اسانس در گیاه سیاهدانه شد (Arvand and Sohrabi, 2022). عدم آبیاری در مرحله رشد زایشی به دلیل کوتاه شدن طول دوره پرشدن میوه، گیاه با محدودیت منبع مواجه شده و مواد فتوسنتزی کمتری به مخزن (میوه ها) انتقال می دهد. بر همین اصل، هرگونه تنش کم آبی در این مرحله رویشی، منجر به کم شدن ظرفیت ذخیره میوه و در نهایت منجر به افت وزن میوه خواهد شد (Rezaei Chianeh et al., 2018; Moslemi et al., 2023).

در شرایط آبیاری شاهد، به دلیل فراهم بودن شرایط مناسب از نظر رطوبت در خاک، پارامترهای رشدی از قبیل تعداد شاخه، تعداد چتر و همچنین ارتفاع بوته افزایش نشان خواهد داد و مجموع این صفات با توجه به همبستگی مثبت بین پارامترهای رشدی و عملکرد میوه، منجر به افزایش عملکرد میوه و عملکرد بیولوژیک می گردد. Rezaei Chianeh و همکاران (۲۰۱۸) بیان داشتند که تعداد میوه در چتر تعیین کننده ظرفیت مخزن می باشد، و هر چقدر ظرفیت مخزن بیشتر باشد، مواد فتوسنتزی بیشتری نیز دریافت کرده و در نهایت منجر به افزایش عملکرد گیاه می شود. با توجه به این نکته که زیره سبز دارای رشد رویشی سریعی است، تحت شرایط مساعد رطوبتی در خاک (آبیاری در مرحله رشد رویشی) طول دوره زایشی و همچنین میزان فتوسنتز جاری افزایش یافته و تشکیل گل ها و غلاف های بارور و در

در نظر گرفته می‌شود (Afshari et al., 2022). در مطالعه حاضر، تنش خشکی یا عدم آبیاری (I_5)، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی را به‌طور قابل‌توجهی در مقایسه با تیمار آبیاری شاهد (I_1) کاهش داد. در واقع، کاهش محتوای کلروفیل گیاهان یک علامت معمولی از تنش اکسیداتیو در شرایط تنش خشکی است که ممکن است در نتیجه اکسیداسیون رنگدانه و تخریب کلروفیل باشد (Gelaw and Sanan-Mishra, 2024; Zahedi et al., 2024). Afshari و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که از دست دادن کلروفیل با آسیب کلروپلاست‌های مزوفیل همراه است و در نتیجه نرخ فتوسنتز کمتری تحت تنش ایجاد می‌شود. Muscolo و همکاران (۲۰۱۴)، Zafari و همکاران (۲۰۲۰) و Afshari و همکاران (۲۰۲۲) کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان تحت تنش خشکی را عمدتاً به تغییر برخی آنزیم‌ها و هورمون‌ها و همچنین آسیب اکسیداتیو ناشی از تولید ROS و کاهش محتوای نسبی آب تحت تنش نسبت می‌دهند که باعث کاهش فشار تورگر سلولی می‌شود و در نتیجه از بزرگ شدن و تقسیم سلولی و رشد گیاه جلوگیری می‌کند.

شاخص برداشت به نسبت زیست‌توده دخیل در تولید میوه به کل گیاه تعریف می‌شود. نتایج پژوهش نشان داد که عدم آبیاری در هر سه تراکم بوته، کمترین شاخص برداشت را داشت. اثر منفی عدم آبیاری در مقایسه با تراکم بوته، بیشتر بود. تنش کم‌آبی با کاهش تولید مواد فتوسنتزی و اختلال در تسهیم آن‌ها به اندام‌هایی مانند میوه، موجب کاهش شاخص برداشت می‌شود (Arvand and Sohrabi, 2022).

نتایج نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی، درصد اسانس زیره سبز در مقایسه با شرایط شاهد افزایش یافت، اما در شرایط تنش شدید، درصد اسانس کاهش

پیدا کرد. به نظر می‌رسد که افزایش درصد اسانس در تنش متوسط به عنوان مکانیسم دفاعی برای تحمل تنش عمل می‌کند. سایر پژوهش‌ها نیز کاهش ماده خشک و تغییر ترکیب و میزان اسانس در شرایط تنش کم‌آبی را گزارش کرده‌اند (Bayati et al., 2020; Arvand and Sohrabi, 2022). ساخت متابولیت‌های ثانویه به‌طور کلی تحت کنترل ژنتیکی گیاه است، اما تنش خشکی تأثیر زیادی بر میزان تولید آن‌ها دارد (Rezaei-Chiyaneh et al., 2018). با توجه به این نکته که عملکرد اسانس تابعی از عملکرد میوه و درصد اسانس می‌باشد، از آنجایی که عملکرد میوه تحت شرایط تنش متوسط کاهش محسوسی داشته، بنابراین عملکرد اسانس تحت شرایط تنش متوسط در مقایسه با شرایط آبیاری شاهد افزایش نشان داد. نتایج مشابهی در مورد عملکرد اسانس گیاه سیاهدانه گزارش شده است (Arvand and Sohrabi, 2022).

گزارش شد که تراکم بوته یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر رشد گیاه است که در صورت کاشت با تراکم مطلوب، رقابت بین بوته‌ای به حداقل کاهش یافته و عوامل محیطی (نور، رطوبت و مواد غذایی) به نحو مناسب‌تری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد که نتایج آن بهبود عملکرد و حصول حداکثر کیفیت محصول می‌باشد (Tahmasebi et al., 2020). نتایج به دست آمده نشان داد که از بین سه تراکم ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع، استفاده از تراکم ۵۰ بوته در مترمربع (در مجموع صفات) از برتری قابل قبولی از نظر افزایش صفات رشدی، مورفولوژیکی و عملکردی برخوردار بود. در همین راستا گزارش شده است که تراکم‌های مختلف کاشت می‌تواند بر جذب مقدار مواد مغذی در مراحل مختلف رشدی گیاه اثرگذار باشد (Sarli et al., 2022). این پژوهشگران همچنین بیان داشتند که اثر تراکم گیاه بر نیتروژن خاک می‌تواند از سالی به سال دیگر متفاوت باشد. به نظر می‌رسد

عملکرد اسانس با صفات عملکرد میوه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته و تعداد چترک در چتر در گیاه زیره سبز همبستگی مثبت و معنی داری داشت.

نتیجه گیری نهایی

با توجه به نتایج به دست آمده آبیاری در مراحل مختلف فنولوژی گیاه زیر سبز اثر معنی داری بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و کیفی داشت. نتایج نشان داد که فقط آبیاری در مرحله گلدهی (I₄) در مقایسه با آبیاری در این مرحله و رشد رویشی (ساقه-دهی) یا دانه بندی، منجر به تولید پایین تری (میانگین صفات عملکردی و کیفی) می شود. به بیان دیگر علاوه بر آبیاری در مرحله گلدهی برای دستیابی به عملکرد کمی و کیفی مطلوب، آبیاری در مرحله رویشی یا دانه بندی ضروری است. برای دستیابی به عملکرد میوه و عملکرد بیولوژیک بالاتر، آبیاری در مرحله رشد رویشی (ساقه دهی) در مقایسه با دانه بندی اهمیت و نقش بیشتری داشت. تحت شرایط آبیاری نرمال (شاهد) استفاده از تراکم بوته بالاتر (۱۰۰ بوته در مترمربع)، میانگین عملکرد میوه بیشتری داشت در حالی که با کاهش یک مرحله آبیاری از سه مرحله آبیاری شاهد، تراکم ۵۰ بوته در مترمربع منجر به ایجاد میانگین بالاتری از صفات مورد بررسی شد. به طور کلی می توان نتیجه گیری کرد که به منظور دستیابی به عملکرد کمی و کیفی در گیاه زیره سبز (عملکرد میوه و محتوای اسانس) کشت این گیاه با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و همچنین دو مرحله آبیاری در مراحل رشد رویشی (ساقه دهی) و گلدهی در منطقه مورد مطالعه قابل توصیه می باشد.

یکی از دلایل وجود برخی تفاوت ها در نتایج به دست آمده در طی دو سال آزمایش حاضر، اثر تراکم بوته بر نیتروژن (یا به طور کلی مواد مغذی خاک) باشد. در راستا نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، سایر پژوهشگران نتیجه گیری کردند که بیشترین تعداد چتر در بوته، تعداد میوه در چتر، وزن صد میوه، وزن تک بوته، عملکرد میوه و کارایی مصرف آب در گیاه زیره سبز در تراکم کاشت ۸۰ بوته در مترمربع بود (Ghalibaf et al., 2020).

در اکثر صفات رشدی و عملکردی، تراکم ۳۰ بوته در مترمربع نسبت به تراکم های دیگر کارایی کمتری داشت. کاهش تراکم بوته منجر به از دست رفتن تشعشع خورشیدی در مراحل اولیه رشد، کاهش سرعت رشد و شاخص برگ شده و در نتیجه عملکرد میوه کاهش می یابد. در تراکم های بالا، رقابت شدید برای جذب منابع باعث کاهش عملکرد میوه می شود (Ghalibaf et al., 2020; Zhang et al., 2024). تراکم مناسب باعث تقویت رشد رویشی، افزایش تعداد برگ ها و شاخص سطح برگ، و در نتیجه افزایش منبع در مرحله پر شدن دانه و سنتز متابولیت های ثانویه می شود. این موضوع می تواند یکی از دلایل افزایش محتوای اسانس در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و آبیاری در مرحله گلدهی باشد (Krnjaja et al., 2019). همچنین، تولید متابولیت های ثانویه مانند اسانس به شدت تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، اکولوژیکی، و نوع مدیریت مزرعه از جمله تراکم کاشت قرار دارد (Alavi Samani et al., 2021). هم راستا با یافته های آنالیز همبستگی بین صفات، سایر پژوهشگران نتایج مشابهی گزارش کردند. به طور مثال، Faravani و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که

References

- Afshari, F., Nakhaei, F., Mosavi, S., and Seghatoleslami, M. 2022. Physiological and biochemical responses of *Stevia rebaudiana* Bertoni to nutri-priming and foliar nutrition under water supply restrictions. *Industrial Crops and Products*, 176: 114399.

- Alavi Samani, S.M., Ghasemi Pirbalouti, P., and Malekpoor, F. 2021. Effect of foliar application of chitosan on the quantity and quality of *Hyssopus officinalis* L. subsp. angustifolius Bieb. essential oil under different irrigation regimes. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 9: 69-81.
- Alinian, S., Razmjoo, J., and Zeinali, H. 2016. Flavonoids, anthocynins, phenolics and essential oil produced in cumin (*Cuminum cyminum* L.) accessions under different irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, 81: 49-55.
- Anonymous. 2020. Ministry of Agriculture-Jahad Statistics. Available from: https://www.maj.ir/Index.aspx?page_=form&lang=1&sub=65&tempname=amar&PageID=11583 Accessed 18 February 2020.
- Arvand, M., and Sohrabi, Y. 2022. Effect of combining biological and chemical fertilizers on yield and quality of Black Cumin grain under different irrigation levels. *Journal of Plant Process and Function*, 11: 123-144.
- Aryafar, S., Sirousmehr, A., and Najafi, S. 2021. The impact of compost on seed yield and essential oil of black cumin under drought stress conditions. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 1: 139-148.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Bayati, P., Karimmojeni, H., and Razmjoo, J. 2020. Changes in essential oil yield and fatty acid contents in black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes in response to drought stress. *Industrial Crops and Products*, 155: 112764.
- Bghbani-Arani, A., and Poureisa, M. 2024. Soil properties and yield of peppermint (*Mentha piperita* L.) in response to different nitrogen fertilizers under water-deficit conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25: 1-18.
- Faravani, M., Jafari, A., Ranjbar, M., Negari, A., and Azizi, N. 2018. Study of phenological, morphological and phytochemical characteristics of cumin ecotypes under Mashhad climatic conditions. *Applied Field Crops Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 31(3): 95-113.
- Gelaw, T.A., and Sanan-Mishra, N. 2024. Molecular priming with H₂O₂ and proline triggers antioxidant enzyme signals in maize seedlings during drought stress. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*: 130633.
- Ghaderi, A., Moghaddam, M., Mehdizadeh, L., and Ebrahimi, H. 2016. The effects of different levels of nitrogen and plant density on nitrogen, phosphorus and potassium uptake, nitrogen use and uptake efficiency in cumin (*Cuminum cyminum*) Fruit. *Plant Production Technology*, 8: 153-165.
- Ghahremani, A., Moghadam, E.G., Tatari, M., and Khosroyar, S. 2019. Physiological responses of paneer-booti (*Withania coagulans* Dunal) to NaCl stress under tissue culture conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47: 1365-1373.
- Ghalibaf, K., Aval, M., Mohassel, M., Valaei, N., Yaghoubi, F., and Rashidi, Z. 2020. Effects of planting date and deficit irrigation on water use efficiency of cumin (*Cuminum cyminum* L.) at two different densities in Mashhad conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18: 52-63.
- Hazrati, S., Habibzadeh, F., Mollaie, S., Masoumpour, Z., and Asgharian, P. 2021. Phytochemical study and improving the essential oil yield of *Cuminum cyminum* L. by spraying the metabolic activator of pluramin and the growth regulator of bioxa under rainfed condition. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 9: 22-38.
- Karydogianni, S., Roussis, I., Mavroeidis, A., Kakabouki, I., Tigka, E., Beslemes, D., Stavropoulos, P., Katsenios, N., Tsiplakou, E., and Bilalis, D. 2022. The influence of fertilization and plant density on the dry matter yield and quality of black mustard [*Brassica nigra* (L.) Koch]: an alternative forage crop. *Plants*, 11: 2683.
- Krnjaja, V., Mandić, V., Stanković, S., Obradović, A., Vasić, T., Lukić, M., and Bijelić, Z. 2019. Influence of plant density on toxigenic fungal and mycotoxin contamination of maize grains. *Crop Protection*, 116: 126-131.

- Lichtenthaler, H.K., and Buschmann, C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1: F4. 3.1-F4. 3.8.
- Mehrabi, Y., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., Mohatashami, R., and Hamidian, M. 2020. Improving physiological traits, yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.) via application of phosphorus bio-fertilizers and supplementary irrigation under dryland condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 35: 1044-1057.
- Mohammed, F.S., Sevindik, M., Uysal, İ., Çesko, C., and Koraqi, H. 2024. Chemical composition, biological activities, uses, nutritional and mineral contents of cumin (*Cuminum cyminum*). *Measurement: Food*: 100157
- Moslemi, E., Akbarian, M.M., Ravari, S.Z., Yavarza, M.R., and Modafeh-Behzadi, N. 2023. Investigation of the effect of drought stress on yield and yield components of *Cuminum cyminum* L. ecotypes in climatic conditions of Kerman Province. *Ecophytochemical Journal of Medicinal Plants*, 10: 107-119
- Muscolo, A., Sidari, M., Anastasi, U., Santonoceto, C., and Maggio, A. 2014. Effect of PEG-induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. *Journal of Plant Interactions*, 9: 354-363.
- Noori, H., Moosavi, S.G., Seghatoleslami, M., and Fazeli Rostampour, M. 2022. Morpho-physiological and yield responses of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to the application of growth regulators under drought stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 12: 4013-4025.
- Rahghoshahi, M., Panahi Kord Laghari, K., and Rahimi, M.M. 2022. Study on humic acid and algae effects on grain yield and agronomical characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38: 286-300.
- Razzaghi, F., Bahadori-Ghasroldashti, M.R., Henriksen, S., Sepaskhah, A.R., and Jacobsen, S.E. 2020. Physiological characteristics and irrigation water productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to deficit irrigation imposed at different growing stages-A field study from Southern Iran. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206: 390-404.
- Rezaei-Chiyaneh, E., Seyyedi, S.M., Ebrahimian, E., Moghaddam, S.S., and Damalas, C.A. 2018. Exogenous application of gamma-aminobutyric acid (GABA) alleviates the effect of water deficit stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, 112: 741-748.
- Sanaei-Hoveida, Z., Mortazavian, S.M.M., Norouzi, M., and Sadat-Noori, S.A. 2024. Exploring the potential of polyploidization as a breeding tool for medicinal plants: a case study on cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 156: 23-29.
- Sarli, H., Biabani, A., Sabouri, H., and Gonbad, R.M. 2022. Evaluation of remobilization indices in wheat as affected by planting density and amounts of nitrogen fertilizer. *Journal of Crops Improvement*, 24: 825-840.
- Shafiee-Adib, S., Amini Dahaghi, M., Rezazadeh, A., and Naji, A. 2020. Evaluation of sulfur and foliar application of Zn and Fe on yield and biochemical factors of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under irrigation regimes. *Journal of Herbmmed Pharmacology*, 9: 161-170.
- Tahmasebi, M., Hamidoghli, Y., Rezaee, M., and Hossaini, A. 2020. Evaluation and comparison of the most important secondary metabolites of methanolic extract of different artichoke (*Cynara scolymus* L.) organs under drought stress and planting density. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 8: 66-80.
- Tang, Z., Lu, J., Xiang, Y., Shi, H., Sun, T., Zhang, W., Wang, H., Zhang, X., Li, Z., and Zhang, F. 2024. Farmland mulching and optimized irrigation increase water productivity and seed yield by regulating functional parameters of soybean (*Glycine max* L.) leaves. *Agricultural Water Management*, 298: 108875
- Zafari, M., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., and Sedghi, M. 2020. Safflower (*Carthamus tinctorius*) biochemical properties, yield and oil content affected by 24-epibrassinosteroid and genotype under drought stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(22): 6040-6047.

- Zahedi, S.M., Harfi, T., Marjani, M., Vaculík, M., Amini, M., and Sarikhani, S. 2024. Various forms of foliar applied zinc improve drought acclimation in pomegranate: Response of photosynthesis, osmoregulation and antioxidant defense. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15: 1-12.
- Zhang, X., Kong, Y., Lv, Y., Yao, F., Cao, Y., Shao, X., Geng, Y., Wang, L., and Wang, Y. 2024. Increased topsoil depth required to support increased grain yield production in high density maize. *Field Crops Research*, 308: 109282