



Effect of irrigation, humic acid, wheat gluten protein, and *Bacillus* bacteria on cumin (*Cuminum cyminum* L.)

Mohammad Sepehri Bimorghji¹, Farzad Nadjafi¹ and Mohammad Behzad Amiri^{2*} 

1- Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2*- Corresponding Author, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Gonabad, Gonabad, Iran,
E-mail: amiri@gonabad.ac.ir

Received: 05/04/2025

Revised: 06/10/2025

Accepted: 22/10/2025

Abstract

Background and objectives: Cumin, as a medicinal and spice plant, holds a special position in the agricultural systems of arid and semi-arid regions, including Iran. Despite the high potential of cumin, its cultivation faces serious challenges that can limit its production and overall productivity. Although this plant is adapted to relatively arid conditions, it is highly affected by environmental stresses, particularly water deficit stress. A precise understanding of cumin's response to water deficit stress and identifying efficient approaches to enhance its tolerance are essential for the sustainable development of cumin cultivation in vulnerable regions. Therefore, the present study aimed to investigate the effects of irrigation levels, humic acid, wheat gluten protein, and *Bacillus* bacteria on the medicinal plant cumin.

Methodology: An experiment was conducted over two consecutive crop years, 2021-2022 and 2022-2023, at the research farm of the University of Gonabad. The experimental design was a split-plot arrangement in time based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Three irrigation levels-full irrigation (50% evaporation from the evaporation pan in mm), low irrigation (70% evaporation from the evaporation pan in mm), and rainfed irrigation- were assigned to the main plots. Foliar application of humic acid, wheat gluten protein, application of *Bacillus* bacterium, and a control (no supplemental input) were assigned to the subplots. In both growing seasons, data were recorded at the end of the period, at the onset of seed ripening, and at the drying of the plant's aerial parts. From each plot, five plants were randomly selected from the middle rows to measure various morphological and yield-related traits, including plant height, number of branches per plant, leaf and stem weight, root weight and length, leaf weight, number of umbels and umbellets per plant, seed number and seed weight per plant, and 1000-seed weight. For biochemical and essential oil analysis, seeds were shade-dried under ambient conditions after harvest. Once dried, the essential oils were extracted from the samples using standard procedures. Experimental data were analyzed using SAS version 9.4, and treatment means were compared using Duncan's multiple range test.

Results: Application of all evaluated eco-friendly inputs increased plant height, branch number per plant, and leaf and stem weight compared to the control treatment. Under low irrigation conditions, application of *Bacillus* and humic acid resulted in a 44% and 49% increase in stem weight per plant, respectively, compared to the control. Foliar application of wheat gluten protein under rainfed conditions increased the number of umbels per plant by 41% compared to the control. Seed weight per plant under low irrigation increased by 49% and 52%



following the application of *Bacillus* and humic acid, respectively, compared to the control treatment. The highest amount of γ -Terpinene-7-al (21.35%) was obtained under humic acid foliar application, and foliar application of protein under full irrigation increased *p*-cymene content by 28% compared to its application under rainfed conditions.

Conclusion: Overall, the findings of this study indicate that under optimal irrigation conditions (50% evaporation from a Class A pan), the highest quantitative and qualitative yields of cumin can be achieved. Otherwise, low-irrigation regimes are recommended over rainfed irrigation. The results also demonstrated that the use of eco-friendly inputs under drought stress conditions was effective in reducing losses associated with water deficit stress.

Keywords: Essential oil components, drought stress, growth-promoting rhizobacteria, organic acid, no supplemental irrigation.

اثر آبیاری، اسید هیومیک، پروتئین گلوتن گندم و باکتری باسیلوس روی گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)

محمد سپهری بیمرغی^۱، فرزاد نجفی^۲ و محمدبهزاد امیری^{۳*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- استادیار، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران، پست الکترونیک: amiri@gonabad.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: زیره سبز به عنوان یک گیاه دارویی و ادویه ای جایگاه ویژه ای در نظام های کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله ایران دارد. با وجود ظرفیت بالای زیره سبز، کشت آن با چالش های عمده ای روبرو است که می تواند تولید و بهره وری آن را محدود کند. این گیاه، اگرچه به شرایط خشکی نسبی سازگار است، اما به شدت تحت تأثیر تنش های محیطی به ویژه تنش کم آبی قرار می گیرد. شناخت دقیق پاسخ زیره سبز به تنش کم آبی و یافتن راهکارهای مؤثر برای بهبود تحمل آن، برای توسعه پایدار کشت این گیاه در مناطق مستعد ضروری است، بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی اثر آبیاری و اسید هیومیک و پروتئین گلوتن گندم و باکتری باسیلوس روی گیاه دارویی زیره سبز بود.

مواد و روش ها: آزمایش در دو سال زراعی متوالی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به صورت کرت های خرد شده در زمان در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد با سه تکرار اجرا شد. سه سطح آبیاری شامل آبیاری کامل (۵۰ درصد تبخیر از تشت تبخیر برحسب میلی متر)، کم آبیاری (۷۰ درصد تبخیر از تشت تبخیر برحسب میلی متر) و عدم آبیاری تکمیلی در کرت های اصلی و محلول پاشی اسید هیومیک، پروتئین گلوتن گندم، کاربرد باکتری باسیلوس و شاهد (عدم اعمال هر گونه محلول پاشی) در کرت های فرعی قرار گرفتند. در هر دو سال زراعی، در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله رسیدگی دانه ها و خشک شدن اندام هوایی گیاه، از هر کرت پنج بوته به صورت تصادفی از ردیف های میانی برای اندازه گیری صفات مورد نظر انتخاب و برخی صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد مانند ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی در بوته، وزن برگ و ساقه، وزن و طول ریشه، وزن برگ، تعداد چتر و چترک در بوته، تعداد و وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه اندازه گیری شدند. به منظور ارزیابی مواد مؤثره و اجزاء تشکیل دهنده اسانس، بذرها در سایه و در دمای اتاق خشک گردید. تجزیه و تحلیل داده های آزمایش با استفاده از نرم افزار آماری SAS Ver. 9.4 و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن انجام شد.

نتایج: کاربرد کلیه نهاده های بوم سازگار مورد مطالعه، افزایش ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی و وزن برگ و ساقه در بوته در مقایسه با تیمار شاهد را موجب شدند. کاربرد باسیلوس و اسید هیومیک در شرایط کم آبیاری به ترتیب منجر به افزایش ۴۴ و ۴۹ درصدی وزن ساقه در بوته نسبت به شاهد شد. محلول پاشی پروتئین گلوتن گندم در شرایط عدم آبیاری تکمیلی تعداد چتر در بوته را ۴۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. وزن بذر در بوته در شرایط کم آبیاری تحت تأثیر منابع تغذیه ای باسیلوس و اسید هیومیک به ترتیب ۴۹ و ۵۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. بیشترین مقدار ترکیب گاما-تریپن-۷-آل (۳۵/۲۱ درصد) در شرایط محلول پاشی اسید هیومیک به دست آمد و کاربرد پروتئین در شرایط آبیاری کامل مقدار پارا-سیمن را ۲۸ درصد نسبت به کاربرد این کود در شرایط عدم آبیاری تکمیلی افزایش داد.

نتیجه گیری: به طور کلی با توجه به یافته های این پژوهش، چنانچه امکان آبیاری کامل در مزرعه زیره سبز وجود داشته باشد، می توان به بالاترین عملکرد کمی و کیفی گیاه دست یافت و اگر به هر دلیلی شرایط برای آبیاری کامل مزرعه فراهم نبود، حداقل انجام

رژیم کم آبیاری در مقایسه با آبیاری دیم توصیه می‌شود. نتایج نشان داد که کاربرد نهاده‌های بوم‌سازگار در شرایط تنش خشکی در کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی مؤثر بود.

واژه‌های کلیدی: اجزای اسانس، تنش خشکی، ریزوباکتر محرک رشد، اسید آلی، عدم آبیاری تکمیلی.

مقدمه

زیره سبز گیاهی علفی، یکساله و معطر از خانواده چتریان است. اسانس موجود در بذرها این گیاه دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضد نفخ، ضد باکتری و ضد عفونی‌کننده می‌باشد (Mortazavian et al., 2021). در طب سنتی زیره سبز به عنوان یک داروی ضد چاقی، ضد تشنج، ضد صرع، مدر و مقوی معده مورد استفاده بوده است. در طب امروزی نیز این گیاه در درمان قاعدگی دردناک، ضد اسپاسم و به عنوان افزایش دهنده شیر مادر کاربرد دارد (Mahmoudi et al., 2021). زیره سبز یکی از مهمترین گیاهان دارویی اهلی در ایران بوده و در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی-بهداشتی کاربرد گسترده‌ای دارد (Ebrahimiyan et al., 2017). این گیاه از مهمترین گیاهان صادراتی کشور و پس از زعفران دومین گیاه صادراتی ایران می‌باشد و به دلیل افزایش تقاضای جهانی هرساله بر اهمیت اقتصادی و سطح زیر کشت آن افزوده می‌شود (Piri et al., 2021).

در قرن بیست و یکم تأمین غذای جمعیت کره زمین چالش بزرگی برای بخش کشاورزی به حساب می‌آید. افزون بر این، تنش‌های غیرزیستی و زیستی تهدیدی جدی برای تولیدات کشاورزی است. آب یکی از عوامل محدودکننده مهم تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد (Ahmadipour et al., 2019). خشکی منجر به تغییر در صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، اکولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان شده و می‌تواند بر کمیت و کیفیت رشد و عملکرد گیاهان تأثیر منفی داشته باشد (Salehi-Lisar & Bakhshayeshan-Agdam, 2020) و بروز علائمی مانند چروکیدگی، زرد شدن، سوختگی و پژمردگی دائم برگ را سبب می‌شود (Corso et al., 2020). در یک پژوهش، اعمال تنش خشکی و تخلیه ۹۰ درصدی رطوبت خاک به ترتیب

منجر به کاهش ۹، ۳۲ و ۲۷ درصدی ارتفاع بوته، عملکرد دانه و عملکرد زیستی زیره سبز نسبت به تیمار شاهد شد (Rahgoshahi et al., 2022). در پژوهشی دیگر، بیشترین ارتفاع زیره سبز زمانی حاصل شد که ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه تأمین گردید و با افزایش سطوح تنش خشکی از مقدار ارتفاع بوته کاسته شد، همچنین بیشترین مقدار صفاتی مانند تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و میزان کلروفیل کل در تیمار بدون اعمال تنش خشکی به دست آمد (Pishva et al., 2020).

در دهه‌های اخیر استفاده از کودهای آلی دارای اسید هیومیک، به منظور افزایش رشد کمی و کیفی محصولات کشاورزی و بهبود بازده اقتصادی حاصل از آن‌ها، مورد توجه قرار گرفته است. اسید هیومیک در اثر تجزیه مواد آلی به‌ویژه موادی با منشأ گیاهی به وجود می‌آید و در خاک، زغال‌سنگ و پیت یافت می‌شود. اسید هیومیک با وزن مولکولی ۳۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰ دالتون سبب تشکیل کمپلکس پایدار و نامحلول با عناصر میکرو می‌گردد (Nasiri, 2022). اسید هیومیک از طریق افزایش نفوذپذیری غشای سلولی، بهبود فرایندهای متابولیسمی و کارایی فتوسنتزی و فعال کردن آنزیم‌ها و طولی شدن سلول‌ها بهبود کمیت و کیفیت تولیدات کشاورزی را در پی دارد (Aalipour et al., 2020). یکی دیگر از مهمترین مزایای اسید هیومیک، تأثیرگذاری آن در کاهش شدت تنش کمبود آب از طریق تنظیم فشار اسمزی، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک و کمک به افزایش تورم سلولی است (Khorasaninejad et al., 2018; Maitra et al., 2021). Rahgoshahi و همکاران (۲۰۲۲) پس از بررسی اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و عصاره جلبک در زیره سبز گزارش کردند که استفاده از این نهاده‌های آلی ضمن کاهش آثار مخرب تنش خشکی، ارتفاع بوته، تعداد ساقه‌های فرعی،

محصول را به همراه داشته است.

باکتری‌های جنس *باسیلوس* یکی از پرکاربردترین اجزاء محصولات بیولوژیکی هستند (Saxena et al., 2020) که به‌عنوان کود زیستی از طریق در دسترس قرار دادن عناصر غذایی برای گیاه عملکرد کمی و کیفی محصولات مختلف را افزایش می‌دهند (Kalayu, 2019; Saxena et al., 2020). باکتری‌های *باسیلوس* تحمل گیاه را به تنش‌های محیطی افزایش داده و از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد منجر به افزایش تولیدات کشاورزی می‌شود (Jabborova et al., 2021). Saeid Nezhad و Rezvani Moghaddam (۲۰۱۰) در بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر روی گیاه زیره سبز نشان دادند که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه شد. در پژوهشی دیگر، کاربرد باکتری *باسیلوس* در افزایش مقاومت گیاه گوش موشی (*Arabidopsis thaliana* L.) به عوامل بیماری‌زا مؤثر بود (Yang et al., 2023). بهبود فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ساقه و بذر خودفرنگی (*Pisum sativum* L.) در خاک‌های رسی و شنی آهکی تحت تأثیر کاربرد باکتری *باسیلوس* گزارش شده است (Mahmoud et al., 2023).

با توجه به اینکه یکی از مهمترین مسائل و مشکلات بخش کشاورزی در ایران، کمبود منابع آبی و مواجهه گیاهان با تنش خشکی و کم‌آبایی است و از آنجایی که به نظر می‌رسد کاربرد نهاده‌هایی مانند اسیدهای آلی و پروتئین‌های حاوی اسید آمینه و استفاده از کودهای زیستی بتواند تا حدودی اثر منفی تنش کمبود آب را در گیاه زیره سبز کاهش دهد و باعث بهبود کمیت و کیفیت آن گردد. البته انجام طرح‌های تحقیقاتی و پژوهش‌های کاربردی در این زمینه ضرورت دارد، بر این اساس، هدف از این پژوهش، بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی نهاده‌های بوم‌سازگار اسید هیومیک و پروتئین گلوتن گندم و کاربرد باکتری *باسیلوس* بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی زیره سبز در شرایط گناباد بود.

تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اسانس و درصد اسانس را نسبت به تیمار شاهد بهبود بخشید. Varnaseri Ghandali و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که میزان نیتروژن و فسفر دانه زیره سبز تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک افزایش یافت و میزان پتاسیم دانه نیز در شرایط کاربرد چهار لیتر در هکتار اسید هیومیک و مصرف ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، به‌ترتیب از افزایش ۹ و ۸ درصدی نسبت تیمار شاهد برخوردار شد. البته آثار مثبت کاربرد اسید هیومیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان مختلف ازجمله گلرنگ (*Carthamus tinctorium* L.) (Karimi & Tadayyon, 2018) و خرفه (*Portulaca oleracea* L.) (Mozaffari et al., 2016) نیز گزارش شده است.

پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه یکی از محرک‌های زیستی معروف هستند که آثار مثبت متعددی بر روی گیاهان دارند که ازجمله مهمترین آنها می‌توان به نقش مثبت این نهاده بر رشد، افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه، کاهش قابل‌ملاحظه صدمات ناشی از تنش‌های غیرزیستی و تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی، متابولیسمی، ساختاری و مبادلاتی در گیاهان (Aminifard et al., 2020) و کمک به بهبود و تقویت تنفس سلولی، افزایش غلظت کلروفیل و تأثیر بر فتوسنتز، سنتز پروتئین و رشد گیاه اشاره کرد (Kahlel & Sultan, 2019). Sanikhani et al., 2020. بررسی اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه همراه با قارچ مایکوریزا در گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinallis* L.) نشان داد که کاربرد اسید آمینه به‌ترتیب افزایش ۱۰، ۹ و ۱۳ درصدی شاخص سطح برگ، تعداد شاخه فرعی و قطر گل را در مقایسه با تیمار شاهد سبب شد (Taheri Asghari, 2021). Azarpira و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در مزرعه گیاه دارویی نعناع (*Mentha spicata* L.) از طریق افزایش میزان نیتروژن، پتاسیم و فسفر گیاه، باعث افزایش میزان رنگیزه‌ها (کلروفیل) و به دنبال آن بهبود توانایی جذب نور خورشید و تولید مواد فتوسنتزی شده و در نهایت بهبود رشد و عملکرد

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد واقع در جنوب استان خراسان رضوی، با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۶۰ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در زمان در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. سه سطح آبیاری شامل آبیاری کامل (۵۰ درصد تبخیر

از تشت تبخیر برحسب میلی‌متر)، کم‌آبیاری (۷۰ درصد تبخیر از تشت تبخیر برحسب میلی‌متر) و عدم‌آبیاری تکمیلی در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید آمینه گلوتن گندم و کاربرد باکتری باسیلوس سوبتیلیس (با جمعیت باکتریایی 10^8 واحد تشکیل‌دهنده کلنی در هر میلی‌لیتر Colony-Forming Unit, CFU) و شاهد (عدم‌اعمال هر گونه محلول‌پاشی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد پژوهش به تفکیک سال‌های زراعی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی منطقه مورد پژوهش

Table 1. Meteorological information of the research region

	Crop year 2020-2021						Crop year 2021-2022					
	April	May	June	July	August	September	April	May	June	July	August	September
Rainfall (mm)	0	49.5	0.5	0.5	0	0	1.1	22.7	0	0	0	0
Mean temperature (°C)	19.2	23.5	30.5	30.9	29.7	26.8	19.1	24	27.1	23.6	29.5	24.5
Maximum temperature (°C)	26.4	36.5	42.4	42.8	39.7	38.8	34.1	36.3	40.9	42.2	42.1	37
Minimum temperature (°C)	3.3	13	18.9	17.2	16.7	15.4	3	11.4	13.6	19.7	16.6	13.6
Evaporation (mm)	259.4	282.1	460.3	434.2	404.2	348.1	233.2	313.2	409.6	479.3	429.1	327.3

قبل از شروع آزمایش‌های مزرعه‌ای، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- خصوصیات خاک محل آزمایش

Table 2. Experimental soil characteristics

Texture	K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	N (%)	Organic C (%)	pH	EC (dS.m ⁻¹)
Loamy-sandy	103	8	0.019	0.19	8.2	4.3

همزمان با کاشت و به منظور اعمال باکتری باسیلوس مطابق با توصیه شرکت تولیدکننده مقدار یک لیتر در هکتار از این کود با بذر مربوطه آغشته شد، ضمن اینکه در هر دو سال زراعی مورد مطالعه، این کود در مرحله شش تا هفت برگگی (۱۰ فروردین‌ماه) همراه با آب آبیاری به کرت‌های مربوطه اضافه گردید. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت به‌روشنی انجام شد و آبیاری‌های بعدی با توجه به تیمارهای آبیاری اعمال گردید. با توجه به روش آبیاری بر پایه تبخیر از تشت تبخیر و براساس میانگین تبخیر روزانه در منطقه گناباد (حدود ۱۰ میلی‌متر در روز در طول فصل رشد) و طول دوره رشد (۱۱۰ روز)، میزان کل آب تأمین شده برای تیمار آبیاری کامل

به‌منظور حفظ پایداری خاک، برای آماده‌سازی زمین تنها عملیات دیسک‌زنی با تأکید بر خاک‌ورزی حداقل در نظر گرفته شد و کلیه مراحل بعدی توسط کارگر با بیل دستی انجام شد. با توجه به کودی بودن ماهیت تیمارها و جلوگیری از اختلاط تیمارها با هم، برای هر بلوک آزمایشی یک لوله آبیاری و پساب جداگانه در نظر گرفته شد. توده بذری انتخاب‌شده (توده محلی گناباد) ۳۰ دی‌ماه (Rivandi et al., 2020) هر دو سال زراعی، طبق نقشه کاشت در کرت‌های آزمایشی (ابعاد کرت‌های اصلی و فرعی به ترتیب ۸×۲ و ۲×۲ متر) در ردیف‌هایی به فاصله ۲۵ سانتی‌متر و با فاصله روی ردیف ۲ سانتی‌متر از یکدیگر به‌صورت مسطح کشت شد.

حدود ۷۷۰ میلی‌متر و برای تیمار کم‌آبیاری ۵۵۰ میلی‌متر برآورد شد و حجم آب مصرفی تجمعی برای هر کرت (۴ مترمربع) به ترتیب ۳/۰۸ مترمکعب برای آبیاری کامل و ۱/۱۰ مترمکعب برای کم‌آبیاری تخمین زده شد که طی ۱۱ نوبت آبیاری در طی فصل رشد در اختیار گیاه قرار گرفت. در تیمار عدم آبیاری تکمیلی، تنها یک نوبت آبیاری اولیه برای استقرار گیاهچه انجام شده و پس از آن، تأمین آب مورد نیاز گیاه فقط از طریق بارش‌های طبیعی بود. در سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰، میزان بارندگی تجمعی طی فصل رشد زیره سبز در محل آزمایش به ترتیب ۵۰ و ۲۳/۸ میلی‌متر بود (جدول ۱). محلول‌پاشی اسید هیومیک (با غلظت ۲ در هزار در هر مرحله محلول‌پاشی) و پروتئین گلوتن گندم (با غلظت ۵ در هزار در هر نوبت محلول‌پاشی و تولید پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی) طی دو مرحله و در مرحله ۴ تا ۶ برگی و مرحله گلدهی انجام شد. برای رسیدن به تراکم مناسب (۲۰۰ بوته در مترمربع) (Nakhzari Moghaddam, 2010)، پس از رسیدن گیاه به مرحله ۴ برگی عملیات تنک انجام گردید. به‌منظور کنترل علف‌های هرز، از چندین نوبت وجین دستی به ترتیب ۳۰، ۴۵ و ۶۰ روز پس از کاشت استفاده شد. برای آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

در هر دو سال زراعی، در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله رسیدگی دانه‌ها و خشک شدن اندام هوایی گیاه، ۱۰ خردادماه از هر کرت پنج بوته به‌صورت تصادفی از ردیف‌های میانی برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر انتخاب شد. در این مرحله از آزمایش، برخی صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد مانند ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی در بوته، وزن برگ و ساقه، وزن و طول ریشه، وزن برگ، تعداد چتر و چترک در بوته، تعداد و وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. به‌منظور تعیین عملکرد دانه و بیولوژیک، کل بوته‌های کرت‌های آزمایشی با رعایت اثر حاشیه برداشت و وزن دانه و وزن کل آنها اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به بیولوژیک ضرب در صد به‌دست آمد. به‌منظور ارزیابی مواد مؤثره و اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس،

بذرهای پس از جمع‌آوری، در سایه و در دمای اتاق خشک گردید. نمونه‌ها پس از خشک شدن در پاکت‌های کاغذی نگهداری و برای استخراج اسانس به آزمایشگاه گیاهان دارویی پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهران منتقل شدند. برای استخراج اسانس از روش تقطیر با آب استفاده گردید. ماده گیاهی خشک شده توسط آسیاب دستی خرد و به مقدار ۳۰ گرم از پودر گیاه خشک شده در حجم کافی از آب غوطه‌ور شد تا کاملاً پوشانده شود و فرایند تقطیر به‌صورت بهینه و مستمر توسط دستگاه کلونجر طبق فارماکوپه بریتانیا به مدت ۳ ساعت انجام گردد. نمونه‌ها پس از پایان کار اسانس‌گیری، جمع‌آوری و با سولفات سدیم بی‌آب (Anhydrous Sodium Sulfate) آب‌گیری شده و بعد برای تعیین خصوصیات کمی و کیفی اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس با استفاده از دستگاه‌های GC و GC-MS مورد مطالعه قرار گرفتند. سپس با استفاده از روش کوپل شده کروماتوگرافی گازی با طیف‌سنجی جرمی، ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس مورد شناسایی کمی و کیفی قرار گرفت. شناسایی ترکیب‌ها با استفاده از پارامترهای مختلف از قبیل زمان و شاخص بازداری (Retention Index, RI)، با داده‌های طیف جرمی ترکیب‌های استاندارد و کتابخانه طیف جرمی مؤسسه ملی استاندارد و فناوری که در دستگاه GC/MS بوسیله نرم‌افزار ایکس کالیبر یکپارچه شده است، انجام شد. درصد نسبی هریک از ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس با توجه به سطح زیر منحنی آن در کروماتوگرام GC به روش نرمال کردن سطح و نادیده گرفتن ضرایب پاسخ به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری بازده اسانس، بذرهای با استفاده از کلونجر اسانس‌گیری شده و بازده تولید اسانس برحسب وزن اسانس به‌دست آمده نسبت به وزن بذرهای بیان گردید. برای تشخیص درصد ترکیب‌های اسانس، از دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل ترایس (شرکت ترموفینینگان) مجهز به ستون سیلیکا ذوب شده از نوع DB-5 به طول ۶۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه نازک ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. دمای آون به مدت یک دقیقه در ۶۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد و بعد تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت و به‌مدت ۱۰ دقیقه در این دما نگه داشته شد. دمای قسمت

(جدول ۳). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بین سطوح مختلف آبیاری از نظر صفات اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار ارتفاع بوته ($20/90$ سانتی‌متر)، تعداد ساقه فرعی در بوته ($3/91$)، وزن برگ ($0/25$ گرم در بوته)، ساقه ($0/63$ گرم در بوته) و ریشه در بوته ($0/07$ گرم) و طول ریشه ($7/62$ سانتی‌متر) در شرایط آبیاری کامل حاصل شد. مقایسه شرایط کم‌آبیاری و عدم‌آبیاری تکمیلی از نظر خصوصیات رشدی نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی در بوته، وزن برگ، ساقه و ریشه در بوته و طول ریشه در شرایط کم‌آبیاری به‌ترتیب 13 ، 15 ، 41 ، 53 ، 40 و 22 درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط عدم‌آبیاری تکمیلی بود (جدول ۴).

کاربرد کلیه نهاده‌های بوم‌سازگار مورد مطالعه، افزایش ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی و وزن برگ و ساقه در بوته در مقایسه با تیمار شاهد را سبب شدند، به‌طوری‌که در هریک از تیمارهای پروتئین، باسیلوس و اسید هیومیک ارتفاع بوته به ترتیب 13 ، 10 و 9 درصد و تعداد ساقه فرعی در بوته به ترتیب 21 ، 19 و 20 درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری بین خود این نهاده‌ها مشاهده نشد (جدول ۴). وزن برگ و ساقه در بوته نیز تحت تأثیر کاربرد پروتئین، باسیلوس و اسید هیومیک نسبت به شاهد افزایش یافت، ولی بین خود این نهاده‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). بیشترین ($0/06$ گرم) و کمترین ($0/04$ گرم) وزن ریشه در بوته به‌ترتیب در تیمارهای پروتئین و شاهد مشاهده شد و محلول‌پاشی پروتئین افزایش 33 درصدی وزن ریشه در بوته را نسبت به تیمار شاهد در پی داشت. استفاده از ریزوباکتر محرک رشد باسیلوس نیز منجر به افزایش 20 درصدی وزن ریشه در بوته در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۴). کاربرد باسیلوس و اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری به‌ترتیب منجر به افزایش 44 و 49 درصدی وزن ساقه در بوته نسبت به شاهد شد (شکل ۱، a).

تزریق و آشکارساز به‌ترتیب 250 و 280 درجه سانتی‌گراد بود. آشکارساز مورد استفاده در دستگاه از نوع FID با مقدار جریان هوای 350 میلی‌لیتر بر دقیقه و جریان هیدروژن 35 میلی‌لیتر بر دقیقه بود. از گاز نیتروژن نیز با مقدار جریان $1/1$ میلی‌لیتر بر دقیقه به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. برای شناسایی نوع ترکیبات اسانس نیز از دستگاه گاز کروماتوگرافی متصل شده با طیف‌سنج جرمی مدل ترایس (شرکت ترموفینیگان) مجهز به ستون سلیکا ذوب شده از نوع DB-5 به طول 60 متر و قطر داخلی $0/25$ میلی‌متر و ضخامت لایه نازک $0/25$ میکرومتر استفاده گردید. دمای آون از 60 درجه سانتی‌گراد تا 250 درجه سانتی‌گراد با سرعت 5 درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت و به‌مدت 10 دقیقه در این دما نگه داشته شد. از گاز هلیوم به عنوان حامل استفاده شد (Adams & Sparkman, 2007).

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش به‌صورت کورت‌های خرد شده در زمان در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS Ver. 9.4 و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Exel Ver. 14 انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گردید.

نتایج

تأثیر تیمارهای آبیاری، اسید هیومیک، پروتئین گلوتن گندم و باکتری باسیلوس بر خصوصیات رشدی و عملکردی اثر سطوح آبیاری و منابع تغذیه‌ای بر ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی در بوته، وزن ساقه و ریشه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و وزن برگ در بوته و طول ریشه نیز به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد تحت تأثیر سطوح آبیاری و منابع تغذیه‌ای قرار گرفت (جدول ۳). وزن ساقه و ریشه در بوته تحت تأثیر اثر متقابل سطوح آبیاری و منابع تغذیه‌ای قرار گرفت، ولی آثار متقابل این عوامل اثر معنی‌داری بر صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی در بوته، وزن برگ در بوته و طول ریشه نداشت

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر آبیاری و تغذیه بر برخی ویژگی‌های رشدی و عملکردی زیره سبز

Table 3. ANOVA of irrigation and nutrition effects on some growth and yield characteristics of *Cuminum cyminum*

M.S.															
S.O.V.	d.f.	Plant height	Number of branches per plant	Leaves weight per plant	Stems weight per plant	Roots weight per plant	Root length	Number of umbles per plant	Number of umbellets per plant	Number of seeds per plant	Seeds weight per plant	1000-seed weight	Seed yield	Biological yield	Harvest index
Block	2	7.33 [*]	0.45 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.0009 ^{**}	0.77 ^{ns}	30.91 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.12 [*]	0.06 ^{ns}	12947.82 ^{ns}	33448.19 ^{ns}	29.95 [*]
Irrigation (I)	2	131.85 ^{**}	4.26 ^{**}	0.14 ^{**}	1.31 ^{**}	0.009 ^{**}	39.26 ^{**}	2021.07 ^{**}	0.92 [*]	3.24 ^{**}	9.16 ^{**}	0.89 ^{**}	1555933 ^{**}	5897587 ^{**}	229.03 ^{**}
Nutrition (N)	3	20.04 ^{**}	2.52 ^{**}	0.01 [*]	0.07 ^{**}	0.002 ^{**}	3.64 [*]	263.69 ^{**}	0.31 ^{ns}	1.31 ^{**}	0.73 ^{**}	0.11 [*]	16963 ^{**}	78124 [*]	40.13 ^{**}
I×N	6	0.68 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.01 ^{**}	0.0009 ^{**}	1.06 ^{ns}	65.79 ^{**}	0.22 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.22 ^{**}	0.51 ^{**}	9068 ^{ns}	20497 ^{ns}	37.50 ^{**}
a Error	22	1.62	0.20	0.004	0.005	0.0001	1.48	6.16	0.15	0.10	0.03	0.04	6021	17055	14.71
Year (Y)	1	1056.08 ^{**}	0.64 ^{ns}	0.02 [*]	0.01 ^{ns}	0.02 ^{**}	179.07 ^{**}	44.18 ^{ns}	20.94 ^{**}	0.74 [*]	0.82 ^{**}	0.51 ^{**}	225918 ^{**}	1785198 ^{**}	403.73 ^{**}
I×Y	2	20.60 ^{**}	0.65 [*]	0.01 ^{ns}	0.10 ^{**}	0.0008 ^{**}	7.38 ^{**}	18.61 ^{ns}	0.67 [*]	0.64 [*]	0.58 ^{**}	1.70 ^{**}	284636 ^{**}	1393930 ^{**}	3.35 ^{ns}
N×Y	3	2.90 ^{ns}	0.58 [*]	0.003 ^{ns}	0.02 ^{**}	0.0008 ^{**}	5.89 ^{**}	19.00 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.37 [*]	0.09 [*]	0.50 ^{**}	24102 ^{**}	113775 ^{**}	21.82 ^{ns}
I×N×Y	6	3.08 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.0006 ^{**}	2.11 ^{ns}	6.72 ^{ns}	0.41 [*]	0.16 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.19 ^{**}	7489 ^{ns}	21901 ^{ns}	24.19 [*]
Block×Y	2	1.45 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.0006 [*]	0.33 ^{ns}	2.28 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.06 ^{ns}	1325 ^{ns}	11252 ^{ns}	9.22 ^{ns}
b Error	22	1.49	0.19	0.005	0.003	0.0001	1.08	14.09	0.16	0.12	0.03	0.03	4147	17229	8.27
C.V. (%)	-	6.57	12.53	39.91	16.39	21.12	16.28	19.86	11.15	8.49	18.45	4.73	16.04	15.34	6.23

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

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های رشدی و عملکردی زیره سبز تحت تأثیر تغذیه

Table 4. Means comparison of some growth and yield characteristics of *Cuminum cyminum* affected by nutrition

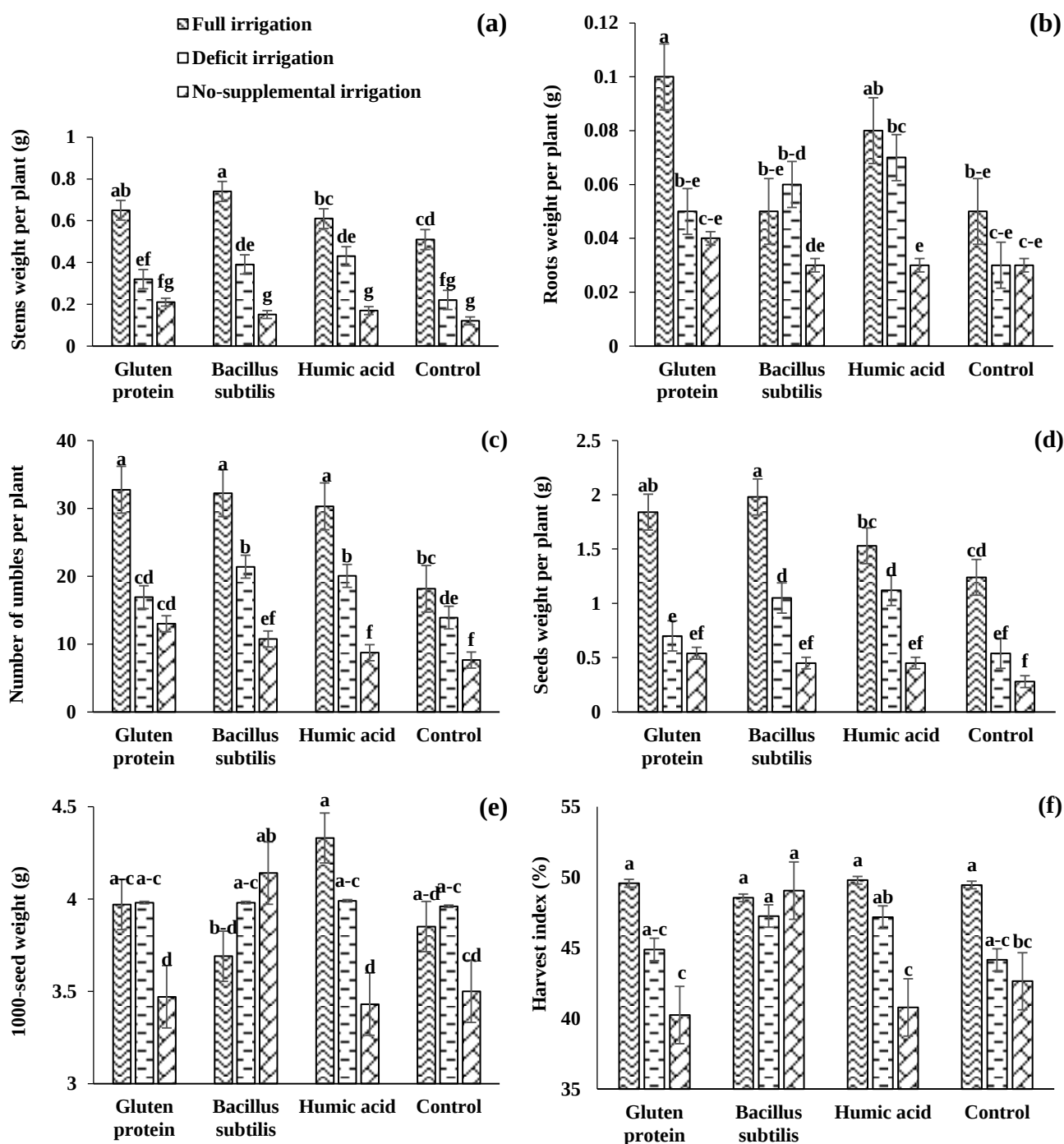
Trait	Irrigation			Nutrition			Control
	Full irrigation	Deficit irrigation	No-supplemental irrigation	Gluten protein	<i>Bacillus subtilis</i>	Humic acid	
Plant height (cm)	20.90 ^a	18.61 ^b	16.21 ^c	19.56 ^a	18.88 ^a	18.78 ^a	17.08 ^b
Number of branches per plant	3.91 ^a	3.60 ^b	3.07 ^c	3.78 ^a	3.65 ^a	3.72 ^a	2.97 ^b
Leaves weight per plant (g)	0.25 ^a	0.17 ^b	0.10 ^c	0.19 ^a	0.19 ^a	0.19 ^a	0.13 ^b
Stems weight per plant (g)	0.63 ^a	0.34 ^b	0.16 ^c	0.39 ^a	0.43 ^a	0.40 ^a	0.29 ^b
Roots weight per plant (g)	0.07 ^a	0.05 ^b	0.03 ^c	0.06 ^a	0.05 ^b	0.06 ^{ab}	0.04 ^c
Root length (cm)	7.62 ^a	6.47 ^b	5.07 ^c	6.78 ^a	6.39 ^{ab}	6.61 ^a	5.75 ^b
Number of umbles per plant	28.36 ^a	18.31 ^b	10.03 ^c	20.89 ^a	21.46 ^a	20.02 ^a	13.23 ^b
Number of seeds per plant	4.59 ^a	4.17 ^b	3.86 ^c	4.35 ^a	4.45 ^a	4.21 ^a	3.83 ^b
Seeds weight per plant (g)	1.65 ^a	0.86 ^b	0.43 ^c	1.03 ^b	1.16 ^a	1.03 ^b	0.69 ^c
1000-seed weight (g)	3.97 ^a	3.96 ^a	3.63 ^b	3.81 ^{ab}	3.93 ^a	3.91 ^a	3.77 ^b
Seed yield (kg.ha ⁻¹)	691.93 ^a	295.00 ^b	217.19 ^c	426.48 ^a	406.09 ^a	415.87 ^a	357.05 ^b
Biological yield (kg.ha ⁻¹)	1421.85 ^a	643.33 ^b	500.95 ^c	927.01 ^a	844.95 ^{ab}	879.12 ^a	770.43 ^b
Harvest Index (%)	49.34 ^a	45.86 ^b	43.18 ^c	44.90 ^b	48.28 ^a	45.91 ^b	45.41 ^b

In each row and for each factor, means with common letters are in the same statistical group at 1% probability level (Duncan test).

کامل و عدم آبیاری تکمیلی مشاهده شد. تعداد دانه در بوته در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب ۱۶ و ۷ درصد نسبت به شرایط عدم آبیاری تکمیلی بیشتر بود (جدول ۴). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، وزن بذر در بوته در شرایط کم آبیاری از افزایش ۵۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد برخوردار شد. بیشترین (۶۹۱/۹۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۲۱۷/۱۹ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و عدم آبیاری تکمیلی به دست آمد (جدول ۴). کاربرد کلیه نهاده‌های بوم‌سازگار مورد مطالعه، افزایش تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد را سبب شدند، به طوری که تعداد چتر در بوته در هریک از منابع تغذیه‌ای اسید آمینه، باسیلوس و اسید هیومیک به ترتیب ۳۷، ۳۸ و ۳۴ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت ولی تفاوت معنی‌داری بین خود این نهاده‌ها مشاهده نشد (جدول ۴). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیک (شکل ۲) و از آنجایی که عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر نهاده‌های بوم‌سازگار مورد مطالعه افزایش یافت (جدول ۴)، بهبود عملکرد دانه در اثر مصرف این نهاده‌ها منطقی به نظر می‌رسد.

محلول‌پاشی اسید هیومیک در شرایط کم آبیاری افزایش ۵۷ درصدی وزن ریشه در بوته نسبت به تیمار شاهد را سبب شد، ولی کاربرد این اسید آلی در شرایط عدم آبیاری تکمیلی تأثیر معنی‌داری بر وزن ریشه در بوته در مقایسه با شاهد نداشت (شکل ۱، b).

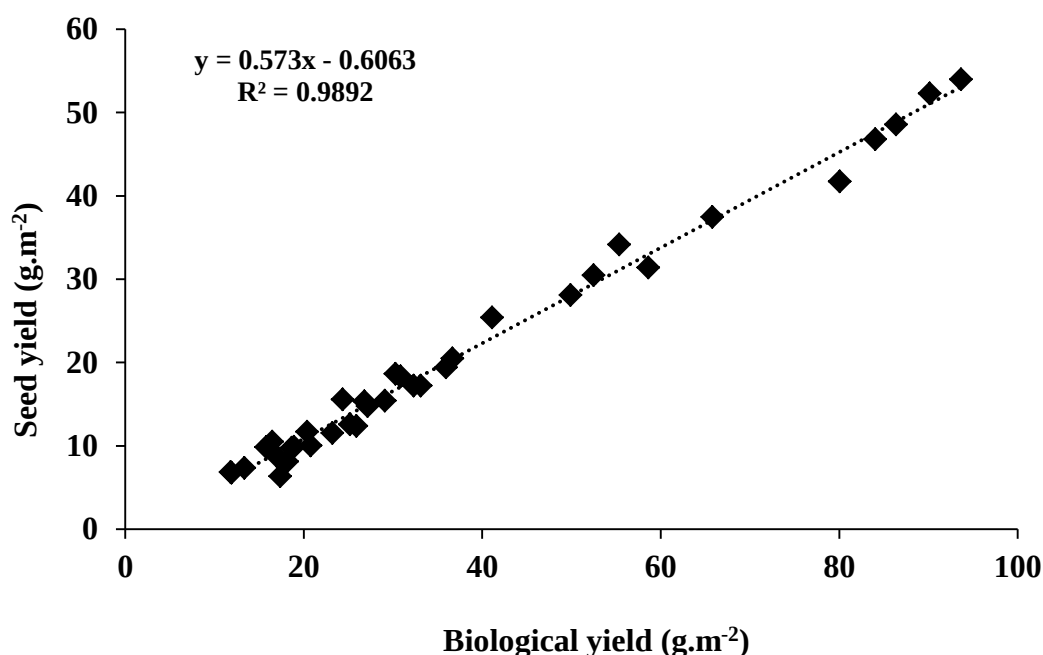
نتایج نشان داد که سطوح آبیاری و منابع تغذیه‌ای بر تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن بذر در بوته، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار داشت. همچنین وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر سطوح آبیاری و در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر منابع تغذیه‌ای قرار گرفتند. تعداد چتر در بوته تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفت ولی منابع تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۳). آثار متقابل آبیاری و منابع تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر صفات تعداد چتر در بوته، وزن بذر در بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت داشت، در صورتی که اثر متقابل این عوامل بر صفات تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین (۲۸/۳۶) و کمترین (۱۰/۰۳) تعداد چتر در بوته به ترتیب در تیمارهای آبیاری



شکل ۱- مقایسه میانگین وزن ساقه در بوته (a)، وزن ریشه در بوته (b)، تعداد چتر در بوته (c)، وزن دانه در بوته (d)، وزن هزاردانه و شاخص برداشت (f) زیره سبز تحت اثر متقابل آبیاری × تغذیه

Figure 1. Means comparison of stems weight per plant (a), roots weight per plant (b), number of umbels per plant (c), seeds weight per plant (d), 1000-seed weight (e), and harvest index (f) of *Cuminum cyminum* affected by irrigation × nutrition

Means with common letters are in the same statistical group at 1% probability level (Duncan test).



شکل ۲- همبستگی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک زیره سبز تحت اثر متقابل آبیاری × تغذیه

Figure 2. Correlation between seed yield and biological yield in *Cuminum cyminum* affected by irrigation × nutrition

در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۴). محلول‌پاشی پروتئین در شرایط عدم آبیاری تکمیلی منجر به کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی شد و تعداد چتر در بوته را ۴۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۱، c). استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار باسیلوس و اسید هیومیک در شرایط کم آبیاری از شدت تنش خشکی کاستند و به ترتیب افزایش ۳۵ و ۳۱ درصدی تعداد چتر در بوته را در مقایسه با تیمار شاهد سبب شدند (شکل ۱، c). وزن بذر در بوته در شرایط کم آبیاری تحت تأثیر منابع تغذیه‌ای باسیلوس و اسید هیومیک به ترتیب ۴۹ و ۵۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت، ولی تفاوت این تیمارها در شرایط عدم آبیاری تکمیلی از نظر وزن بذر در بوته نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۱، d). استفاده از کود زیستی باسیلوس در شرایط عدم آبیاری تکمیلی منجر به افزایش معنی‌دار و ۱۵ درصدی وزن هزار دانه (شکل ۱، e) و ۱۳ درصدی شاخص برداشت (شکل ۱، f) نسبت به تیمار شاهد شد.

تعداد چترک در بوته تحت تأثیر کاربرد باسیلوس از افزایش ۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد برخوردار شد (جدول ۴). بیشترین وزن بذر در بوته در شرایط استفاده از باسیلوس مشاهده شد، ضمن اینکه هریک از نهاده‌های پروتئین و اسید هیومیک نیز افزایش وزن بذر در بوته نسبت به تیمار شاهد را سبب شدند (جدول ۴). کاربرد ریزوباکتر محرک رشد باسیلوس و محلول‌پاشی اسید هیومیک افزایش ۴ درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد را در پی داشتند، ولی از این نظر تفاوت تیمار پروتئین با شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۴). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر محلول‌پاشی پروتئین و اسید هیومیک به ترتیب ۱۷ و ۱۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و استفاده از باسیلوس هم اگرچه عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد، ولی این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). کاربرد باسیلوس منجر به افزایش معنی‌دار و ۶ درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد شد، ولی از این نظر تفاوت تیمارهای پروتئین و اسید هیومیک

ویژگی‌های کیفی

گاما-ترپینن، کومینیک آلدئید و گاما-ترپینن-۷-آل
معنی‌دار بود، ولی درصد اسانس تحت تأثیر معنی‌دار این
تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۵).

اثر ساده و متقابل سطوح آبیاری و منابع تغذیه‌ای بر
میزان اجزای اسانس از قبیل بتا-پینن، پارا-سیمن،

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی ویژگی‌های کیفی زیره سبز تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و منابع تغذیه‌ای

Table 5. Analysis of variance (mean of squares) of some qualitative characteristics of cumin affected by different irrigation levels and nutritional sources

S.O.V.	d.f.	M.S.					
		β -pinene	p -cymene	γ -Terpinene	Cuminic aldehyde	γ -Terpinene-7-al	Oil
Block	2	0.009**	0.017**	0.02**	0.11 ^{ns}	0.01**	0.09 ^{ns}
Irrigation (I)	2	7.62**	16.46**	5.32**	2.99**	41.44**	0.03 ^{ns}
Nutrition (N)	3	2.30**	2.11**	8.00**	4.18**	16.42**	0.09 ^{ns}
I×N	6	2.81 ^{ns}	1.38**	7.78**	3.95 ^{ns}	10.76**	0.02 ^{ns}
a Error	22	0.0004	0.001	0.001	0.33	0.0003	0.09
Year (Y)	1	598.58**	110.88**	102.05**	274.09**	267.69**	13.05**
I×Y	2	3.91**	5.37**	57.64**	60.57**	0.88**	0.32 ^{ns}
N×Y	3	8.45**	1.60**	12.68**	6.58**	44.71**	0.02 ^{ns}
I×N×Y	6	6.27**	1.46**	8.59**	4.63**	20.37**	0.10 ^{ns}
Block×Y	2	0.0002 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.58 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.05 ^{ns}
b Error	22	0.0004	0.0008	0.0008	0.34	0.0003	0.06
C.V. (%)	-	0.14	0.36	0.11	4.42	0.05	11.45

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

نسبت به کم آبیاری کمتر بود. عدم آبیاری تکمیلی منجر به
تولید بیشترین مقدار گاما-ترپینن (۲۶/۳۰ درصد) شد و
مقدار این ماده در شرایط کم آبیاری ۳ درصد بیشتر از
شرایط آبیاری کامل بود (جدول ۶).

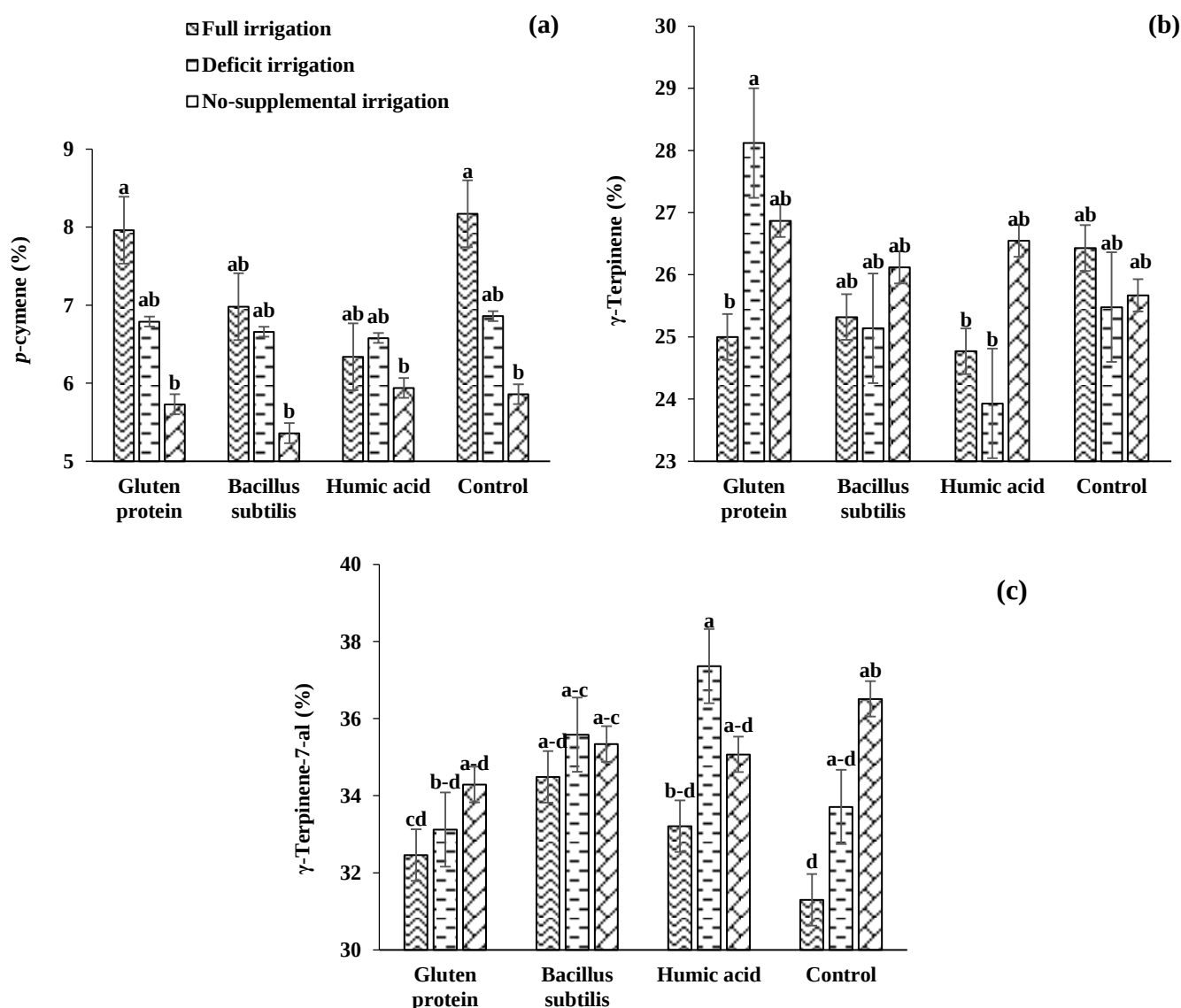
همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، آبیاری
کامل منجر به دستیابی بیشترین مقدار اجزای اسانس مورد
مطالعه به‌جز میزان گاما-ترپینن شد و نتایج مقایسه
شرایط کم آبیاری و عدم آبیاری تکمیلی نشان داد که مقدار
ترکیب‌های کیفی گیاه در شرایط عدم آبیاری تکمیلی

جدول ۶- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های کیفی زیره سبز تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و منابع تغذیه‌ای

Table 6. Mean comparison of some qualitative characteristics of cumin affected by different irrigation levels and nutritional sources

	irrigaiton			nutrition			
	Full irrigation	Deficit irrigation	No-supplemental irrigaiotn	Gluten protein	<i>Bacillus subtilis</i>	Humic acid	Control
β -pinene (%)	14.39 ^a	13.74 ^b	13.26 ^c	14.09 ^a	13.41 ^d	13.58 ^c	14.11 ^a
p -cymene (%)	7.36 ^a	6.72 ^b	5.72 ^c	6.83 ^b	6.33 ^c	6.29 ^d	6.96 ^a
γ -terpinene(%)	25.38 ^c	25.66 ^b	26.30 ^a	26.66 ^a	25.53 ^c	25.08 ^d	25.86 ^b
cuminic aldehyde (%)	13.52 ^a	13.37 ^a	12.85 ^c	12.56 ^b	13.24 ^a	13.55 ^a	13.62 ^a
γ -terpinene-7-al (%)	35.30 ^a	34.94 ^b	32.87 ^c	33.29 ^d	35.14 ^b	35.21 ^a	33.84 ^c

In each row, for each factors of irrigation levels and different nutritional sources, means with at least on letter in common, are not significantly different from each other at the 5% probability level



شکل ۳- آثار متقابل سطوح آبیاری و کاربرد نهاده‌های بوم‌سازگار بر *p-cymene* (a)، *γ-terpinene* (b) و *γ-terpinene-7-al* (c) از کumin

(c) زیره سبز

Figure 3. Interaction effects of different irrigation levels and application of eco-friendly inputs on *p-cymene* (a), *γ-terpinene* (b), and *γ-terpinene-7-al* (c) of cumin

Means with at least one letter in common are not significantly different from each other at the 5% probability level

در مقایسه بین نهاده‌های تغذیه‌ای بیشترین مقدار پارا-سیمن (۶/۸۳ درصد) در تیمار پروتئین مشاهده شد (جدول ۶). محلول‌پاشی پروتئین منجر به افزایش ۳ درصدی گاما-ترپنین نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار در ترکیب گاما-ترپنین-۷-آل (۳۵/۲۱ درصد) در شرایط محلول‌پاشی اسید هیومیک به دست آمد (جدول ۶).

کاربرد کلیه نهاده‌های بوم‌سازگار مورد مطالعه، کاهش معنی‌دار مقدار بتا-پنین را نسبت به شاهد سبب شدند، به‌طوری‌که هریک از نهاده‌های باسیلوس و اسید هیومیک به‌ترتیب کاهش ۵ و ۴ درصدی بتا-پنین را در مقایسه با تیمار شاهد در پی داشتند (جدول ۶). مقدار پارا-سیمن نیز در تیمار شاهد بیشتر از سایر تیمارهای مورد مطالعه بود و

ثانویه و تقسیم می‌توز شده و احتمالاً از این طریق کاهش رشد و عملکرد گیاه را در پی دارد (Rahimiashti et al., 2021). همچنین به نظر می‌رسد احتمالاً به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای و جذب دی‌اکسیدکربن و بازدهی مصرف آب و اختلال در تولید رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی ناشی از تنش کم‌آبی، اندازه برگ، ارتفاع ساقه و عمق توسعه ریشه کاهش یافته است (Emrahi et al., 2022). Pishva و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای در گیاه زیره سبز تحت رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش کردند که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار بدون تنش بود و با افزایش تنش خشکی از ارتفاع بوته کاسته شد. در پژوهشی دیگر، Rahgoshahi و همکاران (۲۰۲۲) اثر سه سطح آبیاری ۳۵، ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت خاک در گیاه زیره سبز را بررسی و گزارش کردند که اعمال تنش خشکی در تیمار آبیاری ۷۰ درصد رطوبت خاک اگرچه کاهش ارتفاع بوته را به دنبال داشت اما اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد ایجاد نکرد. نتایج Mollafilabi و Esfandiari (۲۰۱۸) در گیاه زیره سبز نشان داد که تنش آبی موجب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی در بوته گردید.

اسید هیومیک احتمالاً از طریق افزایش نفوذپذیری غشای سلولی و فرایندهای متابولیکی، بهبود کارایی فتوسنتزی، فعال کردن آنزیم‌ها و رشد طولی سلولی منجر به بهبود خصوصیات رشدی زیره سبز شده است (Maitra et al., 2021; Khorasaninejad et al., 2018). گزارش شده است که اسید هیومیک احتمالاً از طریق افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک و کمک به فرایندهای سوخت و سازی گیاه می‌تواند خسارت‌های ناشی از تنش خشکی را به حداقل برساند. البته افزایش تعداد ساقه فرعی در اثر مصرف اسید هیومیک در گیاهان دارویی گلرنگ (Karimi & Tadayyon, 2018) و خرفه (Mozaffari et al., 2016) نیز گزارش شده است. وزن برگ و ساقه در بوته نیز تحت تأثیر کاربرد پروتئین، باسیلوس و اسید هیومیک نسبت به شاهد افزایش یافت و محلول‌پاشی پروتئین افزایش وزن ریشه در بوته را نسبت به

محلول‌پاشی پروتئین کاهش کومینیک آلدئید را نسبت به تیمار شاهد سبب شد، ولی از این نظر بین تیمارهای باسیلوس و اسید هیومیک با شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). کاربرد پروتئین در شرایط آبیاری کامل مقدار پارا-سیمن را ۲۸ درصد نسبت به کاربرد این کود در شرایط عدم آبیاری تکمیلی افزایش داد (شکل ۳، a). کاربرد پروتئین در شرایط کم آبیاری تأثیر بیشتری در بهبود گاما-ترینین نسبت به کاربرد آن در شرایط آبیاری کامل داشت (شکل ۳، b). در شرایط کم آبیاری مقدار ترکیب گاما-ترینین-۷-آل در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک بیشتر از محلول‌پاشی پروتئین بود، گرچه از این نظر تفاوت معنی‌داری بین تیمار اسید هیومیک و شاهد وجود نداشت (شکل ۳، c).

بحث

مقایسه شرایط کم آبیاری و عدم آبیاری تکمیلی از نظر خصوصیات رشدی نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی در بوته، وزن برگ، ساقه و ریشه در بوته و طول ریشه در شرایط کم آبیاری به طور معنی‌داری بیشتر از شرایط عدم آبیاری تکمیلی بود. کم آبیاری به عنوان یک تنش ملایم، می‌تواند پاسخ‌های سازشی مانند تحریک سنتز هورمون‌های محرک رشد (مانند جبرلین‌ها و اکسین‌ها) را فعال کند و ممکن است تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (مانند سوپراکسید دیسموتاز) را افزایش دهد؛ در حالی که عدم آبیاری تکمیلی منجر به تنش شدید شده و متابولیسم گیاه را به سمت بقا (نه رشد) سوق می‌دهد. در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، گیاه احتمالاً منابع را بیشتر به ریشه اختصاص می‌دهد (راهبرد بقا) که منجر به کاهش رشد اندام‌های هوایی می‌شود. به نظر می‌رسد تنش خشکی، احتمالاً از طریق کاهش توسعه سلولی و به تبع آن کاهش طول شدن ساقه و رشد برگ منجر به کاهش فتوسنتز گیاه شده و خصوصیات رشدی گیاه با نقصان مواجه شده است (Pishva et al., 2020). همچنین گزارش شده است که تنش رطوبتی منجر به اختلال در تعادل غذایی، تبادل گازی، تولید متابولیسم‌های اولیه و

ازتوباکتر، باسیلوس، سودوموناس و تیوباسیلوس با تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، افزایش حلالیت فسفات غیرمتحرک و کاهش اسیدیته خاک و تولید انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد، جذب عناصر غذایی و عملکرد فتوسنتزی را بهبود بخشیده و باعث افزایش اجزای عملکرد دانه زیره سبز گردید. تلقیح بذر زیره سبز با ریزوباکترهای محرک رشد تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد چتر در چتر و وزن هزار دانه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد و بیشترین عملکرد دانه در تیمار کاربرد باکتری و مصرف ۱۰ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد (Adavi & Deghanzadeh, 2023).

احتمالاً تنش خشکی از طریق ایجاد محدودیت در فرایندهای سوخت‌وسازی و کاهش هدایت روزنه‌ای و محتوای کلروفیل برگ و به‌تبع آن میزان فتوسنتز و ترغیب گیاه به اختصاص مواد غذایی به اندام‌های در معرض تنش‌های محیطی منجر به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه شده است (Behdad et al., 2019; Amirnia et al., 2021; Raza et al., 2021; Seleiman et al., 2021). در پژوهش‌های متعدد به خسارت‌های ناشی از تنش خشکی بر خصوصیات عملکردی گیاهان مختلف اشاره شده است (Khan et al., 2018; Ruehr et al., 2019; Corso et al., 2020). در یک پژوهش گزارش شده است که کاهش آب مورد نیاز گیاه تا ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط رشد زایشی به‌ویژه پس از گلدهی می‌تواند از تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه زیره سبز به‌شدت بکاهد (Safari et al., 2017). Hajmohammadnia و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که در شرایط تنش آبی تعداد چتر در بوته زیره سبز ۳۶ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. نتایج پژوهش Gholami و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که تعداد دانه در چتر، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد چتر در بوته و ارتفاع بوته زیره سبز تحت تأثیر تنش آبی با نقصان مواجه شد. به‌نظر می‌رسد که اسید هیومیک احتمالاً از طریق افزایش ظهور ریشه‌های جانبی باعث بهبود جذب آب بیشتری در شرایط

تیمار شاهد در پی داشت، ضمن اینکه استفاده از ریزوباکتر محرک رشد باسیلوس نیز منجر به افزایش وزن ریشه در بوته در مقایسه با تیمار شاهد شد.

پروتئین احتمالاً از طریق کمک به بهبود و تقویت فرایندهای فتوسنتز و تنفس و ایفای نقش در سنتز پروتئین‌های اساسی خصوصیات رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار داده است (Sanikhani et al., 2020). پروتئین گلوتن احتمالاً با تأمین نیتروژن و پپتیدهای سیگنالینگ، توسعه ریشه را هدف قرار می‌دهد. گزارش شده است که اسید آمینه به‌عنوان محرک تولید هورمون‌های گیاهی عمل کرده و در جذب نیتروژن توسط گیاه مؤثر بوده و عمق توسعه ریشه را افزایش می‌دهد و احتمالاً از این طریق بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه را سبب شده است (Taheri Asghari, 2021).

نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار باسیلوس و اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری از شدت تنش خشکی کاستند و به‌ترتیب افزایش ۳۵ و ۳۱ درصدی تعداد چتر در بوته را در مقایسه با تیمار شاهد سبب شدند. به‌نظر می‌رسد باکتری‌های باسیلوس با ترشح اکسین، تقسیم سلولی در مریستم‌های جانبی ساقه را تحریک می‌کنند که منجر به تشکیل شاخه‌های فرعی و افزایش تعداد چتر می‌شود. در یک پژوهش اثر محلول‌پاشی پروتئین به همراه کاربرد میکوریزا در گیاه دارویی همیشه‌بهار بررسی و گزارش شد که شاخص سطح برگ و تعداد ساقه فرعی در بوته به‌ترتیب ۱۰ و ۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Azarpira et al., 2020). در پژوهشی دیگر، افزایش ارتفاع گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در اثر محلول‌پاشی پروتئین گزارش شده است (Asadi et al., 2018). باکتری‌های جنس باسیلوس ازجمله ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه بوده که در محدوده ریزوسفر فعالیت نموده و احتمالاً با تأثیر در افزایش جذب بیشتر مواد غذایی و بهبود فعالیت‌های سوخت‌وسازی منجر به افزایش خصوصیات رشدی گیاه شده‌اند (Kalam et al., 2020; Santos et al., 2020). Rezaei Chiyaneh و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که استفاده ترکیبی از

پژوهش، استفاده ترکیبی از باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس و کود شیمیایی منجر به تولید بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک سه رقم جو دیم (*Hordeum vulgare* L.) شد (Morshedi et al., 2023). در پژوهشی دیگر، کاربرد باکتری باسیلوس در کنترل بیماری شوره سیاه غده (*Rhizoctonia solani*) و به تبع آن افزایش عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) مؤثر بود (Maslennikova et al., 2023). کاربرد باکتری باسیلوس همراه با محلول‌پاشی مخمر، افزایش قابلیت دسترسی به فسفر خاک و بهبود رشد رویشی و عملکرد پیاز (*Allium cepa* L.) را در پی داشت (Abdul-Hussein & Hassan, 2023). بهبود عملکرد برگ تازه و تعداد برگ و افزایش میزان پتاسیم و نیتروژن اندام هوایی کاهو (*Lactuca sativa* L.) در غلظت‌های مختلف کاربرد باکتری باسیلوس به دست آمد (Oliveira et al., 2023).

تولید اسانس در زیره سبز، همانند بسیاری از گیاهان دارویی، دارای کنترل ژنتیکی قوی است و ممکن است این مسئله سبب شده باشد، میزان اسانس در مقابل سطوح تنش خشکی و منابع تغذیه‌ای مورد بررسی مقاومت نسبی نشان داده باشد؛ همچنین، سازوکار عمل تیمارهای محلول‌پاشی (اسید هیومیک و پروتئین گلو تن گندم) و باکتری باسیلوس، عمدتاً بر فرایندهای رشد و فیزیولوژی اولیه گیاه متمرکز است و تأثیر مستقیم آنها بر مسیرهای بیوسنتزی تولید اسانس ممکن است کمتر بوده باشد. Edris و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که درصد نسبی ترکیب‌های خاصی از اسانس تحت تأثیر نوع و سطح کوددهی قرار می‌گیرد. Gharib و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که اثر ترکیبی باکتری‌های جنس باسیلوس و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن باعث افزایش گاما-ترپین، آلفا-ترپین، فلاندرن و میرسن و کاهش مقدار سیس سابین هیدرات نسبت به شاهد در گیاه مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) گردید. Zamani و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اثر کودهای زیستی باکتریایی بر ترکیب‌های اسانس سه توده رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) گزارش کردند که بیشترین

تنش شده و این موضوع گیاه را در برابر شرایط تنش مقاوم‌تر کرده و با توجه به آثار مثبت اسید هیومیک در از بین بردن کلروز برگ‌ها و افزایش جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، بهبود خصوصیات عملکردی گیاه در هنگام بروز تنش‌های محیطی در شرایط استفاده از این اسید آلی متصور خواهد بود (Amiri & Esmaeilian, 2020). Varnaseri Ghandali و همکاران (۲۰۲۰) اثر سطوح مختلف ورمی کمپوست و اسید هیومیک را در زیره سبز بررسی و گزارش کردند که عملکرد دانه تحت تأثیر این نهاده‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. Kalantari و Rasoli (۲۰۲۲) در بررسی اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک در گیاه دارویی خاکشیر (*Descurainia sophia* L.) در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که در کلیه سطوح آبیاری مورد مطالعه با افزایش میزان مصرف اسید هیومیک عملکرد دانه افزایش پیدا کرد. به نظر می‌رسد که اسید آمینه احتمالاً به دلیل بهبود و تقویت فرایندهای مربوط به تنفس سلولی، افزایش غلظت کلروفیل و به تبع آن بهبود فتوسنتز هورمون‌های محرک رشد گیاه و افزایش عمق توسعه ریشه و کمک به بهبود جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (Taheri Asghari, 2021) منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز شده است. Aminifard و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که استفاده از اسید آمینه، وزن هزار دانه گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. Mirseyedi و همکاران (۲۰۲۰) پس از بررسی اثر کاربرد اسید آمینه بر عملکرد بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) گزارش کردند که استفاده از این نهاده تغذیه‌ای در کلیه برداشت‌ها باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گل و بیولوژیک نسبت به تیمار شاهد شد. احتمالاً کاربرد باسیلوس از طریق تأثیر بر تولید هورمون‌های گیاهی و تسریع فرایندهای سوخت‌وسازی تحمل گیاه به تنش خشکی را افزایش داده و عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز افزایش یافته است (Patel et al., 2017). در یک

میزان آنتول (۸۷/۸۸ درصد) در توده ارومیه در شرایطی به‌دست آمد که بذرها با میکوریزا و کود زیستی باکتریایی تلقیح شده بود و کمترین میزان آن (۷۵/۹۸ درصد) در توده همدان و شرایط عدم تلقیح حاصل شد.

در برخی مطالعات گزارش شده است که تنش خشکی به دلیل ایجاد اختلال در فرایندهای متابولیسمی و سوخت‌وساز گیاه دارای اثر منفی بر ویژگی‌های کیفی گیاهان است (Salehi-Lisar & Bakhshayeshan-Agdam, 2020). کاهش معنی‌دار بتا-پنین در تیمارهای محلول‌پاشی (اسید هیومیک و پروتئین گلو تن گندم) و کاربرد باکتری باسیلوس، در حالی که این تیمارها معمولاً به بهبود رشد گیاه کمک می‌کنند، می‌تواند ناشی از تغییر در راهبرد تخصیص منابع گیاه باشد. این تیمارها با بهبود شرایط رشد و کاهش تنش‌های محیطی، احتمالاً به جای سرمایه‌گذاری در تولید متابولیت‌های ثانویه دفاعی منجر به هدایت منابع کربن و انرژی به سمت متابولیسم اولیه (مانند رشد رویشی و تولید زیست‌توده) شده‌اند (Khare et al., 2020). Mollafilabi و Esfandiari (۲۰۱۸) پس از بررسی مقادیر مختلف آبیاری در زیره سبز گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد. در پژوهشی دیگر، تیمار آبیاری ۱۵۰ میلی‌لیتر منجر به تولید بیشترین میزان فلاونوئید و فنول برگ و تیمار آبیاری ۲۰۰ میلی‌لیتر تولید بیشترین میزان فنول دانه زیره سبز را سبب شد (Alinian et al., 2016). مقایسه رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط کشت رایج و کشت ارگانیک زیره سبز نشان داد که بالاترین عملکرد کمی و کیفی محصول زمانی حاصل شد که از عملیات کشت ارگانیک و آبیاری کامل استفاده شد و اصلی‌ترین اجزای اسانس در شرایط کشت ارگانیک شامل گاما-ترپنین (۲۵/۶ درصد)، کومینال (۲۰/۶ درصد)، بتا-پنین (۱۳/۸ درصد) و پارا-سیمن (۱۰/۱ درصد) و در شرایط کشت رایج شامل آلفا-ترپنین-۷-آل (۲۱/۴ درصد)، پارا-سیمن (۲۱/۱ درصد)، کومینال (۱۶/۳ درصد) و آلفا-پنین (۱۱/۱ درصد) بود (Bahrami et al., 2024). به نظر می‌رسد که اسید هیومیک احتمالاً از طریق بهبود جذب

عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و کمک به فعال‌سازی آنزیم‌ها منجر به افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاه شده است (Babaeian et al., 2022). Rahgoshahi و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید هیومیک افزایش عملکرد اسانس، تعداد ساقه فرعی، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در چتر، تعداد چتر در بوته، ارتفاع بوته و درصد اسانس زیره سبز را در پی داشت و خسارت‌های ناشی از تنش خشکی را به حداقل رساند. در یک پژوهش، بیشترین میزان درصد اسانس گیاه رازیانه در تیمار کاربرد ۷۵۰ پی‌پی‌ام اسید هیومیک به‌دست آمد (Tawfik, 2022). کاربرد ۵۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک تولید بیشترین میزان کارواکول و گاما-ترپنین در مرزنجوش را سبب شد (Aytac et al., 2022). در پژوهشی دیگر، محلول‌پاشی اسید آمینه میزان کلروفیل a، b و کل گیاه بادرنجبویه دناپی (*Dracocephalum kotschy Boiss.*) را در مقایسه با تیمار شاهد بهبود بخشید و بیشترین میزان فنول کل در شرایط کاربرد ۳ گرم در لیتر اسید آمینه حاصل شد (Alimaleki & Asadi-Gharneh, 2020). محلول‌پاشی برگ ۱۵ گرم در لیتر اسید هیومیک و ۰/۵ میلی‌لیتر در لیتر اسید آمینه در گیاه دارویی مورتلخ (*Salvia mirzayanii*) (Rech. F. & Esfand ۱/۵) دارای بیشترین تأثیرگذاری بر وزن تر و خشک برگ و تعداد و وزن گل‌آذین بود و مصرف ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر اسید آمینه افزایش ۱۸ درصدی آلفا-ترپنین را در پی داشت (Bahadour et al., 2024). در یک پژوهش، بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی گاوزبان ایرانی در شرایط استفاده از ریزوباکترهای محرک رشد گیاه و باکتری تیوباسیلوس به‌دست آمد (Amiri et al., 2020). در پژوهشی دیگر، بیشترین میزان مواد مؤثره شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum L.*) در شرایط کاربرد ریزوباکترهای محرک رشد گیاه و رطوبت خاک ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (Sharghi et al., 2018).

به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت نتایج این تحقیق نشان داد که در کلیه صفات مورد مطالعه، بیشترین مقدار

گاما-ترپین-۷-آل در آبیاری کامل به مقدار ۳۵/۳۰ درصد به دست آمد. محلول پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش معنی دار و ۴ درصدی γ -Terpinene-7-al نسبت به تیمار شاهد شد. در شرایط کم آبیاری محلول پاشی اسید هیومیک میزان γ -Terpinene-7-al را به طور معنی داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. به طور کلی با توجه به یافته های این پژوهش، چنانچه امکان آبیاری کامل در مزرعه زیره سبز وجود داشته باشد، می توان به بالاترین عملکرد کمی و کیفی گیاه دست یافت، اگر به هر دلیلی شرایط برای آبیاری کامل مزرعه فراهم نبود، حداقل انجام کم آبیاری در مقایسه با عدم آبیاری تکمیلی توصیه می شود و نتایج نشان داد که کاربرد نهاده های بوم سازگار در شرایط تنش خشکی در کاهش خسارت های ناشی از تنش خشکی مؤثر بود.

صفات زمانی به دست آمد که از آبیاری کامل استفاده شد، به عنوان مثال بیشترین مقدار عملکرد دانه (۶۹۱/۹۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل حاصل شد، ضمن اینکه مقدار عددی صفات در شرایط کم آبیاری به مراتب بیشتر از شرایط عدم آبیاری تکمیلی بود. محلول پاشی پروتئین در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، افزایش معنی دار برخی خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه مانند تعداد ساقه فرعی در بوته و تعداد چتر در بوته را در مقایسه با تیمار شاهد سبب شد. تعداد ساقه فرعی در بوته، وزن ساقه در بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن بذر در بوته و عملکرد دانه و بیولوژیک در شرایط کم آبیاری تحت تأثیر محلول پاشی اسید هیومیک افزایش یافت. در هر دو سال زراعی مورد مطالعه بیشترین مقدار اجزای اسانس، متعلق به ترکیب گاما-ترپین-۷-آل بود. بیشترین میزان

References

- Aalipour, H., Nikbakht, A., Ghasemi, M. and Amiri, R., 2020. Morpho-physiological and biochemical responses of two turfgrass species to arbuscular mycorrhizal fungi and humic acid under water stress condition. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20: 566-576. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00146-4>
- Adams, R.P. and Sparkman, O.D., 2007. Review of identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 18(4): 803-806. <https://doi.org/10.1016/j.jasms.2007.01.001>
- Adavi, Z. and Dehghanzadeh, H., 2023. Investigation the effects of manure and seed inoculation with *Azospirillum* manure on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable production*, 33(3): 75-87. <https://doi.org/10.22034/saps.2022.50112.2818>
- Abdul-Hussein, H.M. and Hassan, K., 2023. Effect of the biofertilizer (*Bacillus megaterium*) and the addition of yeast spraying on the vegetative growths in phosphorous availability, growth and yield of onions (*Allium cepa* L.). *Bionatura*, 8(2): 1-7. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/xxx>
- Ahmadi-pour, S., Arji, I., Ebadi, A. and Abdosi, V., 2019. Morphological, physiological and biochemical changes of young plants of some olive cultivars (*Olea europaea* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(2): 275-286. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.242485.1326>
- Alimaleki, M. and Asadi-Gharneh, H.A., 2020. The biochemical properties of zarrin-giah (*Dracocephalum kotschy* Boiss.) medicinal plant affected by seaweed extract and amino acid spraying. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 9(2): 215-225. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2020.123122>
- Alinian, S., Razmjoo, J. and Zeinali, H., 2016. Flavonoids, anthocynins, phenolics and essential oil produced in cumin accessions under different irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, 81: 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.040>
- Aminifard, M.H., Gholami, M., Bayat, H. and Moradinezhad, F., 2020. Effect of fulvic acid and amino acid application on physiological characteristics, growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a medicinal plant. *Journal of Agroecology*, 12(3): 373-388. <https://doi.org/10.22067/jag.v12i374672>
- Amiri, M.B. and Esmaeilian, Y., 2020. Effect of humic acid spraying and different levels of spend mushroom compost (SMC) on morphological characteristics and yield of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3): 249-270. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.39424.2477>
- Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., Naseri Abkook, N. and Salehabadi, M., 2020. Effect of planting date and method on some phytochemical characteristics and yield of Iranian ox-tongue

- (*Echium amoenum*) affected by bio and chemical fertilizers. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(2): 1-19. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.2.1.4>
- Amirnia, R., Ghiyasi, M., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Damalas, C.A. and Heydarzadeh, S., 2019. Nitrogen-fixing soil bacteria plus mycorrhizal fungi improve seed yield and quality traits of lentil (*Lens culinaris* Medik.). Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 19: 592-602. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00058-3>
 - Asadi, M., Nasiri, Y., Mola Ali Abasiyan, S. and Morshedloo, M.R., 2018. Evaluation of quantitative and qualitative yield of peppermint under amino acids, chemical and organic fertilizers. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 28(3): 257-275. <https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/?action=xml&article=8073&lang=en>
 - Aytac, Z., Gulbandilar, A. and Kurkcuglu, M.K., 2022. Humic acid improves plant yield, antimicrobial activity and essential oil composition of oregano (*Origanum vulgare* L.). Agronomy, 12: 2086. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092086>
 - Azarpira, E., Fathi, Sh., Sharafi, Y. and Najafian, Sh. 2020. Effect of some aminoacids based biostimulants on medicinal mint (*Mentha spicata* L.) under salinity stress. Horticultural Plants Nutrition, 2(2): 158-177. <https://doi.org/10.22070/hpn.2020.5012.1068>
 - Babaeian, M., Taghdisi, J., Kheirkhah, M. and Jafarian, M., 2022. Investigating the role of humic acid in reducing the effects of drought stress of anise (*Pimpinella anisum* L.). Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 3(2): 189-206. <https://doi.org/10.22034/csrar.2021.296682.1107>
 - Bahadour, M., Aboutalebi Jahromi, A., Behroznam Jahromi, B. and Rowshan, V., 2024. Growth characteristics and changes in the active ingredients of *Salvia mirzayanii* essential oil under foliar application of humic acid and amino acid. Journal of Medicinal plants and By-Products, 13(3): 560-569. <https://doi.org/10.22034/jmpb.2023.363292.1593>
 - Bahrami, H., Armin, M., Jamimoeini, M. and Abhari, A., 2024. Yield and essential oil quality of cumin (*Cuminum cyminum* L.) in relation to irrigation regimes under conventional and organic conditions. National Academy Science Letters, 47(3): 323-327. <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01276-1>
 - Behdad, A., Mohsenzadeh, S. and Azizi, M., 2021. Growth, leaf gas exchange and physiological parameters of two *Glycyrrhiza glabra* L. populations subjected to salt stress condition. Rhizosphere, 17: 100319. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100319>
 - Corso, D., Delzon, S., Lamarque, L.J., Cochard, H., Torres-Ruiz, J.M., King, A. and Brodribb, T., 2020. Neither xylem collapse, cavitation, or changing leaf conductance drive stomatal closure in wheat. Plant, Cell & Environment, 43(4): 854-865. <https://doi.org/10.1111/pce.13722>
 - Ebrahimiyan, M., Ebrahimi, M., Mortazavian, S.M.M. and Ramshini, H., 2017. The structure and genetic diversity of Iranian cumin populations (*Cuminum cyminum* L.) using SCOT molecular markers. Modern Genetics Journal, 12(2): 285-292. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084439.1396.12.2.13.5>
 - Edris, A.E., Ahmad S. and Fadel, H.M., 2003. Effect of organic agriculture practices on the volatile aroma components of some essential oil plants growing in Egypt II: sweet marjoram (*Origanum marjorana* L.) essential oil. Flavour Fragr Journal, 4: 345-351. <https://doi.org/10.1002/ffj.1235>
 - Emrahi, R., Morshedloo, M.R., Javanmard, A. and Ostadi, A., 2022. Effect of water stress on growth indices, chlorophyll fluorescence and essential oil compositions of American oregano (*Origanum vulgare* subsp. *vulgare*). Iranian Journal of Horticultural Science, 53(1): 59-74. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2021.307937.1838>
 - Gharib, F.A., Moussa, L.A. and Massoud, O.N., 2008. Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. International Journal of Agriculture and Biology, 10(4): 381-387.
 - Gholami, Sh., Amini Dehghi, M. and Ahmadi, Kh., 2019. Evaluation of effect of some priming treatments and time on germination characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Seed Research, 9(1): 1-11.
 - Hajmohammadnia Ghalibaf, K., Bannayan Aval, M., Rashed Mohassel, M.H., Valaie, N., Yaghoubishahinsofla, 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 condition. Iranian Journal of Field Crops Research, 18(2): 213-224. <https://doi.org/10.22067/gsc.v18i2.83813>
 - Jabborova, D., Enakiev, Y., Sulaymanov, K., Kadirova, D., Ali, A. and Annapurna, K., 2021. Plant growth promoting bacteria *Bacillus subtilis* promote growth and physiological parameters of *Zingiber officinale* Roscoe. Plant Science Today, 8(1): 66-71. <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.997>
 - Kahllel, A.M.S. and Sultan, F.I., 2019. Response of four potato cultivars to soil application with organic and amino acid compounds. Research on Crops, 20(1): 101-108. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2019.014>
 - Kalam, S., Basu, A. and Podile, A.R., 2020. Functional and molecular characterization of plant growth promoting *Bacillus* isolates from tomato

- rhizosphere. *Heliyon*, 6(8): e04734. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04734>
- Kalantari, A.R. and Rasoli, M., 2022. The effect of humic acid spraying on quantitative and qualitative traits of flaxweed plant under drought stress conditions. *Sustainable Agricultural Science Research*, 2(1): 1-18.
 - Kalayu, G., 2019. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*, 2019(1): 4917256. <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>
 - Karimi, E. and Tadayyon, A., 2018. Effect of humic acid spraying on yield and some morphological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Applied Field Crops Research*, 31(1): 19-38. <https://doi.org/10.22092/aj.2018.105538.1057>
 - Khan, A., Pan, X., Najeeb, U., Tan, D.K.Y., Fahad, S., Zahoor, R. and Luo, H., 2018. Coping with drought: stress and adaptive mechanisms, and management through cultural and molecular alternatives in cotton as vital constituents for plant stress resilience and fitness. *Biological Research*, 51: 47. <http://dx.doi.org/10.1186/s40659-018-0198-z>
 - Khare, S., Singh, N.B., Singh, A., Hussain, I., Niharika, K.M., Yadav, V., Bano, C., Yadav, R.K. and Amist, N., 2020. Plant secondary metabolites synthesis and their regulations under biotic and abiotic constraints. *Journal of Plant Biology*, 63, 203-216. <https://doi.org/10.1007/s12374-020-09245-7>
 - Khorasaninejad, S., Alizadeh Ahmadabadi, A. and Hemmati, K., 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. *Scientia Horticulturae*, 239: 314-323. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.015>
 - Mahmoud, G.A., Abeed, A.H.A., Mostafa, H.H.A. and Monsef, O.A., 2023. Responses of pea (*Pisum sativum* L.) to single and consortium biofertilizers in clay and newly reclaimed soils. *Plants*, 12(23), 3931. <https://doi.org/10.3390/plants12233931>
 - Mahmoudi, Sh., Loripour, M., Esmaeilzadeh, Sh., Sarhadinezhad, Z. and Tajoddini, H., 2021. The effect of *Cuminum Cyminum* on the characteristics of metabolic syndrome in women of reproductive age. *The Iranian Journal of Obstetrics, Gynecology and Infertility*, 24(3): 62-70. <https://doi.org/10.22038/ijogi.2021.18305>
 - Maitra, S., Hossain, A., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., Gitari, H., Brahmachari, K., Shankar, T., Bhadra, P., Palai, J.B. and Jena, J., 2021. Intercropping-A low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agronomy*, 11(2): 1-28. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020343>
 - Maslennikova, V.S., Tsvetkova, V.P., Shelikhova, E.V., Selyuk, M.P., Alikina, T.Y., Kabilov, M.R. and Dubovskiy, I.M., 2023. *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* mix suppresses rhizoctonia disease and improves rhizosphere microbiome, growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Fungi*, 9: 1142. <https://doi.org/10.3390/jof9121142>
 - Mirseyedi, S.K., Nasiri, Y., Morshedloo, M.R. and Khalili, M., 2020. Evaluation of organic, chemical, biological and amino acids application on quantitative and qualitative characteristics of chamomile (*Matricaria Chamomilla* L.) at different harvesting. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(4): 755-767. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.264013.1504>
 - Mollafilabi, A. and Esfandiari, T., 2018. Effects of irrigation regimes and planting times on essential oil percentage, yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) as a medicinal plant. *Journal of Agroecology*, 10(3): 935-948. <https://doi.org/10.22067/jag.v10i3.75201>
 - Morshedi, E., Qareineh, M.H., Kouchakizadeh, A. and Bakhshandeh, A., 2023. Effect of growth promoting rhizobacteria and chemical fertilizer on yield and malting efficiency of different barley cultivars in rainfed conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 11(2): 235-276. <https://doi.org/10.22092/idaj.2023.356558.356>
 - Mortezaavian, S.M.M., Bakan, S., Sadat Noori, S.A. and Norouzi, M., 2021. Study of meiotic behavior and fertility of pollen seed in cumin (*Cuminum cyminum*) under drought stress and titanium dioxide nanoparticles. *Modern Genetics Journal*, 16(1): 43-54. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3>
 - Mozaffari, S., Khorasaninezhad, S. and Gorgini Shabankareh, H., 2016. Effect of irrigation content based on field capacity percent and humic acid on morphophysiological traits on medicinal plant (*Portulaca oleracea* L.). *Crop Production*, 9(3): 153-175. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2016.10754.1849>
 - Nakhzari Moghaddam, A., 2010. The effect of water stress and plant density on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum*). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40(3): 63-69. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084811.1388.40.3.7.3>
 - Nasiri, Y., 2022. Evaluation of organic manures and biofertilizers application on yield, yield components and essential oil content of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(2): 97-113. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.45515.2669>
 - Oliveira, C.E.S., Jalal, A., Aguilar, J.V., Camargos, L.S., Zoz, T., Ch, B.B., Abdel-Maksoud, M.A.,

- Alarjani, K.M., Abdelgawad, H. and Filho, M.C.M.T., 2023. Yield, nutrition, and leaf gas exchange of lettuce plants in a hydroponic system in response to *Bacillus subtilis* inoculation. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1248044. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1248044>
- Patel, S., Jinal, H.N. and Amaresan, N., 2017. Isolation and characterization of drought resistance bacteria for plant growth promoting properties and their effect on chilli (*Capsicum annuum*) seedling under salt stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 12: 85-89. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.09.002>
- Piri, R., Moradi, A., Salehi, A. and Balouchi, H.R., 2021. Effect of seed biological pretreatments on germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(4): 11-26. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2019.109182.1054>
- Pishva, Z.K., Amini-Dehaghi, M., Bostani, A. and Naji, A.M., 2020. The effect of nitrogen fertilizer treatments on yield traits, essence percentage, and shoot nitrogen content of cumin under different irrigation regimes in the southern region of Tehran. *Journal of Crops Improvement*, 23(3): 607-619. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.299840.2368>
- Rahgoshahi, M., Panahi Kordlaghari, Kh. 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 Plant Research*, 38(2): 286-300. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.356393.3079>
- Rahimialashti, S., Bahmanyar, M., Ghajarsepanlu, M., Sadeghzade, F. and Mokhtassi, A., 2021. The effect of some organic and mineral amendments on soil macronutrient and micronutrient under quinoa cultivation in stress status (water). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11(2): 25-48. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2021.18118.1960>
- Raza, M.A., Gul, H., Wang, J., Yasin, H.S., Qin, R., Khalid, M.H.B., Naeem, M., Feng, L.Y., Iqbal, N., Gitari, H. and Ahmad, S., 2021. Land productivity and water use efficiency of maize-soybean strip intercropping systems in semi-arid areas: A case study in Punjab province, Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 308: 127282. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127282>
- Rezaei Chiyaneh, E., Pirzad, A. and Farjami, A., 2014. Effect of nitrogen, phosphorus and sulfur supplier bacteria on seed yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(4): 71-83.
- Rivandi, H., Rezvan, S., Jami Moeini, M., Sinaki, J.M., Damavandi, A. and Sanjani, S., 2020. Evaluation of quantity and quality yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes in different planting date under sabzevar climatic conditions. *Journal of Agroecology*, 12(2): 227-240. <https://doi.org/10.22067/jag.v12i2.78488>
- Ruehr, N.K., Grote, R., Mayr, S. and Arneith, A., 2019. Beyond the extreme: recovery of carbon and water relations in woody plants following heat and drought stress. *Tree Physiology*, 39(8): 1285-1299. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpz032>
- Saeid Nezhad, A.H. and Rezvani Moghaddam, P., 2010. Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on morphological properties, yield, yield components and essence percentage of cumin (*Cuminum cyminum*). *Journal of Horticultural Science*, 24(1): 38-44. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1389i1.3643>
- Safari, B., Mortazavian, S.M.M., Sadat Noori, S.A. and Foghi, B., 2017. Evaluation of drought tolerance in endemic ecotypes of cumin using tolerance indices. *Journal of Plant Production Research*, 23(4): 185-204. <https://doi.org/10.22069/jopp.2017.8705.1847>
- Salehi-Lisar, S.Y. and Bakhshayeshan-Agdam, H., 2020. Agronomic crop responses and tolerance to drought stress. *Agronomic Crops*, 1084: 63-91. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0025-1_5
- Sanikhani, M., Akbari, A. and Kheiry, A., 2020. Effect of phenylalanine and tryptophan on morphological and physiological characteristics in colocynth (*Citrullus colocynthis* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 9(35): 317-328. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222727.1399.9.35.5.6>
- Santos, B.D.M.S., Andrade Silva, M.S.D.R., Chavez, D.W.H. and Rigobelo, E.C., 2020. Genetic and nutritional diversity of *Bacillus subtilis* isolates demonstrating different aspects related to plant growth promotion. *Australian Journal of Crop Science*, 14(5): 880-888.
- Saxena, A.K., Kumar, M., Chakdar, H., Anuroopa, N. and Bagyaraj, D.J., 2020. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of Applied Microbiology*, 128(6): 1583-1594. <https://doi.org/10.1111/jam.14506>
- Seleiman, M.F., Aslam, M.T., Alhammad, B.A., Hassan, M.U., Maqbool, R., Chattha, M.U., Khan, I., Gitari, H.I., Uslu, O.S., Roy, R. and Battaglia, M.L., 2021. Salinity stress in wheat: effects, mechanisms and management strategies. *Phyton*, 91(4): 667-694. <https://doi.org/10.32604/phyton.2022.017365>
- Sharghi, A., Naghdi Badi, H., Bolandnazar, S., Mehrafarin, A. and Sarikhani, M.R., 2018. Morphophysiological and phytochemical responses of fenugreek to plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) under different soil water levels. *Folia Horticulturae*, 30(2): 215-228. <https://doi.org/10.2478/fhort-2018-0019>

- Taheri Asghari, M., 2021. The effect of foliar application of amino acids and symbiosis with mycorrhiza species on the characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). Journal of Crops Improvement, 24(2): 615-629. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.320460.2530>
- Tawfik, O.H., 2022. Influence of zinc and humic acid on growth, yield and essential oil percentage of fennel plants. Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants, 9(4): 397-407. <https://doi.org/10.21608/sjofop.2023.198497.1019>
- Varnaseri Ghandali, V., Nasiri Dehsorkhi, A., Makarian, H. and Haghighatjou, P., 2020. Effects of vermicompst and humic acid application on the uptake of macro-elements, seed, and essential oil yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 35(6): 950-966. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.125423.2521>
- Yang, P., Liu, W., Yuan, P., Zhao, Z., Zhang, Ch., Opiyo, S.O., Adhikari, A., Zhao, L., Harsh, G. and Xia, Y., 2023. Plant growth promotion and stress tolerance enhancement through inoculation with *Bacillus proteolyticus* OSUB18. Biology, 12(12): 1495. <https://doi.org/10.3390/biology12121495>
- Zamani, F., Amirnia, R., Rezaei Chiyaneh, E. and Rahimi, A., 2019. The effect of bacterial bio-fertilizers and mycorrhizal fungi on seed yield and chemical composition of essential oil of three fennel landrace. Journal of Crops Improvement, 20(4): 831-848. <https://doi.org/10.22059/jci.2018.259818.2045>