



Impact of different fertilizer sources on some morpho-physiological traits of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* L.) under drought stress conditions

Adel Madady¹, Bahram Mirshekari^{2*} and Abdollah Hasanzadeh Ghorttapeh³

- 1- Ph.D. student, Department of Agronomy and Crop Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran
2*- Corresponding Author, Department of Agronomy and Crop Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran, E-mail: Mirshekari@iaut.ac.ir
3- Department of Seed and Plant Improvement Research, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran

Received: 15/04/2025

Revised: 18/10/2025

Accepted: 27/10/2025

Abstract

Background and objectives: The increasing attention to the adverse effects of chemical pharmaceuticals, compared with the relatively fewer side effects of organic herbal medications, has sparked interest in the cultivation of medicinal plants. Low soil fertility, resulting from continuous chemical fertilizer application, has become a major challenge to the sustainable agricultural production of medicinal plants. The complementary application of zeolite, organic, and biological fertilizers represents an effective fertilizer management strategy and a practical approach to reduce dependency on chemical fertilizers.

Methodology: To evaluate the effects of biological, zeolite, organic, and chemical fertilizers under different irrigation regimes on the yield, yield components, and physiological traits of Dragon's Head (*Lallemantia iberica*), a split-plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted under the climatic conditions of Urmia (37°44' E, 45°10' N, 1320 m elevation) during the 2016-2017 growing seasons. The main factor consisted of three irrigation levels (75%, 50%, and 30% of field water capacity, FWC), and the subplots included twelve fertilizer treatments: control (without fertilizer, F1), *Glomus intraradices* (F2), vermicompost (F3), NPK (F4), zeolite (F5), mycorrhiza + vermicompost (F6), vermicompost + NPK (F7), mycorrhiza + zeolite (F8), mycorrhiza + NPK (F9), zeolite + vermicompost (F10), zeolite + NPK (F11), and mycorrhiza + vermicompost + zeolite (F12). Data were analyzed using SAS 9.2, and mean comparisons were performed using the LSD test at $P \geq 0.05$.

Results: Analysis of variance (ANOVA) revealed that different irrigation regimes, fertilizer treatments, and their interactions significantly affected plant height, number of branches, plant fresh weight, plant dry weight, flower weight, number of nut goals per cycle, number of seeds per flower cycle, number of flower rotations per plant, inflorescence length, 1000-seed weight, seed yield, biological yield, relative leaf water content (RWC), chlorophyll index (SPAD), ascorbate peroxidase (APX), superoxide dismutase (SOD), malondialdehyde (MDA), and proline content in Dragon's Head. Antioxidant enzyme activities, including APX and SOD, as well as compounds such as proline and MDA, increased significantly under enhanced water stress. Conversely, yield, yield components, chlorophyll index, and RWC decreased significantly under water deficit. The highest grain yield, biological yield, 1000-grain weight, number of flower rotations per plant, number of nut goals per cycle, number of seeds per flower



cycle, flower weight, inflorescence length, plant dry weight, plant fresh weight, number of lateral branches, plant height, chlorophyll index, and RWC were observed in the treatment irrigated at 70% FWC combined with mycorrhiza + vermicompost + zeolite (F12). The greatest MDA and proline levels were observed in the treatment irrigated at 30% FWC combined with mycorrhiza + zeolite (F8). This integrated treatment not only produced a satisfactory yield but also substantially reduced chemical fertilizer use, representing a step toward healthy production and sustainable agriculture. Vermicompost, mycorrhiza, and zeolite treatments outperformed the control and chemical fertilizer treatments in yield.

Conclusion: The results indicate that integrated fertilizer application, particularly the triple combination of mycorrhiza, vermicompost, and zeolite under different irrigation regimes, can enhance the yield and yield components of Dragon's Head while reducing chemical fertilizer use, thereby contributing to sustainable agricultural production.

Keywords: Antioxidant enzymes, water deficit stress, yield, yield components.

تأثیر منابع مختلف کودی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه دارویی بالنگو (*Lallemantia iberica* L.) در شرایط تنش خشکی

عادل مددی^۱، بهرام میرشکاری^{۲*} و عبدالله حسن‌زاده قورت تپه^۳

۱- دانشجوی دکتری، رشته زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران، پست الکترونیک: Mirshekari@iaut.ac.ir

۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۷

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۵

چکیده

سابقه و هدف: توجه روزافزون به آثار نامطلوب داروهای شیمیایی در مقایسه با آثار مطلوب استفاده از داروهای گیاهی، باعث علاقه به کشت گیاهان دارویی شده است. از سوی دیگر، حاصلخیزی کم خاک ناشی از کاربرد مداوم کودهای شیمیایی به چالشی برای تولید پایدار کشاورزی در گیاهان دارویی تبدیل شده است. کاربرد تیمارهای تلفیقی زئولیت، کود آلی و زیستی می‌تواند از شدت مشکلات بکاهد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی اثر کاربرد تکی و تلفیقی کودهای زیستی، آلی، شیمیایی و زئولیت بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیکی گیاه دارویی بالنگو (*Lallemantia iberica*)، تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط آب و هوایی ارومیه (طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متری از سطح دریا) اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح آبیاری (آبیاری در ۷۵٪ ظرفیت زراعی یا آبیاری کامل، آبیاری در ۵۰٪ ظرفیت زراعی یا تنش متوسط و آبیاری در ۳۰٪ ظرفیت زراعی یا تنش شدید) به عنوان عامل اصلی و تیمار کودی در ۱۲ سطح شاهد (F1)، میکوریزای *Glomus intaradices* (F2)، ورمی‌کمپوست (F3)، کود شیمیایی N.P.K (F4)، زئولیت (F5)، ورمی‌کمپوست + میکوریزا (F6)، ورمی‌کمپوست + کود شیمیایی (F7)، زئولیت + میکوریزا (F8)، کود شیمیایی (F9)، زئولیت + ورمی‌کمپوست (F10)، زئولیت + کود شیمیایی (F11) و ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت (F12)، به عنوان عامل فرعی اعمال شدند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح $P \leq 0.05$ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای مختلف آبیاری و کود و اثر متقابل آنها بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن تر و خشک بوته، وزن تر گل، تعداد فندقه در هر چرخه گل، تعداد دانه در هر چرخه گل، تعداد چرخه گل در هر بوته، طول گل‌آذین، وزن هزار دانه، عملکرد، عملکرد بیولوژیک، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، شاخص کلروفیل، آسکوربات پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز، مالون دی‌آلدهید و پرولین بالنگو معنی‌دار بود. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز و مقدار ترکیب‌هایی مانند پرولین و مالون دی‌آلدهید با افزایش شدت تنش آبی افزایش معنی‌داری داشتند. در روندی معکوس، عملکرد، اجزاء عملکرد، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ (RWC) به دلیل محدودیت آبی کاهش معنی‌داری از خود نشان دادند. بیشترین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، تعداد چرخه گل در هر بوته، تعداد فندقه در هر چرخه گل، تعداد دانه در هر چرخه گل، وزن گل، طول گل‌آذین، وزن خشک بوته، وزن تر بوته، تعداد شاخه جانبی، ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب از تیمار آبیاری پس از ۷۵ درصد ظرفیت زراعی توأم با کاربرد میکوریزا +

ورمی کمپوست + زئولیت (F12) و بیشترین میزان مالون دی آلدئید و پرولین از تیمار آبیاری پس از ۳۰ درصد ظرفیت زراعی همراه با کاربرد میکوریزا + زئولیت (F8) حاصل شد. تیمار مذکور ضمن تولید محصول رضایت بخش، به طور قابل توجهی مصرف کود شیمیایی را نیز کاهش داد که این موضوع می تواند گامی به سوی تولید سالم و کشاورزی پایدار باشد. تیمارهای ورمی کمپوست، میکوریزا و زئولیت نسبت به تیمار شیمیایی و شاهد عملکرد بهتری داشتند.

نتیجه گیری: براساس نتایج می توان استنباط کرد که استفاده از روش تغذیه تلفیقی به ویژه تیمار ترکیبی سه گانه ورمی کمپوست + میکوریزا + زئولیت تحت رژیم های مختلف آبیاری، ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی باعث بهبود عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه بالنگو شد.

واژه های کلیدی: آنزیم های آنتی اکسیدان، تنش کمبود آب، عملکرد، اجزاء عملکرد.

مقدمه

امروزه گیاهان دارویی از گیاهان مهم اقتصادی هستند که به صورت خام یا فراوری شده در طب سنتی و مدرن صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند (Nikou et al., 2019). استفاده روزافزون از گیاهان دارویی را می توان به عدم امکان تولید مصنوعی برخی از مواد مؤثره طبیعی، عوارض جانبی نامطلوب مواد دارویی شیمیایی، لزوم استفاده از اسانس ها و مواد مؤثره طبیعی در سنتز سایر ترکیب های شیمیایی نسبت داد (Alves et al., 2020; de Assis et al., 2016; Abbasi Holasou et al., 2020).

بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) یکی از گیاهان دارویی مهم و ارزشمند تیره نعناع می باشد که در مناطق آذربایجان و بیشتر مناطق ایران در بین کشاورزان به نام قره زرک یا بزرک سیاه شناخته می شود (Omidi et al., 2020). این گیاه از اهمیت زیادی در ایران و جهان برخوردار بوده و دارای آثار آنتی اکسیدانی، آنتی باکتریایی و ضد درد است (Heydarzadeh et al., 2023). این گیاه در مناطق خشک به خوبی رشد می کند، بنابراین از این گیاه می توان به عنوان گیاهی جایگزین برای محصولات زراعی رایج در مناطق خشک استفاده نمود. دلیل سازگاری این گیاه به خشکی، ناشی از وجود ژن های تحمل به خشکی می باشد (Heydarzadeh et al., 2014; Asadbeigi et al., 2023).

تنش خشکی یکی از شایع ترین و مخرب ترین تنش های محیطی است که رشد گیاهان را در سرتاسر

جهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک محدود و منجر به کاهش عملکرد گیاهان می گردد (Atlin et al., 2017). تنش خشکی بر ویژگی های مورفولوژیکی از جمله استقرار گیاه، ارتفاع بوته، خصوصیات برگ و ریشه، وزن خشک اندام های هوایی و ریشه، عملکرد گیاه (Abasi Sadr et al., 2018) و بر ویژگی های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه از جمله فتوسنتز، توزیع مواد فتوسنتزی برگ، روزه ها، محتوای آب نسبی برگ، تنفس، تنظیم اسمزی، کربوهیدرات ها، تجمع پرولین، افزایش فعالیت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز، پروتئین سازی، غشای سلولی و هورمون ها تأثیر می گذارد (Srivastava et al., 2016). مطالعات فراوانی حکایت از افزایش تجمع گونه های فعال اکسیژن (ROS) تحت تنش خشکی دارد. گیاهان از طریق سازوکارهای آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی گونه های فعال اکسیژنی ایجاد شده را کاهش می دهند. در این رابطه استفاده از مواد اصلاحی مانند زئولیت برای کاهش اثرهای نامطلوب تنش خشکی می تواند مفید واقع شود. زئولیت ها گروهی از آلومینوسیلیکات های دارای ساختمان بلوری ویژه می باشند که به شدت آب دوست هستند و ضمن برخورداری از ظرفیت زیاد جذب آب، در موقع نیاز ریشه، به راحتی آب و مواد غذایی جذب شده را در اختیار ریشه گیاه قرار می دهند. سوپرجاذب ها از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک،

غذایی خاک) می‌گردند (Ostadi et al., 2020).

روابط هم‌زیستی میکوریزا نقش اصلی در تجزیه مواد آلی خاک، معدنی شدن عناصر غذایی گیاهان و چرخه عناصر غذایی ایفا می‌کند (Agazadeh et al., 2018). اسیدیته خاک، میزان عناصر غذایی و اثر متقابل با سایر ریزموجودات، الگوی کلونیزاسیون این قارچ را تحت تأثیر قرار می‌دهند. میکوریزا همچنین سبب افزایش تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی مانند تنش خشکی می‌شود (Lenoir et al., 2016). از سوی دیگر، افزایش فتوسنتز گیاه توسط قارچ‌های میکوریزا به اثبات رسیده است. شواهد بسیار زیادی وجود دارد که گیاهان می‌توانند با افزایش سرعت فتوسنتز خود، نیازهای هم‌زیست خود را تأمین نمایند. این عمل از طریق افزایش سطح برگ و افزایش مقدار تثبیت CO_2 به ازای واحد وزن برگ انجام می‌شود. گیاهان میکوریزی در دوره‌های خشکی بهتر از گیاهان غیرمیکوریزی CO_2 را جذب می‌نمایند. گیاهان دارای هم‌زیستی میکوریزی، نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی، آب را سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌کنند، زیرا در گیاهان میکوریزی معمولاً اندام هوایی و سطح برگ‌ها در گیاه توسعه بیشتری پیدا می‌کند که این خود باعث افزایش نیاز تعرقی گیاه میکوریزی می‌شود (Hassanzadeh-Gorttapeh & Zahen-Manesh, 2006). از سوی دیگر، سیستم ریشه‌ای در گیاهان میکوریزی منشعب‌تر شده، قطر ریشه‌های فرعی در آنها کاهش و طول ریشه افزایش یافته است. به همین دلیل ریشه‌های میکوریزی سطحی، تماس بیشتری با خاک پیدا کرده و قادر به جذب سریع‌تر آب از خاک می‌شود (Pirzad et al., 2014). Mehrabi و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که استفاده از آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر روی گیاهان زیره سبز می‌تواند آثار منفی کمبود آب را با افزایش ظرفیت آب برگ، بازدهی استفاده از دی اکسید کربن، سرعت تعرق، در دسترس بودن مواد مغذی و تأمین آب به ریشه بهبود ببخشد. علاوه بر این، رشد، نمو و عملکرد وزن خشک گیاهان زیره سبز نیز می‌تواند تحت تنش کمبود آب بهبود یابد.

علاوه بر کودهای زیستی می‌توان از جایگزین دیگری از

کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (Abedi-Koupai et al., 2008)، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی (Eneji et al., 2013)، افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر (Eneji et al., 2013)، کاهش تلفات آب در خاک (Xie et al., 2011)، کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (Nykanen et al., 2011) و کاهش تلفات ناشی از مصرف کودها (Zheng et al., 2009) منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات مختلف می‌شوند.

با اینکه کودهای شیمیایی به‌عنوان سریع‌ترین راه افزایش عملکرد در واحد سطح و جبران کمبود عناصر غذایی در گیاهان زراعی مطرح هستند، ولی استفاده بیش از اندازه از آنها به‌ویژه هنگامی که با عملیات مدیریتی نامناسب مانند سوزاندن بقایای گیاهی همراه باشد بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیر گذاشته و امکان فرسایش خاک‌ها را افزایش می‌دهد (Daneshmandi & Seyyedi, 2019). امروزه به‌دلیل افزایش اهمیت مسائل زیست محیطی توجه بیشتری به کودهای زیستی برای جایگزینی کودهای شیمیایی شده است (Bansal, 2017). در حال حاضر کودهای بیولوژیک به‌عنوان گزینه‌ای جایگزین برای کودهای شیمیایی، به منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات در کشاورزی پایدار مطرح هستند. کودهای بیولوژیک در حقیقت ماده‌ای شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادی بوده که توانایی تبدیل عناصر غذایی اصلی را از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس طی فرایند بیولوژیکی داشته و منجر به توسعه سیستم ریشه‌ای و جوانه‌زنی بهتر بذرها می‌شوند (Wu et al., 2005).

قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا جزء اصلی فلور محیط ریشه گیاهان در بوم‌نظام‌های طبیعی می‌باشند که رابطه هم‌زیستی با بیشتر نهاندانگان از جمله چندین گونه گیاه دارویی دارند. همچنین قارچ‌های میکوریزا دارای کارکرد چندمنظوره‌ای در بوم‌نظام‌های زراعی هستند و بالقوه سبب بهبود کیفیت فیزیکی خاک (از طریق گسترش ریشه‌های قارچ)، کیفیت شیمیایی خاک (از طریق افزایش جذب عناصر غذایی) و کیفیت بیولوژیکی خاک (از طریق شبکه

متوسط بارندگی و درجه حرارت هوای شهرستان ارومیه در سال آزمایش در شکل ۱ آورده شده است.

تیمارهای آبیاری (آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی یا آبیاری کامل، آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی یا تنش متوسط و آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی یا تنش شدید) در کرت‌های اصلی و تیمارهای کودی (شاهد (F1)، میکوریزای *Glomus intraradices* (F2)، ورمی‌کمپوست (F3)، کود شیمیایی N.P.K (اوره ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار و سوپر فسفات تریپل ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) (F4)، زئولیت (F5)، ورمی‌کمپوست + میکوریزا (F6)، ورمی‌کمپوست + کود شیمیایی (F7)، زئولیت + میکوریزا (F8)، میکوریزا + کود شیمیایی (F9)، زئولیت + ورمی‌کمپوست (F10)، زئولیت + کود شیمیایی (F11) و ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت (F12)) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری مکرر و روزانه دست‌نخورده خاک در عمق توسعه ریشه به صورت یک نمونه از روی پشته در میان هر کرت در هر تکرار به منظور رسیدن به رطوبت لازم برای سطح ۳۰، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده انجام گردید که درصد رطوبت وزنی خاک در این سه سطح تخلیه آب قابل استفاده با استفاده از روابط موجود محاسبه شد. مقادیر رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم با استفاده از صفحه فشاری اندازه‌گیری شد. مقدار آب آبیاری برای هر کرت در هر بار آبیاری با در نظر گرفتن رطوبت ظرفیت زراعی خاک، مساحت هر کرت و عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر) برحسب مترمکعب از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Izan et al., 2020).

$$In = \frac{(Fc - \theta i) \times D \times A}{100}$$

در این رابطه، In حجم آبیاری (مترمکعب)، Fc رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی (درصد)، θ رطوبت وزنی خاک در هر تیمار (درصد)، D عمق توسعه ریشه (متر) و A مساحت کرت (مترمربع) است.

قارچ *G. intraradices* از گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه ارومیه تهیه شد. بذر مورد استفاده بالنگو از توده بومی شاهین‌دژ

قبیل ورمی‌کمپوست به جای کودهای شیمیایی استفاده نمود. بالا بودن میزان عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در مقایسه با سایر کودهای آلی و به‌علاوه دارا بودن عناصر میکرو مانند آهن، روی، مس و منگنز از مزایای ورمی‌کمپوست محسوب می‌گردد (Hosseinzadeh et al., 2016). مطالعات متعدد نشان داده است که اصلاح خاک با مواد آلی، به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی مانند قابلیت نگهداری بالای آب، ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش جذب عناصر غذایی و سایر شاخص‌های سودمند فیزیکی، شیمیایی و زیستی، منجر به افزایش پایداری تولیدات کشاورزی در شرایط نامساعد محیطی می‌گردد (Armak et al., 2018).

با توجه به آثار منفی استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی بر محیط‌زیست و سلامتی انسان، روش‌های متعددی برای کاهش کاربرد چنین کودهایی در نظام‌های کشاورزی پایدار ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، این مطالعه به منظور بررسی آثار منابع مختلف کودی شامل کودهای شیمیایی NPK، ورمی‌کمپوست، زئولیت، میکوریزای *Glomus intraradices* و ترکیبی از این کودها بر برخی صفات زراعی، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری انجام گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کودهای زیستی، آلی و شیمیایی بر برخی صفات زراعی، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه بالنگو تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایش مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی با طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا اجرا شد. قبل از شروع آزمایش، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد. نتایج آنالیز خاک و ورمی‌کمپوست در جدول ۱ و

کاملاً با خاک کرت، مخلوط گردید. کود ورمی کمپوست قبل از کاشت به میزان ۱۰ تن در هکتار در تیمارهای مورد نظر به طور یکنواخت پخش و بعد توسط بیل با خاک مخلوط شد. همچنین کوددهی براساس آزمون خاک به مقدار ۱۷۰ کیلوگرم کود اوره در دو مرحله قبل از کاشت و مرحله ساقه دادن و کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار (تماماً قبل از کاشت) به خاک اضافه گردید. به علت بالا بودن مقدار پتاسیم قابل جذب در خاک مورد آزمایش، از کود پتاسیم استفاده نشد. کاشت به صورت خشکه کاری و در اواسط اسفندماه انجام شده و پس از ایجاد کردن شیارهایی به عمق دو تا سه سانتی متر بر روی هر ردیف، بذر به صورت خطی داخل هر شیار ریخته شد و روی آن با احتیاط کامل با خاک نرم پوشانیده شد. بذرها در عمق ۱ تا ۲ سانتی متری از سطح خاک قرار گرفتند و بلافاصله آبیاری انجام شد. در طول دوره رشد عملیات وجین به صورت دستی در دو مرحله به منظور جلوگیری از رقابت علف‌های هرز با بالنگوی شهری انجام شد.

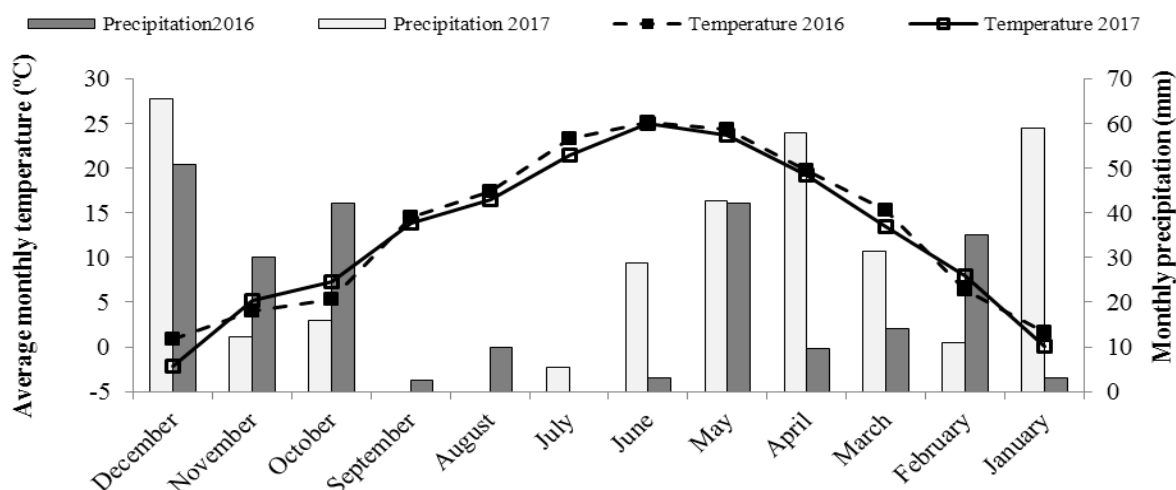
بود که از تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ارومیه تهیه شده بود.

به منظور آماده سازی زمین برای کاشت، در پاییز نسبت به انجام شخم عمیق اقدام گردید و بعد برای نرم کردن خاک از دو نوبت دیسک عمود برهم استفاده شد. آزمایش در زمینی به ابعاد 20×12 متر مربع اجرا شد. طول کرت‌ها ۲۵۰ سانتی متر و عرض آنها ۱۲۰ سانتی متر و هر کرت شامل ۶ ردیف کاشت بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف‌ها طوری تنظیم شد که تراکم کاشت ۴۰۰ بوته در متر مربع (در هر ردیف و در هر متر طولی ۸۰ بوته) بدست آمد. فاصله هر کرت با کرت مجاور یک متر در نظر گرفته شد. قارچ مایکوریزا به مقدار ۲۰ گرم در متر طولی و قبل از کاشت بذرها با ایجاد شیار در کنار خطوط کاشت و ۲ سانتی متر پایین تر از محل استقرار بذرها قرار گرفت. زئولیت به مقدار ۳۰ تن در هکتار برای کرت‌های مورد نظر محاسبه و قبل از آماده سازی خطوط کاشت در سطح کرت پخش و تا عمق ۲۰ سانتی متری

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی و کود ورمی کمپوست

Table 1. Physical and chemical characteristics of experimental field soil and vermicompost

	Soil texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Organic matter (%)	Total N (%)	EC (dS.m^{-1})	pH	Available potassium (mg.kg^{-1})	Available phosphorus (mg.kg^{-1})
Soil	Loam clay	21	37	42	1.35	0.05	0.56	7.95	488	7.6
Vermicompost	-	-	-	-	5	1.57	6.41	8.11	3.4	1.64



شکل ۱- دما و بارش سالیانه در سال زراعی ۹۵-۹۶ در شهرستان ارومیه

Figure 1. Annual temperature and precipitation during the 2016-17 crop year in Urmia city

شاخص‌های مورد بررسی

برای تعیین ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد، در هنگام برداشت (اواخر تیرماه)، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفاتی مانند ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد برگ در ساقه اصلی، طول گل‌آذین (میلی‌متر)، وزن برگ (گرم)، وزن گل (گرم)، وزن تر بوته (گرم)، وزن خشک بوته (گرم)، تعداد فندقه در هر چرخه گل، تعداد دانه در هر چرخه گل، تعداد چرخه گل در هر بوته، وزن هزار دانه (گرم)، عملکرد دانه (گرم در بوته) و عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته) اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، پس از حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدای کرت و نیم متر از انتهای کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، بوته‌های موجود در واحد سطح باقی‌مانده برداشت شده و عملکرد دانه تعیین گردید.

سنجش صفت محتوای نسبی آب (RWC) به روش Martinez و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد. بدین ترتیب که بالاترین برگ هر تیمار در تکرار را جدا کرده و پس از جدا کردن دیسک‌های یکنواخت از قسمت پهنک برگ، بلافاصله وزن تر آن به دقت اندازه‌گیری گردید. سپس برگ‌ها در تاریکی (برای جلوگیری از تغییر وزن به دلیل فعالیت تنفسی) درون آب مقطر قرار داده شدند و پس از ۲۴ ساعت برگ‌ها از آب مقطر خارج و پس از خشک کردن آب سطح برگ، وزن آماس آنها قرائت گردید. در نهایت برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد به منظور اندازه‌گیری وزن خشک قرار گرفتند. در نهایت برای محاسبه RWC از رابطه (۱) استفاده شد (Martinez et al., 2007). در این رابطه W_f وزن تر برگ، W_t وزن تورژسانس برگ و W_d وزن خشک برگ را نشان می‌دهد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{RWC (\%)} = [(W_f - W_d) / (W_t - W_d)] \times 100$$

شاخص کلروفیل برگ (SPAD) در آغاز گلدهی توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل Spad 502 Plus ساخت کشور

ژاپن، از آخرین برگ کاملاً توسعه یافته در ۱۰ بوته اندازه‌گیری شد. بدین صورت که از سه قسمت برگ‌های هر تیمار (ابتدا، وسط و انتها) انتخاب و مقدار آن ثبت گردید، سپس از میانگین آنها برای تیمار مورد نظر استفاده گردید. به منظور بررسی فلورسانس کلروفیل برگ‌ها نیز از دستگاه ساخت شرکت Hansatech استفاده گردید. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعات ۱۰ تا ۱۳ به منظور به حداقل رساندن تغییرات روزانه انجام شد. در ابتدا گیره‌های مخصوص دستگاه بر روی برگ‌ها نصب شد و به منظور قرار گرفتن برگ در تاریکی و متوقف کردن واکنش نوری فتوسنتز، دریچه آنها کاملاً بسته شد، پس از گذشت ۲۰ دقیقه گیره‌ها به دستگاه متصل شدند و دریچه گیره‌ها باز شد و بعد اعداد در دستگاه ثبت گردید.

برای اندازه‌گیری غلظت پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. براساس این روش ۰/۵ گرم بافت برگ از هر نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر محلول آبی اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد قرار داده شد و مخلوط حاصل در حاوان چینی کاملاً هموژنیزه گردید. در مرحله بعد ۲ میلی‌لیتر از این محلول را با ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین مخلوط نموده و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک به هر لوله اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بلافاصله پس از خارج کردن از حمام بن‌ماری به مدت چند دقیقه در حمام یخ قرار داده شدند. بعد از این مرحله به هر لوله آزمایش ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شده و نمونه‌ها به مدت ۲۰-۱۵ ثانیه ورتکس شدند تا کاملاً یکنواخت شوند. سپس لوله‌ها برای مدتی در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. در این مدت در داخل لوله آزمایش دو قسمت رویی و زیرین کاملاً از هم قابل تشخیص شده و از قسمت رویی برای تعیین غلظت پرولین با توجه به منحنی استاندارد پرولین در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر استفاده گردید. برای رسم منحنی استاندارد پرولین از غلظت‌های صفر، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر از ال-پرولین و تولوئن به عنوان شاهد (سطح صفر) استفاده شد

۵۰ سی سی آب مقطر تهیه شد) ۲۵ سی سی از فسفات پتاسیم با $\text{pH}=7.8$ ، متیونین ۱۳ میلی مولار، ۷۵ NBT، میکرومولار، ریپوفلاوین ۲ میکرومولار و ۰/۱ EDTA میلی مولار به حجم ۲۵۰ سی سی رسید. جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر دنبال گردید. فعالیت آسکوربات پراکسیداز نیز مطابق با روش Gustavo و همکاران (۲۰۰۶) در طول موج ۲۹۰ نانومتر سنجیده شد.

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.2 انجام شد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج

صفات مورفولوژیک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که رژیم های مختلف آبیاری تأثیر معنی داری بر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه های جانبی، وزن برگ، وزن تر پیکر رویشی و تعداد برگ در ساقه اصلی در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) و بر وزن خشک پیکر رویشی در سطح احتمال ۵ درصد ($P\leq 0.05$) داشت. همچنین نتایج این جدول نشان داد که الگوهای مختلف کودی بر تمامی صفات مذکور در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) معنی دار بود. اثر متقابل رژیم های مختلف آبیاری و تیمارهای کودی بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه های جانبی، وزن تر و وزن خشک پیکر رویشی در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) معنی دار بود (جدول ۲). معنی دار شدن آثار متقابل نشان می دهد که دو فاکتور مستقل از هم عمل نکرده اند.

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده رژیم های مختلف آبیاری بر روی صفات وزن برگ و تعداد برگ در ساقه اصلی نشان می دهد که بالاترین میزان برای هر دو صفت به ترتیب ۱۱۷۱/۴۲ گرم و ۷۰/۲ گرم در آبیاری با ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و کمترین مقدار از تنش شدید با ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۱۰۹۳/۵۹ گرم و ۶۱/۵ گرم به دست آمد. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر ساده الگوهای مختلف کودی نشان داد که حداکثر وزن برگ و

و همانند روش اندازه گیری پرولین مقادیر جذب نوری در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید، با این تفاوت که در لوله های آزمایشی به جای عصاره برگ، محلول های استاندارد اضافه شدند. سپس با توجه به مقادیر جذب نوری و غلظت های محلول ها، منحنی استاندارد رسم شد.

برای اندازه گیری میزان مالون دی آلدئید از روش Heath و Packer (۱۹۶۸) استفاده شد. براساس این روش ۰/۲۵ گرم از بافت برگ در هاون چینی حاوی ۵ میلی لیتر تری کلرواستیک اسید (TCA) یک درصد همزنیزه شد. عصاره حاصل به مدت ۵ دقیقه در دور 10000 g سانتریفوژ شد و ۲۵۰ میکرولیتر از قسمت بالایی به تیوب های جدید منتقل شد. مقدار یک میلی لیتر از محلول مالون دی آلدئید که حاوی ۲۰ درصد تری کلرواستیک اسید به همراه ۰/۵ درصد تیوباریتوریک اسید (TBA) بود، با قسمت بالایی مخلوط شد. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در حمام بن ماری در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد و بلافاصله در یخ سرد شده و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر قرائت شد و جذب سایر زنگیزه های غیر اختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از مقدار حاصل کسر شد. از رابطه (۲) برای محاسبه میزان مالون دی آلدئید استفاده شد.

رابطه (۲)

$$\text{MDA (mol FW)} = \frac{(A532 - A600) \times \text{FW}}{116}$$

MDA = میزان مالون دی آلدئید برحسب میکرومول بر

گرم وزن تر گیاه

A532 = جذب قرائت شده در طول موج ۵۳۲ نانومتر

A600 = جذب قرائت شده در طول موج ۶۰۰ نانومتر

FW = وزن نمونه برگ

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش Dhindsa و همکاران (۱۹۸۱) انجام شد. فسفات پتاسیم با $\text{pH}=7.8$ (که شامل KH_2PO_4 ۴۰۰ میلی مولار در ۵۰ سی سی تهیه شده و K_2HPO_4 ۴۰۰ میلی مولار در

فلورسانس کلروفیل

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که رژیم‌های مختلف آبیاری بر تمامی پارامترهای فلورسانس کلروفیل از جمله فلورسانس متغیر (F_v)، فلورسانس بیشینه (F_m) و فلورسانس کمینه (F_0) به جز بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم (F_v/F_m) معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شدت تنش مقدار فلورسانس کمینه (F_0) افزایش یافت، به طوری که بیشترین مقدار فلورسانس کمینه (F_0) در تنش شدید و کمترین مقدار در آبیاری کامل (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده گردید. از سوی دیگر، بالاترین مقدار فلورسانس متغیر (F_v) و فلورسانس بیشینه (F_m) در آبیاری متوسط (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده گردید که اختلاف معناداری با آبیاری کامل (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) نداشت و کمترین مقدار برای هر دو صفت مذکور در حداقل آبیاری (تنش شدید) مشاهده شد (جدول ۳).

اثر تیمارهای کودی بر تمامی پارامترهای فلورسانس کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). البته بین سطوح مختلف تیمارهای کودی نسبت به شاهد (عدم اعمال کود) اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. به طوری که بالاترین مقدار فلورسانس متغیر (F_v) و فلورسانس بیشینه (F_m) در تیمار توأم کودی ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت مشاهده شد، در حالی که برای صفت فلورسانس کمینه (F_0) در تیمار تلفیقی زئولیت + کود شیمیایی و برای صفت بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم (F_v/F_m) در عدم کاربرد کود (شاهد) مشاهده شد (جدول ۳).

محتوای نسبی آب (RWC)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که رژیم‌های مختلف آبیاری و الگوهای مختلف کودی و برهم‌کنش آبیاری و تیمارهای مختلف کودی بر محتوای نسبی برگ معنی‌دار ($P < 0.01$) بود. اثر برهم‌کنش رژیم‌های مختلف آبیاری و الگوهای مختلف کودی نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ (RWC) از کود تلفیقی ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت و آبیاری کامل (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و کمترین میزان آن از تنش

تعداد برگ در ساقه اصلی بالنگو در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت و کمترین آن صفات در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

براساس مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش رژیم‌های مختلف آبیاری و الگوهای مختلف کودی، بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، وزن تر و خشک پیکر رویشی از تیمار آبیاری کامل (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) توأم با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت و کمترین آن از تیمار تنش شدید و عدم مصرف کود حاصل گردید (جدول ۴). با توجه به نتایج، با اعمال تنش کمبود آب، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، وزن تر و خشک پیکر رویشی کاهش یافتند. به طور کلی با افزایش سطح تنش خشکی در سطوح عدم کاربرد کود از میزان ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، وزن تر و خشک پیکر رویشی کاسته شد ولی در سطوح کاربرد کود، به ویژه با کاربرد تلفیقی کود ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت صفات مورد اشاره کاهش کمتری نشان دادند.

شاخص کلروفیل برگ

شاخص کلروفیل برگ تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و تیمارهای کودی در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) قرار گرفت. اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری در الگوهای مختلف کودی نیز برای شاخص کلروفیل برگ در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین شاخص کلروفیل برگ در آبیاری کامل (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) با کاربرد تلفیقی کود ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت بدست آمد که اختلاف معناداری با آبیاری متوسط (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در همان سطح کودی نداشت. همچنین، کمترین شاخص کلروفیل برگ در تنش شدید و عدم مصرف کود (شاهد) بدست آمد. اگرچه با افزایش اعمال تنش از میزان شاخص کلروفیل کاسته شد ولی با اعمال تیمارهای کودی آلی و زیستی در همه رژیم‌های آبیاری میزان شاخص کلروفیل برگ افزایش یافت (جدول ۴).

کاسته شده، در حالی که با کاربرد تلفیقی کودهای آلی، زیستی و شیمیایی در مقایسه با کاربرد انفرادی همه کودهای مورد استفاده در همه سطوح آبیاری میزان صفات اجزای عملکردی افزایش یافت (جدول ۴).

عملکرد دانه

با انجام مقایسات بین سطوح مختلف آبیاری و کودی مشخص شد که اثر متقابل بسیار معنی‌داری برای عملکرد دانه وجود دارد ($P < 0.01$) (جدول ۲). به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه (۸۱/۱۹ گرم در بوته) مربوط به آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد تلفیقی کودی ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت بود و در رتبه بعدی آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد تلفیقی کودی ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت قرار گرفت که با آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد تلفیقی کودی ورمی‌کمپوست + میکوریزا تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد دانه (۵۰/۰۳ گرم در بوته) مربوط به تنش شدید و عدم کاربرد کودی (شاهد) بود (جدول ۴).

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشانگر آن بود که اثر ساده رژیم‌های مختلف آبیاری، کودی و اثر متقابل آنها بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و کودی نشان داد که با افزایش سطح خشکی از ۷۵ درصد ظرفیت زراعی به تنش شدید عملکرد بیولوژیک کاهش یافت. در سطوح مختلف کودی نسبت به شاهد عملکرد بیولوژیک بالاتری مشاهده شد، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و تیمار کودی ورمی‌کمپوست + گونه میکوریزا + زئولیت به میزان ۲۶۵/۰۱ گرم در بوته و کمترین عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار کودی شاهد به میزان ۲۰۰/۲۸ گرم در بوته حاصل شد (جدول ۴).

شدید و تیمار کودی شاهد حاصل شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که هر چند با افزایش اعمال تنش از میزان محتوای نسبی آب برگ کاسته شد ولی با افزودن همزمان کودهای آلی و شیمیایی در مقایسه با اعمال انفرادی هریک از کودهای آلی و شیمیایی، میزان محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت (جدول ۴).

اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و الگوهای مختلف کودی برای صفات وزن گل، تعداد فندقه در هر چرخه گل، تعداد دانه در هر چرخه گل، تعداد چرخه گل در هر بوته و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار شد، در حالی که برای صفت طول گل‌آذین اثر رژیم‌های مختلف آبیاری در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) و الگوهای مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری با الگوهای مختلف کودی برای طول گل‌آذین، تعداد دانه در هر چرخه گل، تعداد چرخه گل در هر بوته و وزن هزار دانه در سطح یک درصد و برای صفات وزن گل و تعداد فندقه در هر چرخه گل در سطح پنج درصد معنی‌دار شد.

بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری با تیمارهای متفاوت کودی نشان داد که کاربرد تلفیقی کودی ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت در تمامی سطوح آبیاری بیشترین طول گل‌آذین، وزن گل، تعداد فندقه در چرخه گل، تعداد دانه در هر چرخه گل، تعداد چرخه گل در هر بوته و وزن هزار دانه را داشتند، به‌طوری‌که بیشترین میزان صفات اشاره شده از تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و تیمار تلفیقی کودی ورمی‌کمپوست + میکوریزا + زئولیت و کمترین میزان صفات مورد اشاره از تنش شدید (کم‌آبیاری با ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و عدم کاربرد کود (شاهد) حاصل شدند. به عبارت بهتر، با افزایش تنش از میزان طول گل‌آذین، وزن گل، تعداد فندقه در چرخه گل، تعداد دانه در هر چرخه گل، تعداد چرخه گل در هر بوته و وزن هزار دانه

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر آبیاری و کود بر صفات بالنگو (*Lallemantia iberica*)Table 2. ANOVA of irrigation and fertilizer effects on *Lallemantia iberica* traits

M.S.						
S.O.V.	d.f.	Plant height	Number of lateral branches	Number of leaves	Leaves fresh weight	Aerial parts fresh weight
Block (B)	2	28.71 ^{**}	2.78 ^{ns}	1402.71 ^{**}	49415.25 ^{**}	24.38 ^{**}
Irrigation (I)	2	108.66 ^{**}	20.83 ^{**}	680.48 ^{**}	58836.34 ^{**}	81.89 ^{**}
Error (a)	4	0.67	0.76	11.88	465.77	1.15
Fertilizer (F)	11	37.54 ^{**}	6.83 ^{**}	660.74 ^{**}	260371.03 ^{**}	102.73 ^{**}
I×F	22	2.83 ^{**}	0.56 ^{**}	24.66 ^{ns}	2619.80 ^{ns}	5.10 ^{**}
Error (b)	66	0.82	0.12	16.91	3234.61	1.19
C.V. (%)		3.26	5.50	6.22	4.99	3.98
S.O.V.	d.f.	Aerial parts dry weight	Flower fresh weight	Number of achenes per floral whorl	Number of seeds per floral whorl	Number of floral whorls per plant
B	2	1.18 ^{ns}	2551.03 ^{ns}	5.33 ^{**}	51.16 ^{ns}	583.84 [*]
I	2	2.75 [*]	24125.07 ^{**}	1.64 ^{**}	200.08 ^{**}	842.27 ^{**}
Error (a)	4	0.18	872.99	0.04	7.74	36.35
F	11	1.42 ^{**}	9159.11 ^{**}	7.29 ^{**}	111.18 ^{**}	743.47 ^{**}
I×F	22	0.14 ^{**}	475.41 [*]	0.17 [*]	8.24 ^{**}	28.72 ^{**}
Error (b)	66	0.04	257.92	0.09	1.22	12.58
C.V. (%)		6.15	9.82	5.96	5.10	5.47
S.O.V.	d.f.	Inflorescence length	1000-grain weight	Grain yield	Biological yield	Relative water content
B	2	38.60 [*]	0.66 ^{**}	199.12 ^{**}	3022.99 ^{**}	75.85 [*]
I	2	40.91 [*]	0.89 ^{**}	190.50 ^{**}	1469.92 ^{**}	215.78 ^{**}
Error (a)	4	4.09	0.01	3.75	19.34	5.52
F	11	7.46 ^{**}	0.82 ^{**}	255.12 ^{**}	1459.27 ^{**}	80.47 ^{**}
I×F	22	0.45 ^{**}	0.05 ^{**}	11.23 ^{**}	43.89 ^{**}	4.92 ^{**}
Error (b)	66	0.16	0.01	2.36	11.38	1.92
C.V. (%)		2.99	3.12	2.28	1.46	2.54
S.O.V.	d.f.	Chlorophyll index	F0	FV/FM	FV	FM
B	2	25.02 ^{**}	19137.56 ^{**}	0.148 ^{**}	17204.84 [*]	667197.28 ^{**}
I	2	87.96 ^{**}	14346.12 ^{**}	0.026 ^{ns}	15876.45 [*]	204013.48 [*]
Error (a)	4	0.18	342.87	0.004	1858.09	18810.34
F	11	52.91 ^{**}	4744.04 ^{**}	0.001 ^{**}	7394.67 ^{**}	24905.56 ^{**}
I×F	22	1.61 ^{**}	302.89 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	115.10 ^{ns}	1033.58 ^{ns}
Error (b)	66	0.48	221.49	0.0003	174.76	1341.30
C.V. (%)		2.02	5.33	2.34	0.98	2.29
S.O.V.	d.f.	Ascorbate peroxidase	Superoxide dismutase	Malondialdehyde	Proline	
B	2	77.30 ^{**}	41.88 ^{**}	0.023 [*]	24.12 ^{**}	
I	2	89.52 ^{**}	38.86 ^{**}	0.022 [*]	37.67 ^{**}	
Error (a)	4	0.43	0.04	0.003	0.17	
F	11	28.54 ^{**}	14.04 ^{**}	0.006 ^{**}	16.41 ^{**}	
I×F	22	1.001 ^{**}	0.35 ^{**}	0.001 ^{**}	0.54 ^{**}	
Error (b)	66	0.27	0.15	0.0003	0.14	
C.V. (%)		6.39	5.06	20.56	6.61	

n.s., *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively; F0: Initial fluorescence, FV: Variable fluorescence, FM: Maximum fluorescence, FV/FM: Maximum quantum yield of photosystem II.

تنظیم‌کننده‌های اسمزی

آنالیز داده‌ها حکایت از اثر معنی‌دار رژیم‌های مختلف آبیاری و الگوهای مختلف کودی و برهم‌کنش هر دو عامل بر صفات آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، مالون دی‌آلدهید و پرولین بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و الگوهای مختلف کودی حکایت از آن دارد که بیشترین میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (آسکوربات پراکسیداز و

سوپراکسید دیسموتاز) متعلق به اعمال تنش شدید به همراه تیمار تلفیقی کودی ورمی‌کمیوست + میکوریزا + زئولیت بود، در حالی که بیشترین میزان مالون دی‌آلدهید و پرولین متعلق به اعمال تنش شدید به همراه تیمار تلفیقی زئولیت + میکوریزا بود و کمترین آنها مربوط به تیمار آبیاری کامل (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و شاهد بدون کودی بود (جدول ۴).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری و کودی بر صفات بالنگو (*Lallemantia iberica*)Table 3. Means comparison of different irrigation and fertilizer treatments effects on *Lallemantia iberica* traits

Irrigation	Number of leaves	Leaves fresh weight	F0	FM	FV	FV/FM
75% FC	70.22 ^a	1171.42 ^a	259.79 ^c	1599.36 ^{ab}	1345.69 ^{ab}	-
50% FC	66.50 ^b	1151.49 ^b	278.22 ^b	1675.58 ^a	1366.50 ^a	-
30% FC	61.55 ^c	1093.59 ^c	299.64 ^a	1525.03 ^b	1324.50 ^b	-
Fertilizer treatment						
F1	51.22 ^h	681.83 ^g	263.44 ^{f-h}	1498.11 ^f	1301.89 ⁱ	0.872 ^a
F2	63.67 ^{ef}	1145.11 ^{de}	248.89 ⁱ	1594.67 ^d	1329.89 ^g	0.838 ^{bc}
F3	60.44 ^{fg}	1092.59 ^{ef}	256.22 ^{g-i}	1546.00 ^e	1315.33 ^h	0.855 ^{ab}
F4	56.89 ^g	1070.07 ^f	275.44 ^{d-f}	1542.56 ^e	1311.33 ^{hi}	0.854 ^{ab}
F5	61.67 ^f	1090.31 ^f	249.67 ^{hi}	1581.67 ^d	1338.89 ^{fg}	0.851 ^{ab}
F6	76.22 ^b	1248.20 ^b	268.33 ^{e-g}	1639.33 ^{bc}	1364.22 ^c	0.837 ^{bc}
F7	70.78 ^c	1171.86 ^{cd}	285.89 ^{cd}	1605.21 ^{cd}	1347.32 ^{d-f}	0.844 ^{bc}
F8	68.22 ^{cd}	1207.79 ^{bc}	278.77 ^{de}	1667.67 ^{ab}	1379.44 ^b	0.832 ^c
F9	65.89 ^{de}	1174.94 ^{cd}	300.00 ^b	1605.00 ^{cd}	1346.11 ^{ef}	0.844 ^{bc}
F10	67.44 ^{c-e}	1195.89 ^{b-d}	299.89 ^{bc}	1631.11 ^c	1359.67 ^{cd}	0.838 ^{bc}
F11	66.89 ^{de}	1171.72 ^{cd}	316.89 ^a	1609.56 ^{cd}	1352.21 ^{c-e}	0.845 ^{bc}
F12	83.78 ^a	1415.73 ^a	307.00 ^{ab}	1679.00 ^a	1400.44 ^a	0.839 ^{bc}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test); F1: Control (without fertilizer), F2: Mycorrhiza (*Glomus intaradices*), F3: Vermicompost, F4: NPK, F5: Zeolite, F6: Mycorrhiza + Vermicompost, F7: Vermicompost + NPK, F8: Mycorrhiza + Zeolite, F9: Mycorrhiza + NPK, F10: Zeolite + Vermicompost, F11: Zeolite + NPK, and F12: Mycorrhiza + Vermicompost + Zeolite; F0: Initial fluorescence, FV: Variable fluorescence, FM: Maximum fluorescence, FV/FM: Maximum quantum yield of photosystem II.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × کود بر صفات بالنگو (*Lallemantia iberica*)Table 4. Means comparison of irrigation × fertilizer interaction on *Lallemantia iberica* traits

Irrigation	Fertilizer	Plant height	Number of lateral branches	Aerial parts fresh weight	Aerial parts dry weight	Inflorescence length	Flower fresh weight
75% FC	F1	25.43 ^{kl}	5.47 ^{to}	21.67 ^{qr}	3.16 ^{m-r}	12.03 ^{l-o}	113.57 ^{o-q}
	F2	28.12 ^{f-h}	6.37 ^{g-j}	30.10 ^{d-f}	3.85 ^{c-g}	13.97 ^{c-f}	200.80 ^{c-e}
	F3	27.37 ^{g-i}	6.20 ^{g-k}	28.13 ^{g-k}	3.56 ^{e-k}	13.30 ^{f-i}	172.83 ^{f-i}
	F4	28.01 ^{f-h}	6.50 ^{f-i}	27.02 ^{j-m}	3.47 ^{h-n}	13.77 ^{e-g}	164.47 ^{g-l}
	F5	26.66 ^{h-k}	5.83 ^{j-n}	23.57 ^{op}	3.15 ^{n-r}	13.07 ^{f-k}	140.90 ^{k-o}
	F6	30.63 ^c	7.13 ^{d-f}	32.20 ^{bc}	4.41 ^b	15.10 ^b	229.10 ^{ab}
	F7	31.10 ^{bc}	7.40 ^{cd}	30.87 ^{b-e}	3.90 ^{c-f}	15.17 ^b	217.27 ^{bc}
	F8	29.08 ^{d-f}	7.07 ^{d-f}	30.39 ^{de}	3.86 ^{c-f}	14.67 ^{b-e}	184.73 ^{d-g}
	F9	30.09 ^{c-e}	7.70 ^{cd}	29.61 ^{d-g}	3.71 ^{d-g}	14.93 ^{bc}	195.97 ^{c-f}
	F10	29.85 ^{c-e}	7.30 ^{de}	28.45 ^{f-j}	3.60 ^{e-j}	14.40 ^{b-e}	171.93 ^{f-j}
	F11	29.74 ^{c-e}	8.43 ^b	27.27 ^{j-m}	3.54 ^{f-l}	14.47 ^{b-e}	178.80 ^{e-h}
	F12	35.82 ^a	9.43 ^a	35.37 ^a	5.03 ^a	16.27 ^a	246.40 ^a
50% FC	F1	24.61 ^{lm}	5.07 ^{op}	20.56 ^{rs}	2.84 ^{qr}	11.60 ^{m-o}	98.57 ^{qr}
	F2	27.82 ^{f-i}	5.57 ^{k-o}	29.17 ^{e-i}	3.54 ^{f-l}	13.00 ^{f-k}	178.37 ^{e-h}
	F3	26.41 ^{jk}	5.40 ^{m-o}	27.10 ^{j-m}	3.21 ^{k-q}	12.70 ^{h-l}	152.63 ^{h-n}
	F4	25.66 ^{kl}	5.40 ^{m-o}	22.61 ^{pq}	2.91 ^{p-r}	12.10 ^{k-n}	136.60 ^{l-p}
	F5	28.03 ^{f-h}	6.20 ^{g-k}	27.15 ^{j-m}	3.55 ^{f-k}	13.07 ^{f-k}	152.87 ^{h-n}
	F6	28.06 ^{f-h}	6.60 ^{f-h}	30.36 ^{de}	3.74 ^{d-h}	13.13 ^{f-j}	208.43 ^{b-d}
	F7	28.17 ^{fg}	6.23 ^{g-j}	29.23 ^{e-h}	3.33 ^{i-o}	12.87 ^{g-l}	193.30 ^{c-f}
	F8	30.43 ^{cd}	7.47 ^{cd}	31.18 ^{b-d}	4.01 ^{cd}	13.90 ^{d-f}	207.40 ^{b-d}
	F9	27.22 ^{g-j}	6.37 ^{g-j}	27.39 ^{i-l}	3.24 ^{j-p}	13.37 ^{f-h}	164.77 ^{g-k}
	F10	28.93 ^{ef}	7.47 ^{cd}	29.55 ^{d-h}	3.54 ^{f-m}	13.73 ^{e-g}	177.43 ^{e-h}
	F11	27.34 ^{g-j}	6.70 ^{e-g}	27.81 ^{h-k}	3.47 ^{h-n}	13.77 ^{e-g}	163.77 ^{g-l}
	F12	32.12 ^b	8.03 ^{bc}	32.53 ^b	4.23 ^{bc}	14.90 ^{b-d}	221.03 ^{a-c}
30% FC	F1	22.96 ⁿ	4.30 ^q	18.65 ^t	2.79 ^r	10.43 ^p	77.33 ^r
	F2	25.51 ^{kl}	5.20 ^{n-p}	27.39 ^{j-l}	3.17 ^{h-r}	11.62 ^{m-o}	144.93 ^{j-n}
	F3	24.62 ^{lm}	4.93 ^{o-q}	24.77 ^{no}	2.80 ^r	11.43 ^{n-p}	125.73 ^{n-q}
	F4	23.89 ^{mn}	4.67 ^{pq}	19.89 st	2.89 ^{p-r}	11.07 ^{op}	114.77 ^{o-q}
	F5	26.14 ^{jk}	5.73 ^{j-n}	25.85 ^{l-n}	3.40 ^{h-n}	12.20 ^{j-n}	134.53 ^{m-p}
	F6	26.52 ^{i-k}	5.90 ^{i-m}	28.23 ^{g-k}	3.48 ^{g-n}	12.33 ⁱ⁻ⁿ	154.87 ^{h-m}
	F7	25.52 ^{kl}	5.40 ^{m-o}	26.66 ^{k-m}	2.99 ^{o-r}	12.13 ^{j-n}	159.37 ^{g-m}
	F8	28.08 ^{f-h}	6.07 ^{g-l}	29.86 ^{d-g}	3.68 ^{d-i}	12.83 ^{g-l}	151.53 ^{h-n}
	F9	25.28 ^{k-m}	5.53 ^{j-o}	25.55 ^{l-n}	2.88 ^{p-r}	12.40 ^{h-n}	110.43 ^{pq}
	F10	26.28 ^{jk}	5.97 ^{h-m}	27.20 ^{j-m}	3.39 ^{h-n}	12.77 ^{g-l}	147.83 ⁱ⁻ⁿ
	F11	25.68 ^{kl}	5.83 ^{j-n}	24.87 ^{no}	3.20 ^{k-q}	12.60 ^{h-m}	115.93 ^{o-q}
	F12	29.94 ^{c-e}	7.07 ^{d-f}	30.59 ^{c-e}	3.93 ^{c-e}	13.73 ^{e-g}	183.17 ^{d-g}
75% FC	F1	3.06 ^p	16.00 ^q	47.50 ^{mn}	3.46 ^{n-q}	60.86 ^{p-r}	215.83 ^{op}
	F2	5.67 ^{d-h}	25.86 ^{b-d}	73.76 ^{b-d}	4.11 ^{de}	70.61 ^{fg}	242.07 ^{d-f}
	F3	5.30 ^{f-l}	23.60 ^{e-j}	68.36 ^{d-i}	3.85 ^{h-k}	66.10 ^{j-l}	228.19 ^{j-n}
	F4	4.90 ^{k-n}	24.10 ^{d-g}	69.76 ^{c-h}	3.91 ^{f-i}	67.26 ^{h-k}	230.76 ^{j-l}
	F5	4.30 ^o	18.80 ^{op}	58.53 ^{kl}	3.67 ^{k-m}	63.48 ^{m-o}	224.50 ^{mn}
	F6	6.10 ^{cd}	27.37 ^{ab}	78.16 ^{ab}	4.39 ^{bc}	75.45 ^{bc}	248.98 ^c
	F7	5.93 ^{c-e}	26.60 ^{bc}	75.80 ^{bc}	4.14 ^{de}	72.97 ^{c-f}	246.56 ^{cd}
	F8	5.73 ^{c-g}	25.80 ^{b-d}	73.36 ^{b-d}	4.07 ^{d-g}	70.78 ^{e-g}	242.04 ^{d-f}

Irrigation	Fertilizer	Plant height	Number of lateral branches	Aerial parts fresh weight	Aerial parts dry weight	Inflorescence length	Flower fresh weight
50% FC	F9	5.60 ^{e-h}	24.56 ^{c-f}	71.10 ^{c-f}	4.02 ^{e-h}	69.11 ^{g-i}	233.11 ^{g-j}
	F10	5.20 ^{h-m}	23.73 ^{e-i}	67.73 ^{d-i}	3.87 ^{h-j}	66.69 ^{i-l}	229.80 ^{j-m}
	F11	5.20 ^{h-m}	23.63 ^{e-j}	66.33 ^{f-j}	3.87 ^{h-j}	67.93 ^{h-j}	232.63 ^{h-k}
	F12	7.17 ^a	29.00 ^a	84.03 ^a	4.64 ^a	81.19 ^a	265.01 ^a
	F1	2.96 ^p	13.13 ^r	42.13 ⁿ	3.36 ^{qr}	59.61 ^r	210.85 ^{pq}
	F2	5.53 ^{e-j}	22.93 ^{f-l}	70.03 ^{c-g}	4.02 ^{e-h}	69.52 ^{gh}	238.13 ^{e-h}
	F3	5.26 ^{g-m}	20.80 ^{m-o}	64.16 ^{h-k}	3.65 ^{l-n}	64.69 ^{l-n}	223.48 ⁿ
	F4	4.46 ^{no}	17.43 ^{pq}	57.90 ^l	3.59 ^{m-p}	63.35 ^{m-p}	217.86 ^o
	F5	4.86 ^{l-n}	22.13 ^{g-m}	63.73 ^{h-l}	3.89 ^{g-j}	66.44 ^{i-l}	228.40 ⁱ⁻ⁿ
	F6	5.77 ^{c-f}	23.96 ^{d-h}	72.56 ^{b-e}	4.15 ^{de}	73.21 ^{c-e}	243.53 ^{c-e}
	F7	5.10 ^{i-m}	21.83 ^{i-m}	68.20 ^{d-i}	3.98 ^{e-h}	70.63 ^{fg}	237.27 ^{f-i}
	F8	5.56 ^{e-i}	25.55 ^{b-e}	71.16 ^{c-f}	4.22 ^d	72.33 ^{d-f}	243.16 ^{de}
	F9	5.30 ^{f-l}	20.50 ^{m-o}	63.56 ^{i-l}	3.63 ^{m-o}	64.52 ^{l-n}	223.56 ⁿ
	F10	5.60 ^{e-h}	23.03 ^{f-k}	67.06 ^{e-i}	4.09 ^{d-f}	67.64 ^{h-j}	230.71 ^{j-l}
	F11	5.46 ^{e-j}	21.86 ^{i-m}	63.30 ^{i-l}	3.89 ^{g-j}	66.27 ^{j-l}	223.78 ⁿ
	F12	6.60 ^b	26.50 ^{bc}	75.70 ^{bc}	4.42 ^b	77.54 ^b	255.02 ^b
	F1	2.60 ^p	10.06 ^s	32.80 ^o	3.11 ^s	50.03 ^s	200.28 ^r
	F2	5.36 ^{f-k}	20.93 ^{l-n}	66.86 ^{e-i}	3.85 ^{h-k}	67.58 ^{h-k}	232.41 ^{l-k}
	F3	5.10 ^{i-m}	18.40 ^p	60.56 ^{j-l}	3.45 ^{o-q}	61.96 ^{o-r}	215.76 ^{op}
	F4	4.20 ^o	13.83 ^r	49.90 ^m	3.22 ^{rs}	59.94 ^{qr}	206.06 ^q
	F5	4.56 ^{no}	21.03 ^{k-n}	60.40 ^{j-l}	3.70 ^{j-m}	65.06 ^{k-m}	224.04 ⁿ
	F6	5.50 ^{e-j}	21.93 ^{h-m}	67.93 ^{d-i}	4.01 ^{e-h}	70.91 ^{e-g}	239.09 ^{ef}
	F7	4.80 ^{mn}	19.26 ^{n-p}	60.50 ^{j-l}	3.73 ^{i-m}	66.97 ^{j-l}	227.24 ^{k-n}
	F8	5.26 ^{g-m}	23.63 ^{e-j}	67.70 ^{d-i}	4.12 ^{de}	71.09 ^{e-g}	238.71 ^{e-g}
	F9	5.05 ^{j-m}	17.66 ^{pq}	58.86 ^{kl}	3.43 ^{pq}	62.40 ^{n-q}	217.68 ^o
	F10	5.26 ^{g-m}	21.60 ^{j-m}	62.63 ^{i-l}	3.83 ^{h-l}	65.43 ^{j-m}	225.16 ^{l-n}
	F11	5.23 ^{h-m}	19.26 ^{n-p}	59.96 ^{kl}	3.65 ^{l-n}	63.45 ^{m-o}	214.69 ^{op}
	F12	6.16 ^{bc}	24.86 ^{c-f}	70.30 ^{c-f}	4.24 ^{b-d}	73.70 ^{cd}	245.71 ^{cd}
75% FC	F1	52.72 ^{j-n}	32.12 ^{q-s}	0.039 ^m	4.25 ^s	4.82 ^r	3.28 ^s
	F2	56.61 ^{c-f}	36.30 ^{c-f}	0.055 ^{j-m}	6.09 ^{pq}	6.51 ^{n-p}	4.68 ^{n-p}
	F3	54.72 ^{f-k}	34.33 ^{j-n}	0.043 ^{lm}	4.92 ^{rs}	5.88 ^q	3.70 ^{rs}
	F4	55.84 ^{d-g}	35.13 ^{g-k}	0.043 ^{lm}	5.37 ^{qr}	6.03 ^{pq}	3.67 ^{rs}
	F5	54.89 ^{f-j}	34.45 ^{i-m}	0.049 ^{k-m}	5.63 ^{qr}	5.29 ^{pq}	3.97 ^{qr}
	F6	57.86 ^{cd}	37.93 ^b	0.064 ^{h-m}	7.56 ^{k-m}	7.61 ^{h-k}	5.61 ^{i-l}
	F7	58.79 ^{bc}	37.14 ^{bc}	0.057 ^{j-m}	6.74 ^{m-p}	6.41 ^{o-q}	4.79 ^{no}
	F8	57.51 ^{cd}	36.74 ^{c-e}	0.072 ^{f-m}	8.09 ^{i-k}	7.82 ^{hi}	5.94 ^{f-k}
	F9	57.38 ^{c-e}	35.68 ^{e-h}	0.061 ^{i-m}	6.50 ^{op}	6.44 ^{o-q}	4.85 ^{m-o}
	F10	56.28 ^{d-g}	35.44 ^{f-i}	0.069 ^{h-m}	7.37 ^{k-n}	6.92 ^{l-o}	5.14 ^{l-n}
	F11	56.19 ^{d-g}	35.47 ^{f-i}	0.067 ^{h-m}	6.78 ^{m-p}	6.65 ^{m-o}	4.59 ^{n-q}
	F12	63.22 ^a	40.82 ^a	0.087 ^{d-j}	9.10 ^{f-h}	8.89 ^{de}	6.33 ^{d-g}
50% FC	F1	48.96 ^{pq}	31.05 ^{s-u}	0.050 ^{k-m}	5.54 ^{qr}	5.86 ^q	3.73 ^{rs}
	F2	54.87 ^{f-j}	36.18 ^{c-g}	0.073 ^{f-l}	7.67 ^{kl}	7.72 ^{h-j}	5.43 ^{k-m}
	F3	52.89 ^{i-m}	32.58 ^{p-r}	0.056 ^{j-m}	6.18 ^{o-q}	6.65 ^{m-o}	4.36 ^{o-q}
	F4	52.11 ^{l-o}	32.52 ^{p-r}	0.047 ^{k-m}	6.19 ^{o-q}	6.45 ^{n-q}	4.12 ^{p-r}
	F5	54.53 ^{f-k}	34.00 ^{j-o}	0.062 ^{i-m}	7.71 ^{kl}	7.15 ^{j-m}	4.84 ^{m-o}

Irrigation	Fertilizer	Plant height	Number of lateral branches	Aerial parts fresh weight	Aerial parts dry weight	Inflorescence length	Flower fresh weight
	F6	56.56 ^{c-f}	37.21 ^{bc}	0.096 ^{d-h}	9.11 ^{f-h}	8.78 ^{d-f}	6.64 ^{de}
	F7	55.68 ^{d-h}	35.26 ^{f-k}	0.067 ^{h-m}	7.76 ^{j-l}	7.18 ^{j-m}	5.60 ^{i-l}
	F8	56.61 ^{c-f}	36.79 ^{cd}	0.103 ^{d-g}	10.31 ^{de}	9.02 ^{de}	7.83 ^c
	F9	53.31 ^{i-m}	33.26 ^{n-p}	0.070 ^{g-m}	7.49 ^{k-n}	7.18 ^{jm}	5.72 ^{g-l}
	F10	55.10 ^{e-i}	34.77 ^{h-l}	0.087 ^{d-j}	9.01 ^{f-h}	8.08 ^{gh}	6.29 ^{d-h}
	F11	54.04 ^{g-l}	34.17 ^{k-n}	0.078 ^{e-k}	7.89 ^{jk}	7.31 ^{i-l}	5.71 ^{h-l}
	F12	60.59 ^b	39.77 ^a	0.115 ^{cd}	11.42 ^c	10.07 ^b	8.32 ^c
30% FC	F1	42.79 ^f	28.23 ^w	0.062 ^{i-m}	6.66 ^{n-p}	6.80 ^{l-o}	4.10 ^{p-r}
	F2	52.35 ^{k-o}	35.01 ^{h-l}	0.107 ^{de}	9.58 ^{e-g}	9.03 ^{de}	6.17 ^{d-i}
	F3	50.25 ^{op}	30.35 ^v	0.072 ^{f-m}	7.73 ^{k-n}	7.68 ^{hj}	5.44 ^{i-m}
	F4	47.80 ^q	29.66 ^v	0.065 ^{h-m}	7.03 ^{l-o}	7.06 ^{k-n}	4.69 ^{n-p}
	F5	53.21 ^{i-m}	32.78 ^{pq}	0.105 ^{d-f}	9.87 ^{ef}	8.54 ^{e-g}	6.06 ^{e-j}
	F6	54.03 ^{g-l}	35.74 ^{d-g}	0.144 ^{bc}	10.86 ^{cd}	9.81 ^{bc}	8.16 ^c
	F7	53.36 ^{h-m}	32.98 ^{o-q}	0.084 ^{d-j}	8.85 ^{g-i}	8.17 ^{f-h}	6.74 ^d
	F8	55.69 ^{d-h}	35.66 ^{e-h}	0.203 ^a	12.78 ^b	10.30 ^b	9.89 ^a
	F9	50.44 ^{n-p}	30.96 ^{tu}	0.079 ^{e-k}	8.58 ^{h-j}	7.81 ^{hi}	6.37 ^{d-f}
	F10	54.11 ^{g-l}	33.36 ^{m-p}	0.103 ^{d-g}	11.12 ^{cd}	9.21 ^{cd}	7.71 ^c
	F11	51.32 ^{m-p}	31.62 ^t	0.093 ^{d-i}	9.17 ^{f-h}	8.09 ^{gh}	6.66 ^{de}
	F12	57.96 ^{cd}	38.05 ^b	0.174 ^b	14.34 ^a	12.32 ^a	8.74 ^b

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test); F1: Control (without fertilizer), F2: Mycorrhiza (*Glomus intraradices*), F3: Vermicompost, F4: NPK, F5: Zeolite, F6: Mycorrhiza + Vermicompost, F7: Vermicompost + NPK, F8: Mycorrhiza + Zeolite, F9: Mycorrhiza + NPK, F10: Zeolite + Vermicompost, F11: Zeolite + NPK, and F12: Mycorrhiza + Vermicompost + Zeolite

بحث

(al., 2023). بنابراین ازجمله تأثیرات منفی تنش خشکی، کاهش ارتفاع بوته به دلیل کاهش رطوبت در دسترس و قابلیت جذب عناصر و کاهش رشد است و به همین دلیل اولین اثر محسوس کم آبی بر گیاهان را می توان از روی اندازه کوچکتر برگ ها و ارتفاع کمتر گیاهان تشخیص داد (Tasdighi et al., 2015). به علاوه در شرایط کم آبی جذب مواد و عناصر غذایی کاهش یافته، بنابراین رشد و توسعه برگ ها محدود می گردد (Javan Gholiloo et al., 2019). به دنبال کاهش سطح برگ، جذب نور کمتر و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می یابد، بدیهی است که با محدود شدن فراورده های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن دچار نقصان می شود (Rezaei-Chiyaneh et al., 2018).

بهبود صفات مورفولوژیکی مانند ارتفاع بوته توسط کودهای زیستی می تواند به این دلیل باشد که باکتری های موجود در این کودها، علاوه بر تثبیت نیتروژن اتمسفری، با

نتایج پژوهش های انجام شده درباره اثر کودهای زیستی، آلی و زئولیت بر جنبه های مختلف رشد، فیزیولوژیک و عملکرد گیاهان دارویی، ادویه ای و معطر نشانگر مزایای مثبت کاربرد چنین کودهایی به صورت انفرادی و یا تلفیقی باهم است (Ghasemian et al., 2017). ارتفاع گیاه یک ویژگی مورفولوژیکی است که به عنوان اندامی برای جابه جایی کربوهیدرات ها به ویژه در تنش های محیطی ازجمله تنش های آبی همراه است (Ghasemian et al., 2017). ارتفاع بوته مانند هر اندام رویشی یا زایشی دیگر به شدت تحت تأثیر تنش های محیطی، به ویژه خشکی قرار می گیرد. می توان بیان کرد که محدودیت آب باعث کاهش تقسیم و انبساط سلولی می شود و از این طریق سبب کاهش طول میانگرها و شمار گر ها و در نهایت کاهش ارتفاع گیاه می شود (Abbasi Holasou et al., 2017; Sharifi et al., 2017).

به دست آمد. Moghadasan و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی نقش میکوریزا در تحمل به خشکی در گیاه همیشه بهار، گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی خصوصیات رشدی مانند ارتفاع گیاه، تعداد و سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و ساقه و میزان کلروفیل‌های a و b در گیاهان میکوریزایی و غیر میکوریزایی به طور معنی داری کاهش یافتند. اما کاربرد میکوریزا سبب افزایش پارامترهای رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی شد.

شاخه‌دهی زیاد در شرایط خشکی، یک صفت نامطلوب محسوب می‌شود، زیرا باعث مصرف بیهوده رطوبت خاک و اتلاف آن می‌گردد. Karami و همکاران (۲۰۱۱) محدود شدن شاخه‌دهی در شرایط خشکی در گاوزبان (*Borago officinalis* L. را به عنوان یک سازوکار سازگاری در نظر گرفتند که به وسیله آن، گیاه تلاش می‌کند تا آب را برای مراحل بحرانی تر نمو مانند گلدهی حفظ نماید. بنابراین شاید بتوان کاهش تعداد ساقه در شرایط کم‌آبی را به عنوان یک سازوکار سازگاری در گیاه دارویی بالنگو در نظر گرفت. Ahmadi و Omid (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که با افزایش شدت کمبود آب صفات مورفولوژیک از جمله ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی در بالنگو کاهش می‌یابد. Mohammadpour و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که در تیمار کود زیستی از توبرور + نصف کود پایه نیتروژن، تعداد شاخه جانبی رابطه مثبتی با عملکرد ماده خشک کل داشت و با افزایش تعداد شاخه جانبی بر میزان عملکرد ماده خشک کل افزوده شده است.

عملکرد گیاه پاسخی به میزان کارایی آب و کاربرد مناسب کودهای تلفیقی در مراحل مختلف رشد گیاه و به کارگیری آب و کود در سرتاسر فصل رشد گیاه است (Soleymani et al., 2016). در این مطالعه در شرایط مطلوب آبیاری، بیشترین تأثیر مثبت تیمار کودی در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست + گونه میکوریزا + زئولیت بر روی صفت عملکرد و اجزاء عملکرد بالنگو مشاهده شد، علت بهبود عملکرد و اجزاء آن در گیاه دارویی بالنگو در

حل کردن مواد معدنی مانند فسفات و تولید سیدروفورها، تولید هورمون‌های محرک رشد از قبیل اکسین و جیبرلین را تحریک می‌کنند و از این طریق، موجب افزایش ساخت آنزیم‌های دخیل در رشد گیاه می‌شوند که در نهایت، منجر به افزایش طول میانگره‌ها می‌شود. علاوه بر این، آثار مثبت و هم‌افزایی کودهای زیستی، آلی و زئولیت بر بستر رشد، افزایش سطح ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی موجب افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، رشد و عملکرد گیاه خواهند شد (Abdelaziz et al., 2007). در این مطالعه نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم‌های مختلف آبیاری و الگوهای مختلف کودی (جدول ۴) نشان داد که کاربرد تلفیقی کود زیستی و آلی و زئولیت در آبیاری تکمیلی (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) اثر مثبتی بر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و وزن تر و خشک پیکر رویشی مورد مطالعه داشت. افزایش صفات مورفولوژیکی و عملکردی در اثر مصرف تلفیقی کود زیستی، آلی و زئولیت احتمالاً ناشی از بهبود پویایی عناصر و افزایش دسترسی به آب می‌باشد. گزارش شده است که در پی استفاده از زئولیت در خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب در خاک و جذب و انتقال عناصر در گیاه افزایش می‌یابد (Polat et al., 2004). Esmailpour و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا را بر برخی از صفات مورفولوژیک و عملکرد مرزه مطالعه و بیان کردند که اثر تنش خشکی و کاربرد میکوریزا بر صفات تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. Ghasemian و همکاران (۲۰۱۷)، افزایش ارتفاع بوته بالنگو با مصرف کودهای زیستی را گزارش کردند و دلیل این موضوع را بهبود خصوصیات خاک و قابل دسترس شدن عناصر غذایی، در نتیجه استفاده از کودهای زیستی و زئولیت بیان نمودند. Rezaei-Chiyaneh و همکاران (۲۰۱۸) با انجام آزمایشی مزرعه‌ای بر روی گیاه دارویی بالنگو با استفاده از کودهای بیولوژیکی و آلی در شرایط دیم، اعلام کردند که بیشترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی از تیمار تلفیقی سه‌گانه ۷۵ درصد ورمی‌کمپوست + کود زیستی + ۲۵ درصد کود شیمیایی

می‌شوند (Supratim et al., 2018). افزایش تعداد کپسول کنجد (*Sesamum indium* L.)، تعداد چتر در گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)، تعداد کپسول در کتان (*Linum usitatissimum*) و تعداد چرخه گل در بوته و تعداد دانه در چرخه گل در بالنگو با کاربرد قارچ میکوریزا گزارش شده است (Soltanian et al., 2015؛ Khaninejad et al., 2016؛ Saadi Moghaddam et al., 2020). همچنین گزارش شد که بیشترین تعداد گل در بوته بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) و بیشترین تعداد کاپیتول در بوته ماریتغال (*Silybum marianum*) در تیمار تلفیقی قارچ میکوریزا به همراه کود فسفره به‌دست آمد (Hamzei, 2015؛ Salimi & Fadaee et al., 2018).

بررسی‌های Wu و Xia (۲۰۰۶) نشان داد که میکوریزا در افزایش فتوسنتز گیاه میزبان به‌طور مستقیم نقش مؤثری ندارد، ولی از طریق بهبود روابط آبی در سیستم متشکل از آب، خاک، گیاه و تغییر روابط هورمونی گیاه سطح فتوسنتزکننده میزبان را افزایش می‌دهد. تعداد دانه در چرخه گل در حقیقت ظرفیت مخزن گیاه را تعیین می‌کند و هرچه تعداد دانه بیشتر باشد گیاه دارای مخزن بیشتری برای دریافت مواد فتوسنتزی بوده و در نهایت افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد. در تطابق با نتایج این پژوهش تعداد دانه در ساقه اصلی بالنگو، تعداد دانه در کپسول کتان (*Linum usitatissimum*) و تعداد دانه در غلاف سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) با کاربرد میکوریزا گزارش شده است (Soltanian & Khorramdel et al., 2010). در پژوهش انجام شده توسط Saadi Moghaddam و همکاران (۲۰۲۰)، میکوریزا تمام عوامل رشد رویشی و زایشی گیاه دارویی بالنگو را نسبت به شاهد افزایش داد و این موضوع زمانی اهمیت پیدا می‌کند که این افزایش‌ها در شرایط تنش مشاهده شود.

فتوسنتز یکی از مهمترین شاخص‌های فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه است که وابسته به محتوای کلروفیل در گیاه می‌باشد و از این‌رو ممکن است هم‌زیستی میکوریزایی

سیستم‌های تلفیقی کودی و استفاده از ژئولیت که باعث مقاومت در شرایط تنش می‌شود، می‌تواند به دلیل فراهمی بهتر و بیشتر و به‌موقع عناصر غذایی مورد نیاز این گیاه، به‌ویژه نیتروژن که در تمام مراحل رشد مورد نیاز است باشد که منجر به بهبود فرایند فتوسنتز، افزایش باروری گل‌ها و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود. این نتایج با یافته‌های Ghasemian و همکاران (۲۰۱۷)، Rezaei-Chiyaneh و همکاران (۲۰۱۸) و Heydarzadeh و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد. نتایج مطالعات قبلی نشان داد که هم‌زیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاه از طریق ایجاد شرایط مناسب تغذیه‌ای، بهبود جذب آب و رشد گیاه، تسریع گلدهی و افزایش تعداد چتر در بوته در گیاه دارویی رازیانه (Hosseinzadeh Namin & Amini Dehaghi, 2014) و ژئولیت با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش میزان دسترسی گیاه به آب، افزایش شدید ظرفیت تبادل کاتیونی و بهبود ساختمان خاک و افزایش تثبیت عناصر غذایی و رهاسازی تدریجی آنها و در نهایت افزایش توانایی گیاه در مصرف عناصر همیشه بهار (Abdolahi Noruzi et al., 2019) و کود آلی ورمی‌کمپوست با دارا بودن مقادیر زیادی از مواد هیومیکی، که این مواد از طریق بهبود دسترسی فراهمی عناصر غذایی خاص به‌ویژه آهن و روی و اثر مستقیم بر متابولیسم گیاهی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه دارویی سیر گردید (Esmaeelian et al., 2018). Saadi Moghaddam و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی بر روی گیاه دارویی بالنگو، گزارش کردند که بیشترین میزان عملکرد و اجزاء عملکرد مربوط به تیمار تلفیقی قارچ *Glomus intraradices* + *Glomus mosseae* + NPK ۵۰ درصد بود.

افزایش تعداد چرخه گل در نتیجه هم‌زیست با میکوریزا به افزایش جذب فسفر نسبت داده شده است (Fadaee et al., 2018). قارچ‌های میکوریزا از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، برخی عناصر ریزمغذی، افزایش جذب آب، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاه میزبان

فسفر و منیزیم توسط گیاه در شرایط دیم منجر به افزایش شاخص کلروفیل و به تبع آن افزایش فتوسنتز برگ و افزایش کربن تثبیت شده خواهد شد (Zhang et al., 2018). از سوی دیگر، به نظر می‌رسد زئولیت با توسعه بیشتر اندام‌های رویشی از طریق در اختیار قرار دادن آب کافی در اختیار گیاه و افزایش انتقال مواد از خاک توسط گیاه و با افزایش کارایی فتوسنتزی برگ‌ها از طریق افزایش سطح برگ و میزان فتوسنتز باعث تجمع بیشتر ماده خشک و عملکرد گیاه می‌شود (Abdolahi Noruzi et al., 2019). در این مطالعه نیز در شرایط تنش کم‌آبی محتوای کلروفیل کاهش یافته و در تیمارهای تلفیقی کودی به نسبت استفاده تکی از کودهای آلی و زیستی این شاخص افزایش چشمگیری داشت. بنابراین بهبود شاخص کلروفیل در تیمار تلفیقی نسبت به شاهد می‌تواند یکی از دلایل حفظ فرایند فتوسنتز و به دنبال آن افزایش رشد، وزن تر و خشک شاخساره‌ها در تیمارهای مورد مطالعه باشد. افزایش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با کاربرد کود بیولوژیک (ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و مایکوریزا) و مرزه تابستان (*Satureja hortensis* L.) با تلقیح مایکوریزا سبب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل نسبت به عدم کاربرد کود زیستی شد (Rezaei-Chiyaneh et al., 2016; Khorramdel et al., 2010).

وقتی ظرفیت آب خاک کاهش می‌یابد، گیاهان برای حفظ قدرت جذب آب باید ظرفیت آب درونی را به قدری کاهش دهند تا به یک شیب مطلوب برسد. برای ایجاد جریان آب از خاک به داخل ریشه‌ها، مهمترین سازوکار، تنظیم اسمزی است که گیاه ظرفیت اسمزی را توسط انباشتگی فعال یون‌های آلی یا مواد محلول (شامل یون‌های غیرآلی مانند پتاسیم، کلسیم، کلر و ترکیبات غیرباردار مانند پرولین و کربوهیدرات‌ها) در درون واکوتل کاهش می‌دهد (Hussain et al., 2018). در شرایط کم‌آبیاری به دلیل کاهش سطح برگ، تجمع سبزینه‌ها افزایش یافته اما به علت تعرق بالا گیاه آب بیشتری از دست می‌دهد، در نتیجه محتوای آب نسبی برگ و به دنبال آن نورساخت کاهش

به‌عنوان یک محرک متابولیسمی عمل کند که سبب جابه‌جایی قاعده‌گرای محصولات فتوسنتزی به سمت ریشه‌ها شده و این گونه محرکی برای انجام فعالیت‌های فتوسنتزی بیشتر باشد (Ashraf & Harris, 2013). همچنین دیده شده که گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا میزان هورمون‌های سیتوکینین و جبریلین را افزایش داده که این افزایش هورمون‌ها به‌ویژه سیتوکینین می‌تواند شدت فتوسنتز را از طریق بازشدن روزنه‌های هوایی که بر جابه‌جایی و تنظیم محتوای کلروفیل مؤثر است، بهبود ببخشد. علاوه بر این، قارچ‌های مایکوریزا جذب عناصر غیرمحرک منیزیم، مس، منگنز، روی و آهن را افزایش داده و از آنجایی که بعضی از این عناصر نقش اساسی در مولکول کلروفیل دارند، بنابراین افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در نتیجه تلقیح مایکوریزا را می‌توان به افزایش جذب عناصر از جمله منیزیم، آهن و روی نسبت داد (Aghighi Shahverdi et al., 2019). همچنین اثر کودهای زیستی و آلی بر افزایش محتوای کلروفیل برگ، اساساً از طریق بهبود جذب نیتروژن و افزایش نیتروژن برگ انجام می‌شود که از یکسو باعث فراهمی پیش‌سازهای کلروفیل شده و از سوی دیگر باعث افزایش پروتئین و اسیدهای آمینه به‌عنوان پیش‌سازهای اصلی ساختمان و فعالیت کلروپلاست خواهد شد (Supratim et al., 2018). از سویی، نیتروژن هم از طریق افزایش تعداد و سطح برگ و فراهم نمودن زمینه مناسب دریافت انرژی نورانی خورشید و نیز شرکت در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربن فتوسنتزی، موجب افزایش بازده فتوسنتزی از طریق افزایش میزان کلروفیل برگ می‌شود (Aghighi Shahverdi et al., 2019). از آنجایی که کمبود آب منجر به اختلال در واکنش‌های نوری فتوسنتز و تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن شده و در نهایت منجر به پراکسیداسیون این رنگیزه‌ها و سرانجام تجزیه شیمیایی ژن‌ها نیز از طریق اثر بر فعالیت بیان ژن‌های سنتز آنزیمی، فاکتورهای کنترلی و عوامل رونویسی می‌شود (Ahmadpour et al., 2017)، بنابراین استفاده از قارچ مایکوریزا به دلیل جذب بیشتر

می‌یابد. از سوی دیگر، قارچ‌های میکوریز با افزایش محتوای آب نسبی می‌توانند موجب تسهیل در جذب فسفر از خاک شده و در نهایت نقش مؤثری در افزایش رشد گیاه داشته باشند و افزایش جذب فسفر نیز با تأمین انرژی مورد نیاز در دستگاه فتوسنتزی و افزایش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در فتوسنتز به افزایش بازدهی فتوسنتز منجر شده و تحریک رشد گیاه را موجب خواهد شد و ثابت شده است که میکوریز با افزایش پرولین در محیط ریشه سبب کاهش ظرفیت اسمزی سلول‌های ریشه نسبت به محیط خاک شده و از این طریق به انتقال بیشتر آب به محیط ریشه به‌ویژه در شرایط تنش کمک می‌کند (Bagheri et al., 2012). بنابراین، می‌توان بیان کرد که وجود هیف‌های قارچی سبب می‌گردد که سطح جذب ریشه‌ها در گیاهان تلقیح شده با قارچ نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافته و این افزایش نیز محتوای نسبی آب گیاهان تلقیح شده را افزایش دهد (Ghabooli et al., 2015). همچنین گزارش شده است که مصرف زئولیت به دلیل بهبود شرایط خاک منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Islam et al., 2011). Omidی و همکاران (۲۰۲۰) در آزمایش خود بر روی بالنگو مشاهده کردند که کمبود آب باعث کاهش مقدار آب نسبی برگ‌های فوقانی بوته گردید. با توجه به اینکه شرایط رشد سلول فشار تورگر در حد بیشینه، شامل شل شدن دیواره سلولی و رسوب‌گذاری در دیواره سلولی می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد با مصرف توأم کودهای زیستی، آلی و زئولیت و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک ازجمله ظرفیت نگهداری آب در خاک، گیاه کمتر با شرایط خشکی مواجه شده و تمایل کمتری به سرمایه‌گذاری برای افزایش غشاء نشان می‌دهد، همچنین با افزایش بهبود ساختمان خاک، تحریک بیشتر رشد گیاه را به دنبال دارد (Nagananda et al., 2010).

زمانی که بافت‌های گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرند تولید گونه‌های اکسیژن فعال در آنها افزایش می‌یابد. گونه‌های فعال اکسیژن با تحریک تجزیه لیپیدهای اشباع نشده سبب پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء شده که در نتیجه

ساختار، سیالیت و سلامت غشاء را تحت تأثیر قرار داده و موجب تنش اکسیداتیو می‌شود (Jin et al., 2015). گیاهان برای کاهش دادن تأثیر زیانبار گونه‌های فعال اکسیژن، سازوکارهای متفاوتی دارند که ازجمله آنها می‌توان به سامانه دفاع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد که پراکسیدازها (آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) از مهمترین آنزیم‌های ازبین‌برنده پراکسید هیدروژن به‌شمار می‌آیند که باعث شکسته شدن پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن می‌گردند (Shen et al., 2010). در شرایط تنش خشکی افزایش گونه‌های اکسیژن فعال باعث مصرف ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه در جهت تعدیل خسارت تنش می‌شود. زئولیت می‌تواند در مهار گونه‌های اکسیژن فعال برای محافظت از غشاء نقش داشته باشد که علت آن می‌تواند ناشی از فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد (Baybordi, 2016). چنین به نظر می‌رسد که قارچ مایکوریزا، کود ورمی‌کمپوست و زئولیت با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک توانسته است تا حدودی نیاز گیاه را به آبیاری کاهش دهد و بدین ترتیب گیاه در دوره‌ای طولانی‌تر بدون آبیاری مقاومت نماید و از تنش خشکی در امان بماند. در این پژوهش نیز با افزایش شدت تنش در تیمار توأم اصلاح‌کننده خاک، محتوای پراکسید هیدروژن کاهش یافته، در نتیجه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز بیشتر شد. افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در شرایط تنش در این تحقیق نشان‌دهنده این است که این آنزیم‌ها نقش کلیدی در پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن دارند. آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز از H_2O_2 به عنوان سوبسترا برای واکنش استفاده می‌کنند (Mittler, 2002).

از آنجا که پرولین یکی از حساس‌ترین اسمولیت‌های افزایش تحمل به تنش می‌باشد، تجمع پرولین در هنگام تنش باعث حفظ ساختار سلولی و جلوگیری از آسیب‌های سلولی خواهد شد. همچنین پرولین می‌تواند مسمومیت رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش خشکی را رفع کند (Liang et al.,)

برتری داشت. به نظر می‌رسد تلفیقی از کودهای زیستی، آلی و زئولیت با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز) و ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی (پرولین) که در این آزمایش اندازه‌گیری شد موجب کاهش سطح گونه‌های فعال اکسیژن شده باشد. همچنین به علت تأثیر مثبت میکوریزا، ورمی‌کمپوست و زئولیت در افزایش جذب عناصر غذایی از خاک، بهبود بخشیدن به روابط آبی گیاه، افزایش بازدهی مصرف آب در گیاه، بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک، ترشح انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد (مانند سیتوکینین، اکسین، بیوتین و اسیدهای آلی) و در نهایت بالا بردن مقاومت گیاه به تنش‌های خشکی و نیز با توجه به وجود بحران آب در کشور، این جنبه از کاربرد تلفیقی کودها بسیار اهمیت دارد (Hassanzadeh-Gorttapeh & Zahen- (Manesh, 2006). با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت که استفاده از کودهای آلی، مایکوریزا و زئولیت به جای کودهای شیمیایی می‌تواند با بهبود عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی بالنگو، گامی سودمند در جهت دستیابی به تولید سالم و پایدار این گیاه دارویی ارزشمند باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان از مسئولان محترم دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و از ریاست محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی که امکانات لازم برای انجام این تحقیق را فراهم نمودند، قدردانی می‌نمایند.

2013). مطالعات نشان داده‌اند که مقدار پرولین در گیاهان میکوریزی تحت تنش، کاهش یا افزایش می‌یابد، زیرا گونه‌های مختلف قارچ، آثار متفاوتی را نشان می‌دهند. در این مطالعه کمترین مقدار پرولین و مالون دی‌آلدئید در گیاهان شاهد بدون اعمال تیمارهای کودی در حالت آبیاری کامل و بیشترین مقدار آن در گیاهان با اعمال تلفیقی زئولیت+ گونه میکوریزا تحت بیشترین اعمال تنش خشکی مشاهده گردید. در آزمایش Zare Hassanabadi و همکاران (۲۰۲۰) استفاده از گونه‌های میکوریزایی افزایش معنی‌داری در میزان پرولین موجود در برگ گیاه پونه معطر نشان داد. Rezaei-Chiyaneh و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند با افزایش تنش خشکی و کاربرد مایکوریزا میزان پرولین به‌طور معنی‌داری در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) افزایش یافت، همچنین آنان بیان کردند که تلقیح با مایکوریزا در شرایط کمبود آب، می‌تواند با توسعه سیستم ریشه‌ای و افزایش سطح جذب ریشه، جذب آب و عناصر غذایی را توسط گیاه افزایش داده و سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر کم‌آبی شود.

بررسی نتایج برهم‌کنش رژیم آبیاری و کود در صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد دانه بالنگو نشان داد که الگوهای مختلف آبیاری و کودی تأثیر معنی‌داری بر بیشتر صفات مورد مطالعه بالنگو داشت، هرچند با کاهش میزان آب مصرفی و به دنبال آن بروز تنش خشکی از اجزاء عملکرد و عملکرد دانه کاسته شد، اما بکارگیری میکوریزا، ورمی‌کمپوست و زئولیت در سطوح بالای تنش، تا حدی آثار سوء تنش خشکی را کاهش داد. در بیشتر صفات مورد مطالعه، کودهای آلی، میکوریزا و زئولیت به صورت جداگانه یا تلفیقی از هر سه، نسبت به شاهد (عدم مصرف کود)

References

- Abasi Sadr, S., Sharafi, S. and Hassanzadeh Ghorttapeh, A., 2018. Effect of drought stress and seed priming on some vegetative and reproductive traits of castor bean (*Ricinus communis* L.) var Esfahan. Journal of Crop Ecophysiology, 12(1): 75-88. <https://sanad.iau.ir/en/Article/956455?FullText>

=FullText

- Abbasi Holasou, H., Abdollahi Mandoulakani, B., Jafari, M. and Bernousi, I., 2016. Distribution pattern and insertional polymorphism of retrotransposons in *Linum austriacum* L. populations. Agricultural Biotechnology, 6(2): 51-61. https://ab.basu.ac.ir/article_1511.html?lang=en

- Abbasi Holasou, H., Alavi Kia, S.S., Mohammadi, S.A. and Moghaddam Vahed, M., 2023. Mixed linear models for the genetic inheritance of grain zinc and iron content, agronomic and biochemical traits in bread wheat under salinity stress. *Biologia*, 78: 3353-3365. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01538-9>
- Abdelaziz, M., Pokluda, R. and Abdelwahab, M., 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilization upon growth, chemical composition and essential oil production of (*Rosmarinus officinalis* L.). *Notulae Botanica Horti Agrobotanici Cluj-Napoca Journal*, 35(1): 86-90. <https://doi.org/10.15835/nbha351261>
- Abdolahi Noruzi, M., Moradi Telavat, M., Siadat, S.A. and Khodaei Joghman, A., 2019. The effect of vermicompost and zeolite on flower yield and some characteristics of *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 35(2): 335-350. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.121728.2310>
- Abedi-Koupai, J., Sohrab, J. and Swarbrick, G., 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *Journal of Plant Nutrition*, 31: 317-33. <https://doi.org/10.1080/01904160701853928>
- Agazadeh, N., Hasanazadeh Ghorttapeh, A. and Sharafi, S., 2018. The effect of soil amendments on the grain yield and grain nutrient uptake of salsola plant in the bed of Urmia lake, Iran. *Journal of Applied Ecology*, 7(1): 55-67. <https://doi.org/10.29252/ijae.7.1.55>
- Aghighi Shahverdi, M., Amini Dahaghi, M., Ataei Somagh, H. and Mamivand, B., 2019. The effect of different nutritional systems with nitrogen and phosphorous fertilizers on quantitative and qualitative traits of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture)*, 41(4): 1-14. <https://doi.org/10.22055/ppd.2018.22330.1479>
- Ahmadi, K. and Omid, H., 2019. Evaluation of morphological characteristics, yield components and catalase enzymes activity of *Lallemantia royleana* Benth. under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 11(2): 757-774. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.69373>
- Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R., Armand, N. and Chashiani, S., 2017. Evaluation of growth features, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes activity of lentils cultivars in response to water stress. *Nova Biologica Reperta*, 4(3): 226-235. <http://dx.doi.org/10.21859/acadpub.nbr.4.3.226>
- Alves de Assis, J., Carneiro, J., Medeiros, A.P.R., Honorato, A. C., Carneiro, M.A.C., Bertolucci, S.K.V. and Pinto, J.E.B.P., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic manure enhance growth and accumulation of citral, total phenols, and flavonoids in *Melissa officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 158: 112981. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112981>
- Armak, A., Farzi, H. and Alipanah, M., 2018. Impact of use of different sources of humic, bio and nano fertilizers and nitrogen levels on saffron (*Crocus sativus* L.) flower yield. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*, 5(4): 329-344. <https://doi.org/10.22048/JSAT.2017.61855.1193>
- Asadbeigi, M., Mohammadi, T., Rafieian-Kopaei, M., Saki, K., Bahmani, M. and Delfan, M., 2014. Traditional effects of medicinal plants in the treatment of respiratory diseases and disorders: an ethnobotanical study in the Urmia. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7: 364-368. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(14\)60259-5](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(14)60259-5)
- Ashraf, M. and Harris, P.J.C., 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2): 163-190. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6>
- Atlin, G.N., Cairns, J.E. and Das, B., 2017. Rapid breeding and varietal replacement are critical to adaptation of cropping systems in the developing world to climate change. *Global Food Security*, 12: 31-7. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.008>
- Bagheri, V., Shamshiri, M.H., Shirani, H. and Roosta, H., 2012. Effect of arbuscular mycorrhizae and drought stress on growth indexes, water relations and proline as well as soluble carbohydrate content in pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstock seedlings. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 42(4): 365-377. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008482.1390.42.4.6.3>
- Bansal, M., 2017. Organic farming: is it a solution to safe food? In *Food Safety in the 21st Century*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801773-9.00043-1>

- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1): 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Baybordi, A., 2016. Effect of zeolite, selenium and silicon on yield, yield components and some physiological traits of canola under salt stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(1): 154-170. <https://doi.org/10.22067/gsc.v14i1.36936>
- Daneshmandi, M.S. and Seyyedi, S.M., 2019. Nutrient availability and saffron corms growth affected by composted pistachio residues and commercial poultry manure in a calcareous soil. *Communication Soil Science and Plant Anal*, 5(12): 1-11. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1626871>
- Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P.A.M.E.L.A. and Thorpe, T.A., 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32(1): 93-101. <https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93>
- Eneji, A.E., Islam, R., An, P. and Amalu, U.C., 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. *Journal of Cleaner Production*, 52: 474-480. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.027>
- Esmaeelian, Y., Amiri, M.B., Askari Naeen, S., Moradi Sadr, J. and Heidari Amale, F., 2018. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of garlic medicinal plant (*Allium sativum* L.) under the conditions of different organic and chemical fertilizers application. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 31(4): 722-738. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v31i4.60566>
- Esmaeelpour, B., Jalilvand, P. and Hadian, J., 2013. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agroecology*, 5(2): 169-177. <https://doi.org/10.22067/JAG.V5I2.24496>
- Fadaee, E., Parvizi, Y., Gerdakane, M. and Khan-Ahmadi, M., 2018. The effects of mycorrhiza (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradiceae*) and phosphorus on growth and phytochemical traits of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. *Journal of Medicinal Plants*, 17(66): 100-112. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2717204.2018.17.66.12.0>
- Ghabooli, M., Hosseini Salekdeh, G. and Sepehri, M., 2015. The effect of mycorrhiza-like fungus *Piriformospora indica* on some morphophysiological traits of rice under normal and drought stress conditions. *Plant Production Technology*, 7(1): 59-69. https://ppt.basu.ac.ir/article_1272.html
- Ghasemian, V., Shafagh Kalvanagh, J. and Pirzad, A., 2017. Effect of fertilizer treatments and irrigation regimes on *Lallemantia iberica* seed mucilage yield and compounds. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(3): 17-31. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_6631.html
- Gustavo, G.Y., Susana, M.G. and Maria, L.T., 2006. Effect of UV-B radiation on the activity and isoforms of enzymes with peroxidase activity in sunflower cotyledons. *Environmental and Experimental Botany*, 56: 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.01.015>
- Hamzei, J. and Salimi, F., 2015. Root colonization, yield and yield components of milk thistle (*Silybum marianum*) affected by mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer. *Journal of Agricultural and Sustainable Production*, 24(4): 85-96. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/issue_186564.html
- Hassanzadeh-Gorttapeh, A. and Zahan-Manesh, M., 2006. Effects of fertilizers systems on quality and quantity of oil from different sunflower cultivars. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 7(4): 891-895. <https://www.researchgate.net/publication/299256865>
- Heath, R.L. and Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1): 189-198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- Heydarzadeh, S., Arena, K., Vitale, E., Rahimi, A., Mirzapour, M., Nasar, J., Kisaka, O., Sow, S., Ranjan, S. and Gitari, H., 2023. Impact of different fertilizer sources under supplemental irrigation and rainfed conditions on eco-physiological responses and yield

- characteristics of dragon's head (*Lallemantia iberica*). *Plants*, 12: 1693. <https://doi.org/10.3390/plants12081693>
- Hosseinzadeh Namin, P. and Amini Dehaghi, M., 2014. Effect of integrated usage of biological and chemical phosphate fertilizers on growth, yield, yield components and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Plant Biology of Iran*, 27(4): 592-602.
 - Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A., 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54(1): 87-92. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0162-x>
 - Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M. and Nawaz, A., 2018. Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*, 201: 152-166. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.028>
 - Islam, M., Xue, X., Mao, S., Ren, C., Eneji, A. and Hu, Y., 2011. Effects of water saving super-absorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 813-819. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4252>
 - Izan, T., Javanmard, A., Shekari, F., Sabaghnia, N. and Abbasi, A., 2020. Evaluation of yield, yield components and some physiological traits of sunflower with integrative application of biological, chemical, and organic fertilizers under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(3): 87-111. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.3.6.1>
 - Javan Gholiloo, M., Yarnia, M., Hasanazadeh Ghorttapeh, A., Farahvash, F. and Mohammad Daneshian, A., 2019. Evaluating effects of drought stress and bio-fertilizer on quantitative and qualitative traits of valerian (*Valeriana officinalis* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 42(13): 1417-1429. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1628972>
 - Jin, R., Shi, H., Han, C., Zhong, B., Wang, Q. and Chan, Z., 2015. Physiological changes of purslane (*Portulaca oleracea* L.) after progressive drought stress and rehydration. *Scientia Horticulturae*, 194: 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.scientia.2015.08.023>
 - Karami, A., Sepehri, A., Hamzei, J. and Salimi, G., 2011. Effect of nitrogen and phosphorous biofertilizers on quantitative and qualitative traits of borage (*Borago officinalis* L.) under water deficit stress. *Plant Production Technology*, 3(1): 37-50. https://ppt.basu.ac.ir/article_246.html?lang=fa
 - Khaninejad, S., Khazaie, H.R., Nabati, J. and Kafi, M., 2016. Effect of three species of mycorrhiza inoculation on yield and some physiological properties of two potato cultivars under drought stress in controlled conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4): 574-558. <https://jcesc.um.ac.ir/?action=article&kw=37021&kw=Agria&lang=en>
 - Khorramdel, S., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M. and Ghorbani, R., 2010. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(5): 768-776. https://jcesc.um.ac.ir/article_33469_feec0e39618d4c2ddaed1a3695e39b3d.pdf?lang=en
 - Lenoir, I., Fontaine, J. and Sahraoui, A.L., 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review. *Phytochemistry*, 123: 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.002>
 - Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K. and Becker, D.F., 2013. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants and Redox Signaling*, 19(9): 998-1011. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.5074>
 - Martinez, J.P., Silva, H., Ledent, J.F. and Pinto, M., 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 26(1): 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.08.003>
 - Masoumi, A., Kafi, M., Nabati, J., Khazaei, H.R., Davari, K. and Zare Mehrjerdi, M., 2012. Effect of drought stress on leaf water status, electrolyte leakage, photosynthesis parameters and chlorophyll fluorescence of two *Kochia* ecotypes (*Kochia scoparia*) irrigated with saline water. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(3): 476-484. <https://doi.org/10.22067/gsc.v10i3.17666>
 - Mehrabi, Y., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., Mohatashami, R., 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(6): 1044-1057. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.127588.26>
- Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science, 7(9): 405-410. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(02)02312-9).
 - Moghadasan, Sh., Safipour Afshar, A. and Saeid Nematpour, F., 2016. The role of mycorrhiza in drought tolerance of marigold (*Calendula officinalis* L.). Journal of Crop Ecophysiology, 9(36): 521-532. <https://sanad.iau.ir/Journal/jcep/Issue/42866>
 - Mohammadghasemi, V., Moghaddam, S.S., Rahimi, A., Pourakbar, L. and Popovic-Djordjevic, J., 2020. The effect of winter sowing, chemical, and nano-fertilizer sources on oil content and fatty acids of dragon's head (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyrefeer). Journal of Plant Growth Regulation, 40: 1714-1727. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10220-2>
 - Mohammadpour Vashvaei, R., Ramroudi, M. and Fakheri, B.A., 2017. Effects of drought stress and bio-fertilizer inoculation on quantitative and qualitative characteristics of marian thistle (*Silybum marianum* L.). Journal of Agroecology, 9(1): 31-49. <https://doi.org/10.22067/JAG.V9I1.32650>
 - Nagananda, G.S., Das, A., Bhattacharya, S. and Kalpana, T., 2010. *In vitro* studies on the effects of biofertilizers (*Azotobacter* and *Rhizobium*) on seed germination and development of *Trigonella foenum-graecum* L. using a novel glass marble containing liquid medium. International Journal of Biological Macromolecules, 6: 394-403. <https://doi.org/10.3923/ijb.2010.394.403>
 - Nikou, S., Mirshkari, B., Pooryousef miandoab, M., Rashidi, V. and Hasanzadeh Ghorttaped, A., 2019. Effects of organic, chemical and integrated nutrition systems on morpho-physiological traits of oregano (*Origanum vulgare* L.). Turkish Journal of Field Crops, 24(1): 70-80. <https://doi.org/10.17557/tjfc.567363>
 - Nykanen, V.P.S., Nykanen, A., Puska M.A., Goulart-Silva, G. and Ruokolainen, J., 2011. Dual reponsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate substituted polyphosphazene. Soft Matter Journal, 7: 4414-4424. <https://doi.org/10.1039/C0SM01000F>
 - Omidi, H., Pirjalili, F. and Ahmadi, K., 2020. Evaluation of the effect of drought stress on morphophysiological characteristics of three populations of balangu (*Lallemantia royleana* Benth.). Journal of Horticultural Science, 34(4): 605-620. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i4.82643>
 - Ostadi, A., Javanmard, A., Amani Machiani, M., Morshedloo, M.R., Nouraein, M., Rasouli, F. and Maggi, F., 2020. Effect of different fertilizer sources and harvesting time on the growth characteristics, nutrient uptakes, essential oil productivity and composition of *Mentha x piperita* L. Industrial Crops and Products, 148: 112290. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112290>
 - Pirzad, A.R., Habibzadeh, Y. and Jalilian, J., 2014. Seed yield variations mungbean (*Vigna radiate* L.) at mycorrhizal symbiosis under water stress. Research in Field Crops, 2(2): 33-43. https://rfcj.urmia.ac.ir/article_20020.html?lang=en
 - Polat, E., Karaca, M.H., Demir, H. and Naci Onus, A., 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 12: 183-189. https://www.inhort.pl/files/journal_pdf/journal_2004spec/full2004-22spec.pdf
 - Rezaei Chiyaneh, E., Faridvand, Sh., Amirnia, R., Mahdaviakia, H. and Rahimi, A., 2018. Effect of organic and biofertilizers on yield and some qualitative characteristics of the dragon's head (*Lallemantia iberica*) in dryfarming conditions. Agriculture Science and Sustainable Production, 28(4): 25-40. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_8338.html?lang=en
 - Rezaei Chiyaneh, E., Khorramdel, S., Movludi, A. and Rahimi, A., 2017. Effects of nano chelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 15(1): 168-184. <https://doi.org/10.22067/gsc.v15i1.49876>
 - Rezaei Chiyaneh, E., Jamali, M., Pirzad, A. and Tofig, S., 2016. Effect of mycorrhizal fungi on

- some morphophysiological characters and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.) in salt stress conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 5(17): 15-28. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222727.1395.5.17.5.2>
- Saadi Moghaddam, S., Javanmard, A., Morshedloo, M.R. and Nouraein M., 2020. Effect of integrated application of biological and chemical fertilizers on the quality and quantity traits of dragons head (*Lallemantia iberica*) under rainfed condition. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(2): 459-477. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.273123.1578>
 - Sharifi, P., Seyedsalehi, M., Paladino, O. and Kyzas, G.Z., 2017. Investigation of morphological and phytochemical changes and tolerance threshold of chamomile under drought stress conditions. *International Journal of Pure and Applied Zoology*, 5: 85-91. <https://www.researchgate.net/publication/318901738>
 - Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Enej, A.E. and Li, J., 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Plant Physiology*, 167: 1248-1252. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.04.011>
 - Soleymani, F., Ahmadvand, G. and Safari Sanjani, A.A., 2016. The effect of chemical, biological and organic nutritional treatments on sunflowers yield and yield components under water deficit stress. *Journal of Agroecology*, 8: 107-119. <https://doi.org/10.22067/JAG.V8I1.47535>
 - Soltanian, M., Tadayyon, A. and Fallah, S., 2015. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on some vegetative traits and yield of linseed (*Linum ussitatissimum* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture)*, 17(3): 621-634. <https://doi.org/10.22059/jci.2015.54374>
 - Srivastava, A.K., Pasala, R., Minhas, P.S. and Suprasanna, P., 2016. Plant bioregulators for sustainable agriculture: integrating redox signaling as a possible unifying mechanism. *Advances in Agronomy*, 137: 237-278. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.002>
 - Supratim, B., Roel, C.R. and Sangeeta, N., 2018. AMF: The future prospect for sustainable agriculture. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 102: 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.11.007>
 - Tasdighi, H., Salehi, A., Movahhedi Dehnavi, M. and Behzadi, Y., 2015. Survey of yield, yield components and essential oil of *Matricaria chamomilla* L. with application of vermicompost and different irrigation levels. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 25: 61-78. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_3943.html?lang=en
 - Wu, Q.S. and Xia, R.X., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 163(4): 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.024>
 - Wu, S.C., Caob, Z.H., Lib, Z.G., Cheunga, K.C. and Wong, M.H., 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125: 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003>
 - Xie, L., Liu, M., Ni, B., Zhang, X. and Wang, Y., 2011. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgit. *Chemical Engineering Journal*, 167: 342-348. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.082>
 - Zare Hassanabadi, M., Dashti, M. and Akhondi, M., 2020. The effect of two species of arbuscular mycorrhiza fungi on the activity of antioxidant enzymes and morphophysiological characteristics of *Mentha pulegium* L. in drought stress. *Iranian Medicinal Plants Technology*, 2(2): 83-99. <https://doi.org/10.22092/MPT.2020.127803.1049>
 - Zhang, T., Hu, Y., Zhang, K., Tian, C. and Guo, J., 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. *Industrial Crops and Products*, 117: 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.087>
 - Zheng, T., Liang, Y.H., Ye, S.H. and He, Z.Y., 2009. Superabsorbent hydrogels as carriers for the controlled release of urea: experiments and a mathematical model describing the release rate. *Biosystems Engineering*, 102: 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.027>