University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 2, pp. 531-545 (Summer 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2023.4814.2072

Original article

Study the effect of different irrigation regimes and biofertilizers on morphological characteristics, essential oil and phenol and flavonoids contains in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)

Z. Ramazanpoor[1], T. Mir Mahmoodi[2] , S. Yazdan Seta[2*]

1. MSc Student, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran

2. Assistant Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

Received 27 October 2021; Accepted 8 December 2021

Extended abstract

Introduction

Drought stress, permanent or temporary, limits the growth and the distribution of natural vegetation and the production of cultivated plants more than any other environmental factor. Water deficit stress has changed plants 'metabolism significantly, by attenuating the growth, photosynthesis, and ultimately yield of the plants. The recent global trend in production of medicinal plants is in favor of sustainable agriculture. One of the efficient practices of sustainable agriculture is the application of biological fertilizers for quantitative and qualitative yield improvement in medicinal plants, such as fennel, which is of great significance in food, pharmaceutical, and cosmetic industry. Fennel (Foeniculum vulgare Mill.) is an umbelliferous plant. Due to the high potential of West Azerbaijan province, especially Mahabad region, the present study was conducted to investigate the effect of biofertilizers on the increase of water tolerance in fennel.

Materials and methods

In order to investigate the effect of different irrigation regimes and biofertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of fennel, an experimental experiment was conducted in 2020 in an agricultural farm in Mahabad city. In this experiment, four irrigation regimes (irrigation after 60, 90, 120 and 150 mm evaporation from Class A evaporation pan) in main plots and inoculation of seeds with biofertilizers (including control, inoculation with mycorrhiza, azotobacter and phosphate Fertile 2) were placed in subplots. In this study, plant height, number of sub-branches, number of umbrellas and umbrellas per plant, number of seeds per umbel, thousand kernel weight, biological yield, grain yield, essential oil content, phenol and flavonoid content were measured. The data obtained from the experiment were analyzed using SAS 9.2 software. The means obtained were statistically compared using Duncan's test at a level of 5% probability.

Results and discussion

Based on the results of the analysis of variance of the data, a significant difference was observed between the levels of the irrigation regime in terms of the effect on all the studied traits at the level of 1% probability. Effect of biofertilizer on the number of branches, number of umbrellas per plant, number of umbrellas per umbrella, on thousand kernel weight, biological yield, grain yield, percentage of essential

* Corresponding author: Saman Yazdan Seta; E-Mail: yazdan79@yahoo.com

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

oil, total phenol content and flavonoids at a probability level of 1% and on plant height, number of seeds per umbel and flavonoid content were significant at 5% probability level. Among of irrigation with biofertilizer interaction treatments in terms of effect on plant height, number of sub-branches, number of umbrellas per plant, number of umbrellas per umbrella, number of seeds per umbrella, grain yield, essential oil percentage and phenol content at a probability level of 1% and in terms of effect on thousand kernel weight there was a significant difference at the level of 5% probability. The results showed that the highest plant height, number of sub-branches, number of umbrellas per plant, on thousand kernel weight and grain yield were allocated to irrigation regime after 90 days and seed inoculation with mycorrhiza, Also, the highest percentage of essential oil and total phenol content in the irrigation regime was observed after 120 mm of evaporation and inoculation of seeds with mycorrhiza. The results of mean comparisons also showed that although grain yield decreased with increasing severity of water deficit stress, but in all irrigation regimes, the use of biofertilizers significantly increased grain yield compared to the control treatment. Also, the use of biofertilizers under irrigation regime stresses after 120 and 150 mm of evaporation was able to show higher grain yield than the control treatment in irrigation regimes after 60 and 90 mm of evaporation. In this study, water deficit stress increased the percentage of essential oil in fennel plant. Also, the use of mycorrhiza in irrigation regimes after 60 and 90 and the use of mycorrhiza and Azotobacter in irrigation regimes after 120 and 150 mm of evaporation significantly increased Essential oil percentage compared to control treatment.

Conclusion

In this study, the most suitable quantitative and qualitative characteristics of fennel were obtained in the irrigation regime after 90 mm, so the irrigation regime is recommended to achieve the maximum quantitative and qualitative characteristics of fennel in the study area. The results also showed that the application of Mycorrhiza and Azotobacter biofertilizers in both normal irrigation and water deficit conditions can improve the quantitative and qualitative properties.

***Keywords*:** Azotobacter, Phenol, Mycorrhiza, Water deficit

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2023.4814.2072

مقاله پژوهشی

بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی بر خصوصیات مورفولوژیک، اسانس و محتوی فنل و فلاونوئید در رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)

زینب رمضانپور[۱]، تورج میر محمودی[۲]، سامان یزدان ستا[۲*]

۱. دانشجو کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
ازتوباکتر
فنول
کم‌آبی
میکوریزا

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۸/۰۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۹/۱۷

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۲

۱۶(۲): ۵۳۱-۵۴۵

چکیده

با هدف بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه رازیانه آزمایشی در سال ۱۳۹۹ در مزرعه کشاورزی در شهرستان مهاباد اجرا شد، در این آزمایش چهار رژیم آبیاری (آبیاری بعد از ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی و تلقیح بذر با کودهای زیستی (شامل شاهد، تلقیح با مایکوریزا، ازتوباکتر و فسفاته بارور۲) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر و چترک در بوته، تعداد دانه در چترک، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، درصد اسانس، محتوی فنل و فلانوئید اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد بالاترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه به رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر و تلقیح بذر با مایکوریزا اختصاص یافت، همچنین بالاترین درصد اسانس و محتوی فنل کل در رژیم آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و تلقیح بذر با مایکوریزا مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین همچنین نشان داد هرچند با افزایش شدت تنش کم‌آبی از عملکرد دانه کاسته شد اما در کلیه رژیم‌های آبیاری استفاده از کودهای زیستی به‌صورت معنی‌داری بر عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد افزودند. همچنین استفاده از کودهای زیستی در رژیم‌های آبیاری بعد از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر توانست عملکرد دانه بالاتر از تیمار شاهد در رژیم‌های آبیاری بعد از ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر نشان دهد. در این مطالعه تنش کم‌آبی بر درصد اسانس در گیاه رازیانه افزود همچنین استفاده از میکوریزا در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ و ۹۰ و همچنین استفاده از میکوریزا و ازتوباکتر در رژیم‌های آبیاری بعد از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر به‌صورت معنی‌داری بر درصد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد کود زیستی افزود.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین گیاهان معطر و دارویی، گیاه رازیانه است، تنوع ژنتیکی بین گونه‌ها مناسب، نیاز آبی کم و مقاومت به تنش خشکی بر اهمیت این گیاه افزوده است (Coshge et al., 2008). اسانس این گیاه به دلیل داشتن ویژگی‌های ضد میکروبی و ضد اکسایشی که به علت حضور فلاونوئیدها، ترپنوئیدها، کاروتنوئیدها و کومارین‌هاست، در انواع مواد غذایی و نوشیدنی‌ها به‌عنوان طعم‌دهنده کاربرد دارد (Singh et al., 2006) قسمت تجاری گیاه رازیانه دانه آن است که برای استخراج اسانس مورداستفاده قرار می‌گیرد.

گیاهان دارویی به‌واسطه ماده مؤثره موجود در آن‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند بنابراین کیفیت در گیاهان دارویی در مقایسه با گیاهان زراعی از اهمیت بیشتری برخوردار است. تنش کم‌آبی ازجمله عواملی است که مقدار جذب مواد غذایی و درصد اسانس را در گیاهان دارویی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ahmadian et al., 2011b). یکی از روش‌هایی که اخیراً جهت مقابله با خشکی و تعدیل تنش کم‌آبی مورداستفاده قرار گرفته است استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی است، از مهم‌ترین این میکروارگانیسم‌ها می‌توان به باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌های میکوریزی اشاره کرد (Fasusi et

* نگارنده پاسخگو: سامان یزدان‌ستا. پست الکترونیک: Yazdan79@yahoo.com

al., 2021). میکوریزا، یک ارتباط همزیستی دوجانبه با ریشه بیش از ۸۰٪ گیاهان ایجاد کرده که دربرگیرنده بسیاری از محصولات مهم و گونه‌های درختان جنگلی است (Tripathi et al., 2017). افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه‌ها (Tian et al., 2013)، بهبود جذب آب در شرایط تنش آبی کم به‌واسطه توسعه ریسه‌های قارچی، ایجاد تعادل اسمزی و حفظ فشار تورگر، بهبود فعالیت فتوسنتزی، تجمع کربوهیدرات‌ها و پرولین و جذب بهتر عناصر (Deepika et al. 2015) از سازوکارهای احتمالی افزایش تحمل به خشکی در گیاهان میکوریزایی است. کاهش جذب آب از طریق ریشه، کاهش تعرق و هدایت روزنه‌ای و مقدار فتوسنتز و همچنین هورمونی از اثرات تنش کم‌آبی است، گزارش شده است که همزیستی قارچی میکوریزا آربوسکوالر[1] اثرات مذکور را بر گیاهان تعدیل کرده و موجب محافظت گیاه در برابر تنش کم‌آبی شده است (Auge et al., 2014). مایکوریزا موجب افزایش هدایت هیدرولیکی آب در ریشه شده و از طریق افزایش طول مؤثر ریشه موجب افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود (Mohammadi et al., 2011).

ازتوباکتر یکی از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در گیاهان است، این باکتری می‌تواند در محیط ریشه مواد زیستی فعال تولید و ترشح نماید که این مواد شرایط را برای توسعه سیستم ریشه و افزایش جذب مواد غذایی و تثبیت بیولوژیکی ازت و درنهایت افزایش عملکرد اقتصادی محصول فراهم آورند (Kumar et al., 2017). از دیگر کودهای زیستی که می‌توان به آن اشاره کرد فسفاته بارور-۲ است، این کود شامل دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات است که متعلق به گونه‌های *باسیلوس لنتوس*[2] و *سودوموناس پوتیدا*[3] است، باکتری‌های مذکور می‌توانند فسفر نامحلول خاک را از طریق ترشح اسیدهای آلی و اسید فسفاتاز به شکل قابل‌جذب توسط گیاهان درآورند. فسفاته بارور-۲ به‌واسطه نقشی که در بهبود رشد ریشه در گیاهان دارد می‌تواند اثر تنش کم‌آبی را بر گیاهان تعدیل نماید (Mohammadi et al., 2011)،

در مطالعه‌ای بر روی خرفه (Portulaca oleracea) (Inanloofar et al., 2013) گزارش شد تنش کم‌آبی عملکرد کمی و مقدار روغن در بذر این گیاه دارویی را کاهش داد اما کاربرد تلفیقی کود زیستی نیتروکسین همراه با اوره عملکرد کمی و کیفی اوره را در شرایط تنش کم‌آبی افزایش داد. معصومی زواریان و همکاران (Masomi Zavarian et al., 2015) اظهار داشتند تیمار میکوریزا خصوصیات کمی و کیفی و اسانس در گیاه دارویی انیسون را بهبود بخشید. در مطالعه‌ای دیگر مشاهده شد کاربرد قارچ *Glomus interradices* همراه با محلول‌پاشی بیوفسفر بالاترین درصد و عملکرد اسانس را در گیاه زیره سبز به خود اختصاص داد (Haghir Ebrahimabadi et al., 2018). افزایش اجزای عملکرد، عملکرد دانه و اسانس در گیاه رازیانه در تیمارهای کاربرد کود زیستی در مطالعات یونسیان و همکاران (Yonesian et al., 2013)، پوریوسف و همکاران (Pouryousef, 2015; 2012) و زمانی و همکاران (Zamani et al., 2019) گزارش شده است. با توجه به پتانسیل بالای استان آذربایجان غربی و به‌خصوص منطقه مهاباد تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر کودهای زیستی بر میزان افزایش تحمل به کم‌آبی در گیاه رازیانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی بر خصوصیات مورفولوژیک، اسانس و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه رازیانه در شرایط اکولوژیک شهرستان مهاباد در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، جزو مناطق نیمه‌خشک کشور طبقه‌بندی می‌شوند. زمین محل آزمایش در ۱۰ کیلومتری شمال شهرستان مهاباد با عرض جغرافیایی ´۴۶ °۳۶ شمالی و ´۴۳ °۴۵ طول شرقی و ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. در این آزمایش چهار رژیم آبیاری بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (آبیاری بعد از ۶۰،۹۰،۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر) در کرت‌های اصلی و تلقیح بذر با کودهای زیستی (شامل شاهد، تلقیح با مایکوریزا، ازتوباکتر و فسفاته بارور ۲) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. خاک حاوی مایکوریزا (*Glmus intraradices* L.) به مقدار ۲۰ گرم برای هر بوته در هنگام کاشت زیر بذر قرار داده شد (هر گرم نمونه خاک شامل تقریباً ۳۰۰ اسپور زنده). بذور گیاه رازیانه یک ساعت قبل از کاشت با کود زیستی فسفاته بارور ۲ (۱۰۸ عدد باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های *باسیلوس‌لنتوس* و *سودوموناس‌پوتیدا* و ازتوباکتر

[1] Mycorrhiza arbuscular
[2] *Bacillus lentus*
[3] *Pseudomonas putida*

(۱۰۸ عدد باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) حاوی یک نوع باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن هر دو به‌صورت پودر و با نسبت‌های مشخص (۱۰۰ گرم در خاک) و بر اساس دستورالعمل توصیه‌شده تلقیح شدند. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به طول چهار متر و با فاصله‌ی بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین جهت جلوگیری از نشت آب به کرت‌های مجاور، در یک بلوک فاصله کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و فاصله بین دو بلوک سه متر در نظر گرفته شد. پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین کاشت در اوایل فروردین به‌صورت دستی انجام شد و بذور در عمق سه سانتی‌متری خاک قرار گرفتند. در طول فصل رشد علف‌های هرز به‌صورت دستی وجین شد. برداشت محصول زمانی که رنگ بذرها قهوه‌ای شده بود به‌صورت دستی اوایل مهر انجام شد.

در زمان برداشت از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد و صفاتی نظیر ارتفاع بوته (از محل طوقه تا انتهای گل‌آذین)، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در هر چتر، تعداد دانه در هر چترک و وزن هزار دانه در آن‌ها اندازه‌گیری و میانگین آن ثبت شد.

برای تعیین وزن هزار دانه، از هر واحد آزمایشی هشت نمونه ۱۰۰ تایی شمارش و با میانگین‌گیری وزن آن‌ها، وزن هزار دانه محاسبه شد. برای تعیین عملکرد نهایی پس از حذف ردیف‌های کناری و نیم متر از ابتدای کرت و نیم متر از انتهای کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای بوته‌های برداشت‌شده و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در هکتار تعیین گردید. عملکرد بیولوژیک شامل مجموع وزن بذر، ساقه و برگ بود. استخراج اسانس به روش کلونجر و با استفاده از روش تقطیر با آب و دستگاه اسانس‌گیر صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که در این مطالعه فنل کل به روش فولین سیوکالتیو (Mrozikiewicz et al., 2010) و فلاونوئید به روش نورسنجی کلرید آلومینیوم (Bannayan et al., 2008) اندازه‌گیری شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 انجام گرفت. میانگین‌های به‌دست‌آمده با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه آماری شدند.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها بین سطوح رژیم آبیاری ازلحاظ اثر بر کلیه صفات موردبررسی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. اثر کود زیستی بر تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، درصد اسانس و محتوی فنل کل در سطح احتمال یک درصد و بر ارتفاع بوته، تعداد دانه در چترک و محتوی فلاونوئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بین تیمارهای اثر متقابل آبیاری در کود زیستی نیز ازلحاظ اثر بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک، عملکرد دانه، درصد اسانس و محتوی فنل در سطح احتمال یک درصد و ازلحاظ اثر بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار دیده شد (جدول ۱).

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیمارها کاربرد میکوریزا در رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر با متوسط ۱۲۰/۰۰ سانتی‌متر بالاترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد، اختلاف بین تیمار مذکور و تیمارهای کاربرد میکوریزا و ازتوباکتر در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و همچنین کاربرد ازتوباکتر در رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر معنی‌دار نبود. در این بررسی کمترین ارتفاع بوته به کاربرد فسفاته بارور ۲ در رژیم آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر اختصاص داشت. در این مطالعه تیمار شاهد، کاربرد ازتوباکتر و فسفاته بارور ۲ به ترتیب با متوسط ۹۴/۱۵، ۹۱/۷۵ و ۹۳/۰۰ کمترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص دادند. لازم به ذکر است که در شرایط آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر اگرچه استفاده از کودهای زیستی بر ارتفاع بوته افزود اما این افزایش در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار نبود. در رژیم‌های آبیاری بعد از ۹۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر کاربرد میکوریزا به‌صورت معنی‌داری بر ارتفاع بوته افزود درحالی‌که در رژیم آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر اختلاف بین کاربرد کودهای زیستی با شاهد (در هر رژیم آبیاری) معنی‌دار نبود (جدول ۲). می‌توان اظهار داشت همزیستی مایکوریزایی با ریشه رازیانه تحت شرایط تنش کم‌آبی سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب رشد بیشتر و بهبود ارتفاع گیاه شده است (Gholami et al., 2015). فراهمی آب از مهم‌ترین عوامل تولید ماده خشک و درنتیجه ارتفاع گیاهان دارویی است، به‌طوری‌که تنش کم‌آبی می‌تواند ضمن تأثیر مستقیم بر رشد گیاه، با برهم زدن تعادل در جذب عناصر غذایی ضروری از خاک رشد گیاه را به‌صورت غیرمستقیم کاهش دهد. افزایش ارتفاع بوته در اثر کاربرد

کودهای زیستی را با اثر این کودها در افزایش توسعه ریشه و جذب بهتر آب و مواد غذایی و تولید هورمون رشد ازجمله جیبرلین نسبت داده‌اند (Jahan and Nasiri Mahallati, 2012). در مطالعه غلامی و همکاران (Gholami et al., 2015) تلقیح بذر مایکوریزا در رازیانه ارتفاع بوته را در مقایسه با تیمار شاهد سه درصد افزایش داد. در تحقیق دیگر بر روی گیاه رازیانه بالاترین ارتفاع بوته در تیمار برهمکنش آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کود زیستی بیوفسفر و کمترین مقدار و در تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود (شاهد) گزارش شد (Gorgini Shabankare et al., 2014). در مطالعه رضایی چیانه و همکاران (Rezaei Chianeh et al., 2015) کاربرد مایکوریزا، کاربرد ازتوباکتر+ فسفاته بارور۲ به‌تنهایی و تلفیق با میکوریزا ارتفاع بوته زنیان (*Trachyspermum ammi*) را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد.

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات موردبررسی در گیاه رازیانه تحت تیمارهای رژیم آبیاری و کود زیستی

Table 1. Analysis of variance of the effects of irrigation levels and Bio-fertilizer

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه‌های فرعی Number of sub-branches	تعداد چتر در بوته Umbels per plant	تعداد چترک در چتر Number of per umbelet umbrella	تعداد دانه در چترک Seeds per Umbels
تکرار R	3	68.25	0.67	9.04	8.97	3.35
آبیاری Irrigation (I)	3	1018.25**	9.10**	216.95**	340.51**	263.72**
Ea	9	28.98	0.40	6.72	2.46	13.57
کود زیستی Bio-fertilizer (BF)	3	132.98*	4.09**	111.29**	130.47**	43.60*
آبیاری ×کود زیستی I × BF	9	184.34**	6.62**	69.75**	24.40**	58.04**
Eb	36	36.22	0.29	4.60	4.95	11.68
ضریب تغییرات CV%	-	*5.73*	*12.62*	*12.82*	*19.27*	*12.95*

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	وزن هزار دانه Thousand kernel weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain Yield	درصد اسانس Essential oil Percentage	محتوی فنل Phenol content	محتوی فلاونوئید Flavnoid content
تکرار R	3	0.05	160985	418.1	2.24	1.93	4.67
آبیاری Irrigation (I)	3	3.71**	4342946**	7454.5**	85.12**	697.27**	662.39**
Ea	9	0.13	399339	1074.2	0.61	2.74	2.21
کود زیستی Bio-fertilizer(BF)	3	1.08**	4491262**	78137.4**	32.61**	30.76**	11.98*
آبیاری ×کود زیستی I × BF	9	0.58*	483592ns	9548.8**	6.10**	8.34**	7.43ns
Eb	36	0.18	377171	957.0	1.23	2.64	4.06
ضریب تغییرات CV%	-	*16.62*	*21.46*	*11.33*	*16.41*	*3.95*	*6.87*

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

ns, * and ** not significant, significant at the level 5% and 1% respectively.

تعداد شاخه‌های فرعی

نتایج نشان داد کاربرد میکوریزا در هر دو رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر و کاربرد ازتوباکتر در رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب با متوسط ۶/۶۲، ۶/۱۲ و ۶/۰۰ شاخه بالاترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند، کمترین تعداد شاخه فرعی با متوسط ۲/۶۲ به کاربرد فسفاته بارور ۲ در رژیم آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و کاربرد ازتوباکتر در دور آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر اختصاص داشت. در این تحقیق کاربرد میکوریزا در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ و ۱۵۰ میلی‌متر، کاربرد هر سه کود زیستی در دور آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر، کاربرد ازتوباکتر در دور آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تعداد شاخه فرعی را در مقایسه با تیمار شاهد به‌صورت معنی‌دار افزایش دادند. در مطالعه گرگینگی شبانکاره و همکاران (Gorgini Shabankare et al., 2014) بالاترین تعداد شاخه فرعی در رازیانه به تیمار آبیاری کاربرد کـود زیستی بیوفسفر در تیمار آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعـی اختصاص داشت.

جدول ۲. مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل رژیم آبیاری و کود زیستی ازلحاظ اثر بر خصوصیات موردبررسی در گیاه رازیانه

Table 2. Comparison of the mean of interactions between irrigation regime and bio fertilizer in terms of effect on the studied characteristics of

رژیم آبیاری Irrigation	کود زیستی Bio-fertilizer	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی Number of sub-branches	تعداد چتر در بوته Umbels per plant	تعداد چترک در چتر Number of umbrellas per umbrella	تعداد دانه در چترک Seeds per Umbels
آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 60 mm evaporation	شاهد Control	108.00^{bcd}	4.87^{b}	13.00^{cde}	13.75^{cd}	28.02^{cd}
	مایکوریزا Mycorrhiza	115.25^{ab}	6.62^{a}	26.5^{a}	19.5^{ab}	35.25^{a}
	ازتوباکتر Aztobacter	113.75abc	3.25^{cde}	18.75^{b}	22.5^{a}	33.75^{ab}
	فسفاته بارور ۲ PMS2	107.00^{bcd}	4.87^{b}	19.5^{b}	19.12^{b}	29.25^{bc}
آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 90 mm evaporation	شاهد Control	105.50^{cd}	2.75^{de}	11.00^{de}	12.00^{de}	20.55^{e}
	مایکوریزا Mycorrhiza	120.01^{a}	6.12^{a}	24.50^{a}	10.5^{efg}	30.12^{bc}
	ازتوباکتر Aztobacter	112.25^{abc}	6.00^{a}	24.12^{a}	15.5^{c}	32.25^{abc}
	فسفاته بارور ۲ PMS2	111.13^{bcd}	5.00^{b}	20.23^{b}	11.25^{def}	28.00^{cd}
آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 120 mm evaporation	شاهد Control	108.00^{bcd}	3.62^{c}	14.50c	5.50^{i}	24.17^{de}
	مایکوریزا Mycorrhiza	107.50^{bcd}	3.87^{c}	15.52^{c}	9.00^{e-h}	22.50^{e}
	ازتوباکتر Aztobacter	103.50^{d}	4.87^{b}	19.50^{b}	5.50 ^{i}	23.50^{de}
	فسفاته بارور ۲ PMS2	102.51^{d}	2.62^{e}	13.25^{cde}	8.18^{ghi}	20.75^{e}
آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 120 mm evaporation	شاهد Control	94.15^{e}	3.50^{cd}	10.50^{e}	6.14^{hi}	20.25^{e}
	مایکوریزا Mycorrhiza	103.0^{d}	4.75^{b}	14.12^{cd}	10.50^{efg}	29.17^{bc}
	ازتوباکتر Aztobacter	91.75^{e}	2.62^{e}	10.50^{e}	8.58^{gh}i	23.75^{de}
	فسفاته بارور ۲ PMS2	93.00^{e}	3.25^{cde}	13.10^{cde}	8.25^{f-i}	21.25^{e}

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

رژیم آبیاری Irrigation	کود زیستی Bio-fertilizer	وزن هزار دانه Thousand kernel weight	عملکرد دانه Grain Yield	درصد اسانس Essential Percentage	محتوی فنل Phenol content
		g	Kg.ha^{-1}		mg Galic acid g^{-1} DW
آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 60 mm evaporation	شاهد Control	2.95^{abc}	229.33^{gh}	2.75^{i}	32.25^{i}
	مایکوریزا Mycorrhiza	2.98^{abc}	315.48^{cd}	4.5^{e-h}	35.92^{g}
	ازتوباکتر Aztobacter	3.24^{ab}	374.48^{ab}	2.75^{i}	35.3^{g}h
	فسفاته بارور ۲ PMS2	2.14^{ef}	279.8^{de}	4.00^{ghi}	33.3^{hi}
آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 90 mm evaporation	شاهد Control	2.41^{c-f}	192.29^{h}	3.00^{hi}	40.35^{e}
	مایکوریزا Mycorrhiza	3.30^{a}	396.89^{a}	5.25^{ef}g	45.9^{c}
	ازتوباکتر Aztobacter	3.39^{a}	251.43^{efg}	4^{ghi}	44.95^{cd}
	فسفاته بارور ۲ PMS2	2.99^{abc}	279.1^{de}	4.12^{f-i}	42.95^{d}
آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 120 mm evaporation	شاهد Control	2.63^{cde}	146.74^{i}	6.87^{cd}	50.3^{a}
	مایکوریزا Mycorrhiza	2.8^{a-e}	339.72^{bc}	9.75^{ab}	50.37^{a}
	ازتوباکتر Aztobacter	2.64^{cde}	332.96^{bc}	9.50^{b}	49.17^{ab}
	فسفاته بارور ۲ PMS2	2.64^{b-e}	231.66^{fgh}	6.00^{de}	47.17^{bc}
آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 120 mm evaporation	شاهد Control	1.95^{fg}	138.83^{i}	5.25^{efg}	38.87^{ef}
	مایکوریزا Mycorrhiza	2.32^{def}	341.89^{bc}	11.25^{a}	39.3^{ef}
	ازتوباکتر Aztobacter	1.96^{fg}	244.58^{efg}	7.75^{c}	37.6^{fg}
	فسفاته بارور ۲ PMS2	1.46^{g}	274.77^{def}	5.62^{def}	35.6^{gh}

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

Means with similar letters in each column are not significantly different

تعداد چتر در بوته

نتایج مقایسات میانگین نشان داد کاربرد مایکوریزا در آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر با متوسط ۲۶/۵۰ و کاربرد مایکوریزا و ازتوباکتر در دور آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب با متوسط ۲۴/۵۰ و ۲۴/۰۰ چتر بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند. تیمار شاهد و کاربرد ازتوباکتر در رژیم آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر هر دو با متوسط ۱۰/۵۰ کمترین تعداد چتر در بوته را به خود اختصاص دادند. در دو رژیم آبیاری بعد از ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر کاربرد هر سه تیمار کود زیستی و در دور آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر کاربرد ازتوباکتر و رژیم آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر کاربرد مایکوریزا به‌صورت معنی‌داری تعداد چتر در بوته را در مقایسه با شاهد افزایش دادند (جدول ۲).

کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) اظهار داشتند که همزیستی مایکوریزایی از طریق بهبود تغذیه گیاه و افزایش زیست‌توده در گیاه رازیانه موجب تسریع در گلدهی و افزایش تعداد چتر در بوته می‌شود. غلامی و همکاران (Gholami et al., 2015) گزارش کردند تلقیح بذر رازیانه تعداد چتر در بوته را در مقایسه با تیمار شاهد ۱۷ درصد افزایش داد. حسین زاده نمین و دهقی

(Hosseinzadeh Namin and Amini Dehaghi, 2014) نیز اظهار داشتند تلقیح بذور رازیانه با مایکوریزا اثر مثبتی بر افزایش تعداد چتر در بوته داشت.

تعداد چترک در چتر

نتایج مقایسه میانگین ترکیبات تیماری رژیم آبیاری و کودهای زیستی ازلحاظ تعداد چترک در چتر نشان داد کاربرد مایکوریزا در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب با متوسط ۱۹/۵۰ و ۲۲/۵۰ چترک بالاترین تعداد این صفت را به خود اختصاص دادند، کمترین مقدار صفت مذکور نیز با متوسط ۵/۵۰ چترک در تیمار شاهد و کاربرد ازتوباکتر در رژیم آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر ثبت شد. نتایج همچنین بیانگر آن بود که در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر استفاده از هر سه کود زیستی و در رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر استفاده از ازتوباکتر و در رژیم‌های آبیاری بعد از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر استفاده از مایکوریزا توانست تعداد چترک در چتر را در مقایسه با تیمار شاهد به‌صورت معنی‌دار افزایش دهد.

تعداد دانه در چترک

نتایج نشان داد استفاده از میکوریزا و ازتوباکتر در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر و کاربرد ازتوباکتر در دور آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر به ترتیب با متوسط ۳۵/۲۵، ۳۳/۷۵ و ۳۲/۲۵ دانه در چترک بالاترین تعداد دانه را به خود اختصاص دادند، در این مطالعه تیمار شاهد کودی در رژیم آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی¬متر تبخیر با متوسط ۲۰/۵۰ دانه در چترک کمترین تعداد دانه را به خود اختصاص داد. در این مطالعه کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر و کاربرد هر سه تیمار کود زیستی در رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر و استفاده از مایکوریزا در دور آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر تعداد دانه را در مقایسه با تیمار شاهد در هر رژیم آبیاری به‌صورت معنی‌دار افزایش داد، اختلاف بین تیمارهای کاربرد کود زیستی و شاهد در رژیم آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر معنی‌دار نبود. کمترین تعداد دانه در چترک در شرایط تنش شدید کم‌آبی دیده شد کاهش آب آبیاری احتمالاً از طریق ایجاد اختلال در گرده‌افشانی و کاهش طول دوره گرده‌افشانی، موجب عدم تلقیح مؤثر گل‌ها و کاهش تعداد دانه در چترک و چتر شده است. در مطالعه حیدری و همکاران (Heidari et al., 2012) و پوریوسف (Pouryousef, 2015) تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از تعداد دانه در رازیانه کاست. در این بررسی تعداد دانه واکنش مثبتی به کودهای زیستی در سه دور آبیاری بعد از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر نشان داد، می‌توان اظهار داشت قارچ مایکوریزا موجب افزایش سطح ریشه‌ها به‌واسطه نفوذ میسلیوم در خاک و درنتیجه دسترسی گیاه به حجم بیشتری از خاک می‌شود، این حالت موجب جذب آب و مواد غذایی (به‌خصوص نیتروژن و فسفر) می‌شود، همچنین باکتری‌های تثبیت‌کننده فسفات و نیتروژن از طریق تثبیت فسفر و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق تثبیت نیتروژن و انتقال آن به سلول‌های گیاه سبب رشد و افزایش فتوسنتز و تولید مواد نورساخت می‌شوند که این امر موجب بهبود اجزای عملکرد گیاه ازجمله تعداد دانه خواهد شد (Mohammadi et al., 2011). در مطالعه رضایی چیانه و همکاران (Rezaei Chianeh et al., 2015) بالاترین تعداد دانه در چتر در گیاه زنیان تحت تیمار تلفیقی کودهای زیستی (مایکوریزا+ ازتوباکتر + فسفات بارو ۲) به دست آمد.

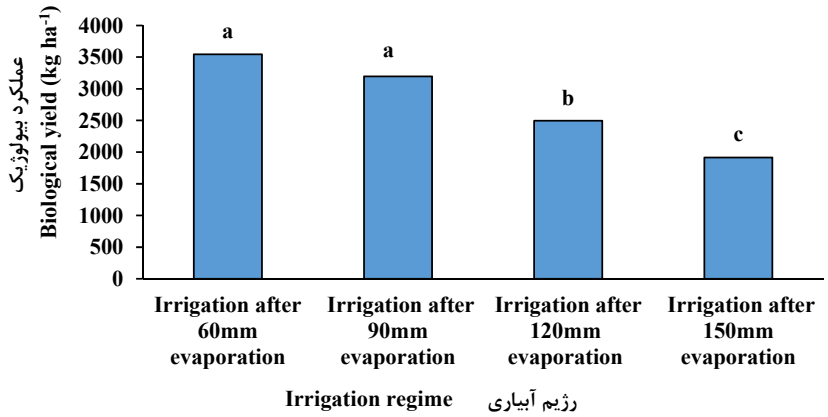
وزن هزار دانه

نتایج مقایسات میانگین نشان داد کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا تحت رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر به ترتیب با متوسط ۳/۳۹ و ۳/۳۰ گرم بالاترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند، کمترین وزن هزار دانه در این بررسی به تیمار کاربرد فسفاته بارو ۲ در رژیم آبیاری بعد از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر اختصاص یافت. لازم به ذکر است که در رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر کاربرد هر سه تیمار کودی وزن هزار دانه را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. در این مطالعه تنش کم‌آبی از وزن هزار دانه کاست می‌توان اظهار داشت در شرایط تنش کم‌آبی به دلیل پیری زودرس برگ‌ها، تولید مواد فتوسنتزی کاهش‌یافته و درنتیجه تخصیص مواد پرورده به هرکدام از منابع (دانه‌ها) کاهش یافته و به‌تبع آن نیز دانه‌های تشکیل‌شده کوچک‌تر و کم‌وزن‌تر خواهند شد. همچنین کاهش طول دوره پر شدن دانه تحت شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند از دیگر دلایل اصلی کاهش وزن هزار دانه باشد. به نظر می‌رسد تلقیح مایکوریزایی سبب می‌گردد که در زمان پر شدن دانه، شیره پرورده بیشتری به دانه منتقل‌شده و سبب بهبود وزن هزار دانه گردد. حیدری و همکاران (Heidari et al., 2012) و پوریوسف (Pouryousef, 2015) نیز کاهش وزن هزار دانه در گیاهان رازیانه و آنیسون در اثر تنش کم‌آبی

را به کاهش جـذب آب و امـلاح توسط گیاه و به دنبال آن کاهش سنتز مواد پرورده و انتقـال آن به دانه‌ها نسبت داده‌اند در این مطالعه استفاده از کودهای زیستی در شرایط تنش کم‌آبی (به‌خصوص رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر) با بهبود رشد ریشه و افزایش اسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی به‌واسطه افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گلدهی توانسته است در مرحله پس از گلدهی با انتقال مجدد این مواد از منبع به مخزن وزن هزار دانه را بهبود ببخشد. افزایش وزن هزار دانه تحت تأثیر کودهای زیستی در مطالعات دیگر بر روی رازیانه نیز گزارش شده است (Darzi et al., 2006; Rezaei Chianeh et al., 2015).

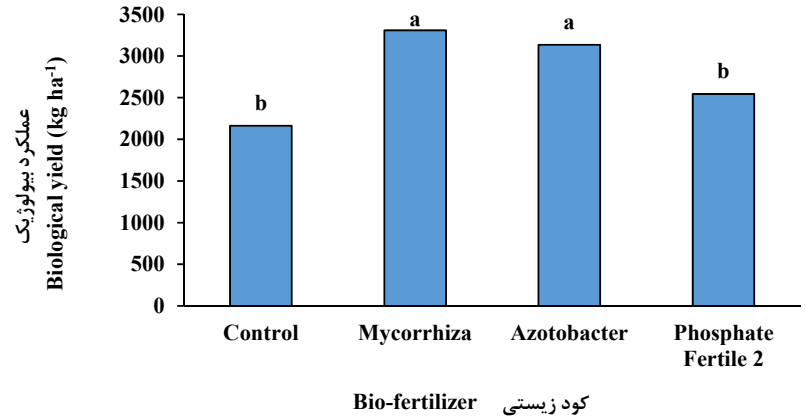
عملکرد بیولوژیک

مقایسه میانگین تیمارهای رژیم آبیاری ازلحاظ اثر بر عملکرد بیولوژیک نشان داد با تشدید تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از عملکرد بیولوژیک کاسته شد به‌نحوی‌که رژیم‌های آبیاری بعد از ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر۹/۷۸، ۲۹/۵۷ و ۴۵/۹۰ درصد کاهش دادند (شکل ۱). در بین تیمارهای کود زیستی کاربرد مایکوریزا و ازتوباکتر به ترتیب با متوسط ۳۳۰۸/۰ و ۳۱۳۵/۶ کیلوگرم در هکتار عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با کاربرد فسفاته بارور ۲ و شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش دادند، اختلاف بین تیمار شاهد و فسفاته بارور ۲ ازنظر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود (شکل ۲).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر تیمارهای رژیم آبیاری بر عملکرد بیولوژیک رازیانه

Fig. 1. Mean Comparison of the effect of irrigation regime treatments on the biological yield of fennel



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر تیمارهای کود زیستی بر عملکرد بیولوژیک رازیانه

Fig. 2. Mean Comparison of the effect of Bio fertilizer treatments on the biological yield of fennel

در تحقیقی بر روی گیاه رازیانه بالاترین عملکرد بیولوژیکی در تیمار آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کود زیستی بیوفسفر گزارش شد (Gorgini Shabankare et al., 2017). در مطالعه غلامی و همکاران (Gholami et al., 2015) بر روی گیاه رازیانه تیمار قارچ مایکوریزا عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را به ترتیب به میزان ۸/۵ و ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. حسین زاده نمین و دهقی (Hosseinzadeh Namin and Amini Dehaghi, 2014) مشاهده کردند تیمار بذر با کودهای زیستی مایکوریزا و میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات عملکرد بیولوژیک رازیانه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش داد.

عملکرد دانه

نتایج نشان داد کاربرد ازتوباکتر در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و استفاده از مایکوریزا در رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب با متوسط ۳۷۴/۴۸ و ۳۹۶/۸۹ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. کمترین عملکرد دانه نیز در تیمارهای شاهد همراه با رژیم‌های آبیاری بعد از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب با متوسط ۱۹۲/۷۴ و ۱۳۸/۸۳ کیلوگرم در هکتار ثبت شد. در این تحقیق هرچند با افزایش شدت تنش کم‌آبی از عملکرد دانه کاسته شد اما در کلیه رژیم‌های آبیاری استفاده از کودهای زیستی به‌صورت معنی‌داری بر عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد افزود. اعمال تنش کم‌آبی از طریق کاهش سطح برگ‌ها و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، تولید و عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر در اجزای عملکرد ازجمله تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر و تعداد دانه در چترک، وزن هزار دانه شده و درنهایت عملکرد دانه کاهش نشان خواهد داد. یکی از اثرات مثبت استفاده از کودهای زیستی افزایش طول دوره رشد و طول دوره پر شدن دانه و همچنین ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی در گیاه است که موجب افزایش عملکرد نهایی می‌شوند، بنابراین می‌توان اظهار داشت فراهمی مواد غذایی موردنیاز گیاه در تیمارهای استفاده از کودهای زیستی موجبات افزایش عملکرد دانه را فراهم نموده‌اند (Salimi and Hamzei, 2014). در مطالعه‌ای بر روی گیاه دارویی زنیان بالاترین عملکرد دانه در تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا +Azotobacter+ Pseudomonas + گزارش شد. این افزایش عملکرد به تأثیر مثبت کودهای زیستی بر روابط آبی گیاه میزبان، چرخه مواد غذایی و در دسترس قرار دادن و افزایش جذب عناصر غذایی نسبت داده شد (Rezae Chiyaneh et al., 2015). در مطالعه پور یوسف و همکاران (Pouryousef, 2015) تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک، تعداد دانه در چتر، درصد و عملکرد اسانس کاست که همسو با نتایج تحقیق حاضر است. در مطالعه زمانی و همکاران (Zamani et al., 2019) کاربرد تلفیقی کود زیستی باکتریایی+ قارچ میکوریزا نسبت به شاهد عملکرد دانه را به میزان ۲۱/۵۲ درصد افزایش داد. در تحقیقی بر روی گیاه دارویی ماریتیغال بیشترین عملکرد دانه از تیمار قارچ میکوریزا به دست آمد که با تیمار شاهد ۱۱۷ درصد اختلاف نشان داد (Yadegari et al., 2017).

درصد اسانس

نتایج مقایسات میانگین حاکی از آن بود که کاربرد مایکوریزا در دو رژیم آبیاری بعد از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب با متوسط ۱۱/۲۵ و ۹/۷۵ بالاترین درصد اسانس را به خود اختصاص دادند، کمترین مقدار این صفت نیز با متوسط ۲/۷۵ به تیمار شاهد و استفاده از ازتوباکتر در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر اختصاص یافت. در این مطالعه تنش کم-آبی بر درصد اسانس در گیاه رازیانه افزود همچنین استفاده از میکوریزا در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ و ۹۰ و همچنین استفاده از میکوریزا و ازتوباکتر در رژیم‌های آبیاری بعد از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر به‌صورت معنی‌داری بر درصد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد کود زیستی افزود. می‌توان اظهار داشت کاربرد ازتوباکتر و تلقیح با قارچ همزیست میکوریزا در این مطالعه از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، سبب بهبود فتوسنتز گیاهی شده که درنتیجه به دلیل تأثیر مثبت بر رشد رویشی و زایشی گیاه درنهایت منجر به افزایش درصد اسانس در گیاه رازیانه شده است (Deepika et al. 2015). در این بررسی میکوریزا و ازتوباکتر اثر مثبتی بر درصد اسانس گیاه رازیانه نشان دادند. ازآنجایی‌که اسانس‌ها ترکیب‌هایی ترپنوئیدی بوده که ترکیبات سازنده آن‌ها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتنیل پیروفسفات (IPP) و دی متیل آلیل پیروفسفات (DMAPP) نیاز ضروری به ATP دارند و با توجه به این موضوع که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل

ترکیب‌های مذکور ضروری است، ازاین‌رو کودهای زیستی قارچی و باکتریایی از طریق اثرات مثبتی که بر روی فعالیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم و تثبیت-کننده نیتروژن و سایر میکروارگانیسم‌های مفید در خاک می-گذارد، امکان دسترسی مطلوب به عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف را توسط گیاه دارویی رازیانه فراهم ساخته و متعاقب آن می‌تواند در بهبود میزان اسانس مؤثر باشد. افزایش درصد اسانس گیاهان دارویی در واکنش به تنش کم‌آبی در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Bannayan et al., 2008) در مطالعه یونسیان و همکاران (Yonesian et al., 2013) بالاترین درصد اسانس گیاه رازیانه در تیمار ترکیبی کود گاوی و کود زیستی میکوریزا گزارش شد. گزارش شده است که تلقیح با میکوریزا خصوصیات کمی و کیفی و اسانس در گیاه دارویی انیسون بهبود داد (Masomi Zavarian et al., 2015). در مطالعه‌ای دیگر کاربرد قارچ G. interradices همراه با محلول‌پاشی بیوفسفر بالاترین درصد اسانس را در گیاه زیره سبز به خود اختصاص داد (Haghir Ebrahimabadi et al., 2018).

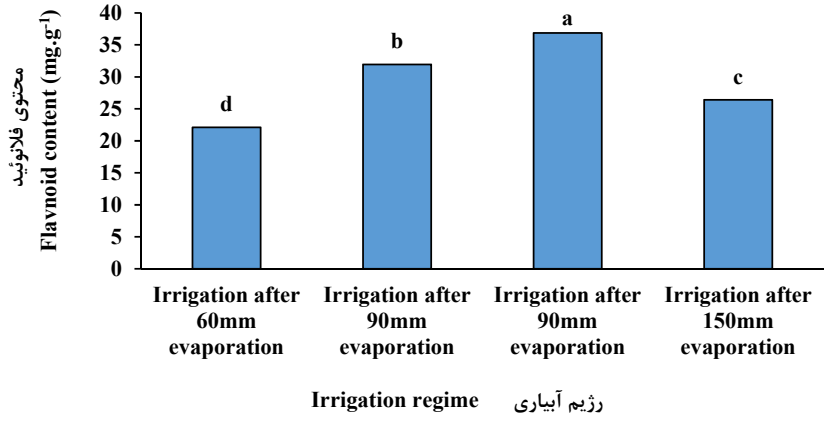
فنل کل

نتایج مقایسات میانگین نشان داد کاربرد مایکوریزا، تیمار شاهد و کاربرد ازتوباکتر در رژیم آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر به ترتیب با متوسط ۵۰/۳۷، ۵۲/۳۰ و ۴۹/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بالاترین و تیمار شاهد کود زیستی در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر با متوسط ۳۲/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کمترین مقدار صفت مذکور با به خود اختصاص داد. در این مطالعه کاربرد میکوریزا و ازتوباکتر در رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر کاربرد هر سه تیمار کود زیستی و در رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر محتوی فنل کل را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. ازجمله مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان تحت تنش خشکی، افزایش سطوح ترکیبات فنلی است، چراکه این‌گونه ترکیبات به‌عنوان پالاینده‌های گونه‌های واکنشگر اکسیژن عمل کرده و درنتیجه سبب ثبات غشاهای سلولی و مانع از پراکسیداسیون لیپیدها می‌شوند (Blokhina et al. 2013).

محققان بیان کردند که غلظت‌های بالای فنل در برگ، به نقش کودهای زیستی در بیوسنتز موادی که القاکننده مسیر شیکمیک اسید و درنتیجه تولید بیشتر فلاونوئیدها و فنلی برمی‌گردد (Sousa et al. 2008; Naguib et al., 2012).

فلاونوئید

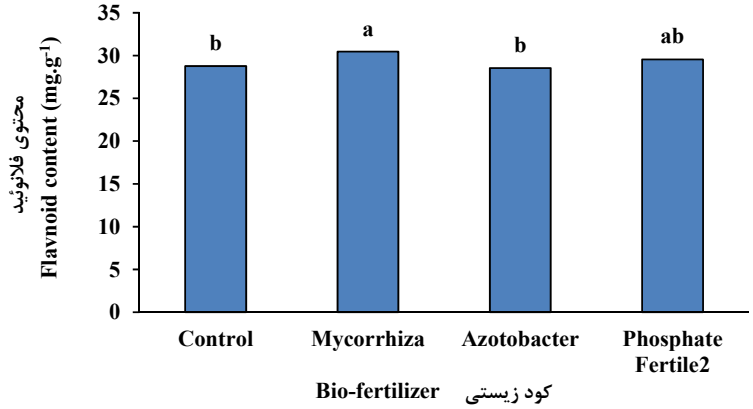
نتایج نشان داد یا افزایش شدت تنش کم‌آبی از رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به ۱۲۰ به‌صورت معنی‌داری بر محتوی فلاونوئید افزوده شد، افزایش شدت تنش کم‌آبی از رژیم آبیاری ۱۲۰ به ۱۵۰ از مقدار فلاونوئید کاست ولی این مقدار نسبت به رژیم آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به‌صورت معنی‌داری بالا بود (شکل ۳).



شکل ۳ مقایسه میانگین اثر تیمارهای رژیم آبیاری بر محتوی فلاونوئید رازیانه

Fig. 3. Mean Comparison of the effect of irrigation regime treatments on the biological yield of Flavnoid content

در بین تیمارهای کود زیستی استفاده از مایکوریزا بالاترین و تیمار شاهد و ازتوباکتر کمترین مقدار فعالیت فلاونوئید را به خود اختصاص دادند (شکل ۴). در تحقیق تحت عنوان تأثیر قارچهای میکوریزا بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاه دارویی زوفا سلیمانی و پیرزاد (Soleymani and Pirzad2, 2016) نشان دادند که گونه-های میکوریزا با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجب افزایش پایداری غشاء سلولی شده و اثر تنش کم‌آبی را تعدیل کردند.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر تیمارهای کود زیستی بر محتوی فلاونوئید رازیانه

Fig. 4. Mean Comparison of the effect of bio fertilizer treatments on the biological yield of Flavnoid

نتیجه‌گیری نهایی

در این تحقیق بین رژیم آبیاری بعد از ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر ازلحاظ اثر بر عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار دیده نشد، همچنین مناسب‌ترین خصوصیات کمی و کیفی رازیانه در رژیم آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر کسب شد، بنابراین دور آبیاری مذکور جهت دستیابی به حداکثر خصوصیات کمی و کیفی رازیانه در منطقه موردبررسی قابل توصیه است، در این بررسی استفاده از هر سه تیمار کود زیستی میکوریزا، ازتوباکتر و فسفاته بارور ۲ در کلیه رژیم‌های آبیاری و استفاده از میکوریزا و ازتوباکتر در رژیم‌های آبیاری بعد از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر به‌صورت معنی‌داری بر عملکرد دانه و درصد اسانس افزود، می‌توان اظهار داشت کاربرد کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر هم در شرایط آبیاری نرمال و هم در شرایط تنش کم‌آبی می‌توانند خصوصیات کمی و کیفی رازیانه را بهبود بخشیده و در شرایطی کم‌آبی جایگزین قسمتی از آب مصرفی شده و در مصرف آب صرفه‌جویی کنند.

منابع

Auge, R.M., Toler, H.D., Saxton, A.M., 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. Mycorrhiza. 25, 13-24.

Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L., Rastgoo, M., 2008. Yield and seed quality of *Plantago vate* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Industrial Crops and Products. 27, 11-16.

Blokhina, O., Virolainen, E., Fagerstedt, K., 2013. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. Annals of Botany. 91, 179- 194.

Dadni, M. 2016. Relation of water deficit stress and biofertilizer on some of antioxidant enzymes activity and their role on grain yield variation in barley (*Hordeum vul*gare). Journal of Plant Ecophysiology. 10, 1-10. [In Pesian with English summary].

Darzi, M.T., Ghalavand, A., Rejali, F., Sefidkon, F., 2006. Effects of biofertilizers application on yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of

Medicinal and Aromatic Plants. 22, 276-292. [In Pesian with English summary]

Deepika, S., Kothamasi, D., 2015. Soil moisture--a regulator of arbuscular mycorrhizal fungal community assembly and symbiotic phosphorus uptake. Mycorrhiza. 25, 67-75.

Fasusi, O.A., Cruz, C., Babalola, O.O., 2021. Agricultural sustainability: Microbial biofertilizers in rhizosphere management. Agriculture. 11, 163.

Gholami, A., Akbari,I., Abbas Dokht, H., 2015. Study the effects of bio and organic fertilizers on growth characteristics and yield of Fennel (*Foeniculum vulgare*). Journal of Agroecology. 2, 215-224. [In Pesian with English summary]

Gorgini Shabankare, H., Fakheri, B.A., Mohammadpour Vashvaei, R., 2017. Effect of bio-fertilizers on growth, grain and essential oil yield of Fennel (*Foeniculum v*ulgare Mill.) under drought stress. Journal of Agroecology. 9, 50-62. [In Pesian with English summary]

Haghir Ebrahimabadi, A., Hatami, M., Karimzadeh Asl, K., Ghorbanpour, M. 2018. Effect of mcorrhizal fungi and biophosphor fertilizer on growth features, yield and yield components, and essntial oil constituents in *Cuminum cyminum* L. Journal of Medicinal Plants. 17,74-90. [In Pesian with English summary].

Heidari, N., Pouryousef, M., Tavakkoli, A. Saba, J., 2012. Effect of drought stress and harvesting date on yield and essential oil production of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 28, 121-130. [In Pesian with English summary]

Hosseinzadeh Namin, P., 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 vulgar* Mill.). Iranian journal of plant research. 27, 592-604. [In Pesian with English summary]

Inanloofar, M., Omidi, H., Pazoki, A., 2013 Morphological, agronomical changes and oil content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and biological/chemical fertilizer of nitrogen. Journal of Medicinal Plants. 12, 170-184.

Jahan, M., Mahallati, N., 2012. Soil fertility and biofertilizers (ecological rehabilitation). Ferdowsi University of Mashhad Publications. 250 p. [In Pesian with English summary]

Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgar* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P fertilizer. Bioresource Technology. 93, 307-311.

Koide, R.T., Mosse, B., 2004. A history of research on arbuscular mycorrhiza. Mycorrhiza. 14, 145-163.

Kumar, R., Kumawat, N., Sahu, Y. K., 2017. Role of biofertilizers in agriculture. Popular Kheti, 5, 63-66.

Masomi Zavarian, A., Yousefirad, M., Asghari, M., 2015. Effects of mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative characteristics of Anise plant (*Pimpinella anisum*) under salt stress. Journal of Medicinal Plants. 14, 139-148. [In Pesian with English summary].

Mohamadi, A., Asghari, H.R., Gholami, A., 2013. Use of biological fertilizer (mycorrhizal fungi) on phosphorus availability in cicer (*Cicer arietinum* L.). Iranian Agronomic Research. 11(4), 658-665. [In Pesian with English summary].

Mohammadi, Kh., Khalesro, Sh., Sohrabi, Y., Heidari, Gh., 2011. A Review: Beneficial effects of the mycorrhizal fungi for plant growth. Applied Environmental and Biological Sciences. 1, 310-319.

Mrozikiewicz, P.M., Bogacz, A., Karasiewicz, M., Mikolajcza, P.L., Ozarowski, K.M., SeremakMrozikiewicz, A., Czerny, B., BobkiewiczKozlowska, T., Grzeskowiak, E., 2010. The effect of standardized Echinacea purpurea extract on rat cytochrome P450 expression level. Phytomedicine. 17, 830-833.

Naguib, A.M., El-Baz, F.K., Salama, Z.A., Hanaa, A.B., Hanaa, F.A., Gaafar, A.A., 2012. Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of Broccoli (*Brassica olaracea* var. Italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 11, 135-142.

Pouryousef, M., 2015. Effects of terminal drought stress and harvesting time on seed yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), Journal of Medicinal and Aromatic Plant. 20, 890-897. [In Pesian with English summary]

Pouryousef, M., Tavakoli, A., Maleki, M., Barkhordari, K., 2012. Effects of drought stress and harvesting time on grain yield and its

components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). National Congress on Medicinal Plants, Kish Island, 16-17 May: 315. [In Pesian with English summary]

Rezaei Chianeh, I., Jalilia, J., Ebrahimian, E., Mohammad Sidi, S., 2015. The effect of biofertilizers on quantitative and qualitative yield of Bacillus lentus at different levels of irrigation. Journal of Crops Improvement. 17, 775-788. [In Pesian with English summary]

Soleymani, F., Pirzad, A.R., 2016. The effect of mycorrhizal fungi on the oxidant enzymes activity in the medicinal herb, hyssop, under water deficit conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 31, 1013-1023. [In Pesian with English summary].

Sousa, C., Pereira, D.M., Pereira, J.A., Bento, A., Rodrigues, M.A., Dopico Garcıa, S., Valenta, O.P., Lopes, G., Seabra, R.M., Andrade, P.B., 2008. Multivariate analysis of tronchuda cabbage (*Brassica oleracea* L. var. costata DC) phenolics: influence of fertilizers. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56, 2231-2239.

Tian, M., Chen, Y.L., Li, M., Liu, R.J., 2013. Structure and function of arbuscular mycorrhiza: a review. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 24, 2369-2376.

Tripathi, S., Mishra, S. K., Varma, A., 2017. Mycorrhizal fungi as control agents against plant pathogens. In: Varma, A., Prasad, R., Tuteja, N. (eds.), Mycorrhiza - Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration. Springer, Cham. pp. 161-178. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1_8

Yadegari, H., Khammari, I., Salari, M., Fakheri, B. A., Rahimi, M., Bidarnamani, F., 2017. Effects of different fertilizers and their combination on some quantitative and qualitative characteristics of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 32, 1010-1025. [In Pesian with English summary]

Yonesian, A., Rezvani Mogadam, P., Gholami, A., 2013. The effect of organic, biological and chemical fertilizers application on the quantity and quality of essential oil of *Foeniculum vulgare* (Fennel). Plant production technology. 2, 63-72. [In Pesian with English summary]

Zamani, F., Amirnia, R., Rezaei-Chiyaneh, E., Rahimi, A., 2019. The Effect of bacterial bio-fertilizers and mycorrhizal fungi on seed yield and chemical composition of essential oil from three fennel landrace. Crops Improvement. 20, 831-848. [In Pesian with English summary]