University of Birjand

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

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 4, pp. 1029-1042 (Winter 2024)

https://doi.org/10.22077/ESCS.2023.5268.2130

Original article

Effect of mycorrhiza fungus (*Glomus mosseae*) and growth-promoting bacteria (Azospirillum) on agronomical and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgar*) under drought stress in two habitats of Fars province

A. Alipour[1], M.M. Rahimi[1*], S.M. Hosseini[2], A. Bahrani[3]

1. Department of Agronomy, Yasouj Branch, Islamic Azad University, Yasouj, Iran
2. Associated Professor, Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran
3. Department of Agronomy, Ramhormoz Branch, Islamic Azad University, Ramhormoz, Iran

Received 20 April 2022; Accepted 22 June 2022

Extended abstract

Introduction

Fennel (*Foeniculum vulgar* Mill) is one of the most important medicinal plants of the Umbelliferae family, which is cultivated mainly for the use of seeds and essential oils in various pharmaceutical, food and cosmetic industries (Norouzi Shahri et al., 2015). The medicinal plant of fennel in Iran is widely distributed in the regions of Khorasan, Tehran, Gorgan, Mazandaran, Kurdistan, Kerman, Gilan and Tabriz, and grows up to three meters above sea level. Plants face a variety of biological and non-biological stresses during growth. Drought stress is one of the most important abiotic stresses that reduces growth and yield in many crops and medicinal plants (Kabiri et al., 2014; Bahrani et al., 2013). Mycorrhizal fungi have several functions in the ecosystem of crops; so that it improves the physical quality of the soil, the chemical quality of the soil and the biological quality of the soil. Mycorrhiza has been reported to increase biomass, essential oil content, and ultimately essential oil function in medicinal plants (Hatami and Ghorbanpour, 2016; Ghorbanpour et al., 2014). The use of biofertilizers including Azotobacter, Azospirillium and phosphate-soluble bacteria has significant effects on the essential oil of marjoram. Growth-promoting bacteria may accumulate in the rhizosphere, root surface, or even the intracellular space of plants (Zafari et al., 2018; Bahrani et al., 2010). In general, the aim of this study was to investigate the effect of application of mycorrhiza and growth-promoting bacteria Azospirillum under drought stress on morphological traits and fennel essential oil in Zarghan and Kodian regions that have different climatic conditions.

Materials and methods

An experiment was carried out to investigated the effect of mycorrhiza (*Glomus mosseae*) and growth promoting bacteria (Azospirillum) in drought stress on agronomic and biochemical characteristics of Foeniculum vulgar, in 2019-2020 crop season in two regions (Kodian, Zarghan) of Shiraz, Fars province, Iran. The experiment was done as a factorial split plot in a randomized complete blocks design with three replications. Main plots were drought stress at three levels: 30% (control), 60% and 90% field capacity and sub-plots were mycorrhiza, at two levels (no inoculation, and seed inoculation with Fungal) and also *Azospirillum* at two levels (no inoculation and seed inoculation with bacteria).

* Corresponding author: Mohammad Mehdi Rahimi; E-Mail: m.rahimi1351@yahoo.com

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and discussion
The results showed that inoculation of *Glomus mosseae* and *Azospirillum* had significant effect on grain yield, biological yield, thousand seed weight, plant height, number of umbrellas per plant, essential oil yield and percentage in both regions and improved the negative effects of drought stress. The highest seed yield in both places belonged to the treatment of 30% field capacity with inoculation of mycorrhiza and *Azospirillum*. Mycorrhiza and *Azospirillum* reduced the negative effects of drought stress and increased all morphological and biochemical characteristics.

Conclusion
In general, interaction of mycorrhiza and Azospirillum consumption in no drought stress can be suggested to maximize morphological and biochemical characteristics of Fennel under the same weather conditions of the study.

Keywords: Biologic yield, Essential oil yield, Growth-promoting bacteria, Inoculation with fungi, Number of umbrellas per plant

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5268.2130

مقاله پژوهشی

تأثیر میکوریزا و آزوسپرلیوم بر خصوصیات زراعی و اسانس گیاه رازیانه در شرایط تنش خشکی در دو منطقه استان فارس

عالیه علی‌پور[۱]، محمدمهدی رحیمی[۲*]، سیدماشاالله حسینی[۳]، عبدالله بحرانی[۴]

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۲. استادیار گروه زراعت، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۳. دانشیار گروه تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس
۴. استادیار گروه زراعت، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
باکتری محرک رشد
تعداد چتر در بوته
تلقیح با قارچ
عملکرد اسانس
عملکرد زیستی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۱/۳۱
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۴/۰۱
تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۲
۱۶(۴): ۱۰۲۹-۱۰۴۲

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر میکوریزا (*Glomus mosseae*) و باکتری محرک رشد (*Azospirillum*) در شرایط تنش خشکی بر خصوصیات زراعی و بیوشیمیایی گیاه رازیانه تحقیقی در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در دو منطقه کودیان و زرقان از توابع شیراز در استان فارس انجام گرفت. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی تنش خشکی در سه سطح ۳۰ (شاهد)، ۶۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و فاکتور فرعی میکوریزا *Glomus mosseae* در دو سطح عدم تلقیح و تلقیح با قارچ و فاکتور فرعی دیگر شامل باکتری محرک رشد *Azospirillum* در دو سطح عدم تلقیح و تلقیح بذر با باکتری بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد تلقیح بذر با میکوریزا *Glomus mosseae* و باکتری محرک رشد *Azospirillum* توانست در هر دو منطقه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی، عملکرد اسانس، میزان اسانس، ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته و وزن هزار دانه داشت و اثرات تنش خشکی را بهبود بخشید. بیشترین میزان عملکرد در هر دو مکان متعلق به تیمار ۳۰٪ ظرفیت مزرعه در تلقیح با قارچ و باکتری محرک رشد بود. تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد در شرایط تنش خشکی نیز باعث افزایش عملکرد دانه در دو منطقه زرقان و کودیان به ترتیب ۳۲/۴ و ۳۱/۸ درصد گردید. بر اساس یافته‌های تحقیق، تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد در شرایط بدون تنش و شرایط تنش ملایم برای نقاطی مشابه با شرایط آب و هوایی منطقه موردمطالعه می‌تواند موردتوجه قرار گیرد.

مقدمه

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی از خانواده چتریان است که عمدتاً به‌منظور استفاده از دانه و اسانس حاصل از آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی و آرایشی بهداشتی کشت می‌شود (Norouzi Shahri et al., 2015). گیاه دارویی رازیانه در ایران پراکندگی وسیعی در مناطق خراسان، تهران، گرگان، مازندران، کردستان، کرمان، گیلان و تبریز دارد و تا ارتفاع ۲۱۰۰ متری از سطح دریا به‌طور خودرو رشد می‌کند (Dadashi Jomayran et al., 2018).

گیاهان در دوران رشد با انواعی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی مواجه می‌شوند. تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی به شمار می‌رود که سبب کاهش رشد و عملکرد در بسیاری از گیاهان زراعی و دارویی می‌گردد (Kabiri et al., 2014; Bahrani et al., 2013). محققان

* نگارنده پاسخگو: محمدمهدی رحیمی. پست الکترونیک: m.rahimi1351@yahoo.com

متوسط کاهش عملکرد سالانه را در اثر تنش خشکی در جهان ۱۷٪ ذکر کرده‌اند که می‌تواند تا بیش از ۷۰٪ در سال افزایش یابد که بسیاری از گیاهان زراعی و دارویی، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا را شامل می‌شود (Liu et al., 2015; Zafari et al., 2018).

قارچ‌های میکوریزا دارای کارکرد چندمنظوره‌ای در بوم نظام‌های زراعی هستند؛ به‌طوری‌که سبب بهبود کیفیت فیزیکی خاک (از طریق گسترش ریسه‌های قارچ)، کیفیت شیمیایی خاک (از طریق افزایش جذب عناصر غذایی) و کیفیت بیولوژیک خاک (از طریق شبکه غذایی خاک) می‌گردند. گزارش شده است که میکوریزا، سبب افزایش زیست‌توده، میزان اسانس و در نهایت عملکرد اسانس در گیاهان دارویی می‌شود (Hatami and Ghorbanpour, 2016; Ghorbanpour et al., 2014). علی‌پور و همکاران (Alipour et al., 2021) نشان دادند تلقیح رازیانه با میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار میزان عملکرد دانه، قدرت همزیستی ریشه آن گردید. استفاده از باکتری‌های آزوسپریلیوم و میکوریزا به‌عنوان کود زیستی در افزایش کارایی کودهای نیتروژن و فسفر و درنتیجه بهبود رشد چندین گیاه زراعی گزارش شده است (Bibiani et al., 2019). بر اساس گزارش ثقه‌الاسلامی و همکاران (Seghatoleslami et al., 2014) استفاده از کودهای زیستی شامل ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر میزان اسانس گیاه مرزنجوش اثرات قابل‌توجهی دارد. باکتری‌های محرک رشد ممکن است در ریزوسفر، سطح ریشه یا حتی فضای درون‌سلولی گیاهان تجمع یابند (Zafari et al., 2018). سوهاگ (Suhag, 2016) بیان داشت که حضور کودهای زیستی باعث بهبود خصوصیات خاک نظیر محتوای ماده آلی و افزایش دسترسی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر ریزمغذی می‌گردد. قارچ‌های مایکوریزا به‌عنوان کود زیستی دارای کارکردهای چندمنظوره‌ای ازجمله افزایش دسترسی عناصر غذایی به ریشه، گسترش ناحیه جذب ریشه (Ziani et al., 2017)، افزایش فتوسنتز، افزایش کارایی مصرف آب در گیاه میزبان، افزایش مقاومت به تنش خشکی و شوری، افزایش مقاومت گیاه میزبان به آفات و بیماری‌ها، افزایش محتوای کلروفیل، تسریع در گلدهی گیاه میزبان، بهبود ساختمان خاک، افزایش قدرت رقابت گیاه میزبان در مقابل علف‌های هرز، تشدید فعالیت باکتری‌های ریزوبیوم و آزوسپیریلوم در بوم نظام‌های زراعی هستند (Kanwal et al., 2015).

ازطرفی باکتری‌های محرک رشد نیز جزو کودهای زیستی محسوب می‌شوند که از اهمیت ویژه‌ای در افزایش محصول و حفظ حاصلخیزی خاک برخوردار می‌باشند. باکتری‌های جنس ریزوبیوم، ازوتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس از مهم‌ترین باکتری‌های رشد گیاه می‌باشند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر خاک با تولید مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به‌ویژه انواع اکسین و دیگر هورمون‌ها مانند جیبرلین و سیتوکینین، رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Stefan et al., 2013; Moustaine et al., 2017).

با توجه اهمیت گیاه دارویی رازیانه و مصرف گسترده آن در صنایع داروسازی، غذایی و آرایشی بهداشتی، این پژوهش با هدف بررسی کاربرد قارچ میکوریزا و باکتری محرک رشد Azospirillum در شرایط تنش خشکی بر ویژگی‌های زراعی و میزان اسانس گیاه رازیانه در دو منطقه که دارای شرایط آب و هوایی متفاوت بودند، انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و در دو منطقه کودیان در ۵۷ کیلومتری شمال‌غربی شیراز (۵۲ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی) در ارتفاع ۲۲۱۳ متری از سطح دریا و زرقان در ۲۵ کیلومتری شمال شیراز (۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و ۲۹ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی) در ارتفاع ۱۵۹۶ متری از سطح دریا از توابع بخش مرکزی شهرستان شیراز در استان فارس ایران به اجرا درآمد. اطلاعات هواشناسی در طول دوره آزمایش در دو منطقه موردبررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به اطلاعاتی که قبل از آزمایش به دست آمد، دو منطقه ازنظر شرایط آب و هوایی و خاکی دارای اختلاف بودند، لذا جهت بررسی خصوصیات رشدی گیاه رازیانه در دو شرایط متفاوت، این دو منطقه انتخاب گردید. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام گرفت. تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح ۳۰ (شاهد)، ۶۰ و ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه و عامل فرعی میکوریزا، *Glomus mosseae* در دو سطح عدم تلقیح و تلقیح با قارچ و باکتری محرک رشد Azospirillum در دو سطح عدم تلقیح و تلقیح بذر با باکتری بودند. قبل از انجام

آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک به‌طور تصادفی نمونه‌برداری انجام شد و خصوصیات فیزیکی و شیمایی خاک محل آزمایش تعیین شد (جدول ۲). در اوایل بهار در زمینی که سال قبل به‌صورت آیش بود، عملیات شخم و دو دیسک عمود بر هم صورت گرفت. به‌منظور اجرای آزمایش، کرت‌هایی به ابعاد ۴×۲ مترمربع ایجاد شد. در هر کرت ۴ پشته به فاصله ۵۰ سانتیمتر از یکدیگر ایجاد شد و بذرها رازیانه به فاصله ۲۵ سانتیمتر روی ردیف‌ها در عمق ۳-۲ سانتی‌متر، در تاریخ ۱۷ فروردین‌ماه در منطقه زرقان و ۳ اردیبهشت‌ماه با توجه به سردسیر بودن منطقه کودیان، کشت انجام گرفت. فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر، در نظر گرفته شد. مساحت هر کرت فرعی ۸ مترمربع و مساحت هر کرت اصلی ۳۸ مترمربع و فاصله بین تکرارها ۲ متر بود. بین کرت‌های اصلی برای جلوگیری از اختلاط تیمارها، ۲/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. ابعاد هر کرت‌فرعی ۳ مترمربع بود. کوددهی و تغذیه گیاه بر اساس آزمون خاک و نیاز گیاه به میزان ۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره، ۸۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم مورداستفاده قرار گرفت.

جدول ۱. میانگین بارش و دما در ایستگاه هواشناسی نزدیک به دو منطقه موردمطالعه

Table 1. Mean of rain and temperature of weather station near the two research location

منطقه زرقان Zarghan							
اطلاعات هواشناسی Metrological data	اردیبهشت April	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	میانگین Mean
بارندگی(mm) Rainfall (mm)	58.5	0	0	0	0	0	291.6
حداقل دما (°C) Min Temperature (°C)	5	10.2	13	17.4	11.2	1	-8
حداکثر دما (°C) Max Temperature (°C)	31.6	38.6	39.2	41.4	38.4	32.8	41.4
میانگین دما (°C) Mean Temperature (°C)	17.9	25.1	28	29.9	24.2	18.8	16.9
حداقل رطوبت‌نسبی (٪) Min relative humidity (%)	32	19	18	20	22	23	30
حداکثر رطوبت‌نسبی (٪) Max relative humidity (%)	79	53	48	52	58	59	70
میانگین رطوبت نسبی (٪) Mean relative humidity (%)	56	36	33	36	40	41	50
ساعت آفتابی Sunshine (h)	276.5	364.2	352.9	337.3	328.7	303.8	3354.5
منطقه کودیان Kodian							
اطلاعات هواشناسی Metrological data	اردیبهشت April	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	میانگین Mean
بارندگی(mm) Rainfall (mm)	88.8	11.5	0	0	0	0	742.3
حداقل دما (°C) Min Temperature (°C)	4.4	11.3	13.8	18.6	15.7	9.8	-8.4
حداکثر دما (°C) Max Temperature (°C)	27	34.5	34.4	36.2	31.5	29	36.2
میانگین دما (°C) Mean Temperature (°C)	15.9	24.9	26	27.8	23.9	19.2	15.9
حداقل رطوبت‌نسبی (٪) Min relative humidity (%)	24	10	10	11	11	10	20
حداکثر رطوبت‌نسبی (٪) Max relative humidity (%)	68	28	26	32	29	31	52
میانگین رطوبت نسبی (٪) Mean relative humidity (%)	46	19	18	22	20	20	36
ساعت آفتابی Sunshine (h)	285.3	358.8	355.7	342.6	306.3	292.6	3256.7

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو منطقه مورد مطالعه زرقان و کودیان

Table 2. Physical and chemical properties of the soil experimental for the two research locations of Zarghan and Kodian

کودیان Kodian	زرقان Zarghan	خصوصیات خاک Soil Characteristics	
1.45	1.6	شوری	EC (dS m^{-1})
7.5	7.96	عصاره اشباع	pH
8.76	8.12	درصد مواد خنثی شونده	TNV (%)
36	33	درصد رطوبت گل اشباع	Saturation (%)
0.99	0.14	درصد کربن	C (%)
29	17	نیتروژن کل	N (kg ha^{-1})
16.7	11.8	فسفر قابل‌جذب	P (mg kg^{-1})
197	176	پتاسیم قابل‌جذب	K (mg kg^{-1})
30	27	درصد رس	Clay (%)
41	4 6	درصد سیلت	Silt (%)
29	27	درصد شن	Sand (%)
Clay loam	Clay loam	بافت خاک	Soil texture

ظرفیت زراعی خاک (۲۱/۳۲ درصد) با استفاده از دستگاه دیسک صفحه فشاری مشخص شد و سطوح تنش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد این مقدار تعیین شد. به‌منظور تعیین دقیق زمان آبیاری از دستگاه تعیین اندازه‌گیری رطوبت خاک TDR (German, FM-Trime) که درصد حجمی رطوبت خاک را در عمق موردنظر (۴۰ سانتی‌متر) تعیین می‌کند، استفاده شد. تمامی کرت‌ها تا استقرار کامل گیاه در مرحله ۴ برگی در وضعیت یکنواخت آبیاری قرار داشته و بعدازآن تیمارهای متفاوت آبیاری تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه اعمال گردید. با توجه به روش آبیاری که به‌صورت نوار تیپ انجام شده بود راندمان آب ۹۰٪ در نظر گرفته شد. لذا با توجه به مساحت هر کرت حجم موردنیاز برای هر تیمار در هر دور آبیاری محاسبه و با نصب کنتور حجمی میزان آب موردنیاز برای هر تیمار در هر دور آبیاری به دست آمد.

به‌منظور اعمال تیمار باکتری محرک رشد Azospirillum با CFU=۱۰۸ C ml^{-1} در ابتدا میزان بذر موردنیاز برای هر تیمار انتخاب، سپس بذرها درون کیسه‌های پلاستیکی حاوی باکتری محرک رشد *Azospirillum lipoferum* که از مؤسسه تحقیقات آب‌وخاک تهران تهیه شده بود قرار داده شد. برای تسهیل در چسبیدن مایه تلقیح با بذرها، از ۱۰ گرم شکر در ۱۰۰ گرم آب استفاده شد. پس از اطمینان از خیس شدن بذرها توسط محلول آب و شکر، به مدت یک ساعت در مایه تلقیح خیسانده و سپس بذرها دور از نور خورشید خشک گردید و بر اساس نقشه کاشت اعمال شد. میکوریزا (*Glomus mosseae*) به‌صورت پودر شده مخلوط با اسپور قارچ تهیه‌شده از کلکسیون میکروبی مؤسسه تحقیقات آب‌وخاک تهران، به میزان حدود ۲۰ گرم در مترمربع استفاده شد و در عمق سه سانتیمتری در زیر ردیف‌های کاشت، تیمارهای تلقیح میکوریزا انجام گرفت (Akbari and Gholami, 2016). پس از رشد و نمو در هر مرحله پس از حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت آزمایشی به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، نمونه‌برداری از کرت‌ها صورت گرفت و از هر کرت ده بوته به‌طور تصادفی برداشت شد. بذر رازیانه مورداستفاده در این تحقیق نیز، از بخش گیاهان دارویی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس فراهم گردید. به‌منظور مقایسه عملکرد دانه، به هنگام رسیدن دانه‌ها و زردرنگ شدن ساقه‌ها و برگ‌ها از داخل هر کرت، مربعی به ابعاد ۰/۵ مترمربع انتخاب و بوته‌های آن برداشت شد. برای تعیین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. برای تعیین اجزای عملکرد، تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه محاسبه شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، به‌صورت تصادفی از هر کرت ۱۰ بوته انتخاب و ارتفاع آن‌ها را با متر به‌طور دقیق اندازه گرفته و سپس میانگین ارتفاع ۱۰ بوته یادداشت شد.

برای اندازه‌گیری درصد اسانس از روش تقطیر با استفاده از دستگاه کلونجر استفاده شد (Darzi et al., 2008). بدین منظور از هر کرت یک نمونه ۳۰ گرمی از دانه‌ها کاملاً پودر شد به همراه با ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر درون بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتر قرار داده و سه ساعت حرارت داده شد. در اثر حرارت و فشار بخارآب، بافت‌های حاوی اسانس متلاشی و اسانس همراه با بخارآب وارد دستگاه مبرد گردید. در دستگاه مبرد، عمل میعان صورت گرفته و قطرات اسانس درون آب به‌صورت دو فاز مشخص به‌طرف لوله مدرج حرکت کرد که به دلیل سبک‌تر بودن اسانس نسبت به آب، اسانس روی آب تجمع پیدا نموده و آب اضافی از طریق لوله رابط به بالن بازگردانده شد. سپس با استفاده از ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۰۱ میزان اسانس استخراج‌شده اندازه‌گیری گردید. پس از محاسبه درصد وزنی اسانس در دانه‌ها، عملکرد آن در واحد سطح تعیین شد. داده‌های دو منطقه با استفاده از نرم‌افزار

SAS 9.1 مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام پذیرفت. در رابطه با مقایسه میانگین اثرات متقابل، از روش برش دهی استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای منطقه، تنش خشکی، میکوریزا و باکتری محرک رشد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ بر ارتفاع بوته رازیانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۰۵ سانتی‌متر در هر دو مکان متعلق به تیمار ۳۰٪ ظرفیت مزرعه در تلقیح با میکوریزا و باکتری محرک رشد بود. کمترین ارتفاع بوته نیز با میانگین ۸۶ سانتی‌متر مربوط به تیمار تلفیقی ۹۰٪ ظرفیت مزرعه بدون تلقیح قارچ و باکتری در هر دو منطقه بود (جدول ۴ و ۵). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تنش خشکی سبب کاهش ۷ درصدی در ارتفاع بوته در دو منطقه شد و استفاده از تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد ضمن جبران اثرات تنش خشکی، افزایش ارتفاع را در دو منطقه زرقان و کودیان به دنبال داشت.

تعداد چتر در بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳)، تأثیر تیمارهای مکان، تنش خشکی، میکوریزا و باکتری محرک رشد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ بر تعداد چتر در بوته رازیانه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با شدت تنش تعداد چتر در بوته کاهش محسوسی پیدا کرد، به‌طوری‌که بین تیمارهای مختلف تنش ازنظر تعداد چتر در بوته اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده تنش خشکی به‌طور میانگین سبب کاهش تعداد چتر در بوته در دو منطقه شد و استفاده از تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد ضمن جبران اثرات تنش خشکی سبب افزایش ۲۶/۷ و ۲۵/۹ چتر در بوته به ترتیب در دو منطقه زرقان و کودیان شده گردید (جدول ۴ و ۵).

وزن هزار دانه

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳) تأثیر تیمارهای مکان، تنش خشکی، میکوریزا و باکتری محرک رشد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ بر وزن هزار دانه رازیانه معنی‌دار بود. تنش خشکی در مرحلهٔ گلدهی با توجه به حساسیت دانهٔ گرده به کمبود رطوبت، باعث کاهش تعداد دانه و موجب ایجاد بیشترین وزن هزار دانه در هر دو مکان متعلق به تیمار آبیاری شاهد یعنی ۳۰٪ ظرفیت مزرعه در تلقیح با قارچ و باکتری محرک رشد بود. تنش خشکی سبب کاهش وزن هزار دانه در منطقه زرقان و کودیان شد و استفاده از تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد با بهبود اثرات تنش خشکی افزایش وزن هزار دانه را موجب گردید، به‌طوری‌که وزن هزار دانه در دو منطقه زرقان و کودیان به ترتیب ۴/۴۵ و ۴/۹۶ گرم بود (جدول ۴ و ۵).

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد تأثیر تیمارهای مکان، تنش خشکی، میکوریزا و باکتری محرک رشد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در هر دو مکان متعلق به تیمار ۳۰٪ ظرفیت مزرعه در تلقیح با قارچ و باکتری محرک رشد بود. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این است که تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی عملکرد رازیانه را به میزان ۳۵٪ و ۳۰٪ در منطقه زرقان و کودیان کاهش داده است؛ اما استفاده از تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد دانه در دو منطقه زرقان و گردیده است (جدول ۴ و ۵).

عملکرد زیستی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳) تأثیر تیمارهای مکان، تنش خشکی، میکوریزا و باکتری محرک رشد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ بر عملکرد زیستی معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد زیستی در هر دو مکان متعلق به تیمار آبیاری شاهد یا ۳۰٪ ظرفیت مزرعه به همراه تلقیح با قارچ و باکتری محرک رشد بود. بیشترین عملکرد زیستی در منطقه زرقان ۳۶۲۹ و کودیان ۳۸۵۹ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین عملکرد زیستی مربوط به تیمار ۳۰٪ ظرفیت مزرعه بدون تلقیح قارچ و باکتری در هر دو منطقه بود. کمترین عملکرد زیستی در منطقه زرقان ۱۸۴۶ و کودیان ۱۹۸۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴ و ۵).

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب مربوط به صفات موردمطالعه در دو مکان

Table 3. combined Analysis of variance of studied traits for two research location

منابع تغییر S.O.V	df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد چتر در گیاه number of umbrellas per plant	وزن هزار دانه Thousand seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biologic yield	درصد اسانس percentage of essential oil	عملکرد اسانس essential oil yield
منطقه Location (L)	1	51.09**	58.41*	67.29**	64255**	952314**	0.25**	23.7**
تکرار*منطقه L*R	4	2.23	7.36	0.876	2775	45698	0.005	1.10
آبیاری Irrigation (I)	2	95.6**	32.05**	75.43**	47693**	775612**	0.88**	54.3**
منطقه*آبیاری L*I	2	40.7*	9.29 ^{ns}	22.03**	191 ^{ns}	6325 ^{ns}	0.016 ^{ns}	9.2 ^{ns}
تکرار*منطقه*آبیاری L*I*R	8	8.18	3.36	0.019	8540.5	16550	0.09	6.5
قارچ *Glomus mosseae* (G)	1	85.2**	34.72**	13.7**	13228**	289515**	0.012**	8.3**
منطقه * قارچ L*G	1	43.0*	8.26 ^{ns}	8.4**	7726**	230645**	0.007**	2.3**
آبیاری*قارچ G*I	2	60.7**	38.95**	12.5**	23698**	306952**	0.038**	11.6**
منطقه*آبیاری*قارچ L*I*G	2	59.5**	29.69**	13.1**	13297**	266901**	0.009**	7.4**
خطا Error a	12	9.4	3.7	0.02	779	8051	0.001	0.128
باکتری (Azospirillum)(A)	1	62.3**	27.41**	12.9**	65328**	802559**	0.099**	32.1**
منطقه*باکتری L*A	1	41.9**	6.51 ^{ns}	9.2**	26551**	523686**	0.051**	13.5**
آبیاری *باکتری I*A	2	35.8**	42.03**	14.71**	26312**	499065**	0.044**	16.4**
منطقه*آبیاری*باکتری L*A*I	2	42.1**	21.07**	15.8**	9544**	175621**	0.08**	4.2**
قارچ* باکتری G*A	1	39.5**	18.62*	7.43**	10755**	233058**	0.07**	5.6**
منطقه*قارچ*باکتری L*G*A	1	59.8**	7.35 ^{ns}	9.06**	11225**	298604**	0.06**	6.8**
آبیاری*قارچ*باکتری I*G*A	2	72.0**	43.78**	12.55**	88956**	978566**	0.068**	39.2**
منطقه*آبیاری*قارچ*باکتری L*I*G*A	2	38.0**	23.3**	10.79**	46522**	501223**	0.043**	23.1**
خطا Error b	24	9.25	4.94	0.6	65.52	232.1	0.011	0.108
ضریب تغییرات CV%		*9.78*	*26.02*	*16.68*	*7.69*	*8.93*	*0.56*	*0.67*

ns معنی‌دار نیست، *معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، **معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱

ns, *, and **= not significant, significant at P level of 0.05and 0.01, respectively

درصد و عملکرد اسانس

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها تأثیر تیمارهای مکان، تنش خشکی، میکوریزا و باکتری محرک رشد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ بر درصد و عملکرد اسانس رازیانه معنی‌دار بود (جدول ۳). تنش خشکی سبب افزایش ۶۰٪ و ۴۰٪ اسانس رازیانه در منطقه زرقان و کودیان گردید. علاوه بر این استفاده از تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد سبب افزایش میزان اسانس به میزان ۵۸/۴٪ و

۵۵٪ در دو منطقه زرقان و کودیان گردید (جدول ۴ و ۵). همچنین تنش خشکی سبب کاهش ۱۴/۵٪ و ۶/۳٪ میزان عملکرد اسانس رازیانه در منطقه زرقان و کودیان گردید. استفاده از تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد توانست عملکرد اسانس را به میزان ۲۴/۴۹ و ۲۹/۳۲ کیلوگرم در هکتار در دو منطقه زرقان و کودیان افزایش دهد؛ که معادل ۶۷ و ۷۰ درصد افزایش نسبت به شاهد بود (جدول ۴ و ۵).

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش تنش آبیاری، قارچ میکوریزا و باکتری آزوسپریلیوم (به‌صورت برش دهی) بر صفات موردمطالعه در منطقه زرقان

Table 4. Interaction effects of Irrigation, *Glomus mosseae*, bacteria (Azospirillum) on characteristics study In Zarghan region

		ارتفاع گیاه Plant height		تعداد چتر در گیاه Number of umbrellas per plant		وزن هزار دانه Thousand seed weight		عملکرد دانه Seed yield	
		A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1
		---------cm---------				----------g---------		------$kg.h^{-1}$------	
I_0	G_0	92.2^{c}	100.8^{a}	19.8^{b}	24.8^{a}	3.6^{b}	4.09^{a}	935.9^{b}	1045.7^{b}
	G_1	97.9^{b}	105.4^{a}	25.1^{a}	26.7^{a}	4.26^{a}	4.45^{a}	1133.8^{ab}	1256.4^{a}
I_1	G_0	89.2^{cd}	96.8^{b}	15.2^{c}	19^{b}	3.32^{c}	3.64^{b}	760.5^{c}	804^{c}
	G_1	94^{b}	99.1^{ab}	18.7^{b}	20.4^{b}	3.8^{b}	3.68^{b}	950.4^{b}	1046.5^{b}
I_2	G_0	85.7^{d}	93.7^{bc}	12.8^{d}	14.6^{c}	2.92^{d}	3.26^{c}	515.4^{e}	606.7^{d}
	G_1	90.5^{c}	93.3^{bc}	15.4^{c}	15^{c}	3.47^{b}	3.62^{b}	659.3^{d}	685.4^{d}

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

		عملکرد زیستی Biologic yield		درصد اسانس percentage of essential oil		عملکرد اسانس Essential oil yield	
		A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1
		-----$kg.h^{-1}$----		--------- % ---------		------$kg.h^{-1}$------	
I_0	G_0	2796^{b}	3076^{b}	1.19^{f}	1.43^{e}	11.12^{e}	14.95^{c}
	G_1	3201^{b}	3629^{a}	1.66^{e}	1.95^{d}	18.82^{b}	24.49^{a}
I_1	G_0	2580^{c}	2962^{b}	1.44^{e}	1.83^{d}	10.94^{e}	14.71^{c}
	G_1	3094^{b}	3365^{ab}	1.9^{d}	2.22^{c}	18.05^{b}	23.23^{a}
I_2	G_0	1846^{d}	1855^{d}	1.9^{d}	2.3^{e}	9.79^{e}	13.95^{d}
	G_1	1898^{d}	1887^{d}	2.5^{b}	2.83^{a}	16.48^{c}	19.39^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نیستند

A_0: *Azospirillum* عدم تلقیح با باکتری، A_1: Azospirillum تلقیح با باکتری، G_0: *Glomus mosseae* عدم تلقیح با باکتری، G_1: *Glomus mosseae*تلقیح با باکتری، I_0:آبیاری بعد از ۳۰٪ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد)، I_1:آبیاری بعد از ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه، I_2: آبیاری بعد از ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه.

Averages with common letters in each column do not have a significant difference at the five percent probability level.

A0: *Azospirillum* not inoculated with bacteria, A1: *Azospirillum* inoculated with bacteria, G0: *Glomus mosseae* not inoculated with bacteria, G1: *Glomus mosseae* inoculated with bacteria, I0: irrigation after 30% of the field capacity (control), I1: irrigation after 60% of the field capacity, I2: irrigation after 90% of the field capacity.

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد و میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه، عملکرد زیستی، عملکرد اسانس، درصد اسانس، ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته و وزن هزار دانه در گیاه رازیانه هر دو منطقه زرقان و کودیان شد. با کاهش میزان آب مصرفی و به‌تبع آن بروز تنش خشکی از عملکرد دانه رازیانه بیش از ۳۰٪ کاسته شد، اما با به‌کارگیری میکوریزا و باکتری محرک رشد به‌ویژه در سطوح بالای تنش خشکی می‌توان از بروز اثرات سوء تنش بر عملکرد تولیدی این گیاه کاسته شد. به‌طوری‌که استفاده از تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد علاوه بر جبران کمبودهای ناشی از تنش خشکی در گیاه رازیانه سبب افزایش بیش از ۳۰٪ عملکرد گیاه در دو منطقه زرقان و کودیان گردید. در پژوهشی که توسط موقتیان و همکاران

(Mowaghatian et al., 2014) روی گیاه رازیانه انجام شد، مشخص گردید استفاده از کود زیستی فسفر منجر به افزایش اسانس دانه و عملکرد اسانس شد. تلقیح بذر گیاه دارویی رازیانه با باکتری‌های Bacillus و Azospirillum باعث افزایش میزان ترکیبات اسانس رازیانه شد (Delfi et al., 2022). در تحقیقی دیگر حیدرزاده و همکاران (Heidarzadeh et al., 2021) نشان دادند تلقیح ریشه گیاه دارویی بادرنجبویه با میکوریزا به‌طور قابل‌توجهی، عملکرد اسانس و عملکرد زیستی را افزایش داد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش آبیاری، قارچ میکوریزا و باکتری آزوسپریلیوم (به‌صورت برش دهی) بر صفات موردمطالعه در منطقه کودیان

Table 5 -Interaction effects of Irrigation, *Glomus mosseae*, bacteria (Azospirillum) on characteristics study In Kodian region

		ارتفاع گیاه Plant height		تعداد چتر در گیاه Number of umbrellas per plant		وزن هزار دانه Thousand seed weight		عملکرد دانه Seed yield	
		A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1
		------cm------				----------g----------		-----kg.h^{-1}------	
I_0	G_0	91.7^{d}	104.6^{b}	20.3^{b}	25.3^{a}	3.79^{c}	4.32^{b}	854.6^{d}	1055^{c}
	G_1	100.3^{c}	111.8^{a}	25.9^{a}	27.4^{a}	4.57^{ab}	4.96^{a}	1162.7^{b}	1364.1^{a}
I_1	G_0	88.5^{e}	98.8^{c}	15.8^{c}	18.9^{b}	3.38^{d}	3.92^{c}	706.2^{d}	764.1^{d}
	G_1	95.2^{cd}	103.4^{b}	19.2^{b}	22^{b}	4.03^{c}	4.43^{b}	822.4^{d}	1096.3^{bc}
I_2	G_0	84.1^{e}	89.5^{de}	13.3^{d}	16.1^{c}	3.17^{d}	3.67^{c}	590.3^{e}	622.5^{e}
	G_1	87^{e}	93.4^{d}	16.3^{c}	16.2^{c}	3.82^{c}	4.1^{bc}	714.6^{d}	784.1^{d}

Table 5. Continued **جدول ۵. ادامه**

		عملکرد زیستی Biologic yield		درصد اسانس percentage of essential oil		عملکرد اسانس Essential oil yield	
		A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1
		-----kg.h^{-1}----		--------- % ---------		------kg.h^{-1}------	
I_0	G_0	2956^{c}	3474^{ab}	1.3^{e}	1.6^{d}	11.1^{d}	16.88^{c}
	G_1	3617^{a}	3859^{a}	1.8^{d}	2.15^{c}	20.92^{b}	29.32^{a}
I_1	G_0	3078^{c}	3245^{b}	1.54^{de}	2^{cd}	10.87^{d}	15.28^{c}
	G_1	3656^{a}	3758^{a}	2.36^{b}	2.6^{a}	19.4^{bc}	28.5^{a}
I_2	G_0	1986^{d}	2043^{d}	1.85^{d}	2.27^{c}	10.32^{d}	14.13^{cd}
	G_1	2109^{d}	2097^{d}	2.55^{a}	2.9^{a}	18.22^{c}	22.73^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نیستند

A_0: *Azospirillum* عدم تلقیح با باکتری، A_1: Azospirillum تلقیح با باکتری، G_0: *Glomus mosseae* عدم تلقیح با باکتری، G_1: *Glomus mosseae*تلقیح با باکتری، I_0:آبیاری بعد از ۳۰٪ درصد ظرفیت مزرعه (شاهد)، I_1:آبیاری بعد از ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه، I_2: آبیاری بعد از ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه.

Averages with common letters in each column do not have a significant difference at the five percent probability level.

A0: *Azospirillum* not inoculated with bacteria, A1: *Azospirillum* inoculated with bacteria, G0: *Glomus mosseae* not inoculated with bacteria, G1: *Glomus mosseae* inoculated with bacteria, I0: irrigation after 30% of the field capacity (control), I1: irrigation after 60% of the field capacity, I2: irrigation after 90% of the field capacity.

ارتفاع گیاه یکی از شاخص‌های مهم رشد گیاه است و تعیین‌کننده طول دوره رشد آن است که تحت تأثیر شیوه‌های مختلف زراعی اصلاح می‌شود. این افزایش رشد می‌تواند به علت نقش مفید فسفر و کودهای بیولوژیک در باروری خاک و تقویت ریشه گیاه و رشد بیشتر اندام‌های رویشی گیاه باشد. فسفر به‌عنوان حامل انرژی ATP، در کلیه فعل‌وانفعالات شرکت کرده و در تقسیم سلولی و رشد سریع سلول‌های

مریستمی دخالت دارد و سبب افزایش ارتفاع بوته می‌شود (Alami Milani et al., 2014).

همزیستی میکوریزا از طریق تغذیه مناسب و افزایش بیوماس رازیانه، موجبات تسریع در گلدهی شده و زمینه بهبود تعداد چتر در بوته را فراهم می‌آورد. این موضوع با نتیجه تحقیق کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) مطابقت دارد. آنان تعداد چتر بیشتر در بوته رازیانه را به بهبود تغذیه معدنی و افزایش عملکرد بیولوژیک در تیمار تلقیح میکوریزا نسبت دادند. نتایج به‌دست‌آمده با مطالعات قیصری زردک و همکاران (Gheysari Zardak et al., 2012) بر روی گیاه رازیانه و تحقیق قربانپور و حاتمی (Ghorbanpour and Hatami, 2016) بر روی گیاه گشنیز مطابقت داشت.

الیاس و همکاران (Elias et al., 2016) بیان کردند درصورتی‌که فسفر با استفاده از باکتری‌های محرک رشد به‌صورت قابل‌استفاده افزایش یابد، موجب افزایش طول سلول و افزایش رشد و تکثیر سرتاسری سلول‌های گیاه می‌شود. همچنین مشاهده شده است که تلقیح قارچ مایکوریزا باعث تغییرات وسیع شاخص‌های مورفولوژیک ریشه به‌ویژه افزایش ریشه‌های جانبی می‌شود درنتیجه با افزایش رشد ریشه، آب و مواد غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و این امر موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (Nasrollahzadeh Asl, 2017).

اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها دلیل کاهش وزن هزار دانه در اغلب موارد است (Hagh Joo and Bahrani, 2014). نتایج به‌دست‌آمده با مطالعات (Rezaie et al., 2017; Dadashi Jomayran et al., 2018) مطابقت دارد. بروز تنش خشکی طی مراحل مختلف نموی، به‌ویژه در مرحلهٔ زایشی باعث کاهش طول دوره فتوسنتزی، انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده در ساقه به دانه و کاهش عملکرد دانه می‌شود (Pirzad et al., 2012; Bahrani et al., 2010).

همزیستی میکوریزایی از طریق بهبود گسترش هیف‌های قارچ در منافذ خاک، به‌طور فیزیکی موجب افزایش جذب فسفر در پیکره رویشی رازیانه و متعاقب آن با افزایش وزن خشک گیاه و بهبود اجزای عملکرد سبب بهبود عملکرد دانه رازیانه می‌شود (Kapoor et al., 2004). نتایج به‌دست‌آمده با تحقیقی که روی گیاه سیاه‌دانه انجام گرفت مشابهت داشت که در آن کودهای زیستی باعث افزایش عملکرد دانه گردید (Khoramdel et al., 2010).

نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این است که تنش خشکی عملکرد زیستی رازیانه را به میزان ۳۵٪ و ۲۹٪ در منطقه زرقان و کودیان کاهش داده است. درحالی‌که استفاده از تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد ضمن جبران اثرات تنش خشکی توانست عملکرد زیستی رازیانه را به میزان ۳۲٪ و ۲۹٪ در دو منطقه زرقان و کودیان افزایش دهد که با نتایج بررسی‌های قیصری زردک و همکاران (Gheysari zardak et al., 2012) بر روی گیاه رازیانه مطابقت داشت. یکی از عمده‌ترین علل افزایش عملکرد زیستی گیاه، افزایش سطح ریشه‌ها از طریق نفوذ میسیلیوم قارچ در خاک و به‌تبع آن دسترسی گیاه به حجم بیشتری از خاک و مواد معدنی است (Soltanian and Tadayyon, 2015). محققین مکانیسم‌های احتمالی باکتری‌های محرک رشد گیاه برای افزایش جذب عناصر غذایی را شامل تولید اسیدهای آلی توسط باکتری‌ها در ریزوسفر و افزایش ترشحات ریشه‌ای از قبیل مواد احیایی و کلات کننده مانند سیدروفور، توسعه سیستم ریشه‌ای و نهایتاً تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه مانند اکسین ذکر کرده‌اند (Bahrani et al., 2007; Ahmed et al., 2008). نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتایج مطالعات هدایتی مهدی‌آبادی و همکاران (Hedayati Mahdi Abadi et al., 2015) بر روی زیره سیاه و جعفری قوشچی و همکاران (Jafari Ghoushchi et al., 2015) بر روی گیاه مریم‌گلی مطابقت داشت. قارچ‌های مایکوریزا به‌عنوان کود زیستی دارای کارکردهای چندمنظوره‌ای ازجمله افزایش دسترسی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر برای گیاهان، گسترش ناحیه جذب ریشه، افزایش فتوسنتز، افزایش کارایی مصرف آب در گیاه میزبان، افزایش مقاومت به تنش خشکی و شوری، افزایش مقاومت گیاه میزبان به آفات و بیماری‌ها، افزایش محتوای کلروفیل، تسریع در گلدهی گیاه میزبان، بهبود ساختمان خاک، افزایش قدرت رقابت گیاه میزبان در مقابل علف‌های هرز و تشدید فعالیت باکتری‌های ریزوبیوم و آزوسپیریلوم در بوم نظام‌های زراعی هستند (Ziane et al., 217; Kanwal et al., 2015).

نتیجه‌گیری نهایی

از مجموع نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که تلقیح بذر با باکتری محرک رشد و میکوریزا در شرایط تنش خشکی

در گیاه رازیانه می‌تواند اثرات منفی تنش را بهبود بخشیده و سبب افزایش میزان درصد اسانس بیش از ۵۵٪ و عملکرد اسانس بیش از ۶۹٪ در هر دو منطقه زرقان و کودیان گردد. استفاده از تیمار تلفیقی میکوریزا و باکتری محرک رشد ضمن جبران اثرات منفی تنش خشکی، افزایش عملکرد دانه را موجب گردید که این افزایش عملکرد به‌طور میانگین ۳۲٪ بود. بنابراین، با کاربرد کودهای زیستی محتوی میکروارگانیسم‌های باکتری‌های محرک رشد و میکوریزا می‌توان از مصرف زیاد کودهای شیمیایی برای دسترسی به عملکرد بیشتر در رازیانه اجتناب کرده و علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، در راستای کشاورزی پایدار گام برداشت.

منابع

Ahmed, A., Khalafallah, H., Abo-Ghalia, H., 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-erm water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research. 4, 559-569.

Akbari, I., Gholami, A., 2016. Evaluation of mycorrhizal Fungi, vermicompost and humic acid on essence yield and root colonization of fennel. Iranian Journal of Field Crops Research.13, 840-853. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/GSC.V13I4.42567

Alami-Milani, M., Amini, R., Bandehagh, A., 2014. Effect of bio-fertilizers and combination with chemical fertilizers on grain yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Special Issue of Agricultural Science and Sustainable Production p. 15-29. [In Persian]. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_3293_8143ad37bdc0b2e121e433dc00020cfc.pdf

Alipour, A., Rahimi, M.M., Hosseini, M., Bahrani, A., 2021. Mycorrhizal fungi and growth-promoting bacteria improves fennel essential oil yield under water stress. Industrial Crops and Products 170, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113792

Bahrani, A., Pourreza, J., Hagh Joo, M., 2010. Response of winter wheat to co-inoculation with Azotobacter and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under different sources of nitrogen fertilizer. American-Eurasian Journal Agric Environmental Science. 8,95-103. https://www.idosi.org/aejaes/jaes8(1)/14.pdf

Bahrani, A., Hamedi, S., Tadayon, M.S., 2013. Response of wheat and barley to nitrogen and drought stress. Plant Ecophysiology. 5,1-14. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1392.5.13.1.3

Bahrani, A., Hosseini, M., Memar, S., Sarvestani Tahmasbi, Z.A., 2007. Effect of Azospirillum And Azotobacter inoculation along with microelements (as foliar and through soil application) on qualitative and quantitative traits of four wheat. Iranian Journal of Agricultural Sciences (Journal of Agriculture). 367-374. [In Persian with English summary]. https://www.researchgate.net/publication/333149149

Bibiani, C.S. Carvalha, A.A.D., Bertolucci, S.K.V., Torres, S.S. Correa, R.M., Pinto, J.E.B.P., 2019. Organic manure sources play fundamental roles in growth and quali-quantitative production of essential oil from D*ysphania ambrosioides* L. Industrial Crops Production. 139, 111512. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111512

Dadashi Jomayran, G., Asghari, A., Yousefi Azarkhanian, M., Ebadi, A., 2018. Effect of drought stress on some physiological traits in fennel ecotypes (*Foeniculum vulgare*). The international conference on Agricultural Science Medcinal plants and taraditional medicine. February, 14-15, 2018. [In Persian].

Delfieh, M.R., Modarres-Sanavy, M.A., Farhoudi, R., Heidarzadeh, A., 2022. Changes in seed and shoot essential oil yield of fennel (*Foeniculum vulgare*) in response to practices of integrated nitrogen management. Journal of Essential Oil Bearing Plants. 25, 38-51. https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2026251

Elias, F., Muleta, D., Woyessa, D., 2016. Effects of phosphate solubilizing fungi on growth and yield of Haricot bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. Journal of Agricultural Science. 8, 204-218. https://doi.org/10.5539/jas.v8n10p204

Gheysari zardak, S., Movahhedi Dehnavi, M., Faraji, H., 2012. Effect of two species of arbuscular mycorrhizea (*Glomus intradices* and *Glomus macrocarpum*) on yield components

and essential oil percentage of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) under drought stress conditions. 12Th Iranian Crop Sciences Congress. Islamic Azad University, Karaj. Iran. 4-6 September 2012. [In Persian].

Ghorbanpour, M., Hosseini, N., Khodaie pseudomonas on growing, quantity and quality of essence of *Salvia officinalis* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 13,89-100. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2014.13.52.9.1

Hagh Joo, M., Bahrani, A., 2014. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on grain yield, yield components and dry matter remobilization of maize cv. SC260. Iranian Journal of Crop Sciences. 16, 278-292. https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1393.16.4.2.3

Hatami, M., Ghorbanpour, M., 2016. Changes in phytochemicals in response to rhizospheric microorganism infection. D.K. Choudhary, A. Varma (eds.), Microbial-mediated Induced Systemic Resistance in Plants. pp 1-14. [In Persian].

Hedayati Mahdi Abadi, B., Ganjali, H.R., Mobasser, H.R., 2015. Effect of mycorrhiza and phosphorus fertilizer on some characteristics of black cumin. Biological Forum-An International Journal. 7,1115-1120.

Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M. Mokhtassi-Bidgoli, A., 2021. Changes in Yield and Essential Oil Compositions of Dracocephalum kotschyi Boiss in Response to Azocompost, Vermicompost, Nitroxin, and Urea Under Water Deficit Stress. Journal Soil Science Plant Nutr. [In Persian]. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00700-z

Jafari Ghoushchi, M., Abbaszadeh, B., Oraei, M., 2015. Effects of chemical and biological fertilization growth, yield and essential oil of Salvia officinalis. Journal of Medicinal Plants and By-Products. 4, 31-37. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22092/JMPB.2015.108888

Kabiri, R., Farahbakhsh, H., Nasib, N., 2014. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of Nigella sativa L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 4, 600-609. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.9841

Kanwal, S., Bano, A., Malik, R., 2015. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat growth, physiology, nutrition and cadmium uptake under increasing cadmium stress. International Journal of Agronomy and Agricultural Research. 7, 30-42. https://www.researchgate.net/publication/303244131

Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology. 93, 307-311. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.028

Khoramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahalati, M., Ghorbani, R., 2010. Effects of biological manure on yield and component yield of (*Nigella sativa* L.). Field Crops Research. 8, 768-776. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/JAG.V6I3.25814

Liu, T., Sheng, M., Wang, C.Y., Chen, H., Li, Z., Tang, M., 2015. Impact of Arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, water status, and photosynthesis of hybrid poplar under drought stress and recovery. Photosynthetica. 53, 250-258. https://doi.org/10.1007/s11099-015-0100-y

Mahfouz, S.A., Sharaf-Eldin, M.A., 2007. Effect of mineral vs. bio fertilizer on growth, yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.). International Agrophysics 2007. 21, 361-369. https://doi.org/10.1055/s-2007-987419

Moustaine, M., Elkahkahi, R., Benbouazza, A., Benkirane, R., Achbani, E.H., 2017. Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and characterization for direct PGP abilities in Morocco. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology 2, 590-596. https://doi.org/10.22161/ijeab/2.2.5

Mowaghatian, A., Fateh, E., Aynehband, A., Siahpoosh, A., 2014. Investigation of integrated mineral nutrient management on yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare*). The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture). 37, 114-126. https://plantproduction.scu.ac.ir/article_10614.html?lang=en

Nasrollahzadeh Asl, A., 2017. Effects of nitrogen and phosphate biofertilizers on morphological

and agronomic characteristicsof Sesame (*Sesamum indicum* L.). Open Journal of Ecology. 7, 101-111. https://doi.org/10.4236/oje.2017.72008

Norouzi Shahri, F., Puriyosf, M., Tavakoli, A., Saba, J., Yazdinejad, A., 2015. Evaluation of the function of some fennel ecotypes (*Foeniculum vulgare* Mill.) native to Iran under drought conditions. Iranian Crop Science. 46, 49-56. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2015.54045

Pirzad, A., Fayyaz Moghaddam, A., Razban, M., Raei, Y., 2012. The Evaluation of dried flower and Essential oil Yield and Harvest Index of *Matricaria chamomilla* L. under Varying Irrigation Regimes and Amounts of Super Absorbent Polymer (A200). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 22, 85-99. [In Persian].

Rezaie, Z., Rafeie Al-hoseini, M., Mohammadkhani, A., 2017. The effect of different super absorbent polymer and animal manure ratios on some morphological characteristics and production of fennel essential oil under drought stress conditions. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture) 19, 621-637. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2017.60468

Roesty, D., Gaur, R., Johri, B.N., 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio inoculation of Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacteria community structure in rain-fed wheat. Soil Biology and Biochemistry. 38, 1111-1120. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.09.010

Seghatoleslami, M., Mousavi, G., Zabihi, H., Pouyan, M. 2014. Yield and WUE of Cumin as Affected by Drought Stress, Bio-fertilizer and Manure. Journal of Essential Oil-Bearing Plants. 17, 944-953. http://dx.doi.org/10.1080/0972060X.2014.884944

Soltanian, M., Tadayyon, A., 2015. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi on some agronomic characteristics of linseed (*Linum ussitatissimum* L.) under drought stress in Shahrekord region. Journal of Plant Production Research. 5, 147-156. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1394.22.2.1.0

Stefan, M., Munteanu, N., Stoleru, V., Mihasan, M., 2013. Effects of inoculation with Plant Growth Promoting Rhizobacteria on photosynthesis, antioxidant status and yield of runner bean. Romanian Biotechnological 18(2), 12. https://www.researchgate.net/publication/270338365

Suhag, M., 2016. Potential of biofertilizers to replace chemical fertilizers. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. 3, 163-167. https://doi.org/10.17148/IARJSET.2016.3534.

Zafari, M., Ebadi, A., Jahanbakhsh gode kahriz, S., 2018. Combined effect on fungi and bacteria metabolites on increased osmolytes of compatibility of alfalfa in the water deficit stress. Journal of Plant Research (Iranian journal of biology) 31(1), 156-165. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1397.31.1.16.2

Ziane, H., Hamza, A.M., Beddiar, A., Gianinazzi, S., 2017. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization levels on industrial tomato growth and production. International Journal of Agriculture and Biology 19(2), 341-347. https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0287