J. Soil and Plant Interactions, Vol. 14, No. 1, Spring 2023, pp. 89-107. Research Article
https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 DOI: 10.47176/jspi.14.1.20911

The Potential of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Zhihengliuella halotolerans* Strains on The Morpho-Physiological Traits of *Nitraria schoberi* Under Dust Stress

M. Najafi Zilaie[1], A. Mosleh Arani[*2] and H. Etesami[3]

(Received: 7 February 2023; Accepted: 9 May 2023)

Abstract

In this research, the effect of plant growth-promoting rhizobacteria, *Bacillus pumilus,* and *Zhihengliuella halotolerans*, on the morpho-physiological traits of *Nitraria schoberi* under the influence of dust (control and 1.5 g/m^2/month) was investigated. The results showed that dust had a negative effect on the morphological and physiological traits of the plant. Dust caused a decrease of 20, 15, 17 and 20% in chlorophyll a, carotenoid, total soluble protein, and total dry biomass and an increase in the total flavonoids, total phenol content, total antioxidant capacity and glycine betaine amounting to 107, 32, 15 and 10 percents, respectively. Both bacteria improved the condition of the plant against stress, so that *B. pumilus* and *Z. halotolerans* increased the amount of chlorophyll b by 13 and 21%, protein by 27 and 43%, and total biomass by 60 and 27%, respectively. In this experiment, the role of *B. pumilus* strain was more than that of *Z. halotolerans* strain, so that *B. pumilus* strain alone had the greatest effect in increasing chlorophyll a and seedling quality index by 52 and 108%, respectively. The results showed that *B. pumilus* and *Z. halotolerans* strains can increase the resistance of the *Nitraria schoberi* to dust stress and help us to stabilize salty dusts in playas.

Keywords: Biological restoration, Plant growth-promoting rhizobacteria, Playa, Physiological traits, Halophytic species.

Background and Objective: Salt and dust can cause harmful effects on the photosynthetic activity and serious damage to the plant. Plants under these stresses will experience a series of morphological, physiological and biochemical changes (4). In recent years, the use of plant growth-promoting rhizobacteria as a leading strategy in reducing the effects of environmental stresses has attracted the attention of researchers (3). In this research, the effect of inoculation of two bacteria, *Bacillus pumilus* and *Zhihengliuella halotolerans*, on some morphological and physiological traits of *Nitraria schoberi* under dust stress was investigated. The results of this research can help us in the optimal afforestation of this species under dust in the conditions of climate change in arid and semi-arid ecosystems.

1- Desert Management and Control, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
2- Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
3- Department of Soil Sciences, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran.
* Corresponding author, Email: amosleh@yazd.ac.ir

Methods: Three-month old seedlings of the same size were inoculated by plant growth-promoting bacteria under dust stress in a two-factor factorial experiment with a randomized complete block design in three replications in a period of 5 months. The strains of *Bacillus pumilus* and *Zhihengliuella halotolerans* were provided by previously purified research by Amini et al. (2022) (1). Inoculation was applied twice to the plant roots. Only nutrient broth solution without bacteria was applied to the control plants. Dusting was done using a simulator. The amount of falling dust equal to 1.5 grams per square meter per month was applied once a week. After completing the treatments, 8-month old seedlings were sampled for physiological and morphological tests. The amounts of chlorophyll a, b and leaf carotenoid, total anthocyanin and flavonoid, total phenol content, total antioxidant activity, glycine betaine, malondialdehyde and total soluble protein were measured (2).

Results: The results showed that dust had a negative effect on the morphological and physiological traits of the plant. Dust caused a decrease of 20, 15, 17 and 20% in chlorophyll a, carotenoid, total soluble protein, and total dry biomass and an increase in total flavonoid, total phenol content, total antioxidant capacity and glycine betaine amounting to 107, 32, 15 and 10 percents, respectively. Both bacteria improved the condition of the plant against stress, so that *B. pumilus* and *Z. halotolerans* increased the amount of chlorophyll b by 13 and 21%, protein by 27 and 43%, and total biomass by 60 and 27%, respectively. In this experiment, the role of *B. pumilus* strain was more pronounced than that of *Z. halotolerans* strain. *B. pumilus* strain alone had the greatest effect in increasing chlorophyll a and seedling quality index by 52 and 108%, respectively. The results showed that the plant growth-promoting rhizobacteria could increase the resistance of the *Nitraria schoberi* under dust stress and help us to stabilize salty dusts in playas.

Conclusions: The results showed that the plant growth-promoting bacteria improved the morphological and physiological traits of *Nitraria schoberi* seedlings under dust stress compared to the control. It can be concluded that the rhizosphere of salt-tolerant plants are suitable sources for isolating salt-resistant bacteria. It is also concluded that *B. pumilus* and *Z. halotolerans* can increase resistance to dust stress via improving *Nitraria schoberi* seedlings physiological traits. However, it is necessary to conduct additional field research in the desert habitat to examine the performance and efficiency of these bacterial strains as suitable bio-fertilizers to deal with dusty conditions.

References:

1. Amini Hajiabadi, A., Mosleh Arani, A., Ghasemi, S., Rad, M.H., Etesami, H., Shabazi Manshadi, S., Dolati, A., 2021. Mining the rhizosphere of halophytic rangeland plants for halotolerant bacteria to improve growth and yield of salinity-stressed wheat. *Plant Physiology and Biochemistry* 163: 139–153.
2. Dickson, A., Leaf, A.L., Hosner, J.F., 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36(1): 10–13.
3. Rastegari, A.A., Yadav, A.N., Yadav, N., 2020. New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Trends of Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture and Biomedicine Systems: Diversity and Functional Perspectives. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.
4. Zilaie, M.N., Arani, A.M., Etesami, H., Dinarvand, M., Dolati, A., 2022. Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria-mediated alleviation of salinity and dust stress and improvement of forage yield in the desert halophyte *Seidlitzia rosmarinus*. *Environmental and Experimental Botany* 201: 104952.

روابط خاک و گیاه / سال چهاردهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲ / صفحات ۱۰۷-۸۹ مقاله پژوهشی
DOI: 10.47176/jspi.14.1.20911 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

اثر سویه‌های *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* بر صفات مورفو-فیزیولوژیک گیاه قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) تحت تنش گرد و غبار

محمود نجفی زیلایی[۱]، اصغر مصلح‌آرانی[۲*] و حسن اعتصامی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۱۹)

چکیده

در این پژوهش تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* بر صفات مورفو-فیزیولوژیک گیاه قره‌داغ تحت تأثیر گرد و غبار (شاهد و ۱/۵ میلی‌گرم بر متر مربع در ماه) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که گرد و غبار بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه تأثیر منفی دارد. گرد و غبار باعث کاهش ۲۰، ۱۵، ۱۷ و ۲۰ درصدی در به‌ترتیب کلروفیل *a*، کاروتنوئید، پروتئین محلول کل و زیست‌توده خشک و افزایش فلاونوئید کل، محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و گلایسین بتائین به‌ترتیب به مقدار ۱۰۷، ۳۲، ۱۵ و ۱۰ درصدی در مقایسه با نمونه شاهد شد. هر دو باکتری شرایط گیاه را در برابر تنش بهبود بخشیدند؛ به‌طوری‌که *B. pumilus* و *Z. halotolerans* به‌ترتیب باعث افزایش مقدار ۱۳ و ۲۱ درصدی کلروفیل *b*، ۲۷ و ۴۳ درصدی پروتئین، ۶۰ و ۲۷ درصدی زیست‌توده خشک در شرایط شاهد گرد و غبار شد. در این میان نقش سویه *B. pumilus* بیش‌تر از سویه *Z. halotolerans* بود؛ به‌طوری‌که سویه *B. pumilus* به‌تنهایی بیش‌ترین تأثیر را در افزایش معنی‌دار کلروفیل *a* و شاخص کیفیت نهال به‌ترتیب به مقدار ۵۲ و ۱۰۸ درصد در تیمار گرد و غبار داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که باکتری‌های محرک رشد گیاه جداسازی‌شده از گیاهان مرتعی شورپسند می‌توانند باعث افزایش مقاومت گیاه قره‌داغ در شرایط تنش گرد و غبار شوند. این موضوع در جنگل‌کاری بهینه این‌گونه و تثبیت ریزگردهای نمکی در پلایاها (دریاچه‌های خشک) در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک دارای اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: احیای بیولوژیک، باکتری محرک رشد گیاه، دریاچه خشک، صفات فیزیولوژیک، گیاهان شورپسند.

مقدمه

احیاء مناطق بیابانی با بهره‌گیری از گیاهان مقاوم به شرایط نامساعد اقلیمی، از کارآمدترین و پایدارترین روش‌های توسعه در این مناطق به‌شمار می‌رود. قسمتی از زمین‌های شور و بیابانی در حواشی کویرها واقع شده‌اند؛ این زمین‌ها یا همان دریاچه‌های خشک (پلایاها) به‌دلیل داشتن شرایط فیزیکی

۱- مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۳- گروه خاکشناسی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: amosleh@yazd.ac.ir

نامناسب (از جمله خاک متراکم، وجود پوسته‌های نمکی و چرخه غیرقابل پیش‌بینی غرقاب یا خشک‌شدن)، سبب شده‌اند که سطح وسیعی از عرصه‌های کویری عاری از پوشش گیاهی باشند (۵۱). از طرفی زهکشی نواحی شور اطراف ساحل دریاچه‌های خشک و وجود رطوبت کافی در خاک می‌تواند امکان رشد برخی گونه‌های مقاوم به شوری را در این مناطق فراهم کند (۴۶)، از این‌رو رویش بسیاری از گیاهان به نواحی ساحلی و حاشیه کویرها محدود شده است. حاشیه کویرها پس از پسرفت آب به‌شدت مستعد فرسایش بادی و آثار تخریبی باد (۹) و به‌ویژه ایجاد کانون‌های تولید ریزگردهای نمکی و ماسه‌ای می‌شوند. در نتیجه احیای بیولوژیک و استفاده از پوشش گیاهی مناسب در این مناطق، می‌تواند روشی مؤثر و مفید برای کنترل فرسایش بادی و تثبیت خاک باشد و از این طریق می‌توان تا حدودی از گسترش کویر جلوگیری کرد (۱۹ و ۴۸). یکی از گونه‌های مهم برای احیای مناطقی با خاک‌های عمیق، رسوبی و شور با بافت متغیر و همچنین مهار کانون‌های فرسایش بادی در حاشیه دریاچه‌های نمک و خشک گونه گیاهی قره‌داغ است (۳۹). گونه قره‌داغ[1] یکی از گونه‌های شناخته‌شده علوفه‌ای، دارویی و صنعتی در مناطق خشک و بیابانی ایران است (۴).

شرایط حاکم بر مناطق بیابانی به‌ویژه تنش‌های زیستی (۵۶ و ۵۷) و غیرزیستی موجب شده است تا عملیات احیاء بیولوژیک با مشکل روبرو شود. ریزگردهای نمکی و ماسه‌ای می‌تواند آثار زیان‌باری در فعالیت فتوسنتزی گیاه ایجاد نموده و با ورود نمک و شور کردن زمین‌ها آسیب جدی به بافت‌های گیاهی وارد نمایند. ترکیب ذرات مختلف ریزگردها و همچنین اندازه این ذرات از عوامل اصلی تأثیرگذار بر جوامع گیاهی است (۱۷)؛ به‌طوری‌که وقوع پدیده گرد و غبار سبب کدورت هوا و کاهش تشعشع فعال فتوسنتزی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم می‌شود (۴۴). ذرات گرد و غبار بر روی برگ‌ها، شاخه‌های جوان و کوچک و سطح تنه گیاهان برای مدت زمان طولانی قرار می‌گیرد. این حقیقت بیش‌تر درباره محیط‌های بیابانی، به‌دلیل بارش کم باران که مانع از حذف ذرات گرد و غبار از سطح برگ‌ها و بخش‌های دیگر گیاه می‌شود، صدق می‌کند (۳۱). تأثیر ذرات گرد و غبار بر فیزیولوژی گیاهان در ظاهر شبیه به آثار تنش خشکی بوده، که منجر به افزایش دمای برگ، بسته‌شدن روزنه‌های آن و کاهش فتوسنتز می‌شود (۷۴)؛ گیاهان تحت تأثیر تنش ریزگردها پیش از آسیب دیدن دائمی برگ، برخی تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی را در خود تجربه خواهند کرد (۳۰ و ۸۲). از آن جمله می‌توان بسته‌شدن روزنه‌ها، افزایش دو تا سه درجه‌ای دمای گیاه، کاهش کلروفیل (۳۷)، ریزش برگ و مرگ بافت گیاهی، تغییر در رنگیزه‌های برگ، تغییر در محتوای نسبی آب برگ (۶۶) و در نهایت کاهش عملکرد گیاه را نام برد (۴۵ و ۵۸).

برخی باکتری‌های ریزوسفری دارای صفات چندگانه محرک رشد گیاه بوده و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، رشد و تولید گیاه را تحت شرایط تنش‌های مختلف بهبود می‌بخشند (۵۹ و ۶۴). باکتری‌های محرک رشد از طریق کنترل قارچ‌های بیماری‌زا و انحلال فسفات‌های غیرآلی (۴۹) و جذب ریزمغذی‌هایی مانند آهن با تولید سیدروفور (۳۴)،) بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این، این ریزجانداران از طریق سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، تعدیل سطح هورمون‌های گیاهی (۶۳) مانند افزایش تولید اکسین، سیتوکینین و جیبرلین یا کاهش تولید اتیلن از طریق فعالیت ACC دآمیناز، تثبیت نیتروژن (۶۱)، رشد و نمو و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۹ و ۶۸).

ابراهیمی و همکاران (۲۳) با بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه قره‌داغ نشان دادند که تلقیح باکتری *Azotobacter chroococum* باعث افزایش وزن تازه ساقه، برگ، ریشه، تعداد برگ و وزن خشک ساقه در نهال‌های آن می‌شود. نمونه‌هایی از باکتری‌های ریزوسفری که به‌دلیل توانایی در برقراری ارتباط با گیاهان مناطق بیابانی توجه بیش‌تری را به خود جلب کرده سویه‌های *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuela halotolerans* هستند که

1. *Nitraria schoberi L.*

آثار مثبت آن‌ها بر رشد گیاهان اثبات شده است (۸ و ۴۱). امینی و همکاران (۶) تأثیر مثبت این دو باکتری را در افزایش تحمل گندم به شوری و افزایش عملکرد آن گزارش کردند.

در پژوهش حاضر، تأثیر تلقیح دو باکتری *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuela halotolerans* بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه قره‌داغ تحت تنش گرد و غبار بررسی شد. هدف از این پژوهش بررسی اثر باکتری‌های مذکور بر افزایش توان مقاومت گیاه قره‌داغ در برابر تنش گرد و غبار بود. به همین علت تأثیر این باکتری‌ها بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک قره‌داغ تحت شرایط گرد و غبار بررسی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش گلخانه‌ای

نهال‌های سه‌ماهه قره‌داغ از مرکز تکثیر گیاهان مرتعی اداره کل منابع طبیعی استان یزد تهیه شده و به گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اهواز منتقل شد. نهال‌های هم‌اندازه و هم‌شکل به گلدان‌های زهکش‌دار به ارتفاع ۱۸ و دهانه ۲۰ سانتی‌متر محتوی ۴ کیلوگرم خاک با سه واحد حجمی خاک زراعی بدون هوموس و یک واحد حجمی ماسه بادی (۸۱) منتقل شده (جدول ۱) و در گلخانه با شرایط ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی، دمای ۲ ± ۲۵ سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۰ درصد نگهداری شدند (۵۸). در این پژوهش تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گونه قره‌داغ تحت تنش گرد و غبار و به‌صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی در چارچوب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار در مدت ۵ ماه و شرایط گلخانه‌ای طراحی و اجرا شد. تیمارهای این پژوهش شامل فاکتور اول: باکتری محرک رشد گیاه (در سه سطح شامل بدون تلقیح باکتری، تلقیح با باکتری *Bacillus pumilus*، تلقیح با باکتری *Zhihengliuella halotolerans*)، و فاکتور دوم: گرد و غبار (در دو سطح بدون گرد و غبار و اعمال گرد و غبار) بود.

تهیه سوسپانسیون و تلقیح باکتری‌ها

دو باکتری محرک رشد گیاه شامل *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* برای این آزمایش در نظر گرفته شد. سویه‌های این دو باکتری از ریزوسفر گیاهان شورپسند مارونگ (*B. pumilus*) و اشنان (*Z. halotolerans*) که پیش از این توسط امینی و همکاران (۶) خالص‌سازی و صفات محرک رشد آن‌ها تعیین شده بود (جدول ۲) و اثر مثبت آن بر گندم ارزیابی شده بود، استفاده شد.

برای تلقیح نهال‌ها، به‌ازای هر سویه باکتری، یک ارلن مایر ۱۰۰ میلی لیتری حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محیط کشت نوترینت براث (NB) تهیه شد. برای تهیه مایه تلقیح، یک کلنی خالص از هر باکتری برداشته و تحت شرایط استریل به یک ارلن حاوی محیط کشت افزوده شد. ارلن هر باکتری روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه و دمای ۲۸ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از ۴۸ ساعت، مایه تلقیح سویه‌ها با جمعیت تقریبی ۳×۱۰^{۸} سلول بر میلی‌لیتر (تنظیم جمعیت باکتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر صورت گرفت تا تمام سویه‌های باکتری دارای جمعیت یکسان باشند) آماده مصرف شدند. سوسپانسیون این دو باکتری به مقدار ۵ میلی‌لیتر و در دو نوبت از محل ریشه به گیاهان تلقیح شد. نوبت اول در شروع آزمایش گلخانه‌ای و در زمان انتقال نهال‌ها به گلدان‌های بزرگ‌تر و نوبت دوم یک ماه پس از اعمال تنش گرد و غبار تلقیح انجام شد. به گیاهان شاهد تنها محلول NB بدون باکتری اعمال شد.

اعمال تیمار گرد و غبار

یک ماه پس از استقرار نهال‌ها در گلدان، تیمار گرد و غبار اعمال شد. غبار‌دهی با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز (Dustin-Miser Model 1212 Includes Deflector) ساخت کشور آمریکا در گلخانه انجام شد. مقدار غبار ریزشی برابر ۱/۵ گرم بر متر مربع در ماه و با تعداد دفعات یک بار در هفته بر اساس نتایج احمدی فروشانی و همکاران (۳) بود. یافته‌های ایشان نشان داد غبار ریزشی برابر ۸/۴ گرم بر متر مربع در ماه

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک استفاده‌شده در این آزمایش

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil used in this study

Soil Texture بافت خاک			Soluble sulfate سولفات محلول (meq/l)	Soluble calcium کلسیم محلول (meq/l)	Soluble sodium سدیم محلول (meq/l)	Total potassium پتاسیم کل (mg/kg)	Total phosphorus فسفر کل (mg/kg)	Total nitrogen نیتروژن کل (%)
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	47	1.8	2.15	917	15	0.02
59.2	12.0	28.8	Calcium carbonate equivalent کربنات کلسیم معادل (%)	C/N	Organic matter مواد آلی (%)		pH_e	EC_e (dS/m)
لوم رسی شنی Sandy clay loam			32.5	6.3	0.31		7.61	2

جدول ۲. برخی صفات باکتری‌های محرک رشد مورد بررسی (امینی و همکاران (۶))

Table 2. Some properties of the plant growth promoting rhizobacteria used in this study (Amini et al. (6))

انحلال فسفات Phosphate solubilization ($\mu g\ ml^{-1}$)	دآمیناز ACC ACC deaminase (μmol of α-ketobutyrate h^{-1} mg^{-1} protein)	سیدروفور Siderophore (halo diameter,cm)	سیانید هیدروژن Hydrogen cyanide (colour degree)	تری‌استیک اسید ایندول Indole- 3- acetic acid ($\mu g\ ml^{-1}$)	باکتری Bacteria
116.33^{ab}	8^{a}	0.5^{b}	3^{b}	22.57^{b}	*Bacillus pumilus*
162.08^{a}	6^{b}	0.14^{c}	5^{a}	26.82^{a}	*Z. Halotolerans*

جدول ۳. غلظت عناصر اصلی خاک مورد استفاده به‌عنوان گرد و غبار

Table 3. The concentration of major elements in the soil sample used as dust

عنصر	Ca	Na	Mg	Al	Fe	K
غلظت (%)	22.7	2.37	2.42	4.08	4.71	0.79

جدول ۴. غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های گرد و غبار مورد استفاده

Table 4. The concentration of heavy metals in the dust samples

عناصر سنگین	Zn	Cu	Co	U	Cd	Ni	V	Ba	Cr	Pb
غلظت (mg/kg)	52.9	15.8	12.7	1.96	0.6	94	73.4	231	116	20.23

در فصل تابستان و برابر ۳/۵ گرم بر متر مربع در ماه در فصل بهار در منطقه مورد بررسی اتفاق می‌افتد. فاصله گلدان‌ها از یکدیگر و همچنین مرحله رشد گیاهان یکسان در نظر گرفته شده است. در هر بار اعمال گرد و غبار، کلیه گیاهان شاهد از گلخانه خارج گردید تا غبار بر روی آن‌ها قرار نگیرد. برای تهیه گرد و غبار، از نمونه خاک کانون گرد و غباری جنوب شرقی اهواز حد فاصل بزرگراه اهواز–ماهشهر استفاده شد (جداول ۳ و ۴). تعیین عناصر مهم نمونه خاک بر اساس نتایج فیزیکی و شیمیایی گرد و غبار در پژوهش‌های مشابه انجام شد (۳ و ۵۸). این مکان بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده درباره منشاءیابی گرد و غبار در استان خوزستان و تعیین کانون‌های بحرانی انتخاب شد (۲). پس از ریختن غبار درون دریچه دستگاه شبیه‌ساز، مقدار غبار ریزشی بر حسب گرم بر متر مربع با استفاده از تله‌ای به ابعاد ۱/۶×۲/۳ مترمربع کنترل شد. غباردهی به‌مدت پنج ماه با فاصله زمانی یک هفته (در مجموع ۲۱ بار) انجام شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک

پس از اتمام مراحل تیماردهی، نهال‌های مورد نظر (نهال‌های ۸ ماهه) برای انجام آزمایش‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک نمونه‌برداری شد. نمونه‌های برگ از قسمت‌های مختلف هر نهال جدا گردید و با مقدار کمی آب مقطر درون ظروف درب‌دار شسته شد. سپس برگ‌های شسته شده به همراه ظروف حاوی محلول برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک به آزمایشگاه منتقل گردید. مقدار کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید برگ (۵۰)، آنتوسیانین و فلاونوئید کل (۷۸)، محتوای فنل کل (۵۴)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل (۱۵)، گلایسین بتائین (۳۲)، مالون دی‌آلدهید (۷۲) و پروتئین محلول کل (۵۳) اندازه‌گیری شد. در این مرحله صفات مورفولوژیک (وزن خشک شاخساره و خشک ریشه، ارتفاع ساقه، و قطر یقه) نیز اندازه‌گیری شد و در نهایت دو صفت زیست‌توده خشک کل (مجموع وزن خشک ریشه و شاخساره) و شاخص کیفیت نهال براساس فرمول دیکسون و همکاران (۲۲)، در این پژوهش محاسبه و بررسی شدند:

شاخص کیفیت نهال =

$$\frac{\text{وزن خشک کل نهال (گرم)}}{\left\{\frac{\text{طول ساقه (سانتی‌متر)}}{\text{قطر یقه (میلی‌متر)}}\right\}+\left\{\frac{\text{وزن خشک ساقه (گرم)}}{\text{وزن خشک ریشه (گرم)}}\right\}}$$

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد. پس از اطمینان از نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف–اسمیرنوف، اختلاف بین سطوح مختلف تیمارها با آزمون تجزیه واریانس و در نهایت مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن (α=۰/۰۵) بررسی شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش باکتری × گرد

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک قره‌داغ

Table 5. Analysis of variance for the physiological and morphological traits in *Nitraria schoberi*

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل *a* Chlorophyll *a*	کلروفیل *b* Chlorophyll *b*	کاروتنوئید Caratenoid	آنتوسیانین Anthocyanin	فلاونوئید Flavonoid	فنل کل Total phenol
باکتری Bacteria	2	339.03**	1.84*	2587.71**	330.29**	0.050**	0.324**
گرد و غبار Dust	1	221.97**	25.35**	4268.26**	10.25ns	0.048**	0.098**
باکتری × گرد و غبار Bacteria × Dust	2	29.65 *	2.3 *	67.18 ns	9.43 ns	0.005**	0.009*
خطا Error	12	2.47	0.383	66.81	3.42	0	0.001
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		1.33	1.52	1.89	3.46	2.21	1.89

ادامه جدول ۵.

Table 5. (continued)

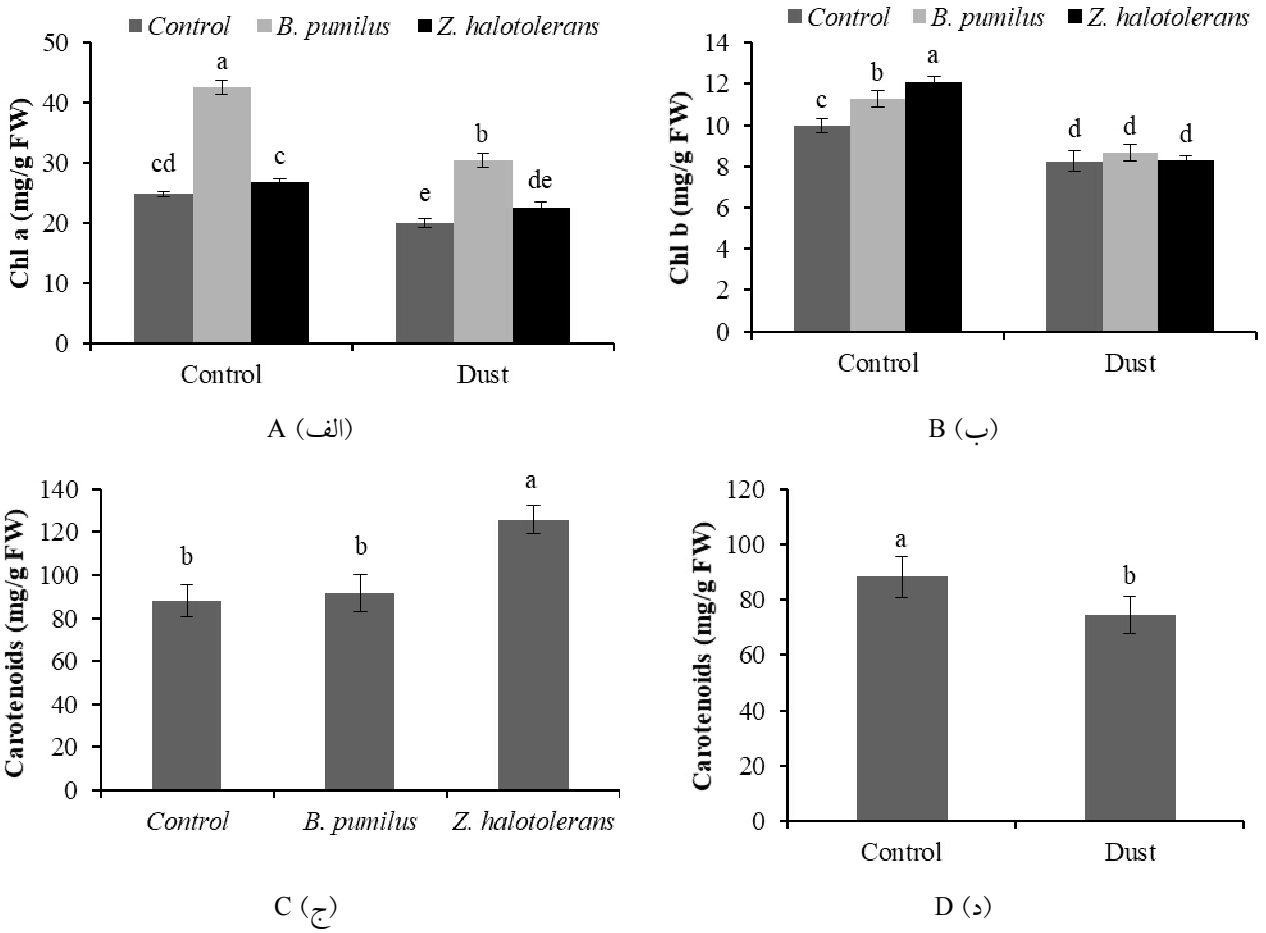
منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مالون دی‌آلدهید Malondialdehyde	گلایسین بتائین Glycine betaine	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Anthoxidant capacity	پروتئین Protein	زیست‌توده Biomass	شاخص کیفیت نهال Seedling quality index
باکتری Bacteria	2	0.074**	0.674**	1838.54**	494747.7**	6.67**	0.233 **
گرد و غبار Dust	1	0.075 **	10.19**	1517.3**	696986.9**	4.72**	0.035 ns
باکتری × گرد و غبار Bacteria × Dust	2	0.010 *	0.014 ns	17.03 ns	68415.8*	0.518 *	0.053 *
خطا Error	12	0.002	0.179	54.16	10321.87	0.045	0.013
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.14	1.21	3.22	1.63	1.17	6.69

**، * و ns به‌ترتیب اثر معنی‌دار در سطوح یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار

**, *, ns: significant at $p \leq 0.01$, significant at $p \leq 0.05$, non-significant, respectively

و غبار بر غلظت کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، فلاونوئید، فنل کل، پروتئین، مالون دی‌آلدهید، زیست‌توده خشک کل، شاخص کیفیت نهال‌های قره‌داغ معنی‌دار بود. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فاکتور گرد و غبار بر غلظت کاروتنوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و گلایسین‌بتائین و فاکتور باکتری بر غلظت کاروتنوئید، آنتوسیانین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و گلایسین‌بتائین در نهال‌های قره‌داغ معنی‌دار بود (جدول ۵).

کلروفیل *a*: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱-الف) نشان داد اعمال تیمار گرد و غبار به‌تنهایی (بدون باکتری) مقدار کلروفیل *a* را ۲۰ درصد کاهش داد. سویه *B. pumilus* در شرایط بدون اعمال تیمار گرد و غبار باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل *a* به مقدار ۷۱ درصد نسبت به کنترل خود شد این در حالی است که



شکل ۱. اثر برهم‌کنش باکتری و گرد و غبار بر کلروفیل a (الف)، کلروفیل b (ب)، تأثیر باکتری بر کاروتنوئید (ج) و تأثیر گرد و غبار بر کاروتنوئید (د) در قره‌داغ؛ میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Fig. 1. The interactiion effects of bacteria and dust stress on the contents of chlorophyll a (A), chlorophyll b (B), and the effects of bacteria (C) and dust stress (D) on the content of carotenoids in *Nitraria schoberi*; Means with at least one similar letter are not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

سویه *Z. halotolerans* تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. در شرایط تیمار گرد و غبار، سویه *B. pumilus* و سویه *Z. halotolerans* به‌ترتیب ۲۸ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد خود کاهش داشته‌اند. سویه *B. pumilus* به‌تنهایی توانست هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش، کلروفیل *a* را در مقایسه با کنترل مربوطه افزایش دهد.

کلروفیل *b*: با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱–ب)، اعمال تیمار گرد و غبار به‌تنهایی (بدون باکتری) مقدار کلروفیل *b* را ۱۷ درصد کاهش داد. در شرایط بدون اعمال تیمار گرد و غبار، سویه *B. pumilus* و *Z. halotolerans* کلروفیل *b* را به‌ترتیب به مقدار ۱۳ و ۲۱ درصد نسبت به کنترل خود افزایش داد. در شرایط اعمال تیمار گرد و غبار سویه *B. pumilus* و سویه *Z. halotolerans halotolerans* به‌ترتیب ۲۳ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد خود کاهش داشته‌اند. همچنین نتایج نشان داد که اثر هر دو باکتری در شرایط گرد و غبار بر مقدار کلروفیل *b* در مقایسه با شاهد خود معنی‌دار نشد.

کاروتنوئید: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱–ج و د) نشان داد اعمال تیمار گرد و غبار به‌تنهایی مقدار کاروتنوئید را ۱۵ درصد کاهش داد. کاربرد *Z. halotolerans* باعث افزایش معنی‌دار کاروتنوئید به مقدار ۴۳ درصد در شرایط بدون گرد و غبار شد.

آنتوسیانین: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲-الف) نشان داد سویه‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* به‌ترتیب باعث کاهش معنی‌دار آنتوسیانین به مقدار ۷۱ و ۴۶ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گرد و غبار شدند.

محتوای فلاونوئید کل: با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲-ب)، اعمال تیمار گرد و غبار به‌تنهایی مقدار فلاونوئید کل را ۱۰۷ درصد افزایش داد. سویه‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* به‌ترتیب باعث کاهش معنی‌دار فلاونوئید کل به مقدار ۷۶ و ۶۲ درصد در شرایط بدون تیمار گرد و غبار شدند. از طرفی مقدار فلاونوئید در شرایط اعمال تیمار گرد و غبار، در تیمار سویه‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* نسبت به شاهد خود به‌ترتیب ۱۶۴ و ۱۳۷ درصد کاهش داشته است. نتایج نشان داد که باکتری‌ها توانستند هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش مقدار فلاونوئید را در مقایسه با کنترل مربوطه کاهش دهند.

محتوای فنل کل: با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲-ج)، کاربرد گرد و غبار به‌تنهایی مقدار فنل کل را ۳۲ درصد افزایش داد. در شرایط بدون اعمال گرد و غبار، تلقیح با باکتری‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* باعث کاهش میزان فنل کل به‌ترتیب ۵۶ و ۵۳ درصد نسبت به کنترل خود شد. همچنین در شرایط اعمال تیمار گرد و غبار سویه *Z. halotolerans* نسبت به شاهد خود ۵۴ درصد افزایش نشان داد. نتایج نشان داد که هر دو سویه توانستند هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش محتوای فنل کل را در مقایسه با کنترل مربوطه کاهش دهند.

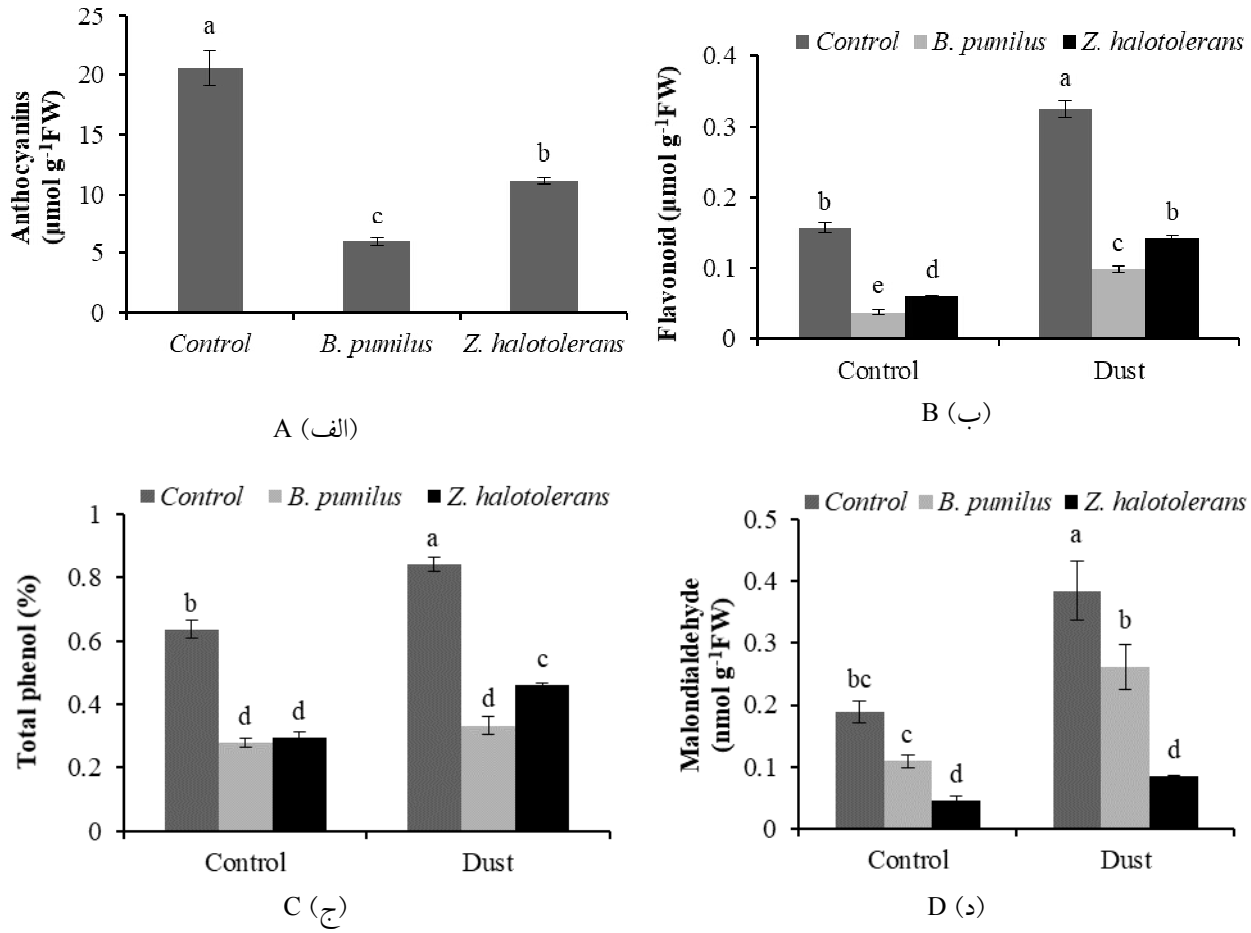
مالون دی‌آلدهید: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲-د) نشان داد که اعمال تیمار گرد و غبار به‌تنهایی مقدار مالون دی‌آلدهید را ۱۰۴ درصد افزایش داد. در شرایط بدون اعمال گرد و غبار، سویه *B. pumilus* باعث کاهش معنی‌دار مالون دی‌آلدهید به مقدار ۳۲ درصد شد. همچنین در شرایط اعمال تیمار گرد و غبار سویه *B. pumilus* نسبت به شاهد خود ۱۳۷ درصد افزایش نشان داد. نتایج نشان داد که سویه *B. pumilus* توانست هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش مقدار مالون دی‌آلدهید را در مقایسه با کنترل مربوطه کاهش دهد. این در حالی است که سویه *Z. halotolerans* تنها در شرایط تنش باعث کاهش معنی‌دار میزان مالون دی‌آلدهید شد.

گلایسین بتائین: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳-الف و ب) نشان داد که اعمال تیمار گرد و غبار به‌تنهایی (بدون باکتری) مقدار گلایسین بتائین را ۱۰ درصد افزایش داد، همچنین سویه *B. pumilus* میزان گلاسین بتائین را به مقدار ۷ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گرد و غبار نسبت به شاهد خود کاهش داد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳-ج و د) نشان داد که اعمال تیمار گرد و غبار به‌تنهایی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را ۱۵ درصد افزایش داد و سویه‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* باعث کاهش معنی‌دار میزان آن به‌ترتیب به مقدار ۳۰ و ۴۷ درصد در شرایط بدون اعمال گرد و غبار شد.

محتوای پروتئین محلول کل: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴-الف) نشان داد که اعمال تیمار گرد و غبار به‌تنهایی (بدون باکتری) مقدار پروتئین محلول کل برگ را ۱۷ درصد کاهش داد. سویه‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* باعث افزایش معنی‌دار پروتئین به‌ترتیب به مقدار ۵۶ و ۴۶ درصد نسبت به کنترل خود در شرایط بدون اعمال گرد و غبار شد. در شرایط اعمال تیمار گرد و غبار، سویه‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* به‌ترتیب ۳۲ و ۱۹ درصد نسبت به شاهد خود کاهش داشته‌اند. همچنین نتایج نشان داد که هر دو سویه توانستند هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش مقدار پروتئین محلول کل را در مقایسه با کنترل مربوطه افزایش دهند.

زیست‌توده خشک کل: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴-ب) نشان داد که اعمال تیمار گرد و غبار به‌تنهایی مقدار زیست‌توده را ۲۰ درصد کاهش داد. سویه‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* باعث افزایش معنی‌دار زیست‌توده به‌ترتیب به مقدار ۷۲ و ۱۵ درصد نسبت به کنترل خود در شرایط بدون



شکل ۲. تأثیر باکتری بر آنتوسیانین (الف) و اثر برهم‌کنش باکتری و گرد و غبار بر محتوای فلاونوئید کل (ب)، محتوای فنل کل (ج) و مالون دی‌آلدهید (د)؛ میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

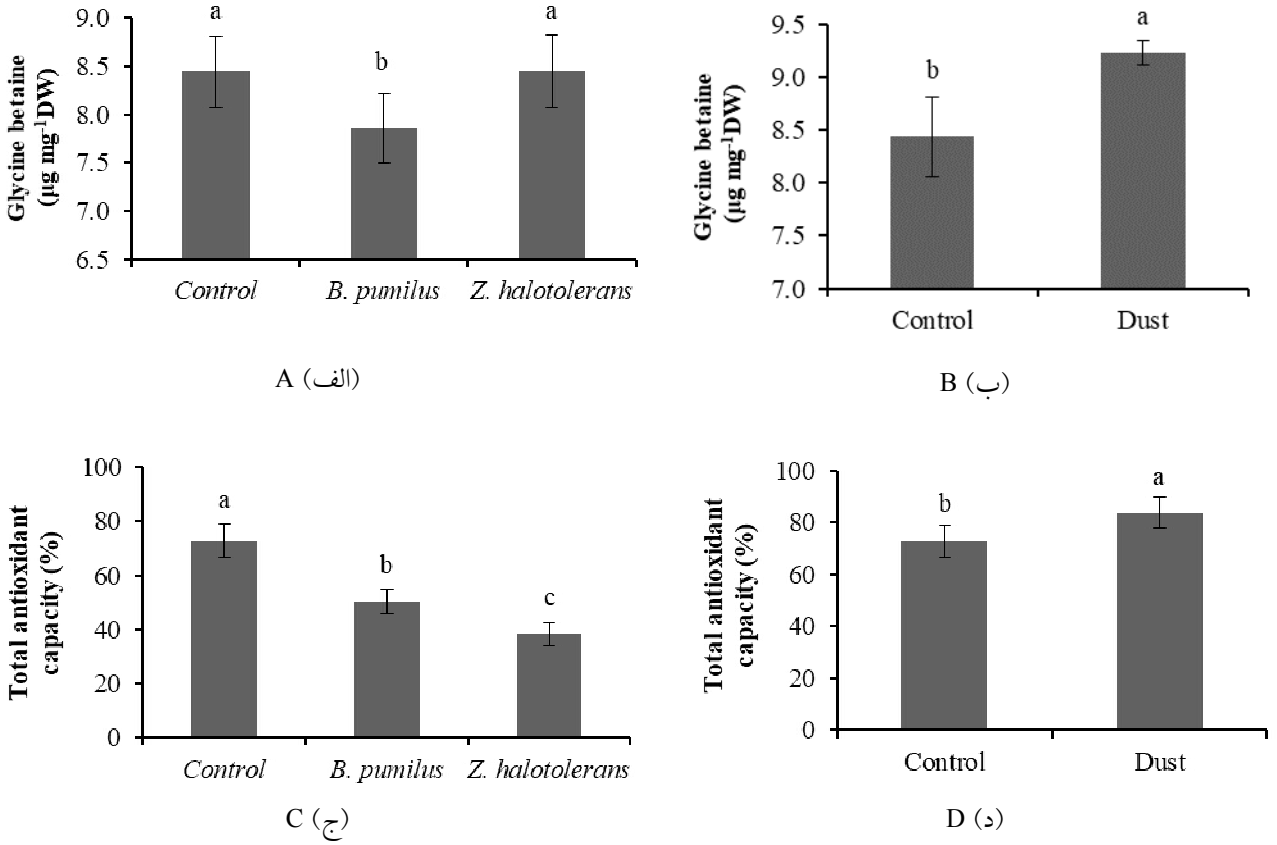
Fig. 2. Effect of bacteria on the content of anthocyanin (A) and interaction effects of bacteria and dust stress on the contents of total flavonoid (B), total phenol (C), and malondialdehyde (D) in *Nitraria schober*; Means with at least one similar letter are not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.*i*

اعمال گرد و غبار شد. در شرایط اعمال تیمار گرد و غبار، سویه‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* به‌ترتیب ۲۲ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد خود کاهش داشته‌اند. نتایج نشان داد که هر دو سویه توانستند هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش مقدار زیست‌توده را در مقایسه با کنترل مربوطه افزایش دهند.

شاخص کیفیت نهال: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴-ج) نشان داد که سویه *B. pumilus* باعث افزایش معنی‌دار شاخص کیفیت نهال به مقدار ۱۸۹ درصد نسبت به کنترل خود در شرایط بدون اعمال گرد و غبار شد. درحالی‌که در شرایط اعمال تیمار گرد و غبار، سویه *B. pumilus* نسبت به شاهد خود ۳۸ درصد کاهش داشت. همچنین نتایج نشان داد که سویه *B. pumilus* به‌تنهایی توانست هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش شاخص کیفیت نهال را در مقایسه با کنترل مربوطه افزایش دهد.

بحث

در این پژوهش، با اعمال تیمار گرد و غبار، مقدار کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید نسبت به شاهد کاهش یافت. کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنشی می‌تواند به‌واسطه

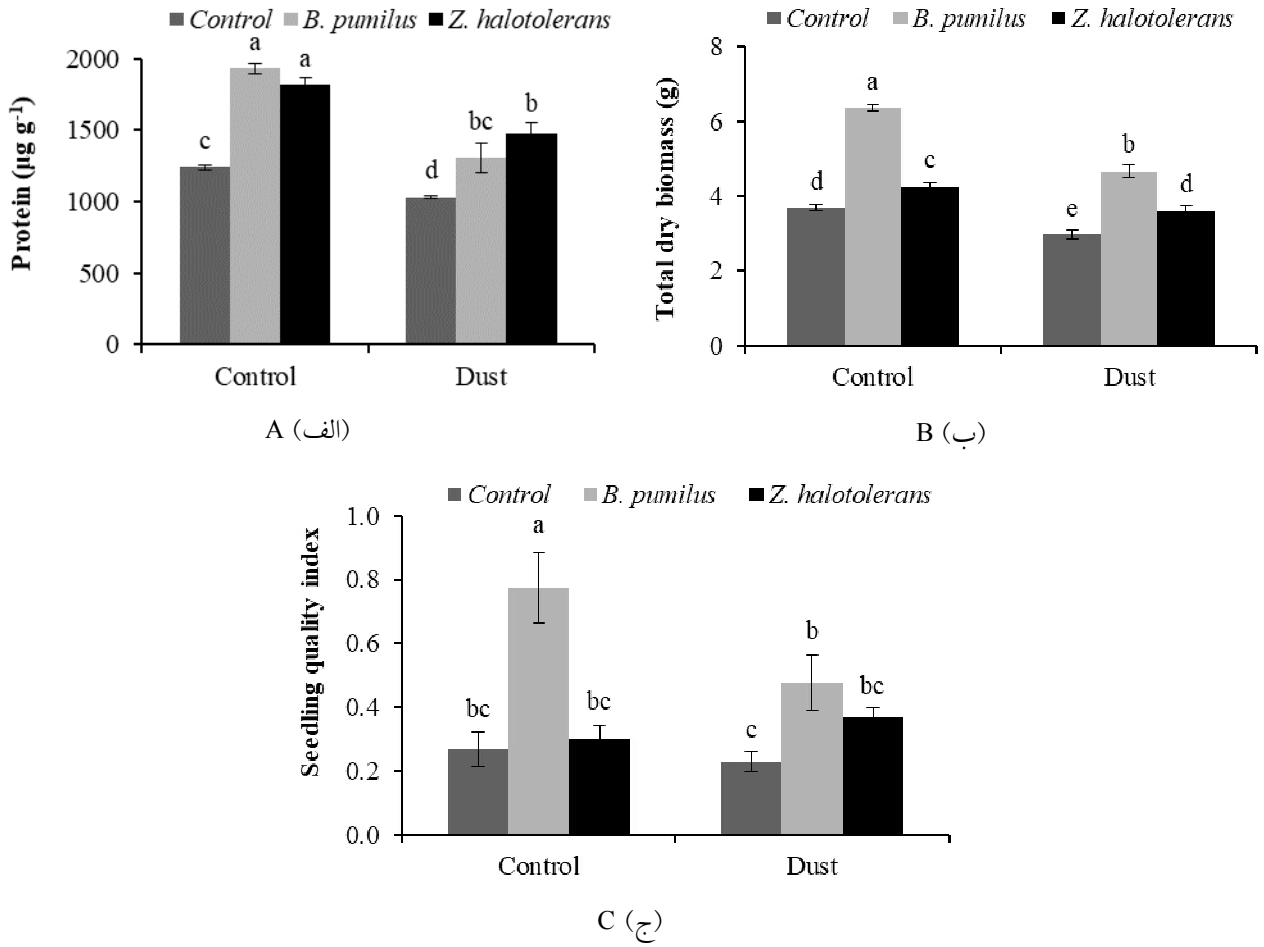


شکل ۳. تأثیر باکتری (الف) و گرد و غبار (ب) بر گلایسین بتائین و تأثیر باکتری (ج) و گرد و غبار (د) بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل؛ میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Fig. 3. Effect of bacteria (A) and dust stress (B) on the content of glycine betaine, and effect of bacteria (C) and dust stress (D) on the content of total antioxidant capacity in *N. schoberi*; Means with at least one similar letter are not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

تخریب ساختار کلروپلاست و سیستم فتوسنتزی (۲۸)، فتواکسیداسیون کلروفیل (۷۳) و تخریب پیش‌ماده‌های سنتز کلروفیل (۷۷) باشد. به‌نظر می‌رسد نشست گرد و غبار بر روی سطح برگ‌ها با ممانعت از جذب نور، سنتز کلروفیل را به مخاطره می‌اندازد (۷۰) و در اثر گرد و غبار غلظت کلروفیل کاهش می‌یابد، که با نتایج سایر پژوهش‌ها (۴۰، ۵۸ و ۶۰) هم‌خوانی دارد. تنش گرد و غبار، باعث کاهش دسترسی گیاه به CO_2، ممانعت از تثبیت کربن و کاهش پی در پی اکسیژن مولکولی شده که نتیجه آن افزایش بیش از حد گونه‌های آزاد اکسیژن[1] (ROS) و صدمه به عملکرد کلروپلاست‌ها و در نهایت اختلال در فرآیند فتوسنتز است (۱۰). استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه در این پژوهش، باعث افزایش مقدار کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید در گونه گیاهی قره‌داغ شد. افزایش مقدار کلروفیل ممکن است به‌علت تولید سیدروفور و اکسین توسط این باکتری‌ها باشد. سیدروفور میل ترکیبی شدید برای پیوند با برخی از کاتیون‌ها از جمله آهن III دارد، که از عناصر ضروری برای ساخت کلروفیل است (۶ و ۲۶). همچنین باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش کارایی مصرف آب آثار مضر تنش بر فتوسنتز را کاهش داده و با افزایش غلظت مقادیر کلروفیل *a* و کلروفیل *b* منجر به بهبود فتوسنتز و رشد گیاه می‌شوند (۱۸). غلظت آنتوسیانین، فلاونوئید کل، محتوای فنل کل و فعالیت

1. Reactive oxygen species



شکل ۴. اثر برهم‌کنش باکتری و گرد و غبار بر محتوای پروتئین محلول کل (الف)، زیست‌توده خشک کل (ب) و شاخص کیفیت نهال (ج)؛ میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Fig. 4. The interaction effect of bacteria and dust stress on the content of protein (A), total dry biomass (B), and seedling quality index (C) in *Nitraria schoberi*; Means with at least one similar letter are not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

آنتی‌اکسیدانی کل در برگ قره‌داغ، با اعمال گرد و غبار افزایش یافت. سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه مانند آنتوسیانین، فلاونوئید و فنل‌ها از مکانیسم‌های تحمل گیاهان در برابر تنش محیطی است (۷۹). از وظایف اصلی این متابولیت‌ها می‌توان به نقش آنتی‌اکسیدانی و محافظت سیستم فتوسنتزی در برابر فتواکسیداسیون اشاره کرد که در گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی نقش محافظتی ایفا می‌کنند (۳۸)، این ترکیبات نه تنها رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) را از بین می‌برد، بلکه از تولید بیش‌تر رادیکال‌های آزاد در گیاه ممانعت به‌عمل می‌آورد. گیاهان با تولید و تجمع آنتوسیانین در لایه‌های اپیدرمی می‌توانند باعث کاهش اثر تنش اکسیداتیو شوند (۳۵). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در شرایط تنش محیطی افزایش آنتوسیانین باعث کاهش پتانسیل آب و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود (۱۶). تنش گرد و غبار، باعث کاهش دسترسی گیاه به CO_2، ممانعت از تثبیت کربن و در نهایت اختلال در فرآیند فتوسنتز است (۲۸ و ۳۶). افزایش و تجمع میزان متابولیت‌های ثانویه و مقدار ترکیبات فنلی در شرایط تنش محیطی به‌عنوان یک سیگنال عمل کرده که می‌تواند با راه‌اندازی زنجیره‌ای از واکنش‌ها در نهایت سبب افزایش تحمل تنش در گیاهان شوند (۷). اثر درازمدت گرد و غبارهای قلیایی و اسیدی و ته‌نشینی

آن‌ها بر روی برگ‌های گیاه می‌تواند باعث نکروزه شدن و افزایش دمای برگ شود (۶۷) و این امر باعث کاهش کارایی فتوسنتزی و تولید ترکیبات گیاهی مانند فلاونوئید کل می‌شود (۸۱). در پژوهش حاضر، باکتری‌های مورد استفاده باعث کاهش معنی‌دار غلظت آنتوسیانین، فلاونوئید، محتوای فنل کل و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل برگ در تنش گرد و غبار شدند. کاهش غلظت آنتوسیانین (۴۳)، فنل کل (۶۵)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۴۷) در حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه در گزارش‌های دیگری هم بیان شده است. سلیمان‌زاده و همکاران (۷۱) نشان دادند که افزایش پتاسیم در گیاه آفتاب‌گردان باعث کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد. در گیاه گندم نیز باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش پتاسیم و کاهش فعالیت آنتی-اکسیدانی شدند (۷۶). در پژوهش حاضر نیز با توجه به نتایج (۶) مبنی بر این‌که باکتری‌های مورد بررسی با اثر بر پتاسیم معدنی، شکل قابل جذب یون پتاسیم برای گیاه را در محیط ریزوسفر افزایش داده و می‌تواند عامل کاهش فعالیت آنتی-اکسیدان‌ها باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که با اعمال گرد و غبار در گونه قره‌داغ، مقدار گلایسین بتائین افزایش می‌یابد. گلایسین بتائین یکی از مواد آلی شناخته شده تعدیل‌کننده اسمزی در گیاهان بوده و نقش اساسی در تنظیم اسمزی دارد (۱۱). ویژگی مولکول گلایسین بتائین مانند ترکیبات پروتئینی و آنزیمی این است که به آن اجازه می‌دهد که با ماکرومولکول‌های آب‌دوست و چربی‌دوست واکنش نشان دهد. تجمع گلایسین بتائین رابطه مثبت با افزایش مقاومت به کم‌آبی در تنش‌های شوری و خشکی در گیاه دارد (۲۴ و ۵۵). پژوهش‌ها نشان داده که گلایسین بتائین سبب افزایش پایداری و استحکام ساختار و فعالیت آنزیمی و ترکیبات پروتئینی شده (۴۲) و در شرایط تنش، نقش آنتی‌اکسیدانی داشته و در محافظت از ساختارهای سلولی، ساختمان ماکرومولکول‌ها و از بین بردن رادیکال‌های آزاد کاربرد دارد (۱). تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث کاهش مقدار گلایسین بتائین در گونه قره‌داغ شد. در این میان سویه *B. pumilus* بیش‌ترین اثر را در کاهش میزان گلایسین بتائین داشت. باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش جذب پتاسیم از طریق اسیدی‌کردن محیط ریزوسفر، افزایش جذب آب از طریق تولید اکسین و افزایش حجم ریشه، در کاهش تنش مشارکت می‌کنند، که این خود کاهش تولید اسمولیت‌های آلی مانند گلایسین بتائین را توجیه می‌کند. کاهش میزان گلایسین بتائین در شرایط تنش‌های زیستی در تیمارهای تلقیحی با باکتری محرک رشد گیاه در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (۸۲).

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، با اعمال گرد و غبار، مقدار مالون دی‌آلدئید افزایش یافت. مالون دی‌آلدئید یک محصول پراکسیداسیون لیپیدها است که به‌عنوان یک نشانه برای بررسی میزان آسیب‌های غشاء سلولی در شرایط تنش از جمله تنش گرد و غبار مورد استفاده قرار گیرد (۱). افزایش میزان مالون دی‌آلدئید در شرایط گرد و غبار (۲۱) گزارش شده است. تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه در حالت تنش باعث کاهش مالون دی‌آلدئید در گونه قره‌داغ شد، به‌طوری‌که تلقیح با سویه *Z. halotolerans* بیش‌ترین اثر را در کاهش میزان مالون دی‌آلدئید داشت. باکتری‌های محرک رشد گیاه تولید ROS را کاهش داده و به این وسیله از آسیب به غشای سلولی و بنابراین تشکیل مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش محیطی جلوگیری می-کنند (۱۲ و ۶۹). کاهش میزان مالون دی‌آلدئید در شرایط تنشی در تیمارهای تلقیحی با باکتری محرک رشد گیاه در پژوهش-های دیگر نیز گزارش شده است (۵ و ۵۹). در این آزمایش باکتری‌ها توانستند مقدار مالون دی‌آلدئید در گیاه شاهد را کاهش دهند. این موضوع نشان می‌هد که احتمالاً شرایط گرمایی در گلخانه باعث افزایش بخشی از مالون دی‌آلدئید موجود در گیاهان باشد.

در این پژوهش، با اعمال گرد و غبار، مقدار پروتئین محلول کل برگ کاهش یافت. در شرایط تنش گرد و غبار کاهش میزان پروتئین محلول کل می‌تواند به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین باشد. کاهش میزان پروتئین در شرایط گرد

و غبار در پژوهش‌های مختلف گزارش شده است (۸۲). تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه در حالت تنش باعث افزایش پروتئین در قره‌داغ شد. افزایش مقدار پروتئین محلول کل در شرایط تنش محیطی از طریق جلوگیری از تخریب آن‌ها یا تحریک سنتز آن‌ها یکی از سازوکارهای باکتری‌های محرک رشد گیاه برای تحمل گیاه در برابر تنش است. به‌نظر می‌رسد باکتری‌های PGPR از طریق تثبیت N_2 باعث افزایش تولید پروتئین در شرایط تنشی شده و به این دلیل می‌توانند تا حدودی آثار مضر تنش را کاهش دهند. پیش از این تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های مورد بررسی گزارش شده است (۶ و ۲۵). افزایش تولید پروتئین محلول کل در شرایط تنشی در تیمارهای تلقیحی با باکتری محرک رشد گیاه در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (۳۳، ۵۲ و ۶۲).

نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار زیست‌توده و شاخص کیفیت نهال گیاه با اعمال گرد و غبار کاهش یافت. سطوح برگ پوشیده‌شده با ذرات گرد و غبار نور کم‌تری برای انجام فرآیند فتوسنتز دریافت می‌کنند و این امر منجر به بسته‌شدن روزنه‌های برگ‌ها و در نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای آن‌ها می‌شود. کاهش هدایت روزنه‌ای در گیاهان نهایتاً بر تشکیل زیست‌توده و عملکرد گیاه اثر منفی می‌گذارد. تنش گرد و غبار از طریق افزایش نفوذپذیری سلول‌های گیاهی باعث از دست رفتن آب و مواد غذایی محلول برگ شده و با کاهش میزان موجودی آب برگ بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی تأثیر معنی‌داری داشته و عموماً تولید ماده خشک در کلیه اندام‌های گیاهی را کاهش می‌دهد. کاهش مقدار زیست‌توده گیاه ناشی از تنش گرد و غبار در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (۸۰ و ۸۱). در پژوهش حاضر، تولید ماده خشک گونه‌های گیاهی مذکور در تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که سویه *B. pumilus* بیش‌ترین تأثیر را در این زمینه داشت. به‌نظر می‌رسد تیمارهای گونه‌های مذکور تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش رشد ریشه سبب افزایش فراهمی آب و مواد غذایی در شرایط تنش محیطی شده و رشد گیاه و در نهایت شاخص زیست‌توده گیاه را افزایش داد. این نتایج با نتایج پژوهش‌های دیگر همخوانی دارد (۵۸، ۵۹ و ۸۲).

شاخص کیفیت نهال نیز در تیمارهای تلقیح‌شده با جدایه‌های باکتری در سطح تیمار تنش در مقایسه با شاهد بهبود یافت، که سویه *B. pumilus* بیش‌ترین تأثیر را در گونه قره‌داغ داشت. باکتری‌های محرک رشد گیاه علاوه بر تأمین فسفر مورد نیاز گیاه، از طریق سازوکارهای دیگری مانند تولید آنزیم ACC-دی‌آمیناز، تولید و افزایش ترکیبات سازگار محلول (اسمولیت) و کمک به تعادل یونی، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، القاء مقاومت سیستمیک در گیاه، مقاومت گیاهان را در برابر تنش‌های محیطی افزایش داده (۲۷) و در نتیجه رشد و نمو نهال بهبود می‌یابد. بررسی‌های مختلف تأثیر مثبت کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه بر ساختار ترکیبی شاخص کیفیت نهال از جمله افزایش مقادیر وزن خشک کل و نسبت ریشه به ساقه و قطر یقه گیاهان مختلف را نشان داده‌اند (۱۴).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که باکتری‌های محرک رشد گیاه، صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک نهال‌های قره‌داغ را تحت تنش گرد و غبار نسبت به تیمار شاهد بهبود می‌بخشند. می‌توان نتیجه گرفت ریزوسفر گیاهان شورپسند منبع مناسبی برای جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری هستند؛ و می‌توانند در ایجاد پوشش گیاهی در حاشیه کویرها (احیاء بیولوژیک پلایاها) مفید باشند. با این‌حال، اجرای پژوهش‌های تکمیلی به‌صورت میدانی در رویشگاه این‌گونه بیابانی ضروری است تا عملکرد و کارایی این سویه‌های باکتریایی به‌عنوان زادمایه کود زیستی مناسب برای مقابله با شرایط گرد و غبار اثبات شود.

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شـخص،

منابع مورد استفاده

1. Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Király, L., Künstler, A., 2021. The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. *Biology* 10(6): 520.
2. Agricultural research education and extension organization (AREEO)., 2018. Executive comprehensive plan to combat dust in the internal centers of Khuzestan. Khuzestan forest and rangelands research center. (In Persian)
3. Ahmadi Foroushani, M., Opp, C., Groll, M., 2021. Investigation of aeolian dust deposition rates in different climate zones of Southwestern Iran. *Atmosphere* 12(2): 229. (In Persian with English abstract)
4. Akhani, H., 2002. Notes on the flora of Iran: Asparagus (Asparagaceae) Nitraria (Zygophyllaceae). Edinburgh. *Edinburgh Journal of Botany* 59(2): 295–302.
5. Alexander, A., Singh, V.K., Mishra, A., 2020. Halotolerant PGPR *Stenotrophomonas maltophilia* BJ01 induces salt tolerance by modulating physiology and biochemical activities of *Arachis hypogaea*. *Frontiers in Microbiology* 11: 568289.
6. Amini Hajiabadi, A., Mosleh Arani, A., Ghasemi, S., Rad, M.H., Etesami, H., Shabazi Manshadi, S., Dolati, A., 2021. Mining the rhizosphere of halophytic rangeland plants for halotolerant bacteria to improve growth and yield of salinity-stressed wheat. *Plant Physiology and Biochemistry* 163: 139–153.
7. Anderson, O.M., Jordheim, M., 2005. The anthocyanins. In: Anderson, O.M., Markham, K.R. (Eds.), Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications. CRC Press, London, pp. 471–553.
8. Ansari, M., Shekari, F., Mohammadi, M. H., Juhos, K., Végvári, G., Biró, B., 2019. Salt-tolerant plant growth-promoting bacteria enhanced salinity tolerance of salt-tolerant alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars at high salinity. *Acta Physiologiae Plantarum* 41(12): 195.
9. Asghari Zamani, A., 2014. Assessment of lake level change in Urmia as a deep environmental challenge to the north-west of Iran. *Geographic Space Geosciences* 41: 77–91
10. Ashraf, M., Harris, P. J. C., 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166(1): 3–16.
11. Ashraf, M., Foolad. M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59: 206–216.
12. Batool, T., Ali, S., Seleiman, M.F., Naveed, N.H., Ali, A., Ahmed, K., 2020. Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. *Scientific Reports* 10(1): 1–19.
13. Bauerle, W.L., Wang, G.G., Bowden, J.D., Hong, C.M., 2006. An analysis of ecophysiological responses to drought in American chestnut. *Annals of Forest Science* 63(8): 833–842.
14. Bhatt, S.h., Pandhi, N., Raghav, R., 2020. Improved salt tolerance and growth parameters of groundnut *(Arachis hypogaea* L.) employing halotolerant *Bacillus cereus SVSCD1* isolated from Saurashtra region, Gujarat. *Ecology, Environment and Conservation Paper* 26: 199–212.
15. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* 28(1): 25–30.
16. Cartea, M. E., Francisco, M., Soengas, P., Velasco, P., 2011. Phenolic compounds in Brassica vegetables. *Molecules* 16(1): 251–280.
17. Chaturvedi, R K., Shikha, P., Savita, R., Obaidollah, S.M., Vijay, P., Hema, S. 2013. Effect of drought load on the leaf attributes of the tree species growing along the roadside. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment* 185: 384–391.
18. Cheng, Z., Park, E., Glick, B. R., 2007. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase from *Pseudomonas putida* UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. *Canadian Journal of Microbiology* 53(7): 912–8.
19. Coelho, M. B., Mateos, L., Villalobos, F. L., 2000. Comparative studies of synthesis of nano-sized ferrite from the thermolysis of di-and tri-phenylamine substituted pentacyanoferrate complexes. *Soil and Tillage Research* 57(3): 129–142.
20. Compant, S., Clement, C., Sessitsch, A., 2010. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endo-sphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry* 42(5): 669–678.
21. Davey, M. W., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J., Swennen, R. L., 2005. High throughput of malondialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistre* 347(2): 201–207.

22. Dickson, A., Leaf, A. L., Hosner, J. F., 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36(1): 10–13.
23. Ebrahimi Mohmmad Abadi, N., Kaboli, S. H., Rejali, F., Zolfaghari, A. A., 2021. Promotion of the seedling growth of *Nitraria schoberi* L. in cultivating trays and seedling bags with seed priming. *Desert* 26(1): 43–53.
24. Ehghaghi, R., Mosleh Arani, A. Azimzadeh, H.R., Zargara, N. M., Kiani, B., 2015. Investigation of some ecological characteristics of four Calligonum species in Yazd province. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 22(1): 168–183. (In Persian with English abstract)
25. Emami, T., Mirzaeiheydari, M., Maleki, A., Bazgir, M., 2019. Effect of native growth promoting bacteria and commercial biofertilizers on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare*) under salinity stress conditions. *Cellular and Molecular Biology* 65(6): 22–27.
26. Etesami, H., Beattie, G. A., 2017. Plant-microbe interactions in adaptation of agricultural crops to abiotic stress conditions. In: Kumar, V., Kumar, M., Shama, S., Prasad, R. (Eds.), Probiotics and Plant Health. Berlin: Springer, pp. 163–200.
27. Etesami, H., Maheshwari, D. K., 2018. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects. Ecotoxicology *and* Environmental *Safety* 156: 225–246.
28. Ghanem, A. F. M., Mohamed, E., Kasem, A. M. M. A., El-Ghamery, A. A., 2021. Differential salt tolerance strategies in three halophytes from the same ecological habitat: augmentation of Antioxidant enzymes and compounds. *Plants* 10: 2–21.
29. Goswami, B., Rankawat, R., Gadi, B., 2020. Physiological and antioxidative responses associated with drought tolerance of *Lasiurus sindicus* endemic to Thar Desert. India. *Brazilian Journal of Botany* 43: 761–773.
30. Gourdji, S., 2018. Review of plants to mitigate particulate matter, ozone as well as nitrogen dioxide air pollutants and applicable recommendations for green roofs in Montreal, Quebec. *Environmental Pollution* 241: 378–387.
31. Grantz, D.A., Garner, J.H.B., Johnson, D.W., 2003. Ecological effects of particulate matter. *Environment International* 29(2-3): 213–239.
32. Grieve, C.M., Grattan, S.R., 1983. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil* 70: 303–307.
33. Habib, S. H., Kausar, H., Saud, H. M., 2016. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance salinity stress tolerance in Okra through ROS-scavenging enzymes. *BioMed Research International* 2016: 6284547
34. Hajiabadi, A.A., Mosleh Arani, A., Etesami, H., 2022. Salt-tolerant genotypes and halotolerant rhizobacteria: A potential synergistic alliance to endure high salinity conditions in wheat. *Environmental and Experimental Botany* 202: 105033.
35. Hare, P.D., Cress, W.A., 2007. Metabolic implications of stress-induced accumulation in plants. *Plant Growth Regulation* 21: 79–102.
36. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M., Anee, T. I., Parvin, K., Nahar, K., Mahmud J. A., Fujita, M., 2019. Regulation of ascorbate-glutathione pathway in mitigating oxidative damage in plants under abiotic stress. *Antioxidants* 8(9): 384–390.
37. Hatami, Z., 2018. Effects of Desert Dust on Yield and Yield Components, Physiological and Morphological Traits of Wheat (*Triticum aestivum*) and Cowpea (*Vigna unguiculata* L.). PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
38. He, F., Mu, L., Yan, G.L., Liang, N.N., Pan, Q.H., Wang, J., Duan, C.Q., 2010. Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules* 15(12): 9057–9091.
39. Hosseini, S., Sadeghipour, A., Nikoo, S. H., 2019. The effect of clay nanoparticles in synthetic polymeric resins on germination and growth in two species of *Nitraria schoberi* and *Halothamnus glaucus*. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 26(4): 1032–1041. (In Persian with English abstract)
40. Javanmard, Z., Tabari Kouchaksaraei, M., Bahrami, H., Hosseini, S.M., Modarres Sanavi, S.D., 2019. Dust collection potential and air pollution tolerance indices in some young plant species in arid regions of Iran. *iForest* 12: 558–564.
41. Jha, B., Gontia, I., Hartmann, A., 2012. The roots of the halophyte *Salicornia brachiata* are a source of new halotolerant diazotrophic bacteria with plant growth-promoting potential. *Plant and Soil* 356(1-2): 265–277.
42. Kadkhodaei, H., Sodaeizadeh, H., Mosleh Arany, A., HakimZadeh, M. A., 2016. The role of glycine betain in increasing drought resistance of *Sorghum halopens* under field condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 9(2):139–147. (In Persian with English abstract)
43. Kahil, A.A., Hassan, F.A.S., Ali, E.F., 2017. Influence of bio-fertilizers on growth, yield and anthocyanin content of *Hibiscus sabdariffa* L. plant under Taif region conditions. *Annual Research and Review in Biology* 17: 1–15.
44. Karami, L., Ghaderi, N., Javadi, T., 2017. Morphological and physiological responses of grapevine (*Vitis vinifera*) to drought stress and dust pollution. *Folia Horticulture* 29(2): 231–240.
45. Karimi, H., Zaidali, A., Omidipour, R., 2018. Evaluation of yield of rained and irrigated wheat under drought stress

in Ilam province. In: The 2nd International Conference on Dust, Ilam, pp. 306–317.
46. Kevin, P., James Richards, H., 1998. Does seed dispersal limit initiation of succession in desert playas? *American Journal of Botany* 85(12): 1722–1731.
47. Khan, M.A., Asaf, S., Khan, A.L., Jan, R., Kang, S.M., Kim, K.M., Lee, I.J., 2020. Thermotolerance effect of plant growth-promoting *Bacillus cereus* SA1 on soybean during heat stress. *BMC Microbiology* 20: 175.
48. Khazaei, Z., 2021. Investigation of functional aspects of *Seidlitzia rosmarinus*, *Nitraria schoberi* L., *Haloxylon aphyllum*, *Zygophyllum eurypterum* and *Ephedra major* desert species. In: The 1st Scientific Research Conference on Urban Planning, Civil Engineering, Architecture and Environment, pp. 1–7.
49. Li, X., Sun, P., Zhang, Y., Jin, C., Guan, C., 2020. A novel PGPR strain *Kocuria rhizophila* Y1 enhances salt stress tolerance in maize by regulating phytohormone levels, nutrient acquisition, redox potential, ion homeostasis, photosynthetic capacity and stress-responsive genes expression. *Environmental and Experimental Botany* 174: 104023.
50. Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic bio-membranes. *Methods in Enzymology* 148: 350–382.
51. Lichvar, R., Brostoff, W., Sprecher, S., 2006. Surficial features associated with ponded water on playas of the arid southwestern United States: Indicators for delineating regulated areas under the clean water act. *Wetlands* 26(2): 385–399.
52. Liu, J., Tang, L., Gao, H., Zhang, M., Guo, C., 2019. Enhancement of alfalfa yield and quality by plant growth-promoting rhizobacteria under saline-alkali conditions. The *Science* of *Food* and *Agriculture* 99(1): 281–289.
53. Lowry, O.H., Rosebriugh, N.J., Ferr, A.L., Randall, R.J., 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal Biological Chemistry* 193(1): 265–275.
54. Mc Donald S., Prenzler, P. D., Autolovich, M., Robards, K., 2001. Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food Chemistry* 73(1): 73–84.
55. Mosleh Arani, A., Rafiei, A., Tabandeh, A., Azimzadeh, H.R., 2018. Morphological and physiological responses of root and leave in *Gleditschia caspica* to salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology* 9(4): 1–12. (In Persian with English abstract)
56. Mosleh Arany, A., De Jong, T.J., Kim, H.K., Van Dam, N.M., Choi, Y.H., Verpoorte, R., Van der Meijden, E., 2008. Glucosinolates and other metabolites in the leaves of *Arabidopsis thaliana* from natural populations and their effects on a generalist and a specialist herbivore. *Chemoecology* 18: 65–71.
57. Mosleh Arany, A., Jong, T.J., Kim, H.K., Dam, N. M., Choi, Y.H., Mil, H.G.J., Verpoorte, R., Meijden, E., 2009. Genotype–environment interactions affect flower and fruit herbivory and plant chemistry of *Arabidopsis thaliana* in a transplant experiment. *Ecological Research* 24: 1161–1171.
58. Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., Dinarvand, M., 2022a. Improved salinity and dust stress tolerance in the desert halophyte *Haloxylon aphyllum* by halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria. *Frontiers in Plant Science* 13: 948260.
59. Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., Dinarvand, M., 2022b. Halotolerant rhizobacteria enhance the tolerance of the desert halophyte *Nitraria schoberi* to salinity and dust pollution by improving its physiological and nutritional status. *Applied Soil Ecology* 179: 1–16.
60. Naseri, H. R., Shakeri, R., Yousefi Khanghah, S., PourRezaee, J., 2019. Assessment of soil carbon storage in Saxaul forests in the Buin Zahra desert of Iran. *International Scientific Journal of Mechanization in Agriculture and Conserving of the Resources* 65(6): 226–227.
61. Noori, F., Etesami, H., Zarini, H. N., Khoshkholgh-Sima, N. A., Salekdeh, G. H., Alishahi, F., 2018. Mining alfalfa (*Medicago sativa* L.) nodules for salinity tolerant non-rhizobial bacteria to improve growth of alfalfa under salinity stress. *Ecotoxicology* and *Environmental* Safe*ty* 162: 129–138.
62. Pan, J., Peng, F., Xue, X., You, Q., Zhang, W., Wang, T., Huang, C., 2019. The growth promotion of two salt-tolerant plant groups with PGPR Inoculation: A meta-analysis. *Sustainability* 11(1): 1–14.
63. Prasad, M., Srinivasan, R., Chaudhary, M., Choudhary, M., Jat, L. K., 2019. Plant growth promoting rhizobacteria for sustainable agriculture: Perspectives and challenges. In: Singh, A.K., Kumar, A., Singh, P.K. (Eds.), PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture: Food Security and Environmental Management. Woodhead Publishing: Cambridge, UK.
64. Rastegari, A.A., Yadav, A.N., Yadav, N., 2020. New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Trends of Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture and Biomedicine Systems: Diversity and Functional Perspectives. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.
65. Saleh, M. S., Al-Garni, M. d., Mohibul A. K., Ahmed, B., 2019. Plant growth-promoting bacteria and silicon fertilizer enhance plant growth and salinity tolerance in *Coriandrum sativum*. *Journal of Plant Interactions* 14(1): 386–396.
66. Salehi, F., Abbasi, N., Darabi, F., 2018. An investigation of the effects of haze on the physiology of plants. In: 2nd International Conference on Dust, Ilam. 580–586.
67. Sarala, T.D., Saravana, K.R., 2012. Correlation analysis and exceedence factor among the ambient gaseous

pollutants and particulate matter in urban area. *Journal of Research in Biology* 2(3): 232–240.
68. Shahid, S.A., Zaman, M., Heng, L., 2018. Soil salinity: historical perspectives and a world overview of the problem. In: Zaman, M., Shahid, SA., Heng, L. (Eds.), Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. Springer, Cham, pp. 43–53.
69. Singh, R.P., Jha, P., Jha, P.N., 2015. The plant-growth-promoting bacterium *Klebsiella* sp. SBP-8 confers induced systemic tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) under salt stress. *Plant Physiology* 184(2): 57–67.
70. Singh, S.N., Rao, D.N., 1981. Certain responses of wheat plants to cement dust pollution. *Environmental Pollution* 24: 75–81.
71. Soleimanzadeh, H., Habibi, D., Ardakani, M.R., Paknejad, F., Rejali, F., 2010. Effect of potassium levels on antioxidant enzymes and malondialdehyde content under drought stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5(1): 56–61.
72. Stewart, R.R.R.C., Bewley, J. D., 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axe. *Plant Physiology* 65(2): 245–248.
73. Sukweenadhi, J., Balusamy, S.R., Kim, Y-J., Lee, C.H., Kim, Y-J., Koh, S.C., Yang, D.C., 2018. A growth-promoting bacteria, Paenibacillus yonginensis DCY84T enhanced salt stress tolerance by activating defense-related systems in *Panax ginseng*. *Frontiers in Plant Science* 9: 813.
74. Taheri Analojeh, A., Azimzadeh, H.R., Mosleh Arani, A., Sodaiezadeh, H., 2016. Investigating and comparing short period impact of dust on physiological characteristics of three species of *Pinus eldarica*, *Cupressus sempervirens,* and *Ligustrum ovalifolium*. *Arabian Journal of Geosciences* 9(4): 1–12.
75. Toderich, K.N., Shuyskaya, E.V., Ismail, S., Gismatullina, L.G., Radjabov, T., Bekchanov, B.B., Aralova, D.B., 2009. Phytogenic resources of halophytes of Central Asia and their role for rehabilitation of sandy desert degraded rangelands. *Land Degradation and Development* 20: 386–396.
76. Upadhyay, S.K., Singh, J.S., Saxena, A.K., Singh, D.P., 2012. Impact of PGPR inoculation on growth and antioxidant status of wheat under saline conditions. *Plant Biology* 14(4): 605–611.
77. Viera Santos, C., 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae* 103(1): 93–99.
78. Wagner, G. J., 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids anthocyanins in protoplasts. *Plant Physiology* 64(1): 88–93.
79. Wakeela, A., Asif, A. R., Pitann, B., Schubert, S., 2010. Proteome analysis of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) elucidates constitutive adaptation during the first phase of salt stress. *Plant Physiology* 168(6): 519–526.
80. Yaghmaei, L., Jafari, R., Soltani, S., Eshghizadeh, H.R., Jahanbazy, H., 2020. Interaction effects of dust and water deficit stresses on growth and physiology of persian Oak (*Quercus Brantii* Lindl.). *Sustainable Forestry* 41(2): 134–158.
81. Zilaie M, Mosleh Arani A., Etesami H., 2023. The importance of plant growth-promoting rhizobacteria to increase air pollution tolerance index (APTI) in the plants of green belt to control dust hazards. *Frontiers in Plant Science*. 14: 1098368. doi: 10.3389/fpls.2023.1098368.
82. Zilaie, M.N., Arani, A.M., Etesami, H., Dinarvand, M., Dolati, A., 2022. Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria-mediated alleviation of salinity and dust stress and improvement of forage yield in the desert halophyte *Seidlitzia rosmarinus*. *Environmental and Experimental Botany* 201: 104952.