



<https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en>

IRANIAN JOURNAL OF PLANT BIOLOGY

E-ISSN: 2322-2204

Vol. 14, Issue, No. 3, Autumn 2022

Document Type: Research Paper

Received: 10/12/2022

Accepted: 15/07/2023

## The Effect of *Bacillus Pumilus* and *Zhihengliuella Halotolerans* on Vegetative Growth and Ionic Content of *Seidlitzia Rosmarinus* Bunge ex Boiss under Dust Stress

Mahamood Najafi Zilaie<sup>1</sup>, Asghar Mosleh Arani<sup>2\*</sup>, Hassan Etesami<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Arid Land and Desert Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

<sup>2</sup>Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

<sup>3</sup>Department of Soil Science, University of Tehran, Karaj, Iran

### Abstract

In desert areas, a variety of environmental stresses, including dust, affect the biomass and nutritional value of forage plants. In order to improve the value of fodder in dry areas, in the present study, the effect of plant growth-promoting rhizobacteria (*Bacillus pumilus* and *Zhihengliuella halotolerans*) on some morphological and physiological characteristics and ionic content of *Seidlitzia rosmarinus* was investigated under dust stress (control and 1.5 g/m<sup>2</sup>/month) in a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications for 5 months in greenhouse conditions. The results showed that dust stress had a negative effect on the morpho-physiological characteristics of *Seidlitzia rosmarinus*. *Z. halotolerans* strain compared to *B. pumilus* had a greater effect on the improvement of *Seidlitzia rosmarinus* under dust stress so that *Z. halotolerans* increased 192% of potassium, 20% of nitrogen, 12% of iron, 48% of calcium, 37% of magnesium, 31 % of manganese, 30% of dry biomass, 74% of proline, 18% of soluble sugars, and 52% of sodium. The results of this research showed that the effect of bacteria on the species of *Seidlitzia rosmarinus* can be dependent on the type of bacteria. The results also showed that the plant growth-promoting rhizobacteria can increase the seedling quality index under dust stress conditions and help us to increase the fodder species in arid and semi-arid ecosystems.

### Introduction

In desert areas, environmental stresses affect the biomass of plants which can be used as forage. *Seidlitzia rosmarinus* Bunge ex Boiss forms an important part of the flora of the desert areas and plays an essential role in protecting the soil and feeding camels and sheep. One of the important environmental stresses accompanying drought and salinity

\* Corresponding Author: amosleh@yazd.ac.ir



is dust both on a local scale and on a regional scale. Dust particles are placed on the leaves, young branches, and the surface of the trunk of plants for a long time. This fact applies more to desert environments, due to the low rainfall that prevents the removal of dust particles from the surface of the leaves and other parts of the plant. Dust can cause harmful effects on photosynthetic activity and cause serious damage to the plant (Najafi Zilaie et al., 2022). Plants under these stresses will experience a series of morphological, physiological, and biochemical changes. In recent years, the use of plant growth-promoting rhizobacteria as a leading strategy for reducing the effects of environmental stresses has attracted the attention of researchers. This research was designed and implemented with the aim of investigating the effect of inoculation of two plant growth-stimulating bacteria, *Bacillus pumilus* and *Zhihengliuella halotolerans*, on some morphological and physiological characteristics and ionic content of *Seidlitzia rosmarinus* under dust. The results of this research can help us in the afforestation of this species under dust in the conditions of climate change in arid and semi-arid ecosystems.

### **Materials and 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). 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, morphological, and ionic content tests.

### **Results and Discussion**

The results showed that dust stress had a negative effect on the morpho-physiological characteristics of *Seidlitzia rosmarinus*. *Z. halotolerans* strain compared to *B. pumilus* had a greater effect on the improvement of *Seidlitzia rosmarinus* under dust stress so that *Z. halotolerans* increased 192% of potassium, 20% of nitrogen, 12% of iron, 48% of calcium, 37% of magnesium, 31 % of manganese, 30% of dry biomass, 74% of proline, 18% of soluble sugars, and 52% of sodium. The results showed that dust treatment alone reduced the seedling quality index by 17%. The seedling quality index in the inoculation of *Z. halotolerans* and *B. pumilus* bacteria with seedlings in conditions with dust and without dust was not significant compared to the control. The results of this research showed that the effect of bacteria on the species of *Seidlitzia rosmarinus* can be dependent on the type of bacteria. The results also showed that the plant growth-promoting rhizobacteria can increase the seedling quality index under dust stress conditions and help us to increase the fodder species in arid and semi-arid ecosystems.

### **Conclusion**

It is concluded that the plant growth-stimulating bacteria improved the morphological, physiological, and biochemical characteristics of *Seidlitzia rosmarinus* seedlings under dust stress compared to the control treatment. Meanwhile, the *Z. halotolerans* strain (that had been isolated from the *Seidlitzia rosmarinus*) had a greater effect than *B. pumilus* in improving the negative effects of dust on most of the measured characteristics and this makes clear the importance of bacteria-plant interaction. It can be concluded that the rhizosphere of plants is a suitable source for isolating growth-

promoting bacteria and they can promise to increase the production of fodder and improve the tolerance of plants to air pollution. However, it is necessary to carry out additional field research in the habitat of these desert species in order to prove the performance and efficiency of these bacterial strains as suitable biofertilizers to deal with dust-stress conditions.

**Keywords:** Stress, Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Proline, Halophytes  
Introduction

## اثر باکتری‌های *Zhihengliuella* و *Bacillus pumilus* *halotolerans* بر رشد رویشی و محتوای یونی گیاه اشنان (*Seidlitzia rosmarinus* Bunge ex Boiss) تحت تنش گردوغبار

محمود نجفی زیلایی<sup>۱</sup>، اصغر مصلح آرانی<sup>۲\*</sup>، حسن اعتصامی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۲</sup> گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۳</sup> گروه خاک‌شناسی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده

در مناطق بیابانی، مجموعه مختلفی از تنش‌های محیطی از جمله گردوغبار روی زیست‌توده و ارزش غذایی گیاهان علوفه‌ای تأثیر می‌گذارد. به‌منظور بهبود ارزش علوفه در مناطق خشک، در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* روی برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و محتوای یونی گیاه اشنان تحت تأثیر گردوغبار (شاهد و ۱/۵ گرم بر مترمربع در ماه) به‌شکل آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار به مدت ۵ ماه طی سال ۱۳۹۹ و در گلخانه دانشگاه یزد پرداخته شد. نتایج نشان دادند تنش گردوغبار بر ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیک گیاه اشنان تأثیر منفی دارد. سوئیه *Z. halotolerans* نسبت به *B. pumilus* تأثیر بیشتری در بهبود گیاه اشنان تحت تنش گردوغبار داشت؛ به‌طوری‌که *Z. halotolerans* باعث افزایش ۱۹۲ درصدی پتاسیم، ۲۰ درصدی نیتروژن، ۱۲ درصدی آهن، ۴۸ درصدی کلسیم، ۳۷ درصدی منیزیم، ۳۱ درصدی منگنز، ۳۰ درصدی زیست‌توده خشک و کاهش ۷۴ درصدی پرولین، ۱۸ درصدی قندهای محلول و ۵۲ درصدی سدیم شد. نتایج پژوهش حاضر نشان دادند تأثیر باکتری‌ها روی گونه اشنان به نوع باکتری وابسته است؛ همچنین نتایج نشان دادند باکتری‌های محرک رشد گیاه سبب افزایش شاخص کیفیت نهال در شرایط تنش گردوغبار می‌شوند و ما را در افزایش علوفه گونه اشنان در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک یاری می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی:** تنش، باکتری محرک رشد گیاه، پرولین، گیاهان شورپسند



## مقدمه

باتوجه به اهمیت صنعت دامداری در اشتغال، بهبود وضع اقتصادی و تأمین بخشی از پروتئین موردنیاز جامعه (Norman et al., 2016)، ضروریست در راستای بهبود وضعیت مراتع در مناطق خشک و بیابانی به منظور تولید علوفه کافی اقداماتی انجام شود. شناخت پتانسیل‌های موجود در مناطق بیابانی، شناسایی و معرفی گیاهان وفق‌پذیر با شرایط به‌منظور تعدیل شرایط سخت و شکننده و تولید علوفه اهمیت زیادی دارد. در نواحی شور و بیابانی با بارندگی اندک، کاشت گیاهان هالوفیت به‌عنوان یکی از راهکاری مناسب برای تولید ذخیره بارزش علوفه‌ای پیشنهاد شده است (Duarte & Cacador, 2021)؛ یکی از گیاهان هالوفیت، اشنان (*Seidlitzia rosmarinus* Bunge ex Boiss) است که بخش مهمی از فلور مناطق بیابانی ایران را تشکیل می‌دهد و نقشی اساسی در حفاظت خاک و جیره غذایی شتر و گوسفند در مناطق بیابانی ایفا می‌کند (Dereje & Uden, 2005).

در مناطق بیابانی، تنش‌های محیطی بر گیاهان اثر می‌کنند و ساختار مورفولوژیک و فیزیولوژیک گونه‌های شورپسند (گونه‌های غالب در این مناطق) را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Najafi Zilaie et al., 2022a) و رشد و تولید این گیاهان را که می‌توانند کاربرد علوفه‌ای داشته باشند، محدود می‌کنند. کشور ایران در معرض وقوع پدیده گردوغبار در مقیاس محلی و نیز در مقیاس منطقه‌ای و جهانی قرار دارد و طی سال‌های اخیر، این پدیده زیست‌محیطی با شدت بیشتر مناطق غرب، شرق و حتی مرکز ایران را دربر گرفته است (Rashki et al., 2014). این

ذرات سبب بسته شدن دهانه روزنه‌های برگ (که حدود ۵ تا ۷ میکرومتر است) (Siqueira-Silva et al., 2016) و افزایش دمای برگ، تهویه‌نشدن مناسب، انجام‌نشدن تعرق و عدم ورود کربن‌دی‌اکسید به برگ می‌شوند و تجمع آنها سبب ایجاد حالت سایه بر گیاه می‌شود و فتوسنتز در برگ را کاهش می‌دهد (Mohammadi et al., 2018)؛ همانند دیگر تنش‌ها، گردوغبار آثار زیانباری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی، فیزیولوژیک (Taheri et al., 2016) و مورفولوژیک (Najafi et al., 2022b) و نیز پتانسیل تولید گیاهان علوفه‌ای (Zilaie et al., 2022) دارد و با کاهش ذخیره رطوبتی، بروز آفت‌ها و امراض و پیشگیری از نفوذ نور خورشید بر تولید گیاهان اثر منفی می‌گذارد (Karimi et al., 2018). ذرات گردوغبار به مدت طولانی بر برگ‌ها، شاخه‌های جوان و سطح تنه گیاهان می‌نشینند و این امر بیشتر در محیط‌های بیابانی که کمی باران مانع حذف ذرات گردوغبار از سطح برگ‌ها و بخش‌های دیگر گیاه می‌شود، صدق می‌کند (Grantz et al., 2003).

یکی از راهکارهای زیستی برای مقابله با تنش‌های محیطی که راهکاری محتمل برای افزایش تولید علوفه مراتع به شمار می‌آید (Hungria et al., 2021)، استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه است که در شرایط تنش، گیاه را حمایت می‌کنند و مانع توقف رشد آن می‌شوند (Amini et al., 2021). باکتری‌های محرک رشد با تولید هورمون‌های گیاهی، آمینواسیدها، حلالیت فسفات‌های معدنی و پتاسیم معدنی، تثبیت نیتروژن

طی سال اول و افزایش ۶ درصدی آن طی سال دوم می شود. نتایج (Tshewang et al., 2020) از بررسی اثر تلقیح باکتری های محرک رشد گیاه بر رشد پنج گونه مرتعی نشان دهنده افزایش زیست توده ساقه و ریشه و عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بود. اگرچه گیاه اشنان تحمل پذیری زیادی نسبت به شرایط بیابانی دارد (Zilaie et al., 2022)، اطلاعات چندانی در زمینه تأثیر گردوغبار بر شاخص های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و محتوای یونی و همچنین تأثیر کاربرد باکتری های محرک رشد بر کاهش تنش یادشده در این گیاه در دست نیست. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تلقیح دو باکتری محرک رشد گیاه *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* روی برخی ویژگی های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و محتوای یونی گیاه اشنان در شرایط گردوغبار طراحی و اجرا شد.

## مواد و روش ها

### آزمایش گلخانه ای

نهال های سه ماهه اشنان از مرکز تکثیر گیاهان مرتعی اداره کل منابع طبیعی استان یزد تهیه شدند. نهال های هم اندازه و هم شکل به گلدان های زهکش داری به ارتفاع ۱۸ سانتی متر و دهانه ۲۰ سانتی متر محتوی چهار کیلوگرم خاک با سه واحد خاک زراعی بدون هوموس و یک واحد ماسه بادی منتقل (جدول ۱) و در محل گلخانه با شرایط ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی، دمای  $25 \pm 2$  درجه سانتی گراد و رطوبت ۶۰ درصد نگهداری شدند (هر گلدان حاوی یک نهال). در پژوهش حاضر،

(Noori et al., 2018)، تشکیل سیدروفورهای کمپلکس کننده آهن و مقابله با عوامل بیماری زای گیاهی از طریق تولید سیانید هیدروژن، رشد و عملکرد گیاهان را بهبود می بخشد (Amini et al., 2021)؛ علاوه بر این، باکتری های یادشده به طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق سازوکارهای مختلف تعدیل و تنظیم پاسخ های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان سبب افزایش تحمل و بقای گیاهان در برابر تنش ها می شوند (Orozco-Mosqueda et al., 2021).

پژوهشگران متعددی به نقش مؤثر باکتری های محرک رشد بر افزایش رشد و عملکرد گیاهان به ویژه گیاهان علوفه ای اشاره کرده اند (Hajjabadi et al., 2022). Hungria et al. (2021) اثر باکتری های محرک رشد *Azospirillum brasilense* و *Pseudomonas fluorescens* بر رشد، تولید زیست توده و ذخیره غذایی گونه علوفه ای *Urochloa spp.* را به دو شکل تلقیح بذریه باکتری ها و محلول پاشی روی برگ بررسی کردند و یافته های آنها نشان دادند استفاده از باکتری های انتخاب شده به عنوان راهکار دوستدار محیط زیست در هر دو روش تلقیح و محلول پاشی سبب افزایش تولید علوفه و ارزش غذایی آن برای دام ها می شود. Heinrichs et al. (2020) در پژوهشی طی دو سال به بررسی تأثیر باکتری محرک رشد *Azospirillum brasilense* و کود نیتروژن بر تولید توده خشک ریشه و ساقه و وضعیت غذایی گونه مرتعی *Urochloa brizantha* پرداخته شد و نتیجه گرفتند تلقیح بذر گونه یادشده با باکتری محرک رشد سبب افزایش ۱۳ درصدی زیست توده خشک ساقه

بررسی شد. تیمارهای پژوهش حاضر شامل فاکتور اول: باکتری محرک رشد گیاه (در سه سطح بدون تلقیح باکتری، تلقیح با باکتری *Bacillus pumilus*، تلقیح با باکتری *Zhihengliuella halotolerans*)، فاکتور دوم: گردوغبار (در دو سطح بدون گرد و غبار و اعمال گرد و غبار) بودند.

تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک گونه‌اشنان تحت تأثیر تنش گردوغبار به شکل آزمایش فاکتوریل سه‌عاملی در چارچوب طرح بلوک کاملاً تصادفی و در سه تکرار به مدت پنج ماه در گلخانه دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد طی سال ۱۳۹۹

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک استفاده شده در آزمایش حاضر

Table 1- Some of the physical and chemical properties of the soil used in this experiment

بافت خاک			سولفات	کلسیم	سدیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	(میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	(میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	(میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	(قسمت در میلیون)	(قسمت در میلیون)	(درصد)
۴۷	۱۲	۲۸/۸	۴۷	۱/۸	۲/۱۵	۹۱/۷۳	۱۵	۰/۰۲
۵۹/۲	۱۲	۲۸/۸	کربنات کلسیم (درصد)	C/N (درصد)	درصد مواد آلی (درصد)	درصد کربن آلی (درصد)	اسیدپته	EC (دسی زمینس یر متر)
Sandy clay loam			۳۲/۵	۶/۳	۰/۳۱	۰/۱۸	۷/۶۱	۲

محیط کشت افزوده شد. ارلن هر باکتری روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه و دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از ۴۸ ساعت، مایه تلقیح سویه‌ها با جمعیت تقریبی  $10^8 \times 3$  سلول بر میلی‌لیتر آماده مصرف شد (تنظیم جمعیت باکتری با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد تا تمام سویه‌های باکتری جمعیت یکسانی داشته باشند).

سوسپانسیون دو باکتری یادشده به مقدار ۵ میلی‌لیتر و در دو نوبت از محل ریشه به گیاهان تلقیح شد؛ نوبت اول تلقیح، در شروع آزمایش گلخانه و در زمان انتقال نهال‌ها به گلدان‌های بزرگ‌تر و نوبت دوم تلقیح، یک ماه پس از اعمال تنش گردوغبار انجام شد؛ به گیاهان شاهد تنها محلول نوترینت بر اثر بدون باکتری اعمال شد.

### تهیه و تلقیح باکتری‌ها

دو نوع باکتری محرک رشد گیاه *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* برای آزمایش در پژوهش حاضر در نظر گرفته شدند. سویه‌های این دو باکتری از ریزوسفر گیاهان شورپسند مارونگ (*Bacillus pumilus*) و اشنان (*Zhihengliuella halotolerans*) که پیش از این، (Amini et al. (2021) خالص‌سازی و صفت‌های محرک رشدی آنها را تعیین و اثر مثبت آنها روی گندم را ارزیابی کرده بود، استفاده شد.

به منظور تلقیح نهال‌ها، یک ارلن مایر ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محیط کشت نوترینت بر اثر به ازای هر سویه باکتری تهیه شد. به منظور تهیه مایه تلقیح، یک کلنی خالص از هر باکتری برداشته و در شرایط استریل به ارلن حاوی

### اعمال تیمار گردوغبار

پس از ریختن غبار درون دریچه دستگاه شبیه‌ساز، مقدار غبار ریزشی بر حسب گرم بر مترمربع با استفاده از تله‌ای به ابعاد  $1/6 \times 2/3$  مترمربع کنترل شد. غباردهی به مدت پنج ماه با فاصله زمانی یک هفته انجام شد.

یک ماه پس از استقرار نهال‌ها در گلدان، تیمار گردوغبار اعمال شد. غباردهی با دستگاه شبیه‌ساز Dustin-Miser (مدل Includes 1212 Deflector، شرکت Earth Duster، آمریکا) در محل گلخانه انجام شد. مقدار غبار ریزشی برابر  $1/5$  گرم بر مترمربع در ماه و یک بار در هفته بر اساس نتایج Ahmadi Foroushani et al., (2021) که نشان دادند غبار ریزشی در منطقه مطالعه شده برابر  $8/4$  گرم بر مترمربع در ماه طی فصل تابستان و برابر  $3/5$  گرم بر مترمربع در ماه طی فصل بهار اتفاق می‌افتد، اعمال شد؛ در هر بار اعمال گردوغبار، تمام گیاهان شاهد از گلخانه خارج شدند تا غبار روی آنها قرار نگیرد. به منظور تهیه گردوغبار از نمونه خاک کانون گردوغباری جنوب شرقی اهواز، حفاصل بزرگراه اهواز-ماهشهر استفاده شد (جدول‌های ۲ و ۳)؛ این مکان بر اساس پژوهش‌های انجام شده در زمینه منشأیابی گردوغبار در استان خوزستان و تعیین کانون‌های بحرانی انتخاب شد (AREEO, 2018).

جدول ۳- غلظت عناصر سنگین گردوغبار نمونه‌های به کاررفته

Table 3- The concentration of heavy metals in dust samples

عنصر	غلظت (قسمت در میلیون)
Zn	۵۲/۹
Cu	۱۵/۸
Co	۱۲/۷
U	۱/۹۶
Cd	۰/۶
Ni	۹۴
V	۷۳/۴
Ba	۲۳۱
Cr	۱۱۶
Pb	۲۰/۲۳

### اندازه‌گیری صفت‌های فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و محتوای یونی

پس از اتمام مراحل تیماردهی، نهال‌های مدنظر برای انجام آزمایش‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نمونه برداری شدند. اندازه‌گیری مقدار پروتئین برگ به روش Bates et al. (1973) و قندهای محلول به روش Kochert (1978) انجام شد؛ به منظور اندازه‌گیری محتوای یونی شامل آهن، منیزیم، منگنز، فسفر، سدیم، پتاسیم و کلسیم، عصاره نمونه‌ها با هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با HCL تهیه شد و سپس در عصاره‌های تهیه شده، غلظت آهن، منیزیم و منگنز با دستگاه جذب اتمی

جدول ۲- غلظت عناصر اصلی گردوغبار با استفاده از دستگاه OES-ICP

Table 2- The concentration of main elements in dust samples by OES-ICP

عنصر	غلظت (درصد)
Ca	۲۲/۷
Na	۲/۳۷
Mg	۲/۴۲
Al	۴/۰۸
Fe	۴/۷۱
K	۰/۷۹



اختلاف سطوح مختلف تیمارها به شکل آنالیز داده‌ها با آزمون تجزیه واریانس و در نهایت، مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن ( $\alpha=0/05$ ) بررسی شد.

### نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان دادند برهم‌کنش باکتری  $\times$  گردوغبار بر غلظت پرولین، قندهای محلول، سدیم، پتاسیم، نیتروژن، فسفر، کلسیم، میزیم و توده خشک نهال‌های اشنان معنادار است؛ همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان دادند فاکتور باکتری به تنهایی بر غلظت منگنز و آهن و فاکتور گردوغبار به تنهایی بر آهن و شاخص کیفیت نهال در نهال‌های اشنان معنادار است (جدول ۴).

### پرولین

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) نشان دادند اعمال تیمار گردوغبار به تنهایی (بدون باکتری) مقدار پرولین را ۳۸ درصد افزایش می‌دهد. سویه‌های *Z. halotolerans* و *B. pumilus* به ترتیب باعث کاهش معنادار پرولین به مقدار ۸۰ و ۳۸ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و ۷۴ و ۳۳ درصد در شرایط اعمال تیمار گردوغبار شدند.

### قندهای محلول

باتوجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲)، اعمال تیمار گردوغبار توانست مقدار قندهای محلول را ۱۲۵ درصد افزایش دهد. سویه *Z. halotolerans* قندهای محلول را به مقدار ۲۷ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و ۱۸ درصد در شرایط اعمال تیمار گردوغبار نسبت به شاهد کاهش داد. سویه *B. pumilus* سبب کاهش معنادار قندهای محلول به مقدار ۳۰ و ۳۳ درصد

مدل AA-6200 شرکت شیمادزو ژاپن (Waling et al., 1989) و عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم به روش نشر شعله‌ای و با دستگاه فلیم فتومتر و فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در این مرحله، ویژگی‌های مورفولوژیکی (وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع ساقه و قطر یقه) نیز اندازه‌گیری شدند. به منظور تعیین وزن خشک اندام‌های هوایی و زمینی گیاه، اندام هوایی و ریشه از هم جدا شدند و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد درون دستگاه آون قرار گرفتند و پس از آن، وزن با ترازوی حساس ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. ارتفاع ساقه با خط‌کش و دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. محل اندازه‌گیری ارتفاع ساقه از قسمت یقه تا نوک جوانه انتهایی بود. قطر یقه با کولیس و دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در نهایت، دو شاخص زیست توده خشک کل (مجموع وزن خشک ریشه و اندام هوایی) و شاخص کیفیت نهال بر اساس رابطه (۱) محاسبه و بررسی شدند (Dickson et al., 1960).

(رابطه ۱):

شاخص کیفیت نهال

وزن خشک کل نهال (گرم)

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

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از شاخص‌های مختلف اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد و نمودارها در نرم‌افزار Excel رسم شدند. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف،

به ترتیب در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و در شرایط اعمال تیمار گردوغبار شد.

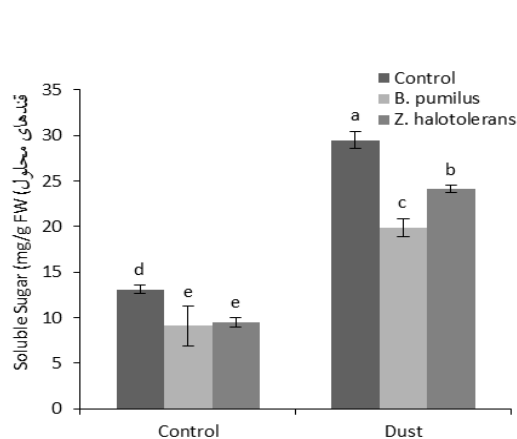
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفت های فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و محتوای یونی اشنان

Table 4- Analysis of variance for physiological, morphological characteristics and ionic content in *S. rosmarinus*

منبع تغییر	باکتری	گرد و غبار	باکتری × گرد و غبار	خطا	ضریب تغییرات (درصد)
درجه آزادی	۲	۱	۲	۱۲	
پرولین	۵۷۲/۵۴**	۱۷۷/۵۴**	۱۶/۵۳*	۳/۵۱	۲/۳۶
قندهای محلول	۷۱/۵۲**	۸۷۱/۸**	۱۲/۵۵*	۱/۸	۱/۸
سدیم	۰/۲۴۱**	۰/۰۱۹*	۰/۰۰۸*	۰/۰۰۱	۱/۶
پتاسیم	۰/۷۰۶**	۰/۱۱۵**	۰/۰۱۵*	۰/۰۰۳	۱/۸۱
نیتروژن	۵/۷۱**	۱۳/۳۳**	۰/۶۸۷*	۰/۰۹۹	۰/۹۴
فسفر	۰/۰۰۲**	۰/۰۱۲**	*	۷×۱۰ <sup>-۵</sup>	۰/۷۸
آهن	۰/۸۹۳*	۷/۳**	۰/۲۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۰۹	۰/۹۵
کلسیم	۰/۰۵۱**	۰/۰۵**	۰/۰۱۴*	۰/۰۰۳	۲/۷۶
منیزیم	۰/۰۶**	۰/۱۲۷**	۰/۰۰۵*	۰/۰۰۱	۱/۰۸
منگنز	۵/۹۶*	۰/۲۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۷۳۶ <sup>ns</sup>	۰/۴۰۶	۱/۵۲
زیست توده خشک کل	۲۰/۰۲**	۵/۴*	۲/۰۵*	۰/۴۲۱	۱/۷۶
شاخص کیفیت نهال	۰/۳۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۶۷۲*	۰/۲۴۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۹۴	۴/۹۸

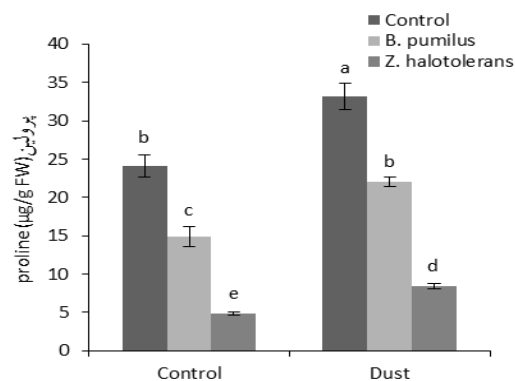
\*\*، \* و ns به ترتیب معنادار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنادار

\*\*، \*، ns: significant at p≤0.01, significant at p≤0.05, non-significant respectively



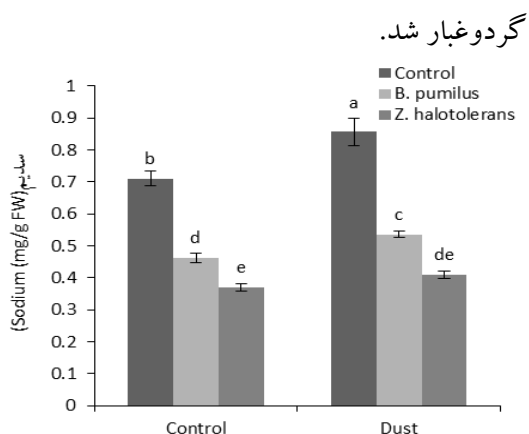
شکل ۲- تأثیر متقابل باکتری و گردوغبار بر قندهای محلول برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار (P<0.05) هستند. میانگین های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 2- The effects of bacteria and dust stress on the amounts of soluble sugar in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates ± standard deviation (P<0.05). Means with different letter are significantly different based on Duncan test (α=0.05).



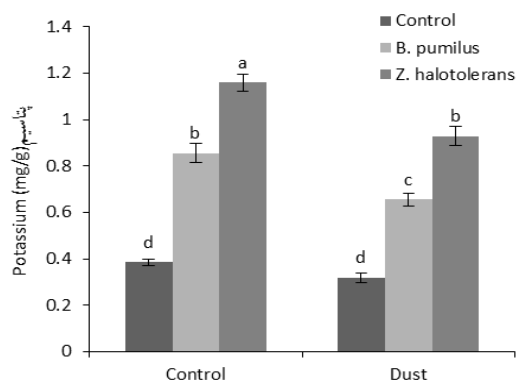
شکل ۱- تأثیر متقابل باکتری و گردوغبار بر پرولین برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار (P<0.05) هستند. میانگین های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 1- The effects of bacteria and dust stress on the amounts of proline in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates ± standard deviation (P<0.05). Means with different letter are significantly different based on Duncan test (α=0.05).



شکل ۳- تأثیر متقابل باکتری و گردوغبار بر سدیم برگ گونه‌اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  انحراف معیار هستند.  $P < 0.05$  می‌انگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 3- The effects of bacteria and dust stress on the amounts of sodium *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates  $\pm$  standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).



شکل ۴- تأثیر متقابل باکتری و گردوغبار بر پتاسیم برگ گونه‌اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  انحراف معیار هستند.  $P < 0.05$  می‌انگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 4- The effects of bacteria and dust stress on the amounts of potassium *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates  $\pm$  standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).

Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).

### سدیم

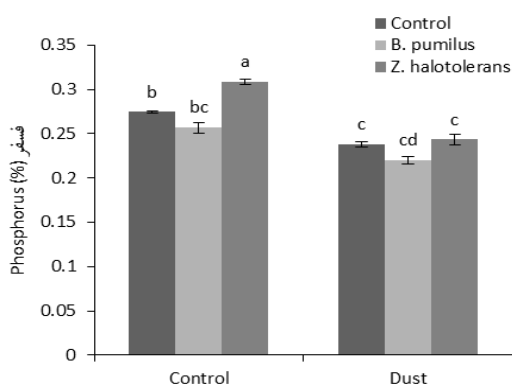
نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳) نشان دادند اعمال تیمار گردوغبار (بدون باکتری) مقدار سدیم را ۲۱ درصد افزایش می‌دهد؛ همچنین کاربرد سویه‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* به ترتیب باعث کاهش معنادار سدیم به مقدار ۴۸ و ۳۵ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و ۵۲ و ۳۷ درصد در شرایط اعمال تیمار گردوغبار شدند.

### پتاسیم

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴) نشان دادند سویه *Z. halotolerans* باعث افزایش معنادار پتاسیم به مقدار ۲۰۱ و ۱۹۲ درصد به ترتیب در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و در شرایط اعمال تیمار گردوغبار می‌شود. سویه *B. pumilus* سبب افزایش معنادار پتاسیم به مقدار ۱۲۲ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و افزایش ۱۰۶ درصدی در شرایط اعمال تیمار گردوغبار شد.

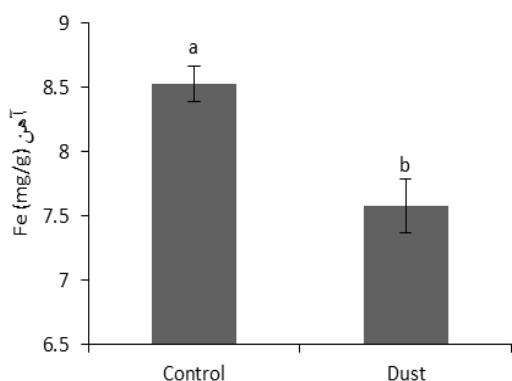
### نیترژن

باتوجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۵)، اعمال تیمار گردوغبار به تنهایی مقدار نیترژن را ۱۳ درصد کاهش داد. سویه *Z. halotolerans* سبب افزایش معنادار نیترژن به مقدار ۳۵ و ۲۰ درصد به ترتیب در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و در شرایط اعمال تیمار گردوغبار شد. سویه *B. pumilus* باعث افزایش معنادار نیترژن به مقدار ۱۹ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار



شکل ۶- تأثیر متقابل باکتری و گردوغبار بر فسفر برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  انحراف معیار ( $P < 0.05$ ) هستند. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 6- The effects of bacteria and dust stress on the amounts of Phosphorus in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates  $\pm$  standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).

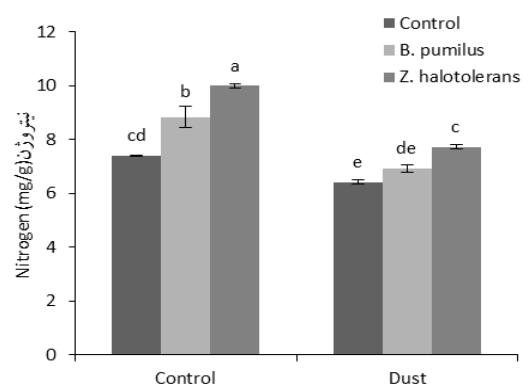


شکل ۷- تأثیر گردوغبار بر آهن برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  انحراف معیار ( $P < 0.05$ ) هستند. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 7- Effect of dust stress on the amounts of Iron in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates  $\pm$  standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).

#### کلسیم

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۹) نشان دادند سویه *Z. halotolerans* میزان کلسیم را به مقدار ۸۲ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و ۴۸



شکل ۵- تأثیر متقابل باکتری و گردوغبار بر نیتروژن برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  انحراف معیار ( $P < 0.05$ ) هستند. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 5- The effects of bacteria and dust stress on the amounts of Nitrogen in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates  $\pm$  standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).

#### فسفر

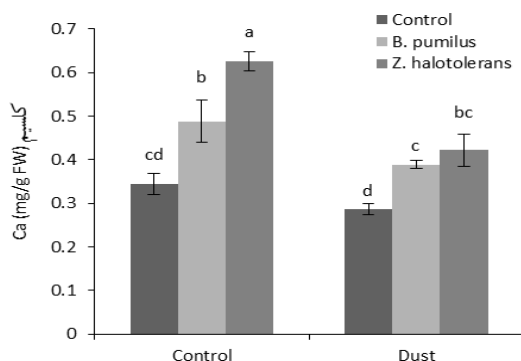
باتوجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۶)، کاربرد گردوغبار به تنهایی (بدون باکتری) مقدار فسفر را ۱۳ درصد کاهش داد. در شرایط بدون اعمال گردوغبار، تلقیح با باکتری *Z. halotolerans* سبب شد فسفر نسبت به شاهد ۱۲ درصد افزایش یابد. مقدار فسفر در تلقیح نهال‌ها با باکتری‌های *Z. halotolerans* و *B. pumilus* در شرایط گردوغبار نسبت به شاهد معنادار بود.

#### آهن

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل‌های ۷ و ۸) نشان دادند اعمال تیمار گردوغبار به تنهایی مقدار آهن را ۱۱ درصد کاهش می‌دهد و سویه *Z. halotolerans* سبب افزایش معنادار آهن به مقدار ۱۲ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار می‌شود.

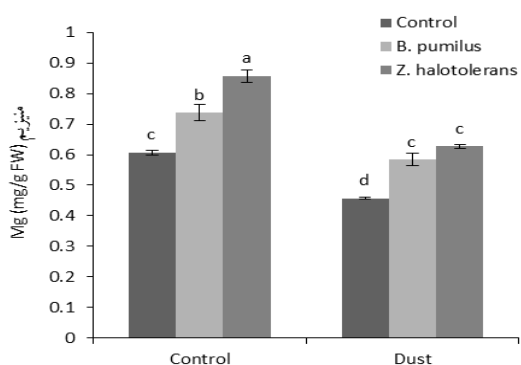
**منگنز**

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۱) نشان دادند سوبه‌های *Z. halotolerans* و *B. pumilus* به ترتیب سبب افزایش معنادار منگنز به مقدار ۳۱ و ۱۶ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار می‌شوند.



شکل ۹- تأثیر متقابل باکتری و گردوغبار بر کلسیم برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار ( $P < 0.05$ ) هستند. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 9- The effects of bacteria and dust stress on the amounts of Calcium in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates ± standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).



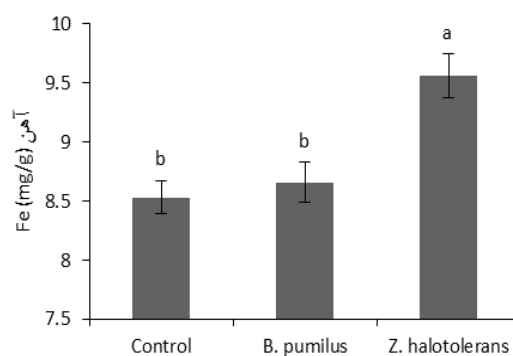
شکل ۱۰- تأثیر متقابل باکتری و گردوغبار بر منیزیم برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار ( $P < 0.05$ ) هستند. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 10- The effects of bacteria and dust stress on the amounts of Magnesium in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates ± standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).

درصد در شرایط اعمال تیمار گردوغبار نسبت به شاهد افزایش می‌دهد. سوبه *B. pumilus* باعث افزایش معنادار میزان کلسیم به مقدار ۴۲ و ۳۶ درصد به ترتیب در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و در شرایط اعمال تیمار گردوغبار شد.

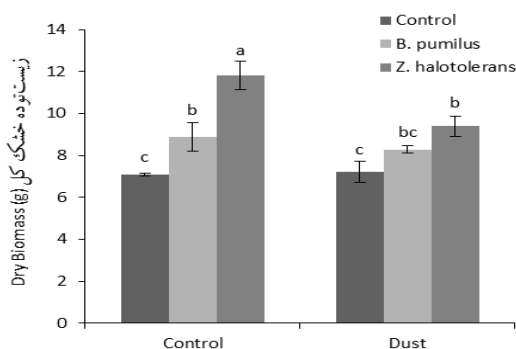
**منیزیم**

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۰) نشان دادند اعمال تیمار گردوغبار به تنهایی مقدار منیزیم را ۲۵ درصد کاهش می‌دهد. سوبه *Z. halotolerans* باعث افزایش معنادار منیزیم به مقدار ۴۱ و ۳۷ درصد به ترتیب در شرایط بدون اعمال و در شرایط اعمال گردوغبار شد. سوبه *B. pumilus* باعث افزایش معنادار منیزیم به مقدار ۲۱ درصد در شرایط بدون گردوغبار و افزایش ۲۸ درصدی در شرایط اعمال تیمار گردوغبار شد.



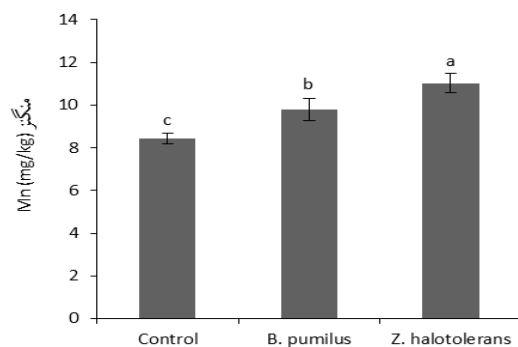
شکل ۸- تأثیر باکتری بر آهن برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار ( $P < 0.05$ ) هستند. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 8- Effect of bacteria on the amounts of Iron in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates ± standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).



شکل ۱۲- تأثیر متقابل باکتری و گردوغبار بر زیست توده خشک کل گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  انحراف معیار ( $P < 0.05$ ) هستند. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 12- The effects of bacteria and dust stress on Dry Biomass in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates  $\pm$  standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).

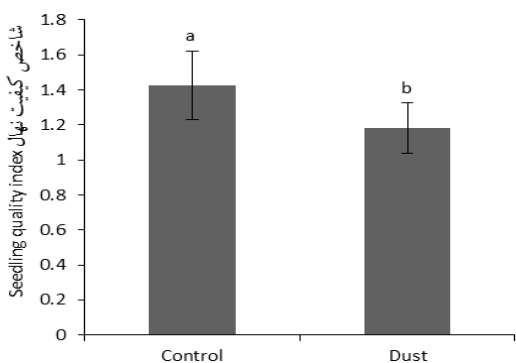


شکل ۱۱- تأثیر باکتری بر منگنز برگ گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  انحراف معیار ( $P < 0.05$ ) هستند. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 11- Effect of bacteria on the amounts of Manganese in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates  $\pm$  standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).

### زیست توده خشک کل

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۲) نشان دادند سویه *Z. halotolerans* سبب افزایش معنادار زیست توده خشک کل به مقدار ۶۷ و ۳۰ درصد به ترتیب در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و در شرایط اعمال تیمار گردوغبار می‌شود. سویه *B. pumilus* باعث افزایش معنادار زیست توده خشک کل به مقدار ۲۵ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گردوغبار و ۱۵ درصد در شرایط اعمال تیمار گردوغبار شد.



شکل ۱۳- تأثیر گردوغبار بر شاخص کیفیت نهال گونه اشنان. مقادیر، میانگین ۳ تکرار  $\pm$  انحراف معیار ( $P < 0.05$ ) هستند. میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معناداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 13- Effect of dust stress on the Seedling Quality Index in *S. rosmarinus*. Values represent the mean of 3 replicates  $\pm$  standard deviation ( $P < 0.05$ ). Means with different letter are significantly different based on Duncan test ( $\alpha = 0.05$ ).

### بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان دادند با اعمال گردوغبار، مقدار پرولین افزایش می‌یابد. تجمع

### شاخص کیفیت نهال

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۳) نشان دادند اعمال تیمار گردوغبار به تنهایی مقدار شاخص کیفیت نهال را ۱۷ درصد کاهش می‌دهد. شاخص کیفیت نهال در تلقیح نهال‌ها با باکتری‌های *Z. halotolerans* و *B. pumilus* در شرایط تیمار گردوغبار و بدون گردوغبار نسبت به شاهد معنادار نشد.

این ترکیبات در سلول افزوده می‌شود (Singh & Jha, 2016)؛ دلیل این افزایش در شرایط تنش را می‌توان کاهش میزان فتوستتر، شکستن قندهای بزرگ (نشاسته) به قندهای کوچک (گلوکز) یا مصرف کمتر کربوهیدرات توسط گیاه دانست (Karimi et al., 2009). افزایش و تجمع قندهای محلول واکنشی سریع نسبت به تغییرات میزان محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ‌هاست که کاهش پتانسیل اسمزی و به دنبال آن، پتانسیل آبی را سبب می‌شود و جذب آب به سلول‌ها را آسان می‌کند. فرونشست و تجمع ذرات ریز گردوغبار روی سطوح اندام‌های هوایی گیاه، آثار سو و نامطلوبی بر کربوهیدرات و قندهای محلول هالوفیت‌ها دارد (Amal & Mohamed, 2012) که در نهایت سبب کاهش تولید اولیه آن می‌شود (Meravi et al., 2021). به نظر می‌رسد با تجمع گردوغبار و ایجاد حالت سایه بر سطح گیاه، فتوستتر برگ کاهش می‌یابد و در نهایت به شکستن قندهای بزرگ و افزایش قندهای محلول منجر می‌شود. تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه سبب کاهش قندهای محلول در گونه اشنان شد و در این میان، سویه *B. pumilus* بیشترین تأثیر را در کاهش آن داشت؛ از این رو می‌توان نتیجه گرفت افزایش غلظت کلروفیل در حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه نسبت به شاهد گویای کاربرد و تأثیر مثبت باکتری‌های یادشده در افزایش فرایند فتوستتر به واسطه افزایش میزان کلروفیل و در نتیجه، ممانعت از شکستن قندهای بزرگ ذخیره در گونه‌های گیاهی و حفظ عملکرد گیاه در شرایط تنش است (Karimi et al., 2009).

آمینواسید پرولین رابطه مثبتی با افزایش مقاومت گیاه به کم‌آبی در تنش‌های شوری و خشکی دارد و در صورت نیاز، گیاه پرولین را تجزیه و به‌عنوان منبع نیتروژن و انرژی استفاده می‌کند (Mosleh Arani et al., 2018). در شرایط تنش، پرولین نقش آنتی‌اکسیدانی دارد و در محافظت از ساختارهای سلولی، ساختمان ماکرومولکول‌ها و از بین بردن رادیکال‌های آزاد ایفای نقش می‌کند (Abdelaal et al., 2021). پرولین نقش بسیار مهمی در گیاهان دارد و آنها را از تنش‌های مختلف از جمله گردوغبار محافظت می‌کند (Yaghmaei et al., 2020). افزایش محتوای پرولین با اعمال گردوغبار بیان‌کننده اختلال در تبادل گازها به دلیل نشست گردوغبار روی سطوح گیاه است. تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه سبب کاهش محتوای پرولین در گونه اشنان شد و سویه *Z. halotolerans* بیشترین تأثیر را در کاهش آن داشت. باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش جذب پتاسیم از طریق اسیدی کردن محیط ریزوسفر، افزایش جذب آب از طریق تولید اکسین و افزایش حجم ریشه در کاهش تنش مشارکت دارند و این امر، کاهش تولید پرولین را توجیه می‌کند. کاهش محتوای پرولین طی تنش‌های زیستی در تیمارهای تلقیحی با باکتری محرک رشد گیاه در مطالعه‌های دیگر نیز گزارش شده است (Abd-Allah et al., 2018).

در پژوهش حاضر با اعمال گردوغبار، میزان قندهای محلول افزایش یافت. قندهای محلول یکی از اسمولیت‌های سازگار در سلول‌های گیاهی هستند که به‌عنوان تنظیم‌کننده فعالیت اسمزی فعالیت دارند و هنگام بروز تنش محیطی مانند شوری بر محتوای

در پژوهش حاضر با اعمال گردوغبار، مقدار نیتروژن کاهش یافت. نیتروژن عنصری حیاتی برای گیاه تلقی می‌شود که علاوه بر شرکت در ساختمان پروتئین‌های سلول‌های گیاهی، آنزیم‌ها و نوکلئیک‌اسیدها، بخشی از کلروفیل گیاه را نیز تشکیل می‌دهد (Shilev, 2020)، در تنش گردوغبار، کاهش مقدار نیتروژن می‌تواند به دلیل کاهش فعالیت آنزیم نترات‌ردوکتاز در اثر کمبود نور و در نتیجه، کاهش اسیمیلایون نترات باشد (Naseri et al., 2015). تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه در حالت تنش سبب افزایش نیتروژن در گونه اشنان شد؛ به طوری که تلقیح با *Z. halotolerans* بیشترین تأثیر را در افزایش میزان نیتروژن داشت. افزایش مقدار نیتروژن در شرایط تنش محیطی را می‌توان به ویژگی‌های محرک رشدی PGPR به ویژه تثبیت نیتروژن مولکولی نسبت داد. به نظر می‌رسد این باکتری‌ها با تثبیت  $N_2$  و افزایش تولید پروتئین در شرایط تنش تا حدودی آثار مضر تنش را کاهش می‌دهند (Hardoim et al., 2008). افزایش تولید نیتروژن در شرایط تنش در تیمارهای تلقیحی با باکتری محرک رشد گیاه در مطالعه‌های دیگر نیز گزارش شده است (Pan et al., 2019).

در پژوهش حاضر با اعمال تیمار گردوغبار، غلظت فسفر برگ کاهش یافت. فسفر از مهم‌ترین عناصر لازم برای رشد و ترمیم گیاه به شمار می‌آید و اغلب به عنوان ماده انرژی‌زا تعریف می‌شود؛ زیرا این عنصر به ذخیره و انتقال انرژی در فرایند فتوسنتز کمک می‌کند و برای تقسیم سلولی و تشکیل DNA و RNA بسیار ضروری است. تغییر در میزان

در پژوهش حاضر با اعمال گردوغبار، میزان یون سدیم افزایش و مقدار یون پتاسیم کاهش یافت. یون‌های سدیم و پتاسیم به دلیل شباهت‌های فیزیوشیمیایی بر سر انتقال به درون گیاه رقابت می‌کنند. سدیم به‌غیر از تأمین فشار تورگر، قادر به انجام سایر کارکردهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پتاسیم نیست؛ از این رو در شرایط تنش، ساخت پروتئین‌ها، انتقال انرژی، فعالیت‌های آنزیمی، تحرک سلول‌های محافظ روزه و فتوسنتز که نیازمند پتاسیم هستند، با اختلال مواجه می‌شوند و کاهش رشد گیاه را در پی دارند (Rubio et al., 2020). افزایش یون سدیم در تنش گردوغبار همانند تنش خشکی احتمالاً به علت جذب بیشتر این یون توسط ریشه و تخلیه بیشتر آن از آوند چوبی به برگ است. تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه در حالت تنش سبب کاهش یون سدیم و افزایش یون پتاسیم در گونه اشنان شد؛ به طوری که تلقیح با سویه *Z. halotolerans* بیشترین تأثیر را در کاهش میزان یون سدیم و افزایش یون پتاسیم داشت. باکتری‌های محرک رشد گیاه با تأثیر بر پتاسیم معدنی، شکل قابل جذب یون پتاسیم برای گیاه را در محیط ریزوسفر افزایش می‌دهند (Etesami, 2018) و به گیاه فرصت می‌دهند تا تعادل یونی را از طریق افزایش جریان یون پتاسیم به بخش هوایی و انتقال سدیم به ریشه‌ها برقرار کند (Wang et al., 2016). عملکرد باکتری‌های محرک رشد گیاه در کاهش غلظت سدیم و افزایش غلظت پتاسیم در پژوهش حاضر با نتایج مطالعه‌های دیگر در این زمینه مطابقت دارد (Baek et al., 2020; Pan et al., 2019).



فرایند فتوسنتز می‌شود (Siqueira-Silva et al., 2016; Guo et al., 2020). کاهش میزان آهن ناشی از تنش گردوغبار نیز گزارش شده است (Mutlu et al., 2012). باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش میزان آهن در گونه‌اشان شدند و در این میان، تلقیح با سویه *Z. halotolerans* بیشترین تأثیر را در گونه‌اشان داشت. در مواقعی که گیاه با کمبود عنصر آهن روبه‌رو می‌شود، باکتری‌های محرک رشد گیاه ترکیبی آلی با وزن مولکولی کم به نام سیدروفور (به‌منظور مقابله با تنش ناشی از کمبود شکل قابل جذب آهن) ترشح می‌کنند که میل ترکیبی شدیدی برای پیوند با برخی از کاتیون‌ها از جمله آهن III دارد. گیاه از سیدروفور تولیدشده برای تأمین آهن موردنیاز خود استفاده می‌کند و در نتیجه، PGPRs با تأمین آهن لازم برای گیاه به‌طور غیرمستقیم بر رشد آن تأثیر می‌گذارند (Ahmad et al., 2006; Santoyo et al., 2019). افزایش غلظت آهن در تنش محیطی ناشی از باکتری‌های محرک رشد گیاه در مطالعه‌های دیگر نیز گزارش شده است (Kotasthane et al., 2017).

در پژوهش حاضر با اعمال تیمار گردوغبار، غلظت کلسیم، منیزیم و منگنز برگ کاهش یافت. به نظر می‌رسد گردوغبار از طریق کاهش جذب این عناصر به‌واسطه کاهش تبدیل پلاست به کلروپلاست، مقدار کلروفیل را کاهش می‌دهد. از آنجا که اساسی‌ترین نقش منیزیم و منگنز، شرکت در ساختار کلروفیل است، تنش‌های محیطی از جمله گردوغبار سبب تخریب و کاهش غلظت کلروفیل در گیاه می‌شوند. در پژوهش حاضر، غلظت کلسیم

این عنصر به‌طور مستقیم بر میزان فرایند فتوسنتز (Frydenvang et al., 2015) و به‌طور غیرمستقیم بر میزان سنتز پروتئین تأثیر می‌گذارد. از آنجا که فسفر نقش مهمی در بیشتر فعالیت‌های متابولیسمی گیاهان دارد، کاهش آن در برگ به دلیل افزایش گردوغبار سبب کاهش سنتز اسمولیت‌ها و پروتئین‌های محلول می‌شود (Bimal & Karmoker, 2011). کاهش میزان فسفر ناشی از تنش گردوغبار در مطالعه‌های دیگر نیز گزارش شده است (Victor, 2016). اثر باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش معنادار نشد، ولی تلقیح با سویه *Z. halotolerans* در شرایط کنترل بیشترین تأثیر را در افزایش فسفر گونه‌اشان داشت. از جمله صفات‌های بسیار مهم باکتری‌های محرک رشد گیاه، معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفر معدنی از طریق ساخت آنزیم‌های فسفاتاز و فیتاز و اسیدهای آلی مانند گلونیک‌اسید و سیتریک‌اسید است (Jamil et al., 2011). این باکتری‌ها با کاهش اسیدیته ریزوسفر از طریق ساخت و رهاسازی اسیدهای آلی سبب حل شدن کانی‌های فسفر نامحلول و تبدیل آنها به شکل قابل جذب برای گیاه می‌شوند؛ علاوه‌براین، تولید سیانیدیدروژن توسط این باکتری‌ها سبب افزایش غیرمستقیم فراهمی عنصر فسفر از طریق کلات با عناصر فلزی ترکیب شده با فسفر و رهاسازی آن در ریزوسفر می‌شود (Rijavec & Lapanje, 2016).

در پژوهش حاضر با اعمال تیمار گردوغبار، غلظت آهن برگ کاهش یافت. گردوغبار از طریق کاهش جذب عناصر ضروری از جمله آهن و منیزیم و با افزایش کلروفیل از به‌طور مستقیم سبب کاهش

خشک در تمام اندام‌های گیاهی را کاهش می‌دهد. کاهش مقدار زیست‌توده خشک کل گیاه در اثر تنش گردوغبار در مطالعه‌های دیگر نیز گزارش شده است (Yaghmaei et al., 2020). در پژوهش حاضر، تولید ماده خشک گونه گیاهی یادشده در تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌طور معناداری افزایش یافت و سویه *Z. halotolerans* زیست‌توده خشک کل گونه اشنان را افزایش داد. به نظر می‌رسد تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش رشد ریشه سبب افزایش فراهمی آب و مواد غذایی در شرایط تنش محیطی می‌شوند و رشد گیاه و در نهایت، شاخص زیست‌توده خشک کل گیاه را افزایش می‌دهند. نتایج حاضر با نتایج مطالعه‌های دیگر منطبق هستند (Azarmi-Atajan & Sayyari, 2020; Zohan, 2020; Wang et al., 2021).

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان دادند باکتری‌های محرک رشد گیاه ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال‌های اشنان در معرض تنش را نسبت به شاهد بهبود می‌بخشند؛ در این میان، سویه *Z. halotolerans* جداسازی‌شده از گیاه اشنان نسبت به *B. pumilus* تأثیر بیشتری در بهبود آثار منفی گردوغبار روی بیشتر شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در این گیاه داشت که این موضوع، اهمیت اثر متقابل باکتری-گیاه را روشن می‌کند. یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهند ریزوسفر گیاهان منبع مناسبی برای جداسازی باکتری‌های محرک رشد است و می‌تواند نویدبخش افزایش تولید علوفه و بهبود

و منیزیم برگ اشنان در تیمار گردوغبار تلقیح‌شده با باکتری‌ها به‌طور معناداری افزایش یافت؛ به‌طوری که سویه *Z. halotolerans* بیشترین تأثیر را داشت. باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توانند از طریق انحلال تری‌کلسیم فسفات (Azarmi et al., 2016) و همچنین توسعه سریع سیستم ریشه‌ای و افزایش قابلیت جذب مواد غذایی مانند کلسیم و منیزیم سبب افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش شوند (ALKahtani et al., 2020). این نتایج با نتایج مطالعه‌های دیگر هماهنگ هستند (Pan et al., 2019). غلظت منگنز برگ اشنان در تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌طور معناداری افزایش یافت. همان‌طور که بیان شد جذب عناصر کم‌مصرف مانند منگنز و آهن می‌تواند مربوط به توانایی تولید سیدروفور باکتری‌های محرک رشد گیاه باشد. گیاه می‌تواند از سیدروفورهای باکتریایی به‌عنوان ابزاری برای تأمین آهن و منگنز موردنیاز خود بهره‌برد (Ahmad et al., 2006).

در پژوهش حاضر با اعمال تیمار گردوغبار، مقدار زیست‌توده خشک کل و شاخص کیفیت نهال گیاه کاهش یافت. سطوح برگ پوشیده‌شده با ذرات گردوغبار نور کمتری برای انجام فرایند فتوسنتز دریافت می‌کنند و این امر به بسته‌شدن روزنه برگ‌ها و در نتیجه، کاهش هدایت روزنه‌ای آنها منجر می‌شود؛ در نهایت، کاهش هدایت روزنه‌ای در گیاهان بر تشکیل زیست‌توده و عملکرد گیاه اثر منفی می‌گذارد. تنش گردوغبار با کاهش میزان موجودی آب برگ بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی تأثیر معناداری دارد و تولید ماده

of salt acclimated Sweet Pepper plants treated with chitosan and plant growth promoting rhizobacteria. *Agronomy*, 10(8), 1180. Doi: 10.3390/agronomy10081180

Amal, M. A. R., & Mohamed, M. I. (2012) Effect of cement dust deposition on physiological behaviors of some halophytes in the salt marshes of Red Sea. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 3(1), 1-11. Doi: 10.21608/eajbsh.2012.17001

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. Doi: 10.1016/j.plaphy.2021.03.059

Azarimi-Atajan., F., & Sayyari-Zohan, M. H. (2020) Alleviation of salt stress in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by plant growth-promoting rhizobacteria. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 3(7), 67-78. Doi: 10.22077/jhpr.2020.3013.1114

Azarimi, F., Mozafari, V., Abbaszadeh Dahaji, P., & Hamidpour, M. (2016) Biochemical, physiological and antioxidant enzymatic activity responses of pistachio seedlings treated with plant growth promoting rhizobacteria and Zn to salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(1), 21. Doi: 10.1007/s11738-015-2032-3

Baek, D., Rokibuzzaman, M., Khan, A., Kim, M. C., Park, H. J., Yun, D. J., & Chung, Y. R. (2020) Plant-growth promoting *Bacillus oryzae* YC7007 modulates stress-response gene expression and provides protection from salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1646. Doi: 10.3389/fpls.2019.01646

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(2), 205-207. Doi: 10.1007/BF00018060

تحمل گیاهان به آلودگی هوا باشد؛ باوجود این، انجام پژوهش‌های تکمیلی به شکل میدانی در رویشگاه این گونه‌های بیابانی ضروریست تا عملکرد و کارایی سوبه‌های باکتریایی به عنوان کود زیستی مناسب برای مقابله با تنش گردوغبار اثبات شود.

## References

Abd Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Hashem, A., Radhakrishnan, R., Al-Huqail, A. A., Al-Otibi, F. O. N. ... & Egamberdieva, D. (2018) Endophytic bacterium *Bacillus subtilis* (BERA 71) improves salt tolerance in chickpea plants by regulating the plant defense mechanisms. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 37-44. Doi: 10.1080/17429145.2017.1414321

Abdelaal, K., Al-Kahtani, 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. Doi: 10.3390/biology10060520

Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) (2018) Executive comprehensive plan to combat dust in the internal centers of Khuzestan. *Khuzestan: Khuzestan Forest and Rangelands Research Center* [in Persian].

Ahmad, F., Ahmad, I., & Khan, M. S. (2006) Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163(2), 173-181. Doi: 10.1016/j.micres.2006.04.001

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. Doi: 10.3390/atmos12020229

Al-Kahtani, M. D. F., Attia, K. A., Hafez, Y. M., Khan, N., Eid, A. M., Ali, M. A. M., & Abdelaal, K. A. A. (2020) Fluorescence parameters and antioxidant defense system can display salt tolerance

- Bimal, C. S., & Karmoker, J. L. (2011) Effects of phosphorus deficiency on accumulation of biochemical compounds in lentil. *Bangladesh Journal of Botany*, 40(1), 23-27. Doi: 10.3329/bjb.v40i1.7992
- Dereje, M., & Uden, P. (2005) The browsing dromedary camel behaviour, plant preference and quality of forage selected. *Journal of Animal Feed Science and Technology*, 121(3-4), 297-308. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2005.01.017
- 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. Doi: 10.5558/tfc36010-1
- Duarte, B., & Caçador, I. (2021) Iberian halophytes as agroecological solutions for degraded lands and biosaline agriculture. *Sustainability*, 13(2), 1005. Doi: 10.3390/su13021005
- Etesami, H. (2018) Can interaction between silicon and plant growth promoting rhizobacteria benefit in alleviating abiotic and biotic stresses in crop plants?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 253, 98-112. Doi: 10.1016/j.agee.2017.11.007
- Frydenvang, J., Van Maarschalkerweerd, M., Carstensen, A., Mundus, S., Birkelund Schmidt, S., Pedas, P. R., ... & Husted, S. (2015) Sensitive detection of phosphorus deficiency in plants using chlorophyll a fluorescence. *Plant Physiology*, 169(1), 353-361. Doi: 10.1104/pp.15.00823
- Grantz, D. A., Garner, J. H. B., & Johnson, D. W. (2003) Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29(2-3), 213-239. Doi: 10.1016/S0160-4120(02)00181-2
- Guo, A., Hu, Y., Shi, M., Wang, H., Wu, Y., & Wang, Y. (2020) Effects of iron deficiency and exogenous sucrose on the intermediates of chlorophyll biosynthesis in *Malus halliana*. *Plos One*, 15(5), e0232694. Doi: 10.1371/journal.pone.0232694
- Hajabadi, 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. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2022.105033
- Hardoim, P. R., Van Overbeek, S. V., & Van Elsas, J. D. (2008) Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends in Microbiology*, 16(10), 463-471. Doi: 10.1016/j.tim.2008.07.008
- Heinrichs, R., Meirelles, G. C., Santos, L. F. M., Lira, M. V. S., Lapaz, A. M., Nogueira, M. A., ... & Moreira, A. (2020) *Azospirillum* inoculation of 'Marandu' palisade grass seeds: Effects on forage production and nutritional status. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, 41(2), 465-478. Doi: 10.5433/1679-0359.2020v41n2p465
- Hungria, M. A., Rondina, A. B. L., Pit Nunes, A. L., Araujo, R. S., & Nogueira, M. A. (2021) Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in *Urochloa* spp. as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. *Plant Soil*, 463(1-2), 71-186. Doi: 10.1007/s11104-021-04908-x
- Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2011) Gene expression profiling of plants under salt stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(5), 435-458. Doi: 10.1080/07352689.2011.605739.
- Karimi, H., Zaidali, A., & Omidipour, R. (2018) Evaluation of yield of rained and irrigated wheat under drought stress in Ilam province. *The Second International Conference on Dust*, Ilam, Iran.
- Karimi, S., Rahemi, M., Maftoun, M., & Tavallali, V. (2009) Effect of long-term salinity on growth and performance of two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Australian Journal of Crop Science*, 3(3), 1630-1639.

- Kochert, G. (1978) Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Helebust, J. A. & Craig J. S. (Eds.). *Handbook of physiological method*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kotasthane, A. S., Agrawal, T., Zaidi, N. W., & Singh, U. (2017) Identification of siderophore producing and cynogenic fluorescent *Pseudomonas* and a simple confrontation assay to identify potential bio-control agent for collar rot of chickpea. *3 Biotech*, 7(2), 137. Doi: 10.1007/s13205-017-0761-2
- Meravi, N., Singh, P. K., & Prajapati, S. K. (2021) Seasonal variation of dust deposition on plant leaves and its impact on various photochemical yields of plants. *Environmental Challenges*, 4, 100166. Doi: 10.1016/j.envc.2021.100166
- Mohammadi, A., Mokhtari, M., Mosleh Arani, A., Taghipour, H., Hajizadeh, Y., & Fallahzadeh, H. (2018) Biomonitoring levels of airborne metals around Urmia Lake using deciduous trees and evaluation of their tolerance for greenbelt development. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 21138-21148. Doi: 10.1007/s11356-018-1899-0
- 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. Doi: 10.22108/ijpb.2017.94779.0 [in Persian].
- Mutlu, S., Atici, O., & Gulen, Y. (2012) Cement dust pollution induces toxicity or deficiency of some essential elements in wild plants growing around a cement factory. *Toxicology and Industrial Health*, 29(5), 474-480. Doi: 10.1177/0748233712442727
- 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. Doi: 10.3389/fpls.2022.948260
- 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, 104578. Doi: 10.1016/j.apsoil.2022.104578
- Nasari, S., Heidari, M., Jafari, S., & Daneshvar, M. H. (2015) The effect of Calcium Nitrate on Nitrate reductase enzyme activity, amino acid, nitrate and ion concentrations in pistachio seedlings (*P. vera* L.) under conditions of stress of Sodium Chloride. *Journal of Plant Production*, 4, 48-35 [in Persian].
- 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 Safety*, 162, 129-138. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.06.092
- Norman, H. C., Hulm, E., & Wilmot, M. G. (2016) Improving the feeding value of old man saltbush for saline production systems in Australia. In: El Shaer H. M. & Squires V. R. (Eds.) *Halophytic and salt tolerant feedstuffs: Impacts on nutrition, physiology and reproduction of livestock*. 79-86. CRC Press. Doi: 10.1201/b19862-7
- Orozco-Mosqueda, M. D. C., Glick, B. R., & Santoyo, G. (2020). ACC deaminase in plant growth-promoting bacteria (PGPB): An efficient mechanism to counter salt stress in crops. *Microbiological Research*, 235, 126439. Doi: 10.1016/j.micres.2020.126439
- 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(2), 378. Doi: 10.3390/su11020378

- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. J., de W. Flamant, C., & Abdi Vishkaee, F. (2014) Spatial-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite Observations. *Natural Hazards*, 71(1), 563-585. Doi: 10.1007/s11069-013-0927-0
- Rijavec, T., & Lapanje, A. (2016) Hydrogen cyanide in the rhizosphere: not suppressing plant pathogens, but rather regulating availability of phosphate. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1785. Doi: 10.3389/fmicb.2016.01785
- Rubio, F., Nieves-Cordones, M., Horie, T., & Shabala, S. (2020) Doing business as usual comes with a cost: Evaluating energy cost of maintaining plant intracellular K<sup>+</sup> homeostasis under saline conditions. *New Phytologist*, 225(3), 1097-1104. Doi: 10.1111/nph.15852
- Santoyo, G., Sánchez-Yáñez, J. M., & Santos-Villalobos, S. D. L. (2019) *Methods for detecting biocontrol and plant growth-promoting traits in rhizobacteria*. Springer: Singapore. Doi: 10.1007/978-981-13-5767-1-8
- Shilev, S. (2020) Plant-growth-promoting bacteria mitigating soil salinity stress in plants. *Applied Science*, 10(20), 7326. Doi: 10.3390/app10207326
- Singh, R. P., & Jha, P. N. (2016) A halotolerant bacterium *Bacillus licheniformis* HSW-16 augments induced systemic tolerance to salt stress in wheat plant (*Triticum aestivum*). *Frontiers in Plant Science*, 7, 1890. Doi: 10.3389/fpls.2016.01890
- Siqueira-Silva, I. A., Pereira, E. G., Modolo, L. V., Lemos-Filho, J. P., & Paiva, S. A. (2016) Impact of cement dust pollution on *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae): A potential bioindicator species. *Chemosphere*, 158, 56-65. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.05.047
- 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. Doi: 10.1007/s12517-015-2241-5
- Tshewang, S., Rengel, Z., Siddique, K. H., & Solaiman, Z. M. (2020) Growth and nutrient uptake of temperate perennial pastures are influenced by grass species and fertilisation with a microbial consortium inoculant. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 183(4), 530-538. Doi: 10.1002/jpln.202000146
- Victor, R. S. (2016) Dust particles and aerosols: Impact on biota “a review” (Part I). *Journal of Rangeland Science*, 6(1), 82-91.
- Waling, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G., & Van der Lee, J. J. (1989). *Soil and plant analysis, a series of syllabi: Part 7. Plant Analysis* Procedures Wageningen Agriculture University.
- Wang, Q., Dodd, I. C., Belimov, A. A., & Jiang, F. (2016) Rhizosphere bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase increase growth and photosynthesis of pea plants under salt stress by limiting Na<sup>+</sup> accumulation. *Functional Plant Biology*, 43(2), 161-172. Doi: 10.1071/FP15200
- Wang, R., Wang, C., Feng, Q., Liou, R. M., & Lin, Y. F. (2021) Biological inoculant of salt-tolerant bacteria for plant growth stimulation under different saline soil conditions. *Microbiology and Biotechnology*, 31(3), 398-407. Doi: 10.4014/jmb.2009.09032
- 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.). *Journal of Sustainable Forestry*, 41(2), 134-158. Doi: 10.1080/10549811.2020.1845742

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. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2022.104952