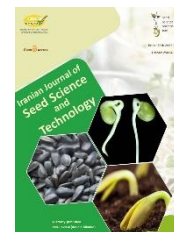




Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

The effect of salt-tolerant *Pseudomonas fluorescens* bacteria on the characteristics of germination and seedling growth indices of two sesame cultivars under salt stress

Sara Yavari Ramsheh¹ , Fatemeh Dehghan Nayeri^{2*}

1. M.Sc. Graduate, Agricultural Biotechnology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

2. Associate Professor, Agricultural Biotechnology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

Article Information

Received: 09 Mar. 2023

Revised: 07 Jun. 2023

Accepted: 24 Jun. 2023

Keywords:

Germination,
Pseudomonas fluorescens,
Salt stress,
Sesame

Corresponding Author:

nayeri@eng.ikiu.ac.ir



Abstract

In this research, morphological and biochemical traits of 10 isolates of *Pseudomonas fluorescens* bacteria, salt tolerance and the effect of bacteria on germination and seedling growth indicators of sesame cultivars under salt stress were conducted. All isolates were Gram-negative and had positive motility and fluorescent properties. Among the bacteria, P₂, P₃ and P₉ isolates were more capable of solubilizing inorganic phosphorus. The ability to produce siderophore was higher in some isolates and the isolates P₁, P₂, P₃, P₈, and P₁₀ showed the highest *in vitro* salt-tolerance. A factorial experiment including two sesame cultivars, 4 salinity levels and inoculation with 3 isolates was done in the form of a completely randomized design in three replications. Based on the results, the effect of bacteria, salinity, variety and their interaction on the percentage and rate of germination, germination indices, allometric coefficient and seedling length and weight index were significant. Under salt stress, the germination and growth of seedlings significantly decreased but, the pretreatment of sesame seeds with salt-tolerant isolates increased the characteristics related to germination and growth indices of sesame cultivars. The highest effect on all parameters including germination rate belonged to P₉. Therefore, P₉ isolate can be used to increase the tolerance of sesame to salinity stress.

How to cite this paper: Yavari Ramsheh, S., & Dehghan Nayeri, F. (2024). The effect of salt-tolerant *Pseudomonas fluorescens* bacteria on the characteristics of germination and seedling growth indices of two sesame cultivars under salt stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 13 (1), 37-57. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2023.361110.1468>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Microorganisms play a crucial role in promoting plant health, existing in various environments as endophytes within plant tissues and epiphytes in the rhizosphere. Among these beneficial microorganisms, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) are particularly notable for their exceptional abilities to enhance plant growth and resilience. These beneficial bacteria not only facilitate better nutrient uptake but also increase plant tolerance to diseases, which consequently reduces reliance on chemical pesticides. This reduction benefits the environment by minimizing the impact of agrochemicals on surrounding ecosystems. PGPR enhances the availability of essential nutrients, especially phosphorus, produces natural antibiotics that protect plants from pathogens, and stimulates overall growth while providing protective mechanisms for root systems. Additionally, PGPR plays a vital role in mitigating abiotic stresses like salinity and drought by producing various secondary metabolites that help plants cope with adverse conditions. Sesame (*Sesamum indicum* L.) is a significant oilseed crop that greatly benefits from associations with PGPR. These microorganisms not only contribute to the economic value of sesame but also act as natural antioxidants that help the plant defend against harmful microbes. In arid and semi-arid regions, where challenges such as drought and soil salinity are common, sesame plant growth is often impeded. These stressors lead to physiological and biochemical changes that adversely affect nutrient and water absorption, ultimately hindering plant development. While traditional breeding and genetic engineering offer promising methods for enhancing stress tolerance, they often come with issues related to cost and technological complexity. In contrast, inoculating sesame plants with PGPR has been shown to improve root development and mineral absorption, leading to increased systemic stress tolerance. Salt-tolerant bacteria from this group can mitigate ion toxicity and enhance overall soil conditions, making PGPR a valuable asset in sustainable agricultural practices. By harnessing the benefits of PGPR, we can significantly boost crop performance, improve soil health, and promote sustainable agricultural production in the face of challenges posed by abiotic stresses such as salinity.

Materials and Methods

This study from 2021 at Imam Khomeini International University's Agricultural Faculty successfully isolated ten strains of *Pseudomonas fluorescens* using biochemical and morphological techniques, followed by preservation in 20% glycerol. The isolates were assessed for motility, Gram staining, colony morphology, and biochemical activities like catalase and citrate utilization. Fluorescence was confirmed under UV light on King B medium. We tested the salinity tolerance by growing the isolates in Nutrient Broth at salinity levels up to 700 mM.

A factorial experiment evaluated the effects of bacterial strains (P2, P3, P9), salinity levels (0, 50, 100, 200 mM NaCl), and two sesame varieties (Oltan and Darab) on germination and seedling growth. Control seeds were soaked in sterile water, while bacterial inoculation involved soaking sterilized seeds in a bacterial solution. Germination counts began on the third day, measuring key metrics such as germination rate, seedling length, and weight.

Results and Discussion

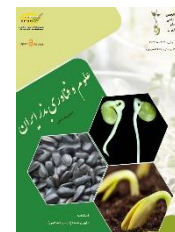
The results indicated a significant influence of bacteria, salinity, cultivar, and their interactions on germination percentage and rate, germination indices, allometric coefficients, as well as the length and weight indices of seedlings. The introduction of saline stress resulted in a substantial decrease in both seed germination and seedling growth. However, pre-treating sesame seeds with salinity-tolerant isolates improved various traits related to germination and growth indices in sesame cultivars. Among the isolates tested, inoculation with strain P9 had an especially notable impact, significantly enhancing all measured traits, including germination rates, compared to the other isolates. This is particularly remarkable given that strain P9 initially showed lower resistance to salinity stress in preliminary assessments. Consequently, strain P9 demonstrates significant potential for enhancing salinity tolerance in sesame plants under saline conditions. This indicates that incorporating P9 could be an effective strategy to mitigate the adverse effects of salinity stress on sesame cultivation, ultimately leading to improved crop performance.

Conclusion

This study evaluated ten strains of *Pseudomonas fluorescens* for traits such as phosphate solubilization, siderophore production, and salinity tolerance. Strains P1, P2, P3, P8, and P10 showed high tolerance to 700 mM salt and effectively solubilized phosphate while producing siderophores, auxins, and hydrogen cyanide. These capabilities can enhance plant tolerance to salinity stress by reducing ethylene levels, thereby protecting root development. Additionally, strains P2, P3, and P9 improved sesame seed germination and salinity tolerance, despite salt stress negatively impacting germination rates, seedling length, and weight. While P9 had lower laboratory salinity tolerance than P2 and P3, it excelled in practical settings, boosting germination and seedling growth. Among the tested varieties, Oltan outperformed Darab in germination speed and salinity tolerance. Overall, strain P9 shows promise for enhancing sesame growth under salinity stress, and further greenhouse and field evaluations are recommended to explore the broader potential of these plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR).



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

تأثیر باکتری‌های *Pseudomonas fluorescens* متحمل به شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه دو رقم کنجد تحت تنش شوری

سارا یآوری رامشه^۱ ID، فاطمه دهقان نیری^{۲*} ID

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲. دانشیار، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳

واژه‌های کلیدی:

تنش شوری،

جوانه‌زنی،

کنجد،

Pseudomonas fluorescens

نویسنده مسئول:

nayeri@eng.ikiu.ac.ir

در این پژوهش خصوصیات موفولوژیکی و بیوشیمیایی ۱۰ جدایه *Pseudomonas fluorescens*، تحمل به شوری و تأثیر جدایه‌ها بر جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد گیاهچه‌های کنجد تحت تنش شوری بررسی شد. براساس نتایج تمام جدایه‌ها گرم منفی و دارای تحرک مثبت و خاصیت فلورسنتی بودند. قدرت حل‌کنندگی فسفات در محیط جامد برای جدایه‌های P₃، P₂ و P₉ بیشتر از سایر جدایه‌ها بود. توانایی تولید سیدروفور برخی جدایه‌ها بیشتر بود و جدایه‌های منتخب P₁، P₂، P₃، P₈ و P₁₀ متحمل به شوری بودند. تأثیر جدایه‌ها بر جوانه‌زنی کنجد در آزمایشی بصورت فاکتوریل شامل دو رقم کنجد، چهار سطح شوری و سه جدایه در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. براساس نتایج تأثیر باکتری، شوری، رقم و برهمکنش آنها بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص‌های جوانه‌زنی، ضریب آلومتریک و شاخص بنیه طولی و وزنی گیاهچه معنی‌دار بود. با اعمال تنش شوری، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت ولی پیش‌تیمار دانه‌های کنجد با جدایه‌های متحمل به شوری موجب افزایش صفات مرتبط با جوانه‌زنی و شاخص‌های رشدی ارقام کنجد شد. تأثیر تلقیح با جدایه P₉ بر همه صفات از جمله میزان جوانه‌زنی بیشتر از سایر جدایه‌ها بود، اگرچه این جدایه در ارزیابی اولیه اعمال تنش شوری به باکتری‌ها مقاومت کمتری نسبت به تنش شوری از خود نشان داده بود. از اینرو جدایه P₉ از پتانسیل بالایی برای افزایش تحمل به شوری کنجد تحت تنش شوری برخوردار است.

نحوه استناد به این مقاله:

Yavari Ramsheh, S., & Dehghan Nayeri, F. (2024). The effect of salt-tolerant *Pseudomonas fluorescens* bacteria on the characteristics of germination and seedling growth indices of two sesame cultivars under salt stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 13 (1), 37-57. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2023.361110.1468>

مقدمه

تحقیقات نشان داده است که میکروارگانیسم‌های متنوعی در قسمت‌های مختلف گیاه زندگی می‌کنند (Li et al., 2020). این میکروارگانیسم‌ها به دو صورت جوامع میکروبی داخل بافت‌ها و اندام‌های گیاه میزبان (اندوفیت) و جوامع میکروبی خارج گیاه، اطراف ریشه یا ریزوسفر (اپیفیت) وجود دارند. اساساً جوامع میکروبی اندوفیت و اپیفیت می‌توانند به توانایی گیاهان در مبارزه با پاتوژن‌ها، بدون بروز آثار منفی یا آسیب به گیاه، کمک کنند (Mousa et al., 2015). باکتری‌های شناسایی شده در قسمت ریزوسفر از خانواده‌های مختلفی مانند اکتینوباکترها و پروباکترها هستند که در این بین باسیلوس، سودوموناس، انتروباکتر، اروینیا، سراسشیا، آرتروباکتر، رایموباکتریوم، بورخولدريا، آزپرولیوم، مایکوباکتریوم و فوروباکتریوم رایج‌ترین جنس‌های گزارش شده هستند. تعداد زیادی از گونه‌های باکتریایی در منطقه ریزوسفر گیاهان به شیوه‌های متفاوتی رشد گیاه را بهبود می‌بخشند که به این باکتری‌های اپیفیت ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه^۱ (PGPR) گفته می‌شود. از آنجائیکه ناحیه ریزوسفر سرشار از مواد مغذی است، این منطقه از خاک به عنوان مرکز رشد گروه‌های مختلف PGPR شناخته می‌شود. اساساً باکتری‌های PGPR به دو صورت مستقیم (با استفاده از تثبیت نیتروژن، افزایش جذب آهن، انحلال فسفات و تولید هورمون‌های گیاهی) و غیرمستقیم (جلوگیری از فعالیت عوامل بیمارگر گیاهی) باعث ارتقاء خصوصیات رشدی گیاهان می‌شوند. باکتری‌های PGPR با افزایش تحمل گیاهان در مقابل بیماری‌های گیاهی باعث افزایش عملکرد آنها می‌شوند. بنابراین این باکتری‌های مفید به دلیل خواص محافظتی و تحریک رشدی که دارند باعث کاهش استفاده از سموم شیمیایی به‌ویژه قارچ‌کش‌ها برای از بین بردن عوامل بیماری‌زا می‌شوند، در نتیجه می‌توان از آنها به عنوان یک راهکار مفید در کاهش آلاینده‌گی زیست‌محیطی مصرف بی‌رویه قارچ‌کش‌ها استفاده نمود (Li et al., 2020). از طرف دیگر، باکتری‌های PGPR می‌توانند با افزایش انحلال فسفات نامحلول، مقادیر بالاتری از فسفر که دومین ماده مهم برای رشد گیاهان است را در دسترس سیستم ریشه‌ای گیاه قرار دهند. باکتری‌های

PGPR با تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشدی مثل اکسین و جبریلین، سیدروفور و ترکیبات موثر در مقابله با عوامل بیمارگر گیاهی مانند HCN، باعث حفاظت از سیستم ریشه‌ای و بهبود رشد اندام‌های هوایی گیاه و کاهش خسارت عوامل بیمارگر گیاهی می‌شوند (Jiang et al., 2020). همچنین باکتری‌های PGPR از طریق تولید متابولیت‌های ثانویه به گیاهان در تعدیل تنش‌های غیرزیستی نیز کمک می‌کنند (Khalifa et al., 2020). به عنوان مثال، در شرایط تنش شوری که با قلیایی شدن خاک و بالا رفتن pH آن همراه است، وجود یون‌های نمکی در خاک مانعی برای رشد گیاهان است و باعث کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. یکی از روش‌های برطرف کردن این مشکل استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید از جمله باکتری‌های سودوموناس برای افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی است (Khanna et al., 2019). امروزه فرمولاسیون‌های مختلفی از باکتری‌های PGPR در کشاورزی پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا باعث افزایش قدرت رشد گیاهان از طریق بهبود عملکرد آنها در پاسخ به تنش‌های زیستی و محیطی و بهبود رشد گیاهان از طریق تولید فیتوهورمون‌ها و افزایش کیفیت خاک شده‌اند (Guerrieri et al., 2020). وجود چنین توانایی حفاظتی و تحریک‌کنندگی رشدی در باکتری‌های PGPR سبب شده است که طی دو دهه‌ی گذشته روند استفاده از این باکتری‌ها در مزارع کشاورزی صعودی شود، زیرا این میکروارگانیسم‌ها قادر هستند در شرایط مختلف وقوع تنش زیستی و غیرزیستی از گیاهان در مقابل عوامل آسیب‌زا حمایت کنند و در نهایت باعث رشد پایدار گیاهان زراعی شوند (Wang et al., 2018). کنجد (*Sesamum indicum* L) بعنوان ملکه دانه‌های روغنی، گیاهی دو لپه و متعلق به خانواده Pedaliaceae است. ارزش اقتصادی کنجد بدلیل وجود آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند سزامین، سزامولین و توکوفرول است که می‌توان از آنها به طور موثر علیه میکروارگانیسم‌های مضر استفاده کرد (Purru et al., 2018). تحقیقات نشان داده است خشکسالی و شوری از عوامل محدودکننده رشد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند. از میان تنش‌های غیرزیستی، تنش شوری همراه با

¹ Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)

مطالعه شد و سپس تاثیر تلقیح دانه دو رقم کنجد، اولتان و داراب، با سه جدایه منتخب (P_2 , P_3 و P_9) روی جوانه زنی دانه های کنجد و رشد گیاهچه ها در شرایط تنش شوری بررسی گردید.

مواد و روش ها

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۰ در آزمایشگاه بیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) صورت گرفت. ده جدایه باکتری *P. florescence* از موسسه خاک و آب کرج تهیه شد. سپس با استفاده از روش های بیوشیمیایی و مورفولوژیکی و محیط های کشت اختصاصی اقدام به تایید گونه هدف شد. نگهداری جدایه ها در گلیسرول ۲۰ درصد طبق روش Moravej et al. (2019) انجام شد.

برای تعیین ویژگی های بیوشیمیایی و مورفولوژیکی جدایه ها، آزمون های تحرک، رنگ آمیزی گرم، بررسی شکل ظاهری کلنی جدایه ها، کاتالاز، سیترات، ویژگی فلورستنی، متیل رد، اوره آز، تولید اکسین، سیدروفور و سیانید هیدروژن با روش های استاندارد انجام شدند. فلورسنس بودن جدایه ها به روش (Gregersen 1978) با مشاهده رنگ فلورسنس در محل رشد کلنی ها در محیط کشت King B زیر نور فرابنفش تایید شد. تعیین شکل ظاهری و ویژگی های مورفولوژیکی، بر مبنای دستورالعمل (Azhar et al. 2014) بررسی شد. تست کاتالاز به روش (Marakana et al., 2018) از طریق ایجاد حباب با افزودن هیدروژن پراکسید بررسی شد. توان تحرک باکتری ها به روش (Schaad et al. 2001) به وسیله میکروسکوپ بررسی گردید. آزمون متیل رد به روش (Marakana et al. 2018) پس از رشد باکتری در محیط کشت MR_VP و افزودن چند قطره معرف متیل رد، بررسی شد. ارزیابی سیترات با استفاده از روش (Marakana et al. 2018) در محیط کشت سیمون سیترات آگار و تولید رنگ آبی بررسی شد. آزمون هیدرولیز اوره به روش استفاده شده (Marakana et al. 2018) در محیط کشت Christensen's Urea و ظهور رنگ قرمز بررسی شد. تولید سیدروفور از طریق ایجاد هاله نارنجی - ارغوانی در محیط کشت Cas_Agar به روش (Schwyn & Neillands 1987) بررسی شد. توان تولید سیانید هیدروژن بر مبنای روش (Sudewi

تغییرات گسترده فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در بافت های مختلف گیاهان به ویژه سیستم ریشه ای است که موجب سمیت یونی، شوک اسمزی و تنش اکسیداتیو می شود. اثرات مضر ناشی از شوری می تواند از طریق کاهش توانایی گیاه در جذب آب و مواد مغذی، گیاهان را در معرض تنش های ثانویه دیگری مانند کاهش رشد شدید بخش هوایی گیاه قرار دهد (Padikasan et al., 2018). برای کاهش اثرات مضر شوری، لازم است از روشی استفاده شود که پتانسیل گیاه را در حفظ رشد و بهره وری در شرایط شوری افزایش دهد. اگرچه اصلاح گیاهان و مهندسی ژنتیک روش های امیدوار کننده ای برای افزایش تحمل گیاهان نسبت به انواع مختلف تنش های محیطی هستند، اما این روش ها با توجه به محدودیت های فناوری و هزینه ای مقرون به صرفه نیستند (Ashraf et al., 2018). گیاهان تلقیح شده با باکتری های PGPR به دلیل تولید ریشه بیشتر، عناصر معدنی را به طور موثرتری از خاک جذب می کنند. همچنین باکتری های PGPR از طریق تغییر فیزیولوژی گیاه، تحمل سیستمیک به تنش های غیرزیستی مختلف مانند شوری، خشکی و فلزات سنگین را القاء می کند (Egamberdieva et al., 2017). باکتری های متحمل به تنش شوری طیف وسیعی از باکتری ها هستند که می توانند با ترشح متابولیت های ثانویه اختصاصی اثر سمیت یون های نمک موجود در خاک را خنثی نمایند و با بهبود pH خاک زمینه را برای رشد گیاهان فراهم کنند. توانایی باکتری های متحمل به تنش شوری در تحریک رشد گیاهان زراعی سبب شده است تا از این میکروارگانیسم ها به عنوان عوامل تعدیل کننده شوری خاک در کشاورزی پایدار استفاده شود (Safdarian et al., 2017). بنابراین، استفاده از باکتری های PGPR در کشاورزی پایدار به عنوان میکروارگانیسم های مفید نه تنها باعث بهبود عملکرد گیاهان زراعی می شود، بلکه سبب افزایش کیفیت خاک زراعی نیز می گردد که به واسطه ی آن محصولات زراعی قادر به رشد پایدار در هنگام وقوع تنش های غیرزیستی مانند تنش شوری خواهند بود (Manasa et al., 2017). در این پژوهش ابتدا خصوصیات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و تحمل به شوری ۱۰ جدایه باکتری سودوموناس فلورسنس^۱

¹ *Pseudomonas fluorescence*

(GP²)، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه (SD³) و وزن تر گیاهچه برمبنای روش (Mostafavi & Heidarian 2021) اندازه‌گیری گردید. در این راستا، شاخص‌های موردنظر با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

۱- درصد جوانه‌زنی: از قدیمی‌ترین شاخص‌های بررسی در جوانه‌زنی است و از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:
 $100 \times (\text{تعداد کل دانه‌ها} / \text{تعداد دانه‌های جوانه‌زده پس از هفت روز}) = \text{درصد جوانه‌زنی}$ (Piri, 2018)

۲- سرعت جوانه‌زنی: (تعداد روز / تعداد دانه‌های جوانه‌زده)
 $= \text{سرعت جوانه‌زنی}$ (Piri, 2018)

۳- شاخص طولی بینه گیاهچه (VI⁴): $100 / (\text{طول گیاهچه (سانتی‌متر)}) \times \text{درصد جوانه‌زنی استاندارد} = \text{شاخص طولی بینه گیاهچه}$ (Mahlooji, 2021)

۴- شاخص وزنی بینه گیاهچه (VII⁵): $100 / (\text{وزن گیاهچه (گرم)}) \times \text{درصد جوانه‌زنی استاندارد} = \text{شاخص وزنی بینه گیاهچه}$ (Hamidi et al., 2021)

۵- ضریب آلومتری (AC⁶): $\text{طول ریشه چه} / \text{طول ساقه چه} = \text{ضریب آلومتری}$ (Soltani Alikooyi et al., 2020)

صفات مورد بررسی با نرم‌افزار SAS آنالیز شد و مقایسه میانگین از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه گردید.

نتایج و بحث

در این پژوهش خصوصیات ظاهری، مورفولوژیکی، تست‌های بیوشیمیایی و صفات محرک رشد ۱۰ جدایه باکتری سودوموناس فلورسنس بررسی شد (جدول ۱).

سنجش حل‌کنندگی فسفات جدایه‌ها در محیط جامد

فسفر از مهمترین عناصر تغذیه‌ای مورد نیاز گیاهان برای رشد است و کمبود آن باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود. این عنصر در اثر واکنش با عناصری مثل کلسیم و آهن از دسترس

et al. (2020) در محیط کشت LB غنی شده با ۴ گرم در لیتر گلیسین و قرار دادن کاغذ صافی آغشته به محلول CDS بررسی شد. میزان تولید اکسین با استفاده از روش (Yaish et al. 2015) با رشد باکتری در محیط کشت TSB حاوی ۵۰ میکروگرم در میلی‌لیتر L-tryptophane ارزیابی گردید. توان حل‌کنندگی فسفات در محیط جامد با استفاده از روش (Bergey 1994) در محیط کشت NBRIP بررسی شد. میزان تحمل جدایه‌ها به شوری به روش (Safdarian et al. 2017)، با رشد هر جدایه در محیط نوترینت برات (NB) در غلظت‌های شوری صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ میلی‌مولار و تعیین تراکم باکتری‌ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

به منظور بررسی اثر باکتری‌ها روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ارقام مختلف کنگد تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل پیش‌تیمار دانه‌های کنگد در سه سطح باکتری (جدایه‌های P₁، P₂ و P₃ و بدون پیش‌تیمار)، شوری در چهار سطح (صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم) و ارقام کنگد (اولتان و داراب) بود. از آب مقطر سترون به عنوان شاهد و از کلرید سدیم برای سایر تیمارها استفاده شد. برای تلقیح دانه‌های کنگد با باکتری با توجه به نتایج مشابهی که توسط (Fathollahy & Mozaffari 2020) و (Stassinis et al. 2022) گزارش شده است، از رقت باکتریایی ۱۰^{-۸} استفاده شد. دانه‌های ضدعفونی شده در رقت تعیین شده باکتری با توجه به روش گزارش شده توسط (Al-Barakah & Sohaib 2019)، با حضور محلول گلوکز به عنوان ماده مغذی و صمغ عربی برای چسبندگی بهتر در شرایط تاریکی غوطه‌ور شدند. دانه‌های شاهد در محیط کشت خالص بدون باکتری غوطه‌ور شدند. سپس دانه‌ها تحت شوری صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم روی کاغذ صافی استریل در ظروف پتری جوانه‌دار شدند. شمارش دانه‌های جوانه‌زده از روز سوم در ساعت‌های مشخص انجام شد. سرعت جوانه‌زنی (GR¹)، درصد جوانه‌زنی

¹ Germination rate

² Germination percentage

³ Seedling DW

⁴ Vigor index I

⁵ Vigor index II

⁶ Allometric coefficient

جامد وجود دارد و برترین جدایه‌ها در انحلال فسفات در محیط جامد به ترتیب جدایه‌های P_2 ، P_3 و P_9 بودند (جدول ۲). براساس گزارش Biswas et al. (2018) پس از تلقیح دانه‌های ماش با باکتری‌هایی که بطور قابل توجهی دارای توانایی حل کردن فسفات در حضور فلزات سنگین هستند، تفاوت محسوسی در رشد گیاهان تیمار شده از طریق تولید آنزیم فسفاتاز در شرایط تنش مشاهده شد.

گیاه خارج می‌شود. گیاهان با تولید آنزیم فسفاتاز و به کمک میکروارگانیسم‌های اطراف ریشه قادر به تبدیل شکل نامحلول فسفات به شکل محلول و قابل استفاده آن هستند (Daneshvar et al., 2020). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین جدایه‌ها در انحلال فسفات اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P < 0.01$) و توانایی انحلال فسفات در چند جدایه بیشتر از سایر جدایه‌ها بود. براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین (جدول ۲) اختلاف معنی‌داری بین جدایه‌ها در انحلال فسفات در محیط

جدول ۱- نتایج آزمون‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی جدایه‌های *P. fluorescence*

Table 1- The results of morphological and biochemical tests of *P. fluorescence* isolates

جدایه Isolate	شکل کلنی Colony shape	شکل سلول باکتری Bacterial cell shape	تست گرم Gram reaction	خاصیت فلورسنتی Fluorescence property	تحرک Mobility	سیترات Citrate	اوره‌آز Urease	کاتالاز Catalase
P_1	صاف و دور گرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	-	+	+	+	+	+
P_2	صاف و دور گرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	-	+	-	+	+	+
P_3	صاف و دور گرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	-	+	+	+	+	+
P_4	صاف و دور گرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	-	+	-	+	+	+
P_5	صاف و دور گرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	-	+	+	+	+	+
P_6	صاف و دور گرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	-	+	+	+	+	+
P_7	صاف و دور گرد Smooth and round	میله‌ای کوتاه Bacilli form	-	+	+	+	+	+
P_8	صاف و دور گرد Smooth and round	میله‌ای کوتاه Bacilli form	-	+	+	+	+	+
P_9	صاف و دور گرد Smooth and round	میله‌ای کوتاه Bacilli form	-	+	+	+	+	+
P_{10}	صاف و دور گرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	-	+	+	+	+	+

۳/۶۷ تا ۱۰/۲ و در اندازه‌گیری سوم از ۱/۷۷ تا ۳/۵۰ متغیر بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که بین جدایه‌ها در تولید سیدروفور اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P < 0.01$). براساس مقایسه میانگین برترین جدایه‌ها در تولید سیدروفور جدایه‌های P_2 ، P_9 و P_{10} بودند (جدول ۲).

سنجش تولید سیدروفور جدایه‌های *P. fluorescens*

هر ۱۰ جدایه مطالعه شده در این پژوهش قادر به رشد در محیط CAS-آگار بودند. نسبت قطر هاله به قطر کلنی در سه زمان (روز دوم، روز چهارم و روز ششم) اندازه‌گیری شد که این نسبت در اندازه‌گیری اول از ۲/۱۰ تا ۳/۶۳، در اندازه‌گیری دوم از

جدول ۲- مقایسه میانگین فسفر، اکسین و سیدروفور با استفاده از آزمون دانکن.

Table 2- Comparison of mean square of phosphorus, auxin and siderophore by Duncan's test.

جدایه Isolate	فسفات Phosphate	اکسین Auxin	سیدروفور (قطر هاله/کلونی) Siderophore		
			(۲ روز)	(۴ روز)	(۶ روز)
			(2 day)	(4 day)	(6 day)
P ₁	1.37 ^{bcd}	0.84 ^{ab}	2.17 ^b	2.10 ^c	1.83 ^c
P ₂	1.60 ^{abc}	0.92 ^a	3.63 ^a	3.77 ^a	2.77 ^b
P ₃	1.63 ^{ab}	0.91 ^a	2.40 ^b	2.60 ^{bc}	1.77 ^c
P ₄	1.30 ^d	0.71 ^{bc}	2.27 ^b	2.57 ^{bc}	1.80 ^c
P ₅	1.43 ^{bcd}	0.75 ^{bc}	2.57 ^b	2.67 ^b	1.77 ^c
P ₆	1.23 ^d	0.79 ^{abc}	2.10 ^b	2.07 ^c	1.57 ^c
P ₇	1.27 ^d	0.67 ^c	2.50 ^b	2.67 ^b	2.13 ^c
P ₈	1.33 ^{dc}	0.66 ^c	2.40 ^b	2.33 ^{bc}	2.13 ^c
P ₉	1.73 ^a	0.91 ^a	3.37 ^a	3.67 ^a	3.50 ^a
P ₁₀	1.40 ^{bcd}	0.82 ^{ab}	3.17 ^a	3.37 ^a	3.2 ^{ab}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

According to Duncan's test, mean square with same letters in each column are not significantly different at ($p < 0.05$).

فراهم کردن آهن قابل جذب برای گیاه ذکر شده است.

سنجش تولید سیانید هیدروژن جدایه‌ها

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تمام جدایه‌ها توانایی تولید سیانید هیدروژن را دارند. جدایه‌های P₁, P₃, P₄, P₅, P₈, P₉ و P₁₀ توانایی تولید سیانید هیدروژن قوی و سایر جدایه‌ها شامل جدایه‌های P₂, P₆ و P₇ پتانسیل تولید سیانید هیدروژن در حد متوسط دارند. باکتری‌های تولیدکننده سیانید هیدروژن عمدتاً خاصیت زیست‌کنترلی از خود نشان می‌دهند، زیرا سیانید هیدروژن قادر به تخریب دیواره سلولی عوامل بیمارگر گیاهی است. در پژوهشی که توسط (Rijavec & Lapanje, 2016) انجام شد، اثرات تلفیق باکتری‌های تولیدکننده سیانید هیدروژن به گیاهان در حال جوانه‌زنی نشان داده است که رشد گیاه روی بستر مبتنی بر گرانیات افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از سیانید هیدروژن و شن و ماسه معدنی می‌تواند باعث انتقال مواد معدنی و آزادسازی فسفات در شرایط آزمایشگاهی توسط سیانید شود.

سنجش تولید اکسین جدایه‌ها

براساس نتایج این پژوهش همه جدایه‌ها قادر به تولید اکسین در حضور آمینواسید آل‌تریپتوفان بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

فرم غالب و فراوان آهن در خاک، آهن سه ظرفیتی غیر قابل جذب است. تحقیقات نشان داده است که میزان آهن موجود در خاک بدلیل استفاده از کودهای فسفره در خاک بسیار پایین است. کمبود آهن باعث می‌شود تا گیاهان از طریق مکانیسم‌های مختلفی مانند ترشح متابولیت‌هایی که سبب جذب باکتری‌های PGPR در محیط ریشه‌ای آنها می‌گردد، آهن مورد نیاز برای رشد بخش‌های هوایی را از خاک جذب کنند. باکتری‌های PGPR قادر هستند تا از طریق کلات کردن آهن موجود در خاک آن را در اختیار ریشه گیاهان قرار دهند. از متنوع‌ترین عوامل کلات‌کننده باکتریایی می‌توان به سیدروفورها اشاره کرد که عمدتاً توسط باکتری‌های سودوموناس فلورسنس سنتز و ترشح می‌شوند. سیدروفورها دارای وزن مولکولی پایین و میل ترکیبی بالا با آهن هستند (Abbas et al., 2019). در نتیجه هنگامیکه این ترکیبات به محیط ریزوسفر ترشح می‌شوند می‌توانند آهن مورد نیاز گیاهان را تامین نمایند. در پژوهشی که توسط (Tahmasbi et al., 2014) روی ۳۸ جدایه سودوموناس فلورسنس انجام شده است، جدایه‌های برتر انتخاب شده از نظر تولید سیدروفور باعث افزایش میزان کلروفیل گیاه تا ۲۰۲/۶۱ درصد، افزایش میزان جذب آهن تا ۱۷۹ درصد، افزایش وزن خشک اندام هوایی تا ۶۲ درصد و افزایش وزن خشک ریشه تا ۶۹ درصد نسبت به نمونه شاهد شدند که بدلیل تاثیر سیدروفور در

غلظت نشان دادند. در غلظت ۲۰۰ میلی مولار جدایه‌های P_1 و P_6 مقاوم‌ترین جدایه‌ها به شوری بودند، در حالی که جدایه P_9 پایین‌ترین مقاوت به شوری را از خود نشان داد. جدایه P_4 که در غلظت ۱۰۰ میلی مولار شوری، پایین‌ترین درجه مقاوت به شوری را از خود نشان داده بود، با افزایش غلظت نمک در تیمار اعمال شده، روند مقاوت آن به شوری نیز افزایش یافت، در نتیجه این مورد می‌تواند به علت پاسخ متابولیکی باکتری به غلظت بالاتر نمک باشد، اگرچه در غلظت‌های بالاتر نمک در تیمار شوری اعمال شده روند مقاوت این جدایه به تنش شوری کاهش یافته است. در غلظت ۴۰۰ میلی مولار شوری، جدایه‌های P_3 ، P_8 و P_{10} از مقاوت بالاتری برخوردار بودند، در حالی که سایر جدایه‌ها روند مقاوت به شوری نزولی نشان دادند. در غلظت‌های ۶۰۰ میلی مولار و بالاتر، جدایه‌های P_2 و P_3 از مقاوت نسبی بالاتری برخوردار بودند ولی در سایر جدایه‌ها روند مقاوت شدیداً شیب نزولی نشان داده و رشد باکتری‌های مورد مطالعه به حداقل مقدار ممکن رسیده است. با وجود این، جدایه P_1 در غلظت ۷۰۰ میلی مولار تیمار شوری، افزایش رشد نشان داده است و به نظر می‌رسد مقاوت این جدایه در این غلظت از شوری بالا است، اگرچه در غلظت‌های ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی مولار روند رشد باکتری و در نتیجه مقاوت آن به تنش شوری کاهش یافته است.

باکتری‌های محرک رشد گیاه با استفاده از مکانیسم‌هایی شامل همکاری با دیگر میکروارگانیسم‌های خاک، تولید هورمون‌های گیاهی، تولید آنزیم‌های مختلف، افزایش حلالیت مواد مغذی خاک و کنترل عوامل بیماری‌زای گیاهی قادر به کاهش اثرات تنش‌های مختلف بر رشد گیاه هستند (Miransari et al., 2014). میکروارگانیسم‌های هالوفیل برای بقای خود به نمک احتیاج دارند و در سلول‌های خود میزان بالایی از نمک‌های مختلف بویژه کلرید سدیم را نگهداری می‌کنند. این باکتری‌ها در محیط‌های دارای نمک ۵ درصد یا بیشتر به خوبی رشد می‌کنند. در پژوهشی تلقیح باکتری‌های هالوفیل به گیاه بامیه باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و بهبود پارامترهای رشدی نسبت به گیاه شاهد شد و آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه تلقیح شده با این باکتری‌ها تحت تنش شوری افزایش یافت (Habib et al., 2016). در مطالعه‌ای، Bandehagh et al. (2018) گزارش کردند که تحت تنش شوری

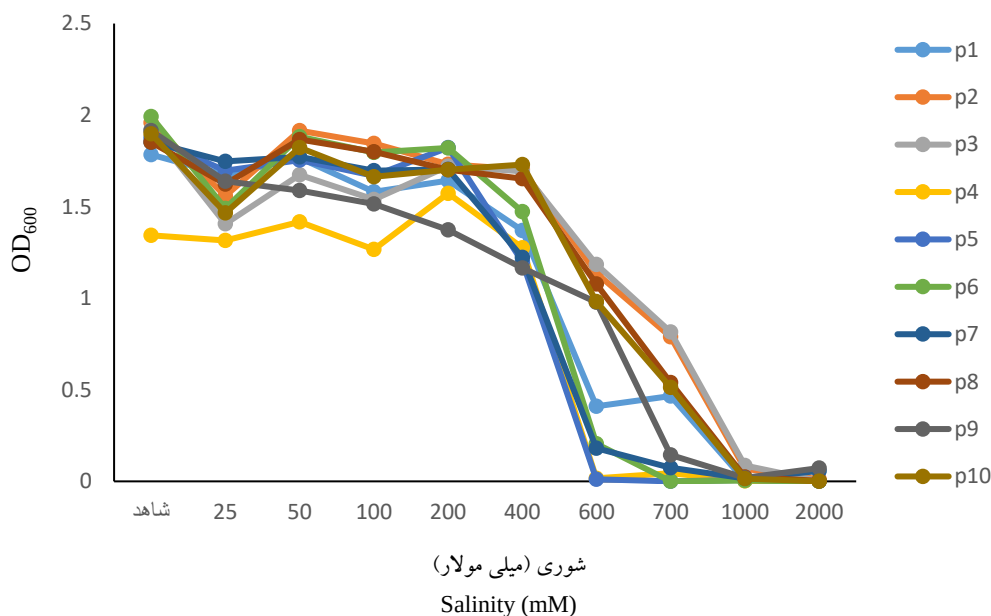
بین صفات مورد بررسی در جدایه‌ها وجود دارد. براساس نتایج مقایسه میانگین با آزمون دانکن (جدول ۲) همه جدایه‌ها قابلیت تولید اکسین در حضور ۵۰ میلی گرم ال‌تریپتوفان را داشتند. توانایی تولید اکسین در این پژوهش از حداقل ۰/۶۶ تا ۰/۹۲ میکروگرم در میلی‌لیتر متغیر بود. بیشترین مقدار تولید اکسین مربوط به جدایه P_2 و کمترین مقدار تولید اکسین (۰/۶۶) مربوط به جدایه P_8 بود. تحقیقات نشان داده است که هورمون اکسین ترشح شده از باکتری‌های PGPR با اصلاح شرایط خاصی مانند افزایش محتویات اسمزی سلول، افزایش نفوذپذیری آب به داخل سلول، کاهش فشار دیواره، افزایش سنتز دیواره سلولی و سنتز پروتئین، افزایش طول سلول را تحریک می‌کند. همچنین فعالیت جنین را تقویت و مهار می‌کند، از ریزش برگ‌ها جلوگیری می‌نماید یا ریزش برگ‌ها را به تأخیر می‌اندازد و سبب بهبود گل‌دهی و باردهی گیاه می‌شود (Zhao, 2010). در مطالعه‌ای که توسط Das et al. (2019) انجام شد، تأثیر باکتری‌های PGPR تولیدکننده اکسین بر جوانه‌زنی دانه برنج بررسی شد. جدایه‌های منتخب بدلیل تولید هورمون اکسین تأثیر زیادی بر جوانه‌زنی دانه برنج در این مطالعه داشتند.

توانایی تحمل به تنش شوری جدایه‌های باکتری

در پژوهش حاضر میزان تحمل به شوری جدایه‌ها در غلظت‌های مختلف شوری از طریق تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با روش دانکن بررسی شد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، جدایه‌ها از نظر تحمل غلظت‌های مختلف نمک و میزان رشد متفاوت بودند و بین جدایه‌ها در غلظت‌های شوری ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی مولار در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده از اعمال تنش شوری در محیط رشد جدایه‌های مورد مطالعه نشان داد که جدایه‌های مورد بررسی از لحاظ تحمل به شوری و رشد در غلظت‌های مختلف نمک عملکرد متفاوتی از خود نشان دادند (شکل ۱). در غلظت ۵۰ تا ۱۰۰ میلی مولار شوری، جدایه‌های P_2 و P_8 بالاترین تحمل به شوری را داشتند. جدایه P_4 در غلظت ۱۰۰ میلی مولار شوری، پایین‌ترین درجه تحمل به شوری و سایر جدایه‌ها مقاوم به شوری تقریباً مشابه در این

مختلف جوانه‌زنی و چهار سطح شوری صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار مشخص گردید که دانه‌های کینوای تلقیح شده در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار ۶۹ درصد جوانه‌زنی داشتند.

گیاهان کلزای تلقیح شده با باکتری دارای وزن خشک بالاتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده بودند. در پژوهشی که توسط Al-Barakah & Sohaib (2019) انجام شده است، جهت بررسی پاسخ جوانه‌زنی دانه کینوا به تلقیح باکتری، با استفاده از بسترهای



شکل ۱- مقایسه جدایه‌های مختلف از لحاظ تحمل به شوری در غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم.

جدایه‌های P₁, P₂, P₃, P₈ و P₁₀ از لحاظ تحمل به شوری و رشد در غلظت‌های بالاتر نمک (۷۰۰ میلی‌مولار) عملکرد بهتری داشتند.

Figure 1- Screening salinity-tolerant of isolates to different concentrations of sodium chloride salt. The isolates P₁, P₂, P₃, P₈ and P₁₀ showed more tolerant and growth in higher salt concentrations (up to 700 mM).

افزایش شوری از میزان جوانه‌زنی دانه‌های کنجد کاسته شد. اثر متقابل تنش شوری-رقم در درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار نشد. اثر متقابل شوری و باکتری روی سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار شد. براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و تلقیح با باکتری (شکل ۲)، تلقیح با جدایه P₉ باعث افزایش تحمل دانه به شوری و بهبود سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری شد که در شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، سرعت جوانه‌زنی در تلقیح با هر سه جدایه نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت که این افزایش سرعت در نمونه‌های تلقیح شده با جدایه P₉ بیشتر بود. در تیمار شوری اعمال شده به جدایه‌های مورد مطالعه در این پژوهش به منظور بررسی توانایی آنها برای رشد در غلظت‌های بالای نمک، جدایه P₉ در مقایسه با سایر جدایه‌ها حداقل رشد در غلظت‌های بالای نمک را از خود نشان داده بود.

درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی دانه‌های کنجد

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در بررسی اثرات تنش شوری روی گیاهان، بررسی درصد و سرعت جوانه‌زنی در ارتباط با اعمال تنش شوری است. تنش شوری باعث کاهش رشد گیاهچه، کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی و تأخیر در ظهور ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌های در حال جوانه‌زنی می‌شود و شوری ایجاد شده با نمک کلرید سدیم اثرات منفی بیشتری در گیاهان ایجاد می‌کند (Wahid et al., 2016). براساس نتایج تجزیه واریانس درصد و سرعت جوانه‌زنی در این پژوهش (جدول ۳) جوانه‌زنی دانه‌های کنجد تحت تأثیر شوری و تلقیح با باکتری بسیار معنی‌دار ($P < 0.01$) و اثر اصلی شوری روی سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد ($P < 0.05$). در مجموع درصد جوانه‌زنی رقم اولتان بهتر از رقم داراب بود. با

باکتری باعث کلونیزاسیون ریشه و افزایش سرعت جوانه‌زنی در محیط‌های شور شده و باعث می‌شود دانه‌های گیاه کمتر تحت تاثیر سمیت نمک و کمبود آب قرار بگیرند. بنابراین باعث افزایش بیشتر طول ریشه نسبت به طول ساقه و افزایش سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی شده است.

با وجود این، در مقایسه با دو جدایه P₂ و P₃ این باکتری از کارایی بالاتری برای افزایش سرعت جوانه‌زنی برخوردار است. در پژوهشی که توسط Bayari et al. (2009) روی تلقیح دانه ذرت با باکتری انجام شده، وجود رابطه معنی‌دار بین سرعت و درصد جوانه‌زنی گزارش شده است بطوریکه پیش تیمار با

جدول ۳- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر شوری و پیش تیمار باکتریایی بر شاخص‌های جوانه‌زنی دانه کنجد.

Table 3- Analysis of variance (mean square) of salinity and bacterial pretreatment effects on sesame seed germination indices

میانگین مربعات (MS)										
منبع تغییرات S.O.V	df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ساقه Shoot length (cm)	طول ریشه Radicle length (cm)	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	شاخص طولی بنیه گیاهچه Vigor index I	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Vigor index II	ضریب آلومتریک Allometric coefficient
رقم (V) Variety	1	20.785	13.546*	20.40**	0.732**	46.353**	1.286**	8.788**	20.682**	0.000
شوری (S) Salinity	3	236.754**	67.871**	6.246**	0.185**	1.414**	0.187**	6.376**	1.962**	0.009**
باکتری (B) Bacteria	3	20.656*	22.299**	3.696**	0.117**	6.927**	0.468**	2.019*	5.684**	0.008**
V×S	3	0.916 ^{ns}	2.067	0.123	0.008	0.086**	0.002	0.408	0.061	0.001
V×B	3	9.674	1.314	0.008	2.129**	2.384**	0.359**	0.071**	1.732**	0.005**
B×S	9	5.341	4.462*	0.071**	1.447**	0.630**	0.098**	0.055**	0.354**	0.002*
اشتباه آزمایش Exp. error	9	4.776	1.387	2.948	0.003	3.42	0.008	0.311	0.0194	0.0005
ضریب تغییرات C.V.(%)		2.355	6.345	0.003	0.031	3.462	6.209	10.892	3.859	4.235

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns عدم معنی‌داری.

* and ** significantly at $p < 0.05$ and < 0.01 , respectively; ns = non-significant

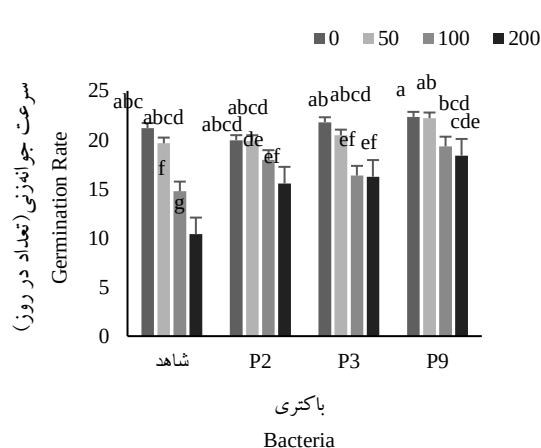
شاخص بنیه وزنی و طولی گیاهچه

شاخص بنیه گیاهچه یکی از شاخص‌های کیفیت دانه است. براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر اصلی تنش شوری، باکتری، رقم و اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری در شاخص وزنی و طولی بنیه گیاهچه معنی‌دار گردید. همچنین اثر متقابل تلقیح با باکتری- رقم در شاخص وزنی بنیه گیاهچه معنی‌دار شد. شوری و پیش تیمار با باکتری و اثر متقابل آنها روی شاخص وزنی بنیه گیاه معنی‌دار شد ($0.05 < P < 0.01$). افزایش شاخص بنیه گیاه به دلیل تحریک فیتوهورمون‌ها توسط

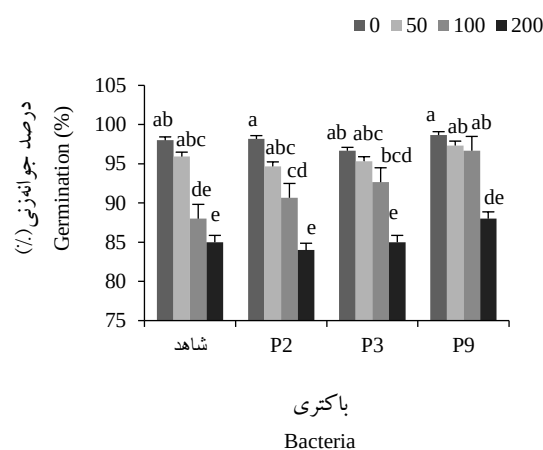
باکتری‌ها است که این اثر به صورت تغییر در فاکتورهای رشدی دانه از جمله افزایش تعداد ریشه‌های جانبی، افزایش طول و وزن ریشه‌چه و همچنین افزایش شاخص بنیه طولی و وزنی گیاهچه است (Shahverdi et al., 2017). در مقایسه میانگین دانکن (شکل ۳)، بالاترین میانگین شاخص بنیه وزنی در بررسی اثر متقابل رقم- باکتری در رقم اولتان تلقیح شده با جدایه P₉ است. بالاترین میزان شاخص وزنی بنیه وزنی تحت تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، در گیاهچه‌های تلقیح شده با جدایه P₉ و جدایه P₃ بود.

طریق بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی از جمله شاخص بنیه گیاه کاهش یافت. باکتری‌های محرک رشد تحت شرایط تنش شوری، تأثیر مثبتی بر برخی پارامترهای گیاه از جمله سرعت جوانه‌زنی، تحمل به خشکی ناشی از شوری، رشد و عملکرد و بنیه گیاه دارند. باکتری‌های محرک رشد با تولید ایندول استیک اسید در محیط ریشه می‌توانند سبب افزایش جوانه‌زنی، تراکم و طول ریشه‌های موئین و بهبود رشد گیاه شوند.

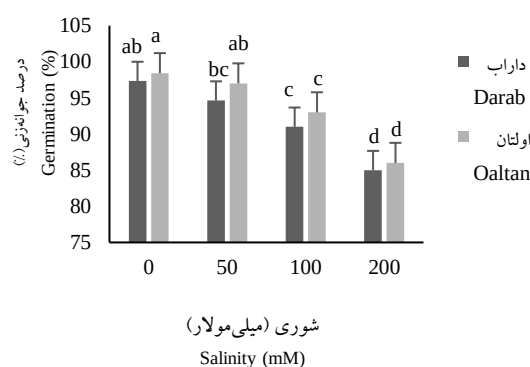
با توجه به بررسی اثر متقابل تلقیح با باکتری و تنش شوری، در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، میانگین شاخص طولی بنیه گیاه تلقیح شده با جدایه P₉ در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار برابر ۵/۲۷۵ بود که نشان‌دهنده اثرات مثبت تلقیح با این جدایه روی افزایش شاخص بنیه طولی گیاهچه است (شکل ۴). براساس نتایج پژوهشی که توسط Fathollahy & Mozaffari, (2020) انجام شد، پرایمینگ دانه‌های گندم با باکتری‌های PGPR در مقایسه با تیمار شاهد، اثرات منفی ناشی از تنش شوری روی گیاهچه از



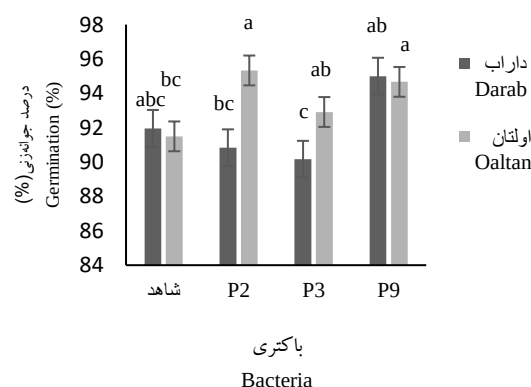
(الف - ا)



(ب - ب)



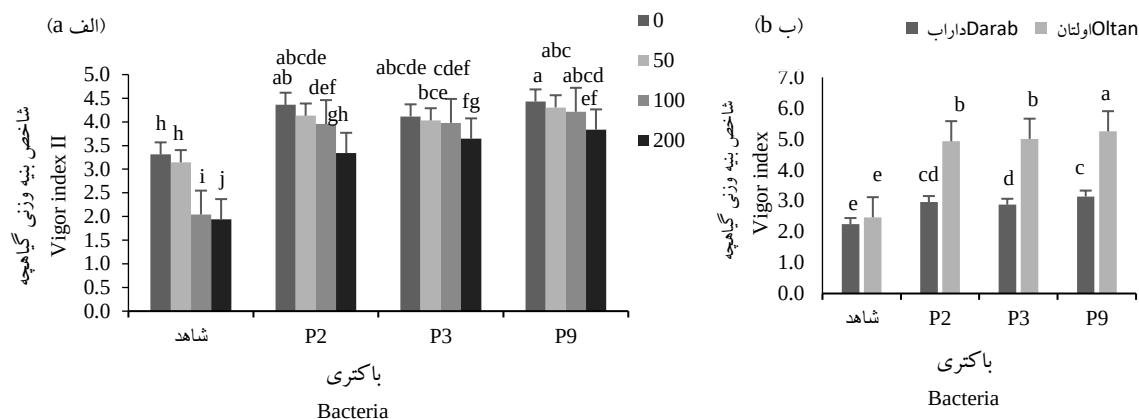
(ج - ج)



(د - د)

شکل ۲- (الف) اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری روی سرعت جوانه‌زنی، (ب) اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری روی درصد جوانه‌زنی، (ج) اثر متقابل شوری- رقم روی درصد جوانه‌زنی و (د) اثر متقابل تلقیح با باکتری- رقم روی درصد جوانه‌زنی.

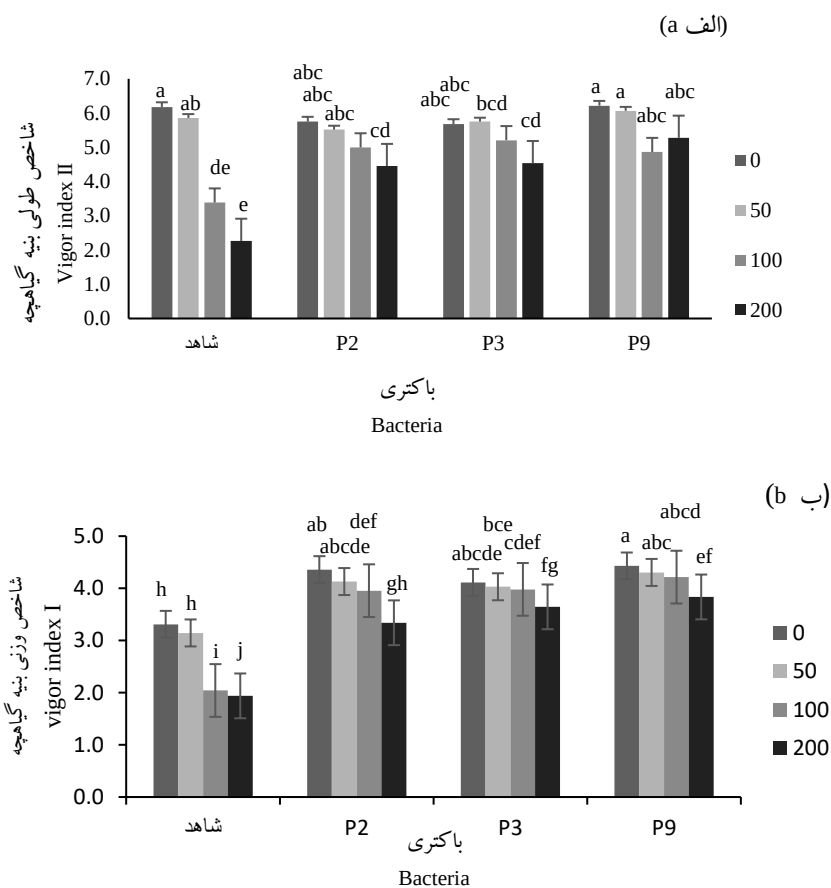
Figure 2- (a) The interaction effect of inoculation with bacteria-salinity on the germination rate, (b) the interaction effect of inoculation with bacteria-salinity on the percentage of germination, (c) the interaction effect of salinity-variety on the percentage of germination and (d) Interaction effect of inoculation with bacteria and variety on germination percentage



شکل ۳- (الف) اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری روی شاخص بنیه وزنی گیاهچه و

(ب) اثر متقابل تلقیح با باکتری- رقم روی شاخص بنیه وزنی گیاهچه.

Figure 3- (a) The interaction effect of bacteria-salinity on the vigor index II and (b) the interaction effect of bacteria-variety on the vigor index II.



شکل ۴- (الف) اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری بر شاخص بنیه طولی گیاهچه و

(ب) اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری بر شاخص بنیه وزنی گیاهچه.

Figure 4- (a) The interaction effect of bacteria-salinity on the vigor index I and (b) the interaction effect of bacteria-salinity on the vigor index II.

ضرب آلودمتریک

اعمال تنش شوری روی دو رقم کنجد باعث افزایش میزان ضرب آلودمتریک در هر سه سطح شوری گردید. براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر اصلی شوری، باکتری و اثر متقابل رقم- باکتری بر شاخص ضرب آلودمتریک معنی‌دار شد ($P < 0.05$). اثر متقابل شوری- باکتری نیز معنی‌دار شد ($P < 0.01$). اثر اصلی شوری نشان داد با افزایش شوری میزان ضرب آلودمتریک افزایش یافت. این افزایش بنابر نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه در محاسبه ضرب آلودمتریک، حاکی از افزایش نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه در شرایط شوری است. در رابطه با نقش باکتری‌ها بر جوانه‌زنی و مراحل اولیه رشد گیاهچه، پژوهش‌های زیادی انجام گرفته است. این باکتری‌ها به دلیل سنتز هورمون‌هایی مانند جبرلین و همچنین تولید آنزیم آمیلاز و تجزیه نشاسته سبب بهبود جوانه‌زنی می‌شوند. همچنین سنتز هورمون اکسین نیز باعث افزایش قدرت گیاهچه‌ها می‌شود. نتایج پژوهشی روی گیاه کتان روغنی در پنج سطح شوری و تلقیح با سه جدایه از باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس نشان داد که در ضرب آلودمتریک تاثیر منفی تنش شوری روی طول ساقه‌چه بیشتر از طول ریشه‌چه است در واقع این جدایه‌ها احتمالاً از طریق کاهش میزان اتیلن در ریشه‌ها و به دنبال آن کاهش اثرات بازدارندگی آن موجب افزایش رشد گیاه شده‌اند و این تأثیر در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بیشتر مشاهده شد (Shahverdi et al., 2017). Klee (et al. 1991) گزارش کردند که باکتری سودوموناس آنزیم آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات‌دی‌آمیناز تولید می‌کند که بلافاصله آمینو سیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات را به پیش ماده اتیلن برای ساخت آمونیاک و آلفاکتوبوتیرات تجزیه می‌کند

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاهچه

در این پژوهش براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر اصلی رقم، شوری، باکتری و اثر متقابل شوری- باکتری بر طول ساقه‌چه معنی‌دار بود و برای شاخص طول ریشه‌چه اثر اصلی رقم، شوری و باکتری و اثر متقابل رقم- باکتری و شوری- باکتری معنی‌دار شد ($P < 0.05$). با توجه به مقایسه میانگین (جدول ۴) در اثر متقابل شوری و تلقیح با باکتری، با افزایش شوری، طول ساقه‌چه افزایش یافت و بیشترین افزایش در طول ساقه‌چه در

شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مربوط به نمونه‌های تلقیح شده با جدایه‌های P_3 و P_9 بود. اعمال تنش شوری به همراه تلقیح با باکتری نشان داد که با افزایش سطح شوری، طول ریشه‌چه دانه‌های تلقیح شده با جدایه P_9 برابر ۲/۷۶۷ و دانه‌های تلقیح شده با جدایه P_3 برابر ۲/۶۸۳ بود که نسبت به نمونه شاهد به ترتیب افزایش ۱۳۳ درصد و ۱۲۶ درصدی داشتند. کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش شوری به دلیل اختلال در انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین است. درواقع اختلال و کاهش در جذب آب در شرایط شوری فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌ها را کم می‌کند و باعث کاهش رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه می‌شود (Kafi et al., 2005). در این رابطه در پژوهشی که روی تاثیر پرایمینگ دانه یونجه در شرایط تنش شوری توسط (Younesi et al., 2013) انجام شده رقم تلقیح شده با جدایه سودوموناس فلورسنس، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک بالاتری نسبت به شاهد داشته است. در واقع باکتری‌ها از طریق کاهش غلظت اتیلن درون گیاه و تبدیل آن به منابع نیتروژن، باعث طولی شدن ریشه می‌شوند (Persello- Cartieaux et al., 2003). پژوهش‌هایی مبنی بر افزایش تحمل به تنش شوری در اثر استفاده از مایه تلقیح باکتری، که یکی از مکانیسم‌های دخیل در این زمینه توانایی مایه تلقیح میکروبی در تولید هورمون‌های گیاهی است، گزارش شده است. تلقیح گیاهان با باکتری‌هایی که سبب افزایش تولید ACC دآمیناز می‌شوند با کاهش هورمون اتیلن، به گیاه در مقابله با تنش‌های گوناگون مانند غرقابی، ترکیب‌های سمی معدنی و آلی، غلظت زیاد نمک، خشکی و عوامل بیماری‌زا کمک می‌کنند (Saleem et al., 2007). براساس نتایج پژوهشی که توسط Soltani Alikooyi et al. (2020) انجام شده است، تلقیح دانه‌های گیاه یونجه تحت تنش شوری با باکتری‌های اسینتوباکتر، باسیلوس و انتروباکتر باعث افزایش طول ریشه‌چه به دلیل تولید اتیلن و افزایش رشد شد و این افزایش در دانه‌های تلقیح شده با انتروباکتر بیشتر بود. همچنین با افزایش میزان شوری و بدون تلقیح باکتری از طول ریشه‌چه کاسته شد.

طول گیاهچه

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی رقم، شوری، تلقیح با باکتری و اثر متقابل رقم- باکتری و شوری- باکتری بر طول

با باکتری در وزن تر و وزن خشک گیاهچه کنگد معنی دار شد. همچنین اثر متقابل رقم و شوری در وزن تر گیاهچه معنی دار شد. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و تلقیح با باکتری (جدول ۴) نشان داد که با افزایش تنش شوری، تلقیح با جدایه‌های باکتریایی موجب افزایش بیشتر وزن خشک و تر گیاهچه‌ها شد. بیشترین میزان افزایش وزن خشک در شوری ۲۰۰ میلی مولار و تلقیح با جدایه P₉ بود. مقدار افزایش وزن تر گیاهچه‌های تلقیح شده با جدایه P₉ (۴/۳۶۵)، با جدایه P₂ (۴/۲۸۵) و با جدایه P₃ (۴/۲۵۳) بود. در پژوهشی که توسط (Soltani Alikooyi et al., 2020) روی گیاه یونجه تحت تنش شوری و تلقیح با جدایه‌های اسیتوباکتر، باسیلوس و انتروباکتر انجام شد، نشان داد که تلقیح با باکتری باعث افزایش وزن خشک گیاهچه‌ها شد. این باکتری‌ها با تثبیت غیر همزیستی نیتروژن، محلول کردن عناصر غذایی، کلات کردن آهن با تولید سیدروفور و تولید ترکیبات فرار آلی باعث بهبود رشد در شرایط تنش‌های غیرزیستی می‌شوند.

افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن گیاه با تلقیح با PGPR در گیاهان مختلف مانند پنبه، گندم، نیشکر و ذرت گزارش شده است (Calvo et al., 2014). در بررسی اثر پیش تیمار باکتری‌های محرک رشد روی شاخص‌های جوانه‌زنی گندم نان تحت تنش شوری توسط (Fathollahy & Mozaffari, 2020) مشخص شد که تلقیح با باکتری در گیاهان تحت تنش شوری باعث افزایش وزن خشک و وزن تر گیاهچه‌ها شد. افزایش حلالیت سایر عناصر غذایی توسط مایه‌های تلقیح باکتریایی گزارش شده است که این مکانسیم‌ها مربوط به افزایش زیست توده ریشه، سطح ریشه یا تارهای کشنده ریشه، مکانیسمی غیرمستقیم است که سبب افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود. دامنه وسیعی از میکروارگانیسم‌های خاک شامل سودوموناس‌ها، باسیلوس‌ها و آریسکیولار مایکوریزا سبب افزایش جذب روی، مس، منگنز، کلسیم، منیزیم و گوگرد می‌شوند (Calvo et al., 2014). در مطالعه‌ای که توسط (Gholami et al., 2009) روی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری انجام شده است جدایه‌های باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد اثرات نامطلوب شوری را کاهش داده و وزن تر و خشک گیاه را نسبت به شاهد افزایش دادند.

گیاهچه معنی‌دار شد ($P < 0.01$). با توجه به مقایسه میانگین (جدول ۴) اثر اصلی تلقیح با باکتری نشان داد که بیشترین میزان افزایش طول گیاهچه در رقم داراب، مربوط به تلقیح با جدایه P₉ برابر ۵/۲۷۵ و جدایه P₃ برابر ۵/۲۰۸ بود و نمونه شاهد (عدم تلقیح) با میانگین ۴/۷۱۸ کمترین میزان طول گیاهچه را داشت. در رقم اولتان بیشترین طول گیاهچه مربوط به نمونه تلقیح شده با جدایه P₉ بود. اثر متقابل تلقیح با باکتری در تمام سطوح شوری نشان داد که با افزایش میزان شوری از اثرات منفی حاصل از تنش شوری روی طول گیاهچه‌های حاصل از دانه‌های تلقیح شده کنگد با باکتری کاسته شد. بیشترین میزان طول گیاهچه تحت شوری ۲۰۰ میلی مولار در تلقیح با جدایه P₃ و P₉ مشاهده شد. تحقیقات بسیاری روی اثر تلقیح دانه با باکتری‌های محرک رشد و تأثیر آنها بر شاخص‌های رشدی گیاه از جمله طول گیاهچه انجام شده است. باکتری‌های PGPR با تولید هورمون ایندولاستیک اسید در اطراف خود می‌توانند با تحریک طویل شدن سلول‌های گیاهی و تقسیمات سلولی باعث افزایش رشد گیاه، طول گیاهچه، طول ساقه و ریشه شوند (Aris et al., 2011). Beheshti et al. (2000) نشان دادند که با افزایش سطح شوری بدون تلقیح با باکتری، طول گیاهچه در همه ارقام یونجه کاهش یافت و شوری باعث کاهش طول گیاهچه شد. در واقع ارتباط بین تولید سیدروفور با تحریک رشد گیاه و جذب آهن در گونه‌های مختلف گیاه و میکروارگانیسم‌ها گزارش شده است. باکتری‌ها به دلیل داشتن سیستم انتقال آهن III می‌توانند در محیط‌های با غلظت بسیار کم آهن رشد کنند. عوامل کلات‌کننده آهن که به عنوان سیدروفور شناخته می‌شوند، آهن III را کلات کرده و با هدایت آن به داخل سلول گیاه باعث بهبود فاکتورهای رشدی گیاه از جمله طول گیاهچه می‌شوند (Sharma et al., 2013). این باکتری‌ها با آزاد کردن هورمون‌هایی مثل جیبرلین و اکسین و با تولید یک سری آنزیم‌ها، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و تحمل به شرایط نامساعد، باعث رشد و استقرار بهتر گیاهچه می‌شوند (Ahmad et al., 2008).

وزن خشک و وزن تر گیاهچه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر اصلی شوری، رقم و تلقیح با باکتری و اثر متقابل باکتری و شوری و رقم و تلقیح

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم- شوری و رقم- تلقیح با باکتری و اثر متقابل شوری- تلقیح با باکتری روی فاکتورهای طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، وزن تر گیاهچه، طول ریشه و طول ساقه.

Table 4- The interaction effect of variety-salinity, variety-bacteria and salinity-bacteria on seedling length, seedling dry weight, seedling fresh weight, radicle length and shoot length factors.

متغیر ۱ Variable 1	متغیر ۲ Variable 2	طول ساقه چه Shoot length (cm)	طول ریشه چه Radicle length (cm)	گیاهچه وزن تر Seedling fresh weight (g)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	طول گیاهچه Seedling length (cm)
رقم Variety	شوری Salinity					
داراب (Darab)	0	1.388 ^{bc}	2.769 ^c	3.369 ^d	1.378 ^c	5.434 ^d
	50	1.371 ^c	2.551 ^d	3.361 ^c	1.361 ^c	5.462 ^d
	100	1.254 ^d	2.223 ^{ef}	2.898 ^d	1.248 ^c	4.682 ^e
	200	1.184 ^d	2.109 ^f	2.623 ^d	1.170 ^c	4.349 ^e
اولتان (Oltan)	0	1.606 ^a	3.165 ^a	4.902 ^a	1.679 ^a	6.738 ^a
	50	1.591 ^a	3.076 ^a	4.943 ^a	1.656 ^a	6.626 ^a
	100	1.512 ^a	2.813 ^b	4.745 ^a	1.531 ^{ab}	5.806 ^b
	200	1.344 ^b	2.325 ^{de}	4.369 ^b	1.424 ^b	5.273 ^c
رقم Variety	باکتری Bacteria					
داراب (Darab)	شاهد Control	1.139 ^e	2.087 ^f	2.396 ^c	1.152 ^g	4.718 ^e
	P ₉	1.313 ^d	2.583 ^{cd}	3.305 ^b	1.338 ^{de}	5.275 ^d
	P ₂	1.437 ^c	2.383 ^e	3.257 ^b	1.284 ^{ef}	4.725 ^e
	P ₃	1.308 ^d	2.700 ^{bc}	3.193 ^b	1.383 ^{cd}	5.208 ^d
	شاهد Control	1.312 ^d	2.372 ^{de}	2.603 ^c	1.187 ^a	4.718 ^e
اولتان (Oltan)	P ₉	1.610 ^a	3.175 ^a	5.518 ^a	1.966 ^{fg}	7.008 ^a
	P ₂	1.513 ^b	2.825 ^b	5.464 ^a	1.668 ^b	6.508 ^b
	P ₃	1.619 ^a	3.008 ^a	5.373 ^a	1.470 ^c	6.208 ^c

در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

The mean values with similar superscript letters in a column are not significantly different ($p < 0.05$).

Continue of Table 4

ادامه جدول ۴

متغیر ۱ Variable 1	متغیر ۲ Variable 2	طول ساقه چه Shoot length (cm)	طول ریشه چه Radicle length (cm)	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	طول گیاهچه Seedling length (cm)
شوری Salinity	باکتری Bacteria					
0	شاهد Control	1.472 ^{abc}	2.987 ^a	3.356 ^c	1.532 ^{ab}	6.293 ^a
	P ₉	1.313 ^c	2.950 ^{abc}	4.493 ^{ab}	1.653 ^a	6.317 ^a
	P ₂	1.572 ^a	2.883 ^{abc}	4.453 ^{ab}	1.520 ^{ab}	5.867 ^{abcd}
	P ₃	1.308	3.050 ^a	3.193 ^b	1.408 ^{cd}	5.867 ^{abcd}
50	شاهد Control	1.312	2.637 ^{bcd}	2.603 ^c	1.472 ^b	6.093 ^{ab}
	P ₉	1.610	2.983 ^{ab}	5.518 ^a	1.665 ^a	6.833 ^{ab}
	P ₂	1.513	2.733 ^{bcd}	5.464 ^a	1.482 ^b	5.233 ^{bcd}
	P ₃	1.472 ^{bc}	2.900 ^{abc}	4.348 ^{ab}	1.415 ^b	6.017 ^{abc}
100	شاهد Control	1.149 ^e	2.107 ^e	3.301 ^d	0.992 ^c	3.843 ^f
	P ₉	1.465 ^c	2.817 ^{abcd}	4.358 ^{ab}	1.647 ^a	6.033 ^{abc}
	P ₂	1.453 ^c	2.567 ^d	4.335 ^{ab}	1.490 ^b	5.483 ^{de}
	P ₃	1.465 ^c	2.783 ^{abcd}	4.292 ^{ab}	1.428 ^b	5.617 ^{cde}
200	شاهد Control	0.839 ^f	1.187 ^f	4.081 ^e	0.682 ^c	2.643 ^e
	P ₉	1.465 ^c	2.767 ^{abcd}	4.365 ^{ab}	1.642 ^a	5.983 ^{abc}
	P ₂	1.313 ^d	2.233 ^b	4.285 ^{ab}	1.412 ^b	5.283 ^{bcd}
	P ₃	1.438 ^c	2.683 ^{cd}	4.253 ^b	1.453 ^b	5.333 ^{bc}

در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

The mean values with similar superscript letters in a column are not significantly different ($p < 0.05$).

P_2 , P_3 , P_8 و P_{10} تحمل به شوری بالایی در غلظت‌های بالای نمک (۷۰۰ میلی مولار) داشتند و در انحلال فسفات و تولید سیدروفور، اکسین و سیانید هیدروژن نتایج خوبی از خود نشان دادند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این جدایه‌ها پتانسیل بالایی برای افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری دارند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش انتظار می‌رود این باکتری‌ها در هنگام تنش از افزایش غلظت اتیلن جلوگیری و باعث کاهش اثرات منفی این هورمون روی ریشه گیاه شوند. همچنین این باکتری‌ها با تولید هورمون‌های مختلف، تولید عناصر غذایی، تثبیت نیتروژن و انحلال فلزات نامحلول بوسیله سیدروفور باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از قبیل تنش خشکی، تنش شوری و تنش دمایی شوند. براساس نتایج این پژوهش، باکتری‌های سودوموناس فلورسنس (P_2 , P_3 و P_9) باعث تحریک جوانه‌زنی دانه کنگد و ایجاد تحمل به تنش شوری در این گیاه می‌شوند. اعمال تنش شوری باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، کاهش شاخص بنبه طولی و وزنی، کاهش طول گیاهچه، افزایش ضریب آلومتریک، کاهش وزن خشک و وزن تر گیاهچه کنگد گردید. با تلقیح باکتری‌ها، آثار شوری روی صفات مورد بررسی کاهش یافت. اگرچه در ارزیابی آزمایشگاهی توانایی تحمل جدایه P_9 به تنش شوری کمتر از جدایه‌های P_2 و P_3 بود، اما در عمل این جدایه عملکرد بهتری در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش داشت و سبب افزایش میزان و سرعت سبز شدن دانه، افزایش شاخص‌های بنبه و افزایش طول گیاهچه شد. همچنین بین دو رقم داراب و اولتان، رقم اولتان عملکرد بهتری در سرعت و درصد جوانه‌زنی و تحمل به شوری داشت. بنابراین باکتری‌های مورد استفاده به ویژه جدایه P_9 می‌تواند در بهبود جوانه‌زنی کنگد و افزایش رشد آن تحت تنش شوری موثر باشند و در مطالعات بیشتر برای سایر گیاهان و تنش‌ها مورد استفاده قرار گیرند. همچنین پیشنهاد می‌شود قبل از معرفی جدایه‌های PGPR به عنوان تعدیل کننده‌های تنش شوری بر مبنای نتایج بدست آمده از ارزیابی‌های آزمایشگاهی، با استفاده از آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای چند مرحله‌ای کارایی این باکتری‌ها سنجیده شود تا بتوان بهترین جدایه تحریک کننده رشد را برای استفاده در مقیاس وسیع انتخاب نمود.

پژوهشگران اثر این جدایه‌ها را به توانایی آنها در تولید ACCدآمیناز و در نتیجه کاهش تولید اتیلن نسبت داده‌اند. بطور کلی هنگام بروز تنش شوری به دلیل تجمع املاح نمکی در محیط فعالیت ریشه گیاه، امکان توسعه ریشه‌های موین و اصلی از گیاه گرفته می‌شود، در نتیجه گیاه مجبور است سطح بالایی از انرژی ذخیره شده برای توسعه اندام‌های زایشی را به مسیرهای متابولسمی درگیر در پاسخ به تنش شوری اختصاص دهد. در این حالت سطح زیست توده تولیدی گیاه بصورت چشمگیری کاهش پیدا می‌کند و در نهایت عملکرد گیاه نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بنابراین، استفاده از باکتری‌های تحریک کننده رشد گیاه در خاک‌های کشاورزی می‌تواند به عنوان یک مکمل زیستی در حفاظت از خاک، حفظ پایداری مواد غذایی خاک، کاهش سمیت املاح یونی و پویایی رشد گیاهان زراعی در هنگام مواجهه با تنش‌های غیرزیستی عمل نماید (Bharti et al., 2015). اثرات فیزیولوژیکی باکتری‌های محرک رشد، متنوع است. این باکتری‌ها می‌توانند به طور مستقیم بر فیزیولوژی و متابولیسم گیاه اثر بگذارند. باکتری‌های محرک رشد به روش‌های مختلفی سبب افزایش رشد و توسعه گیاه طی چرخه رشد از جوانه‌زنی دانه تا بلوغ، می‌شوند. این روش‌ها شامل افزایش کارایی متابولیسم گیاه در راستای بهبود عملکرد و کیفیت محصول، افزایش تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی، تسهیل جذب، انتقال و استفاده از عناصر غذایی، افزایش کارایی مصرف آب، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و رشد میکروارگانیسم‌های خاک هستند. آنها معمولاً همراه با کودهای رایج به گیاه داده می‌شوند تا کارایی مصرف کود را افزایش دهند، ولی با کودها تفاوت دارند زیرا بر متابولیسم گیاه اثر گذاشته و میزان عناصر غذایی در آنها ناچیز است (Calvo et al., 2014).

نتیجه گیری کلی

در این پژوهش ۱۰ جدایه باکتری سودوموناس فلورسنس از نظر صفات مختلف شامل توانایی انحلال فسفات، تولید سیدروفور، تولید سیانید هیدروژن، میزان تحرک، رنگ آمیزی گرم، قابلیت انحلال فسفر در محیط جامد، میزان فرآورده ناشی از متابولیسم گلوکز و تولید اسید، تولید کاتالاز، تولید آنزیم سیتراز، هیدرولیز اوره و ویژگی فلورسنسی مورد بررسی قرار گرفتند. جدایه‌های P_1

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت مالی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) در انجام این پژوهش قدردانی می‌شود. همچنین نگارندگان از تلاش داوران گرامی این مقاله که با نظرات کاربردی و سازنده خود سطح کیفی و علمی مقاله را بهبود بخشیدند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارد.

References

- Abbas, Z. R., Al-Ezee, A. M. M., & Authman, S. H. (2019). Siderophore production and phosphate solubilization by *Bacillus cereus* and *Pseudomonas fluorescens* isolated from Iraqi soils and soil characterization. *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10(01), 74-79. <https://doi.org/10.25258/ijpqa.10.1.12>
- Aghighi Shahverdi, M., Ataei Somagh, H., Mamivand, B., Habibipour, S., & Hemati, M. (2017). Effect of seed priming with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on germination components of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 4(1), 9-24. <https://doi.org/10.5555/20219901248> [In Persian]
- Ahmad, F., Ahmad, I., & Khan, M. (2008). Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth-promoting activities. *Microbiological Research*, 163(2), 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.04.001>
- Al-Barakah, F. N., & Sohaib, M. (2019). Evaluating the germination response of *Chenopodium quinoa* seeds to bacterial inoculation under different germination media and salinity conditions. *Seed Science and Technology*, 47(2), 161-169. <https://doi.org/10.15258/sst.2019.47.2.05>
- Ashraf, M., Shahzad, S. M., Imtiaz, M., & Rizwan, M. S. (2018). Salinity effects on nitrogen metabolism in plants: Focusing on the activities of nitrogen metabolizing enzymes: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 41(8), 1065-1081. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1431670>
- Azhar, M., Uniyal, V., Chauhan, N., & Rawat, D. S. (2014). Isolation and biochemical characterization of halophiles from Sahastradhara region, Dehradun, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3, 753-760.
- Bandehagh, A., Toorchi, M., Farajzadeh, D., Dehghanian, Z., & Pirzad, S. (2018). Effect of *Pseudomonas fluorescens* FY32 on the leaf proteome pattern of rapeseed under salinity stress. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 20(3), 216-222. <https://doi.org/10.1001.1.25885073.1397.7.2.8.9> [In Persian]
- Bayari, A., Nezarat, S., & Gholami, A. (2009). Relationship between germination index of seed corn with inoculation of PGPR (*Pseudomonas*, *Azospirillum*, and *Azotobacter*). 11th Soil Science Congress, Gorgan, Iran. July 12, 2009. [In Persian]
- Beheshti, A., Tavakoli, H., & Koocheki, A. (2000). The effect of salt stress and temperature on germination of different alfalfa cultivars. *Agricultural Sciences and Technology*. <https://doi.org/10.5555/20000712406> [In Persian]
- Bergey, D. H. (1994). *Bergey's manual of determinative bacteriology*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Bharti, N., Barnawal, D., Maji, D., & Kalra, A. (2015). Halotolerant PGPRs prevent major shifts in indigenous microbial community structure under salinity stress. *Microbial Ecology*, 70(1), 196-208. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0557-4>
- Biswas, J. K., Banerjee, A., Rai, M., Naidu, R., Biswas, B., Vithanage, M., Dash, M. C., Sarkar, S. K., & Meers, E. (2018). Potential application of selected metal-resistant phosphate solubilizing bacteria isolated from the gut of earthworm (*Metaphire posthuma*) in plant growth promotion. *Geoderma*, 330, 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.034>
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3-41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Daneshvar, M., Maleki, M., Shakeri, S., & Baghizadeh, A. (2020). Screening and identification of Iranian native phosphate solubilizing bacteria and investigation of their genetic diversity using RAPD markers. *Nova Biologica Reperta*, 6(4), 402-414. <https://doi.org/10.29252/nbr.6.4.402> [In Persian]
- Das, S., Nurunnabi, T. R., Parveen, R., Mou, A. N., Islam, M. E., Islam, K. M. D., & Rahman, S. (2019). Isolation and characterization of indole acetic acid-producing bacteria from rhizosphere soil and their effect on seed germination. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 1237-1245. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.146>
- Egamberdieva, D., Davranov, K., Wirth, S., Hashem, A., & Abd_Allah, E. F. (2017). Impact of soil salinity on the plant growth-promoting and biological control abilities of root-associated bacteria. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(7), 1601-1608. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.07.004>

- Fathollahy, S., & Mozaffari, A. (2020).** Investigation of the effect of seed biopriming with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant enzymes activity of seedlings and germination indices of two wheat cultivars under salt stress conditions. *Seed Science and Technology*, 9(1), 27-44. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2018.122519.1215> [In Persian]
- Gholami, A., Shahsavani, S., & Nezarat, S. (2009).** The effect of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth, and yield of maize. *International Journal of Agricultural Biosystems Engineering*, 3(1), 9-14. [In Persian]
- Gregersen, T. (1978).** Rapid method for distinction of Gram-negative from Gram-positive bacteria. *European Journal of Applied Microbiology*, 5(2), 123-127. <https://doi.org/10.1007/BF00498806>
- Guerrieri, M. C., Fanfoni, E., Fiorini, A., Trevisan, M., & Puglisi, E. (2020).** Isolation and screening of extracellular PGPR from the rhizosphere of tomato plants after long-term reduced tillage and cover crops. *Plants*, 9(5), 668. <https://doi.org/10.3390/plants9050668>
- Habib, S. H., Kausar, H., & Saud, H. M. (2016).** Plant growth-promoting rhizobacteria enhance salinity stress tolerance in okra through ROS-scavenging enzymes. *Biomedical Research*, 2016, Article 6284547. <https://doi.org/10.1155/2016/6284547>.
- Hamidi, A., Asgharzadeh, A., Ahmadi, A., Akbari Vala, S., & Choukan, R. (2021).** Effect of plant growth-promoting bacteria (PGPB) and mycorrhizal fungi on seed germination and seedling vigor traits of three maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Journal of Sustainable Agricultural Sciences*, 31(3), 149-167. [In Persian]
- Jiang, H., Wang, T., Chi, X., Wang, M., Chen, N., Chen, M., Pan, L., & Qi, P. (2020).** Isolation and characterization of halotolerant phosphate solubilizing bacteria naturally colonizing the peanut rhizosphere in salt-affected soil. *Geomicrobiology Journal*, 37(2), 110-118. <https://doi.org/10.1080/01490451.2019.1666195>
- Kafi, F. M., Nezami, A., Hosseini, H., & Masoumi, A. (2005).** Physiological effects of drought stress induced by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(1), 69-80. <https://doi.org/10.22067/GSC.V3I1.1293> [In Persian]
- Khalifa, A., Metwally, A., Ammar, R. B., & Farghaly, F. A. (2020).** ACC deaminase-containing rhizobacteria from the rhizosphere of *Zygophyllum coccineum* alleviate salt stress impact on wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Journal of King Faisal University - Basic and Applied Sciences*, 21, 89-102. <https://doi.org/10.37575/b/agr/1988>
- Khanna, K., Jamwal, V. L., Sharma, A., Gandhi, S. G., Ohri, P., Bhardwaj, R., Al-Huqail, A. A., Siddiqui, M. H., Ali, H. M., & Ahmad, P. (2019).** Supplementation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) alleviates cadmium toxicity in *Solanum lycopersicum* by modulating the expression of secondary metabolites. *Chemosphere*, 230, 628-639. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.072>
- Klee, H. J., Hayford, M. B., Kretzmer, K. A., Barry, G. F., & Kishore, G. M. (1991).** Control of ethylene synthesis by expression of a bacterial enzyme in transgenic tomato plants. *The Plant Cell*, 3(11), 1187-1193. <https://doi.org/10.1105/tpc.3.11.1187>
- Li, H., Qiu, Y., Yao, T., Ma, Y., Zhang, H., & Yang, X. (2020).** Effects of PGPR microbial inoculants on the growth and soil properties of *Avena sativa*, *Medicago sativa*, and *Cucumis sativus* seedlings. *Soil and Tillage Research*, 199, 104577. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104577>
- Mahlooji, M. (2021).** Effect of saline water irrigation and foliar application of maternal plant on germination characteristics of three barley cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2, 188-179. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2021.262104.1072> [In Persian]
- Manasa, K., Reddy, S., & Triveni, S. (2017).** Characterization of potential PGPR and antagonistic activities of *Rhizobium* isolates from different rhizosphere soils. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(3), 51-54.
- Marakana, T., Sharma, M., & Sangani, K. (2018).** Isolation and characterization of halotolerant bacteria and their effects on wheat plants as PGPR. *The Pharma Innovation Journal*, 7, 102-110.
- Miransari, M., Abrishamchi, A., Khoshbakht, K., & Niknam, V. (2014).** Plant hormones as signals in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Critical Reviews in Biotechnology*, 34(2), 123-133. <https://doi.org/10.3109/07388551.2012.731684> [In Persian]
- Moravej, R., Alavi, S. M., Azin, M., & Salmanian, A. H. (2019).** Production of xanthan gum by the native strain of *Xanthomonas citri* in whey medium and evaluation of its physicochemical properties. *Biology of Microorganisms Journal*, 8(30), 69-79. <https://doi.org/10.22108/BJM.2019.115766.1185> [In Persian]
- Mostafavi, K., & Heidarian, A. (2021).** Effects of different salinity levels on germination indices in four sunflower varieties. *Environmental Stress and Crop Science*, 14(3), 1-15. [In Persian]

- Mousa, W. K., Shearer, C. R., Limay-Rios, V., Zhou, T., & Raizada, M. N. (2015). Bacterial endophytes from wild maize suppress *Fusarium graminearum* in modern maize and inhibit mycotoxin accumulation. *Frontiers in Plant Science*, 6, 805. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00805>
- Padikasan, I. A., Chinnannan, K., Kumar, S., & Subramaniyan, G. (2018). Agricultural biotechnology: Engineering plants for improved productivity and quality. In D. Barh & V. Azevedo (Eds.), *Omics technologies and bio-engineering: Towards improving quality of life* (pp. 87-104). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815870-8.00006-1>
- Persello-Cartieaux, F., Nussaume, L., & Robaglia, C. (2003). Tales from the underground: Molecular plant-rhizobacteria interactions. *Plant, Cell & Environment*, 26(2), 189-199. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00956.x>
- Piri, R. (2018). Effect of seed inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on some germination, biochemical indices, and element contents of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 49(3), 159-161. [In Persian]
- Purru, S., Sahu, S., Rai, S., Rao, A., & Bhat, K. (2018). GinMicrosatDb: A genome-wide microsatellite markers database for sesame (*Sesamum indicum* L.). *Physiologia Molecular Biology of Plants*, 24(5), 929-937. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0558-8>
- 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. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01785>
- Safdarian, M., Askari, H., Soltani, M., & Nematzadeh, G. (2017). Identification of halophile bacteria from salt deserts of Iran and study of some of their physiological traits. *Biology of Microorganisms Journal*, 6(22), 45-57. [In Persian]
- Saleem, M., Arshad, M., Hussain, S., & Bhatti, A. S. (2007). Perspective of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 34(10), 635-648. <https://doi.org/10.1007/s10295-007-0240-6>
- Schaad, N. W., Jones, J. B., & Chun, W. (2001). *Laboratory guide for the identification of plant pathogenic bacteria*. American Phytopathological Society (APS Press). <https://doi.org/10.5555/20013064240>
- Schwyn, B., & Neilands, J. B. (1987). Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical Biochemistry*, 160(1), 47-56. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(87\)90612-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90612-9)
- Sharma, A., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S. (2013). Enhancing grain iron content of rice by the application of plant growth-promoting rhizobacteria. *Plant, Soil and Environment*, 59(2), 89-94. <https://doi.org/10.5555/20133097938>
- Soltani Alikooyi, M., Abbasi Surki, A., Mobini Dehkordi, M., & Kiyani, S. (2020). Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on germination and early growth of alfalfa (*Medicago sativa*) under salt stress conditions. *Iranian Journal of Seed Research*, 6(2), 1-14. <https://doi.org/10.29252/yjujs.6.2.1> [In Persian]
- Stassinis, P. M., Rossi, M., Borromeo, I., Capo, C., Beninati, S., & Forni, C. (2022). Amelioration of salt stress tolerance in rapeseed (*Brassica napus*) cultivars by seed inoculation with *Arthrobacter globiformis*. *Plant Biosystems*, 156(2), 370-383. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1857872>
- Sudewi, S., Ala, A., Patandjengi, B., BDR, M., & Rahim, A. (2021). Screening of plant growth promotion rhizobacteria (PGPR) to increase local aromatic rice plant growth. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 13(1), 924-931. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2021.13.01.151>
- Tahmasbi, F., Lakzian, A., Khavazi, K., & Pakdin Parizi, A. (2014). Isolation, identification, and evaluation of siderophore production in *Pseudomonas* bacteria and its effect on hydroponically grown corn. *Cell and Molecular Research*, 27(1), 75-86. <https://doi.org/10.1001.1.23832738.1393.27.1.8.6>. [In Persian]
- Wahid, A., Farooq, M., Basra, S. M., Rasul, E., & Siddique, K. H. (2010). Germination of seeds and propagules under salt stress. In M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress* (3rd ed., pp. 321-337). Taylor and Francis.
- Wahyudi, A. T., Astuti, R. P., Widyawati, A., & Meryandini, A. (2011). Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from the rhizosphere of soybean plants for their potential as plant growth-promoting rhizobacteria. *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 3(2), 34-40.
- Wang, W., Wu, Z., He, Y., Huang, Y., Li, X., & Ye, B.-C. (2018). Plant growth promotion and alleviation of salinity stress in *Capsicum annuum* L. by *Bacillus* isolated from saline soil in Xinjiang. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164, 520-529. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.070>
- Yaish, M. W., Antony, I., & Glick, B. R. (2015). Isolation and characterization of endophytic plant growth-promoting bacteria from date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.) and their potential role in salinity tolerance. *Antonie van Leeuwenhoek*, 107(6), 1519-1532. <https://doi.org/10.1007/s10482-015-0445-z>

Younesi, O., Poustini, K., Chaichi, M. R., & Pourbabaie, A. A. (2013). Effect of growth-promoting rhizobacteria on germination and early growth of two alfalfa cultivars under salinity stress conditions. *Journal of Crop Improvement*, 14(2), 83-97. <https://doi.org/10.22059/jci.2013.29503>. [In Persian]

Zhao, Y. (2010). Auxin biosynthesis and its role in plant development. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 49-64. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112308>

