



**Evaluation of the effect of growth-promoting rhizobacteria isolated from soils on the ionic contents of drought-stressed tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**

**Sara Kamalzadeh<sup>1</sup>, Nima Bahador<sup>2\*</sup>, Farshad Sadeghi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Department of Microbiology, Faculty of Science, Agriculture and New Technologies, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. Email: sara.kamalzadeh@yahoo.com

<sup>2</sup>Department of Microbiology, Faculty of Science, Agriculture and New Technologies, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. Email: nimabahador14@yahoo.com

<sup>3</sup>Department of Horticulture, Faculty of Science, Agriculture and New Technologies, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. Email: fs1351@yahoo.com

Serial 67, 17th year, Number 3, Autumn 2022 (1-22)

**Abstract**

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history**  
Received: 13.02.2021  
Revised: 26.04.2021  
Accepted: 15.05.2021

**Keywords**  
Drought Stress  
Growth Promoting Bacteria  
Nitrogen fixation  
Tomato  
Siderophore

Applying biological agents for increasing plant growth and their resistance to different tensions is of particular importance. In the present study, an attempt was made to isolate and identify plant growth-promoting bacteria from soil samples and to evaluate their ability to help the tomato plant cope with drought stress. Soil samples were collected from wheat and barley farms around Karaj and after isolation and initial purification of phosphate solubilizing, nitrogen fixing, and siderophore producing strains, they were isolated using PVK media culture, nifH gene PCR, and CAS-agar media culture, respectively. The identified isolates were then analyzed in terms of their drought tolerance in an environment containing polyethylene glycol. Finally, tomato seedlings were inoculated with bacterial isolates (belonging to the Bacillus, Brevibacterium, and Actinomycetes genera) before they were grown under drought stress at three osmotic pressure levels of 0, -0.4, and -0.8 MPa. Then, sodium and potassium ion contents of leaves, roots, and stems were measured using a flame photometer while calcium contents of the same organs were assayed through atomic absorption measurement. Results showed that all five isolates capable of dissolving phosphate, nitrogen fixation, and siderophore production were able to withstand drought up to -0.8 MPa osmotic pressure. All these isolates significantly affected drought stress and the intensity of ions reduction in leaves, roots, and stems compared with the control plants. The results of the present study showed that inoculation of the bacterial isolates considering their ability in siderophore production and nitrogen fixation may help the plant to resist drought stress.

## ارزیابی تأثیر ریزوباکتری‌های محرک رشد جداسازی شده از خاک‌های زراعی بر محتوای یونی گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) تحت تنش خشکی

سارا کمال زاده<sup>۱</sup>، نیما بهادر<sup>۲\*</sup>، فرشاد صادقی<sup>۳</sup>

آگروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم، کشاورزی و فناوری‌های نوین، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. رایانامه: sara.kamalzadeh@yahoo.com

آگروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم، کشاورزی و فناوری‌های نوین، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. رایانامه: nimabahador14@yahoo.com

آگروه باغبانی، دانشکده علوم، کشاورزی و فناوری‌های نوین، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. رایانامه: fs1351@yahoo.com

سال هفدهم، شماره ۶۷، پاییز ۱۴۰۱ / صفحات: ۲۲-۱

### نوع مقاله:

مقاله کامل علمی-پژوهشی

### چکیده

استفاده از عوامل زیستی در جهت افزایش رشد گیاهان و مقاومت آن‌ها در برابر انواع تنش‌ها، اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق باکتری‌های محرک رشد گیاه از نمونه‌های خاک جداسازی و پس از شناسایی توانایی آن‌ها در کمک به مقابله گیاه گوجه‌فرنگی در برابر تنش خشکی ارزیابی گردید. نمونه‌برداری از خاک‌های مزارع گندم و جو اطراف کرج انجام شد و پس از جداسازی و خالص‌سازی اولیه‌ی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن و تولیدکننده‌ی سیدروفور به ترتیب با استفاده از محیط کشت PVK، تکنیک PCR برای شناسایی ژن *nifH* و محیط کشت CAS-آگار جداسازی شدند. سپس با استفاده از جدایه‌های شناسایی شده تحمل آن‌ها در برابر خشکی با محیط حاوی پلی‌اتیلن‌گلیکول سنجیده شد. در نهایت نشاء گیاه گوجه‌فرنگی با ایزوله‌های باکتریایی (جنس‌های باسیلوس، بروی‌باکتریوم و اکتینومایسیت) تلقیح شده و گیاه پس از رشد تحت تنش خشکی در سه سطح فشار اسمزی صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال قرار گرفت و سپس میزان یون‌های سدیم و پتاسیم در برگ، ریشه و ساقه گیاهان با استفاده از فلیم فتومتر و کلسیم با روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج بیانگر آن است که هر پنج ایزوله‌ای که دارای توانایی حل کردن فسفات، تثبیت نیتروژن و تولید سیدروفور بودند، قادر به تحمل خشکی تا فشار اسمزی ۰/۸- بودند. تمامی ایزوله‌ها در تنش خشکی، شدت کاهش یون‌ها در برگ، ریشه و ساقه به‌طور معنی‌داری کمتر از گیاهان شاهد اثر داشتند نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که تلقیح باکتریایی ایزوله‌ها با توجه به تولید سیدروفور و توانایی تثبیت نیتروژن به مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی کمک می‌کند.

### واژه‌های کلیدی:

باکتری محرک رشد گیاه  
تنش خشکی  
تثبیت نیتروژن  
سیدروفور  
گوجه‌فرنگی

استاد: کمال زاده، س.، بهادر، ن.، صادقی، ف.، (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر ریزوباکتری‌های محرک رشد جداسازی شده از خاک‌های زراعی بر

محتوای یونی گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) تحت تنش خشکی - پاسخ. نشریه فیزیولوژی محیطی

گیاهی، ۶۵ (۳)، ۲۲-۱.

## مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) به‌عنوان یک سیستم گیاهی ایده‌آل برای مطالعات گیاهی مختلف شناخته می‌شود. محدودیت تنوع ژنتیکی در بین گونه‌های زراعی و بیشتر ارقام تجاری این گیاه که حساسیت متوسطی به تنش‌های مختلف نشان می‌دهد برای تحمل تنش‌های غیر زیستی یک مشکل می‌باشد. خوشبختانه منابع تحمل ژنتیکی (مقاومت) به تنش‌های مختلف غیر زیستی در بین گونه‌های وحشی خویشاوند وجود دارد که می‌توانند برای اصلاح گوجه‌فرنگی مقاوم استفاده شوند (Taromi et al., 2019). تغییرات آب و هوایی ناشی از گرم شدن کره زمین تأثیر منفی بر تولید گوجه‌فرنگی در سال‌های اخیر داشته است. در نتیجه گرم شدن کره زمین؛ تنش خشکی، رطوبت، نور و دما به‌طور مکرر در گیاهان دیده می‌شود. تأکید شده است که حدود ۲۶٪ از اراضی کشاورزی توسط تنش خشکی تهدید می‌شود (Azadi et al., 2018). بسیاری از گیاهان در پاسخ به تنش خشکی املح را در سلول‌های خود جمع می‌کنند. افزایش سطح املح درون‌سلولی برای نگهداری آب سلول بسیار مهم است. از جمله املح مؤثر در تنظیم اسمزی، بسیاری از یون‌ها، به‌ویژه  $K^+$ ، قندها و اسیدهای آمینه هستند. در مطالعه روابط متقابل بین پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی، بادمجان و خربزه به خشک‌سالی، محتوای  $K^+$ ، MDA و فعالیت‌های آنزیم آنتی‌اکسیدانی معیارهای مهمی برای تعیین تحمل به تنش خشکی همراه با دیگر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی در گونه‌های گیاهی ذکر شده است (Yekbun and Kabay, 2014). تنش آبی وارد شده به گیاه گوجه‌فرنگی باعث کاهش عملکرد و کیفیت میوه می‌شود درحالی‌که محتوای آنتی‌اکسیدان در ژنوتیپ‌های حساس افزایش می‌یابد.

تنش خشکی همچنین تأثیر مهمی بر فعالیت آنزیم و مقدار آنزیم در گیاهان دارد (Kiran et al., 2015). نشان داده شده است که محتوای K و Ca در ارقام حساس به خشکی کمتر است، در حالی که ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی نزدیک به گیاهان گروه کنترل هستند. در سلول‌های روزنه، پتانسیل آب در نتیجه تجمع K کاهش می‌یابد. سپس، با ورود آب به این سلول‌ها و کمبود پتاسیم در این سلول‌ها، تجمع قند و نشاسته باعث نیاز آب می‌شود (Alp and Kabay, 2017) زیرا مقدار K که با سدیم رقابت می‌کند در همان مناطق متصل به غشاء افزایش می‌یابد و تعادل  $Na / K$  درون‌سلولی که به‌هم‌خورده شده است، برای تنظیم فعالیت‌های متابولیکی تنظیم می‌شود. تحقیقات نشان داده است دو عنصر اساسی مورد نیاز برای رشد و نمو یون‌های Ca و K بوده (Kuşvuran et al., 2011) که استرس غیر زیستی بر مصرف کلسیم تأثیر منفی می‌گذارد. سدیم (سدیم) از طریق غشا سلولی جایگزین کلسیم می‌شود که منجر به افزایش نسبت یون سدیم / کلسیم در آپوپلاست می‌گردد. در این حالت، ساختار فیزیولوژیکی و عملکردی غشاء تخریب گشته و تعادل کلسیم سلول به هم می‌ریزد. عنوان شده است که گیاهان در شرایط تنش خشکی از نظر محتوای یون  $K^+$ ، Ca، Na حساسیت و سیستم‌های دفاعی متفاوتی برخوردار هستند. یون Na باعث لکه‌های نکروزی شده که از ناحیه برگ‌های بالغ شروع شده و تا جوانه و برگ‌های جوان در گیاهان ادامه پیدا می‌کند. ژنوتیپ‌هایی که محتوای بیشتری از یون‌های K و Ca در قسمت‌های سبز و ریشه دارند در برابر تنش در خربزه مقاومت بیشتری دارند (Kusvuran et al., 2013).

یکی از راه‌های کاهش اثرات تنش‌های خشکی بر گیاه و در نتیجه افزایش تولید محصولات کشاورزی

استفاده از باکتری‌های محرک رشد یا PGPB<sup>۱</sup> می‌باشد (Gururani et al., 2015). PGPR ها از طریق مکانیسم‌های متنوعی مانند تولید فیتوهورمون اکسین، کاهش سطح اتیلن گیاه و افزایش جذب نیتروژن تثبیت شده از طریق ریشه وارد عمل می‌شوند (Dastager and Damare, 2013). این باکتری‌ها به‌صورت مستقیم با تحریک رشد گیاه از طریق مکانیسم‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی مانند تولید هورمون‌های گیاهی، حل‌کنندگی فسفات و تسریع فرآیند معدنی شدن به رشد گیاه کمک می‌کنند. تراکم مناسب PGPR در کود بیولوژیک نقش مهمی در ایجاد بیوسفر مناسب برای رشد گیاه و تبدیل عناصر تغذیه‌ای مهم از طریق فرایندهای بیولوژیکی مانند افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود و همچنین مهار رشد پاتوژن‌ها، دارد. در دسترس بودن این عناصر می‌تواند باروری خاک، اثرات زیست‌محیطی جدایه‌های آنتاگونیست و میزان بقای میکروارگانیسم‌ها در خاک را افزایش دهد (Khanizadeh et al., 1398).

بر همین اساس در تحقیق حاضر تلاش شد تا ضمن جداسازی و شناسایی باکتری‌های محرک رشد از خاک مزارع گندم و جو، سویه‌های برتر با توانایی بالقوه در برابر تنش خشکی مشخص شوند که بتوان از آنها در پرورش گوجه‌فرنگی تحت شرایط گلخانه‌ای و تنش خشکی استفاده نمود.

## مواد و روش‌ها

**جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه:** نمونه‌های خاک مزارع گندم و جو از ۵۰ منطقه در اطراف کرج جمع‌آوری شدند. نمونه‌های خاک از عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متری برداشته شده و در کیسه‌های نایلونی استریل و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، به آزمایشگاه منتقل شدند. مقدار یک گرم از نمونه‌های الک شده،

### 1. Plant Growth Promoting Bacteria

پس از توزین، در ۱۰ میلی‌لیتر سرم فیزیولوژیک حل و رقت سازی تا رقت  $10^{-6}$  ادامه یافت و در محیط کشت نوترینت آگار کشت داده شدند. پس از نگهداری در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت یک هفته، سویه‌هایی که از نظر ظاهری کلنی‌های متفاوتی داشتند جداسازی و تخلیص شدند (Askary et al., 2018).

**جداسازی باکتری‌های حل‌کننده فسفات:** به منظور جداسازی سویه‌های حل‌کننده فسفات، ایزوله‌ها بر روی محیط کشت اختصاصی PVK<sup>۲</sup> کشت داده شدند. پس از کشت، پلیت‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و در نهایت باکتری‌هایی که قادر به ایجاد هاله شفاف در اطراف نقطه تلقیح شده بودند، به‌عنوان سویه‌های حل‌کننده فسفات انتخاب گشتند (Alikhani et al., 2018).

**جداسازی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن:** تثبیت نیتروژن در باکتری‌ها، توسط آنزیم نیتروژناز انجام می‌شود که در تحقیق حاضر با استفاده از تکنیک‌های مولکولی حضور ژن کد کننده‌ی یکی از زیر واحدهای این آنزیم (*nifH*) مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور DNA ژنومی ایزوله‌ها با استفاده از کیت استخراج DNA شرکت تکاپوزیست-ایران استخراج شد و در ادامه یک واکنش PCR با آغازگرهای اختصاصی برای ژن *nifH* انجام گرفت. توالی این آغازگرها: 5'-GCIWYTYAYGGIAARGGIGG-3' برای آغازگر رفت و 5'-AAICCRCCRCAIACIACRTC-3' برای آغازگر برگشت بود. واکنش PCR با دناتوراسیون اولیه به مدت ۴ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد آغاز شد و با ۳۵ سیکل شامل ۳۰ ثانیه دناتوراسیون در دمای

### 2. Pikovskaya

۹۴ درجه سانتی‌گراد، یک دقیقه اتصال در دمای ۵۴ درجه سانتی‌گراد و یک دقیقه گسترش در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد ادامه پیدا کرد و در نهایت با یک سیکل گسترش نهایی به مدت ۵ دقیقه و در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خاتمه یافت. محصول PCR و حضور ژن *nifH* در ایزوله‌ها، با استفاده از الکتروفورز بر روی ژل آگارز ۲ درصد مورد بررسی قرار گرفت و ایزوله‌هایی که در ژل الکتروفورز باند تشکیل داده بودند به‌عنوان سویه‌های دارای ژن *nifH* گزارش شدند (Passari et al., 2018).

**جداسازی باکتری‌های جذب‌کننده آهن:** توان جذب آهن توسط باکتری، از طریق ارزیابی تولید سیدروفور در محیط کشت CAS-آگار ( Chrome Azurol S Agar) بررسی شد. از کشت ۲۴ ساعت ایزوله‌ها در محیط TSA تعداد  $10^8 \times 1/5$  cfu/ml باکتری (معادل نیم مک فارلند) برداشته و به روش قطره گذاری روی محیط کشت CAS-آگار تلقیح شدند و پلیت‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. توانایی تولید سیدروفور با تغییر رنگ بسیار واضح محیط کشت از آبی به زرد یا نارنجی در اطراف قطرات، ارزیابی می‌باشد (Yang et al., 2011).

**شناسایی ایزوله‌ها:** ایزوله‌هایی که طی مراحل غربالگری ذکر شده جداسازی شدند، به‌عنوان باکتری‌های PGPR انتخاب شده و مورد شناسایی مورفولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی قرار گرفتند. شناسایی مورفولوژیک با بررسی شکل، رنگ و قوام کلنی‌های باکتریایی و نیز بررسی شکل ظاهری باکتری‌ها پس از رنگ‌آمیزی گرم و مرکب چین، در زیر میکروسکوپ صورت گرفت. شناسایی بیوشیمیایی با استفاده از تست‌های اکسیداز، کاتالاز، سیترات، TSI، اندول، حرکت و اوره از انجام شد. نتایج تست‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی با استفاده از کلید شناسایی Bergey آنالیز شدند (Dessaux et

al., 2016). به‌منظور شناسایی مولکولی، از واکنش PCR برای ژن 16SrRNA و آغازگرهایی با توالی 5'-CAGGCCTAACACATGCAAGTC-3' برای آغازگر رفت و 5'-GGGCGGTGTGTACAAGGC-3' برای آغازگر برگشت انجام شد (Marschner et al., 2011). شرایط واکنش نیز مشابه ژن‌های *nifH* بود. پس از بررسی کمیت و کیفیت محصول PCR به ترتیب با اسپکتروفتومتری و الکتروفورز در ژل آگارز ۱/۵ درصد، محصول PCR برای تعیین توالی به شرکت ماکروژن کره فرستاده شد. توالی‌های حاصل در پایگاه داده‌ی NCBI بلاست شده و سویه‌ها شناسایی شدند.

**بررسی تنش خشکی در ایزوله‌ها:** تنش خشکی شامل چهار سطح با فشار اسمزی صفر، ۰/۴، ۰/۸- و ۱/۲- مگاپاسکال توسط پلی‌اتیلن گلیکول با وزن مولکولی ۶۰۰۰ اعمال شد. به‌منظور تهیه محیط کشت حاوی پلی‌اتیلن گلیکول، ابتدا محیط کشت نوترینت آگار تهیه شد و پس از اتوکلاو و پیش از سفت شدن محیط کشت، محلول حاوی پلی‌اتیلن گلیکول داخل سرنگ و از فیلتر هپا عبور داده و به محیط نوترینت اضافه شد. از کشت یک‌شبه‌ی ایزوله‌ها با غلظت نیم مک‌فارلند در این محیط کشت داده شدند تا رشد و یا عدم رشد باکتری‌ها بررسی گردد. پلیت‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در فشار اسمزی ۱/۲- هیچ‌یک از باکتری‌ها رشد نکردند لذا این فشار اسمزی در ادامه‌ی آزمایشات حذف شده و تنها فشارهای صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگا پاسکال برای مراحل بعد استفاده شدند (Hayat et al., 2013).

**کشت گیاه گوجه‌فرنگی ( Lycopersicon esculentum Mill.) تلقیح باکتریایی و اعمال تنش خشکی به گیاه:** به‌منظور بررسی اثر باکتری‌های جداسازی شده بر روی تنش خشکی در گیاه

ساقه و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی با استفاده از دستگاه فتومتر شعله‌ای Corning-405 و اسپکتروسکوپی جذب اتمی اندازه‌گیری شد. برگ، ساقه و ریشه گیاه گوجه‌فرنگی از هر گلدان جدا شده و نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس نمونه‌ها در مخلوط  $\text{Se-H}_2\text{SO}_4$  - سالیسیلیک اسید قرار گرفتند تا هضم مرطوب اتفاق بیفتد. در این محلول هضمی، مقدار سدیم، پتاسیم با استفاده از فلیم فتومتر و کلسیم با بررسی جذب اتمی (Varian, SpectraAA 220 FS) اندازه‌گیری شد (Kusvuran, 2012).

**آنالیز آماری:** نتایج به دست آمده از قسمت‌های مختلف آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۸ در سطح معناداری  $P < 0.05$  مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی وجود تفاوت بین ایزوله‌های مختلف از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون تعقیبی توکی<sup>۱</sup> برای مشخص نمودن محل تفاوت‌ها استفاده شد. مقادیر به صورت میانگین و انحراف استاندارد گزارش شد. همچنین، برای محاسبه درصد تغییرات<sup>۲</sup> هر ایزوله نسبت به گروه کنترل از معادله زیر استفاده شد:

$$100 \times [\text{مقدار گروه کنترل} / (\text{مقدار گروه کنترل} -$$

$$\text{مقدار ایزوله مورد نظر})] = \text{درصد تغییرات}$$

### نتایج

**جداسازی باکتری‌های حل‌کننده فسفات:** با استفاده از محیط کشت اختصاصی PVK تعداد ۱۷ ایزوله که از نظر شکل ظاهری کلنی‌ها باهم متفاوت بودند، جداسازی شدند. این ایزوله‌ها در اطراف محل تلقیح در محیط PVK، هاله شفاف ایجاد کرده بودند و به صورت SN1 تا SN8 و SP8 تا SP17 نام‌گذاری شدند (شکل ۱).

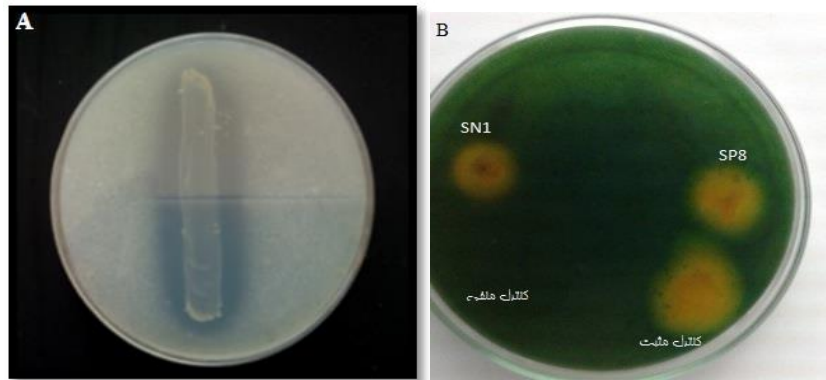
گوجه‌فرنگی، آزمایشات در گلخانه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در شهر کرج بر روی این گیاه انجام شد. نشاء گیاه گوجه‌فرنگی خریداری شده رقم تجاری ماریاناز شرکت به‌کشت تهران-ایران تهیه شده و پس از کشت به‌طور تصادفی به شش گروه تقسیم شدند. نشاء در شرایط بدون تنش به مدت ۶ هفته در سینی کشت ۱۲۸ عددی کشت گردید. دمای روزانه  $25 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه  $18 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد و شدت نور  $10000 \mu\text{mol}^{-1}\text{m}^{-2}$  نگهداری شد. گروه‌های آزمایشی به مدت ۱۲۰ دقیقه با تلقیح ایزوله‌های باکتری، تیمار شدند و بعد از آن در گلدان کاشته شدند. از ۵ میلی‌لیتر کشت شبانه باکتری با کدورت معادل نیم مک‌فارلند به منظور تلقیح نشاءها استفاده شد. گروه شاهد نیز به مدت ۲۰ دقیقه در آب قرار گرفته و بعد در گلدان کاشته شدند. گلدان‌ها در گلخانه با محدوده دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد در شبانه‌روز و با متوسط ۱۲ ساعت روشنایی نگهداری شدند. به مدت ۱۴ روز، روزی دو بار آبیاری به صورت معمول انجام شد. پس از آن به منظور ایجاد تنش خشکی، گلدان‌های مربوطه به تنش ۴/۰- هر ۴ روز یک‌بار و گلدان‌های مربوط به تنش ۸/۰- هر ۸ روز یک‌بار آبیاری شدند. میزان رطوبت خاک با استفاده از دستگاه pH Moisture قبل و بعد از هر بار آبیاری اندازه‌گیری شد.

**بررسی میزان یون‌ها در برگ، ساقه و ریشه گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی در حضور ایزوله‌های باکتریایی:** برای بررسی اثر تنش خشکی ایجاد شده بر روی میزان یون‌های مورد بررسی ۱۲ روز پس از ایجاد تنش خشکی و تلقیح باکتری نمونه‌گیری صورت گرفت.

مقدار یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم در برگ،

1. Tukey

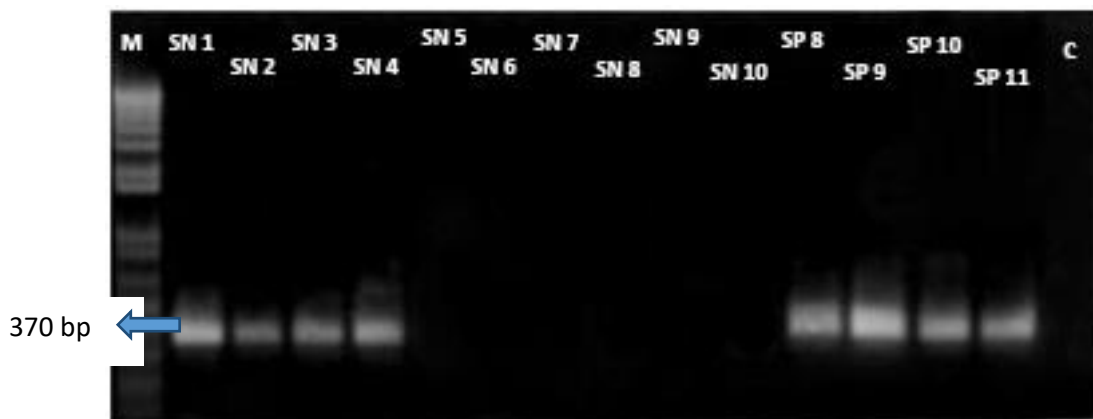
2. Percent change



شکل ۱- A: تشکیل هاله شفاف در اطراف محل کشت باکتری بر روی محیط کشت PVK. B: بررسی حضور سیدروفور، ایجاد هاله زرد-نارنجی در اطراف محل کشت نشان‌دهنده تولید سیدروفور است.

توانایی تثبیت نیتروژن بود. این ایزوله‌ها شامل SN1، SN2، SN3، SN4، SP8، SP9، SP10 و SP11 بودند (شکل ۲).

جداسازی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن: از میان ۱۷ ایزوله حل‌کننده فسفات که در مرحله قبل جداسازی شدند، ۸ ایزوله دارای ژن *nifH* و در نتیجه



شکل ۲: الکتروفورز محصول تکثیر ژن *nifH* بر روی ژل آگارز Ladder: مارکر مولکولی ۱ kb، C: کنترل منفی (آب)

شناسایی ایزوله‌ها: پنج ایزوله‌ای که قادر به مصرف فسفات، تثبیت نیتروژن (حضور ژن *nifH*) و تولید سیدروفور بودند به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه انتخاب‌شده و مورد شناسایی قرار گرفتند. نتایج حاصل از شناسایی مورفولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی ایزوله‌ها در جدول ۱ ذکر شده است.

جداسازی باکتری‌های تولیدکننده: از میان ایزوله‌های دارای ژن *nifH* تعداد ۵ ایزوله شامل SN1، SN2، SN4، SP8 و SP11 در اطراف محل تلقیح در محیط کشت CAS-آگار هاله زرد-نارنجی رنگی تولید کردند که نشان‌دهنده توانایی آن‌ها در جذب آهن محیط بود (شکل ۱).

جدول ۱: شناسایی ایزوله‌ها

نتیجه بلاست تست‌ها	<i>Bacillus sp.</i>	<i>Brevibacterium</i>	<i>Bacillus sp.</i>	<i>B. Licheniformis</i>	<i>Actinomyces. sp</i>
کد دسترسی	NC198676.1	LT797522.1	CP000817.1	KF956638.1	MF170654.1
اسپور	+	-	+	+	-
اندوسپور	+	-	+	+	-
شکل	R	R	R	R	R
گرم	+	+	+	+	+
اوره آز	-	-	-	-	-
سیترات	+	-	+	+	-
گاز	-	-	-	-	-
اندول	-	-	-	-	-
تحرک	+	-	+	+	-
TSI	A/A	NC	K/A	A/A	A/A
اکسیداز	-	-	+	+	-
کاتالاز	+	+	+	+	-
اسم ایزوله	SN1	SN2	SN4	SP8	SP11

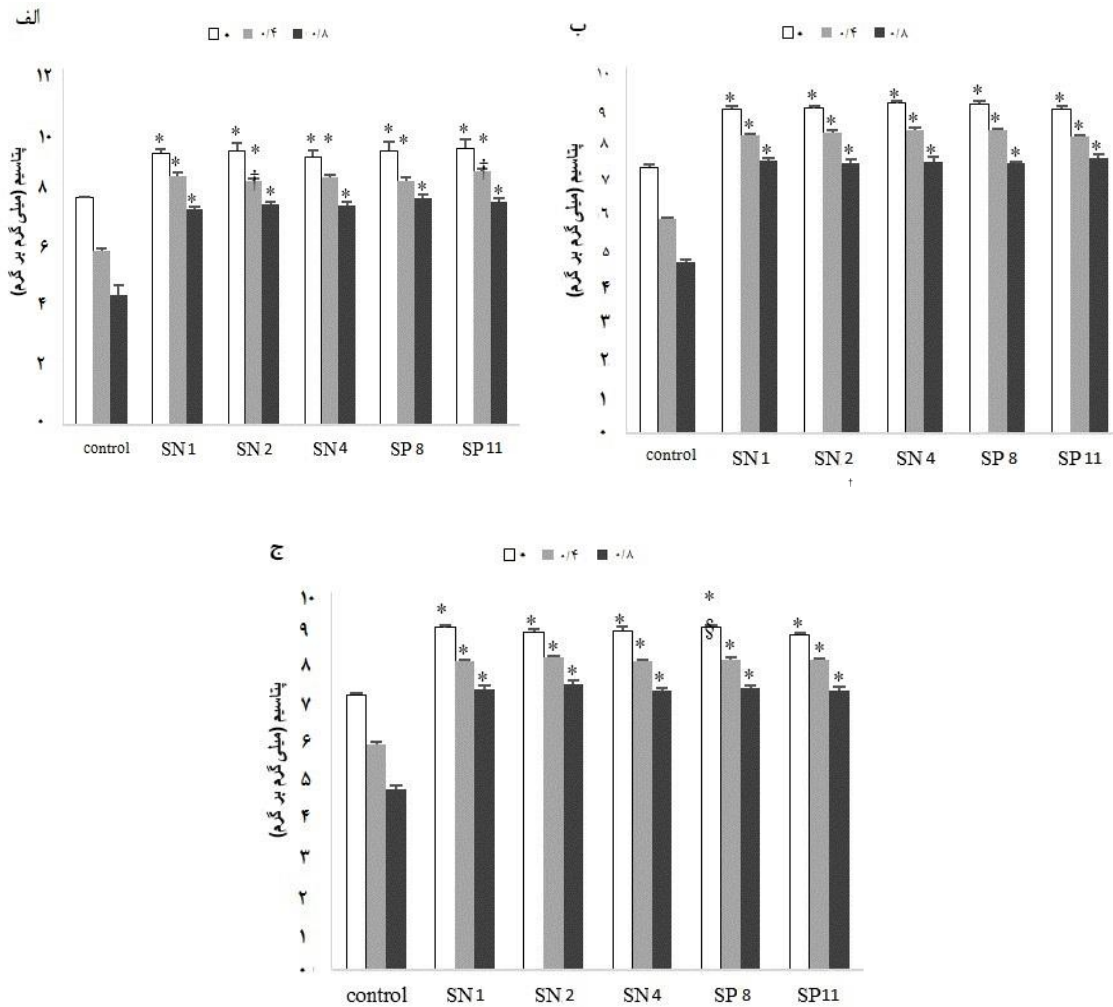
R: میله‌ای شکل، A: زرد (اسیدی)، K: قرمز (قلیایی)، NC: بدون تغییر (No change)، A/A: Acid/Acid، K/A: Alk/Acid

کمتر بوده است. تحلیل آماری با استفاده از آزمون ANOVA نشان داد که در هر سه سطح تنش تفاوت‌های مشاهده شده در میزان پتاسیم هر سه بخش گیاه شامل برگ، ریشه و ساقه بین ایزوله‌های مختلف از نظر آماری معنادار بوده است ( $P < 0.001$ ). با استفاده از آزمون تعقیبی توکی به منظور مشخص شدن محل تفاوت‌ها مشخص شد که تلقیح باکتریایی موجب افزایش معنادار میزان یون پتاسیم در این اندام‌ها نسبت به گروه شاهد شده است ( $P < 0.001$ ) که درصد افزایش هر ایزوله نسبت به گروه شاهد در جدول ۲ ارائه گردیده است. با وجود این، ایزوله‌های باکتریایی در افزایش پتاسیم برگ در فشار اسمزی ۰/۴- مگاپاسکال و افزایش پتاسیم ساقه در فشار اسمزی صفر مگاپاسکال تفاوت معناداری را نشان دادند (شکل ۳).

**بررسی تنش خشکی در ایزوله‌ها:** در بررسی‌های تنش خشکی هر ۵ باکتری در سطح فشار اسمزی ۰/۴- مگاپاسکال رشد داشته، در ۰/۸- مگاپاسکال رشد خیلی کم و در ۱/۲- مگاپاسکال رشد مشاهده نشد؛ بنابراین برای انجام آزمایشات گیاهی، فشار اسمزی ۱/۲- مگاپاسکال حذف شد و تنها فشارهای ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال در ادامه آزمایشات بررسی شدند.

**بررسی میزان پتاسیم در برگ، ریشه و ساقه‌ی گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.):** مقایسه کلی اثر سه سطح فشار اسمزی (۰، ۰/۴- و ۰/۸-) بر روی میزان پتاسیم برگ نشان داد که در نمونه‌های شاهد با افزایش سطح خشکی، مقدار پتاسیم برگ، ریشه و ساقه با شیب زیادی کاهش می‌یابد در حالی که در نمونه‌های آزمایشی که با ایزوله‌های باکتریایی تلقیح شده بودند، شدت کاهش





شکل ۳: مقایسه میزان پتاسیم برگ (الف)، ریشه (ب) و ساقه (ج) در سه سطح فشار اسمزی صفر، ۰/۴ و ۰/۸ مگاپاسکال در ایزوله‌های کنترل و تیمار شامل SN1، SN2، SN4، SP8 و SP11 (تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل در سطح  $P < 0.001$ ؛ تفاوت معنادار نسبت به گروه SP8 در سطح  $P < 0.05$ ؛ تفاوت معنادار نسبت به گروه SP11 در سطح  $P < 0.05$ )

جدول 2A: تغییرات در مقادیر پتاسیم برگ گیاه گوجه‌فرنگی

پتاسیم برگ					
تنش	ایزوله‌ها	میانگین (انحراف استاندارد)	درصد تغییرات نسبت به گروه کنترل	Eta <sup>2</sup>	95%CI
.	کنترل	۷/۶۴ (۰/۰۳)		۰/۹۰	۰/۶۲, ۰/۹۵
	SN1	۹/۱۵ (۰/۱۵)	۱۹/۷۶		
	SN2	۹/۲۳ (۰/۲۷)	۲۰/۸۱		
	SN4	۹/۰۴ (۰/۲۱)	۱۸/۳۲		
	SP8	9.24 (۰/۲۹)	۲۰/۹۴		
	SP11	9.32 (۰/۳۲)	۲۱/۹۸		

۱/۰۰, ۰/۹۸	۰/۹۹		۵/۸۷ (۰/۰۶)	کنترل	-۴
		۴۲/۹۳	۸/۳۹ (۰/۱۲)	SN1	
		۴۰/۰۳	۸/۲۲ (۰/۰۶)	SN2	
		۴۲/۴۱	۸/۳۶ (۰/۰۶)	SN4	
		۴۰/۲۰	۸/۵۳ (۰/۰۹)	SP8	
		۴۵/۳۱	۸/۲۳ (۰/۰۸)	SP11	
۰/۹۹, ۰/۹۴	۰/۹۹		۴/۴۰ (۰/۳۰)	کنترل	-۸
		۴۵/۳۱	۷/۲۸ (۰/۰۷)	SN1	
		۶۸/۸۶	۷/۴۳ (۰/۱۰)	SN2	
		۶۷/۹۵	۷/۳۹ (۰/۱۲)	SN4	
		۷۳/۸۶	۷/۶۵ (۰/۱۰)	SP8	
		۷۰/۴۵	۷/۵۰ (۰/۱۳)	SP11	

جدول 2B: تغییرات در مقادیر پتاسیم ریشه گیاه گوجه‌فرنگی

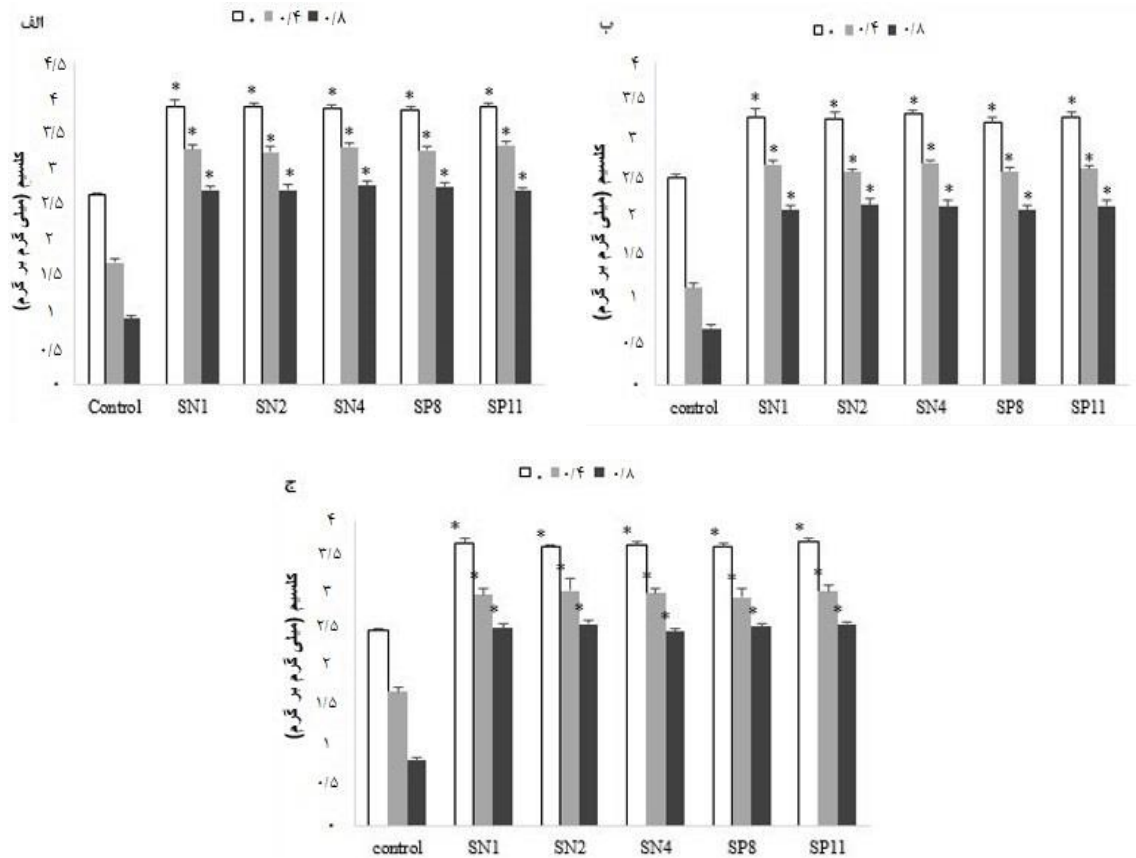
پتاسیم ریشه					
تنش	ایزوله‌ها	میانگین (انحراف استاندارد)	درصد تغییرات نسبت به گروه کنترل	Eta <sup>2</sup>	۹۵% CI
۰	کنترل	۷/۲۹ (۰/۰۶)		۰/۹۹	۰/۹۶, ۱/۰۰
	SN1	۸/۸۸ (۰/۰۶)	۲۱/۸۱		
	SN2	۸/۸۹ (۰/۰۷)	۲۱/۹۴		
	SN4	۹/۰۳ (۰/۰۵)	۲۳/۸۶		
	SP8	۹/۰۱ (۰/۰۹)	۲۳/۵۹		
	SP11	۸/۸۷ (۰/۰۷)	۲۱/۶۷		
-۴	کنترل	۵/۸۶ (۰/۰۵)		۱/۰۰	۱/۰۰, ۰/۹۹
	SN1	۸/۱۶ (۰/۰۴)	۳۹/۲۴		
	SN2	۸/۲۴ (۰/۰۶)	۴۰/۶۱		
	SN4	۸/۲۸ (۰/۰۹)	۴۱/۲۹		
	SP8	۸/۲۸ (۰/۰۵)	۴۱/۲۹		
	SP11	۸/۱۲ (۰/۰۳)	۳۸/۵۶		
-۸	کنترل	۴/۷۰ (۰/۰۴)		۱/۰۰	۱/۰۰, ۰/۹۸
	SN1	۷/۴۷ (۰/۰۴)	۵۸/۹۳		
	SN2	۷/۴۰ (۰/۰۸)	۵۷/۴۴		
	SN4	۷/۴۳ (۰/۱۲)	۵۸/۰۸		
	SP8	۷/۳۸ (۰/۰۴)	۵۷/۰۲		
	SP11	۷/۵۳ (۰/۱۰)	۶۰/۲۱		

جدول 2C: تغییرات در مقادیر پتاسیم ساقه گیاه گوجه‌فرنگی

پتاسیم ساقه					
تنش	ایزوله‌ها	میانگین (انحراف استاندارد)	درصد تغییرات نسبت به گروه کنترل	Eta <sup>2</sup>	۹۵% CI
۰	کنترل	۷/۲۷ (۰/۰۳)		۰/۹۹	۰/۹۸, ۱/۰۰
	SN1	۹/۰۶ (۰/۰۵)	۲۴/۶۲		
	SN2	۸/۹۴ (۰/۰۶)	۲۲/۹۷		
	SN4	۸/۹۸ (۰/۰۸)	۲۳/۵۲		
	SP8	۹/۰۸ (۰/۰۳)	۲۴/۸۹		
	SP11	۸/۸۷ (۰/۰۶)	۲۲/۰۰		
-۴	کنترل	۵/۹۵ (۰/۰۸)		۱/۰۰	۱/۰۰, ۰/۹۹
	SN1	۸/۱۷ (۰/۰۴)	۳۷/۳۱		
	SN2	۸/۲۷ (۰/۰۴)	۳۸/۹۹		
	SN4	۸/۱۸ (۰/۰۳)	۳۷/۴۷		
	SP8	۸/۲۰ (۰/۰۸)	۳۷/۸۱		
	SP11	۸/۲۵ (۰/۰۴)	۳۷/۸۱		
-۸	کنترل	۴/۷۹ (۰/۰۸)		۱/۰۰	۱/۰۰, ۰/۹۸
	SN1	۷/۴۲ (۰/۰۸)	۵۴/۹۰		
	SN2	۷/۵۷ (۰/۰۷)	۵۸/۰۳		
	SN4	۷/۳۹ (۰/۰۷)	۵۴/۲۷		
	SP8	۷/۴۶ (۰/۰۶)	۵۵/۷۴		
	SP11	۷/۴۰ (۰/۰۷)	۵۴/۴۸		

گیاه گوجه‌فرنگی، در هر سه سطح تنش تفاوت معناداری بین ایزوله‌های مختلف وجود داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج آزمون تعقیبی توکی، هر پنج ایزوله‌ی باکتریایی موجب افزایش معنادار میزان کلسیم تحت تنش خشکی نسبت به گروه کنترل شد (شکل ۴). با وجود این، از این نظر تفاوت معناداری بین ایزوله‌های تیمار نسبت به یکدیگر مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ).

بررسی میزان کلسیم در برگ، ریشه و ساقه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) نتایج حاصل نشان داد که در نمونه‌های شاهد با افزایش سطح خشکی، مقدار کلسیم برگ، ریشه و ساقه با شیب زیادی کاهش می‌یابد درحالی‌که در نمونه‌های آزمایشی که با ایزوله‌های باکتریایی تلقیح شده بودند، شدت کاهش تا حدودی کمتر بوده است. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از آزمون ANOVA نشان داد که از نظر میزان کلسیم برگ، ریشه و ساقه



شکل ۴: مقایسه میزان کلسیم برگ (الف)، ریشه (ب) و ساقه (ج) در سه سطح فشار اسمزی صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال در ایزوله‌های کنترل و تیمار شامل SN1، SN2، SN4، SP8 و SP11  
 (\* تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل در سطح P<0.001؛ تفاوت معنادار نسبت به گروه SN2 در سطح P<0.05؛ تفاوت معنادار نسبت به گروه SP11 در سطح P<0.05؛ تفاوت معنادار نسبت به گروه SN4 در سطح P<0.05)

جدول 3A: تغییرات در مقادیر کلسیم برگ گیاه گوجه‌فرنگی

کلسیم برگ					
تنش	ایزوله‌ها	میانگین (انحراف استاندارد)	درصد تغییرات نسبت به گروه کنترل	Eta <sup>2</sup>	%CI
۰	کنترل	۲/۶۴ (۰/۰۳)		۰/۹۹	۰/۹۴, ۰/۹۹
	SN1	۳/۸۷ (۰/۱۱)	۴۶/۵۹		
	SN2	۳/۸۷ (۰/۰۶)	۴۶/۵۹		
	SN4	۳/۸۴ (۰/۰۶)	۴۵/۴۵		
	SP8	۳/۸۲ (۰/۰۵)	۴۴/۶۹		
	SP11	۳/۸۸ (۰/۰۴)	۴۶/۹۶		
-۴	کنترل	۱/۷۱ (۰/۰۴)		۰/۹۹	۱/۰۰, ۰/۹۷
	SN1	۳/۲۸ (۰/۰۶)	۹۱/۸۱		
	SN2	۳/۲۴ (۰/۰۸)	۸۹/۴۷		
	SN4	۳/۳۲ (۰/۰۵)	۹۴/۱۵		
	SP8	۳/۲۷ (۰/۰۴)	۹۱/۲۲		

		۹۵/۳۲	۳/۳۴ (۰/۰۶)	SP11	
۱/۰۰، ۰/۹۸	۱/۰۰		۰/۹۳ (۰/۰۵)	کنترل	-۸
		۱۹۱/۳۹	۲/۷۱ (۰/۰۵)	SN1	
		۱۹۲/۴۷	۲/۷۲ (۰/۰۶)	SN2	
		۱۹۷/۸۴	۲/۷۷ (۰/۰۶)	SN4	
		۱۹۵/۶۹	۲/۷۵ (۰/۰۶)	SP8	
		۱۹۱/۳۹	۲/۷۱ (۰/۰۴)	SP11	

جدول 3B: تغییرات در مقادیر کلسیم ریشه گیاه گوجه‌فرنگی

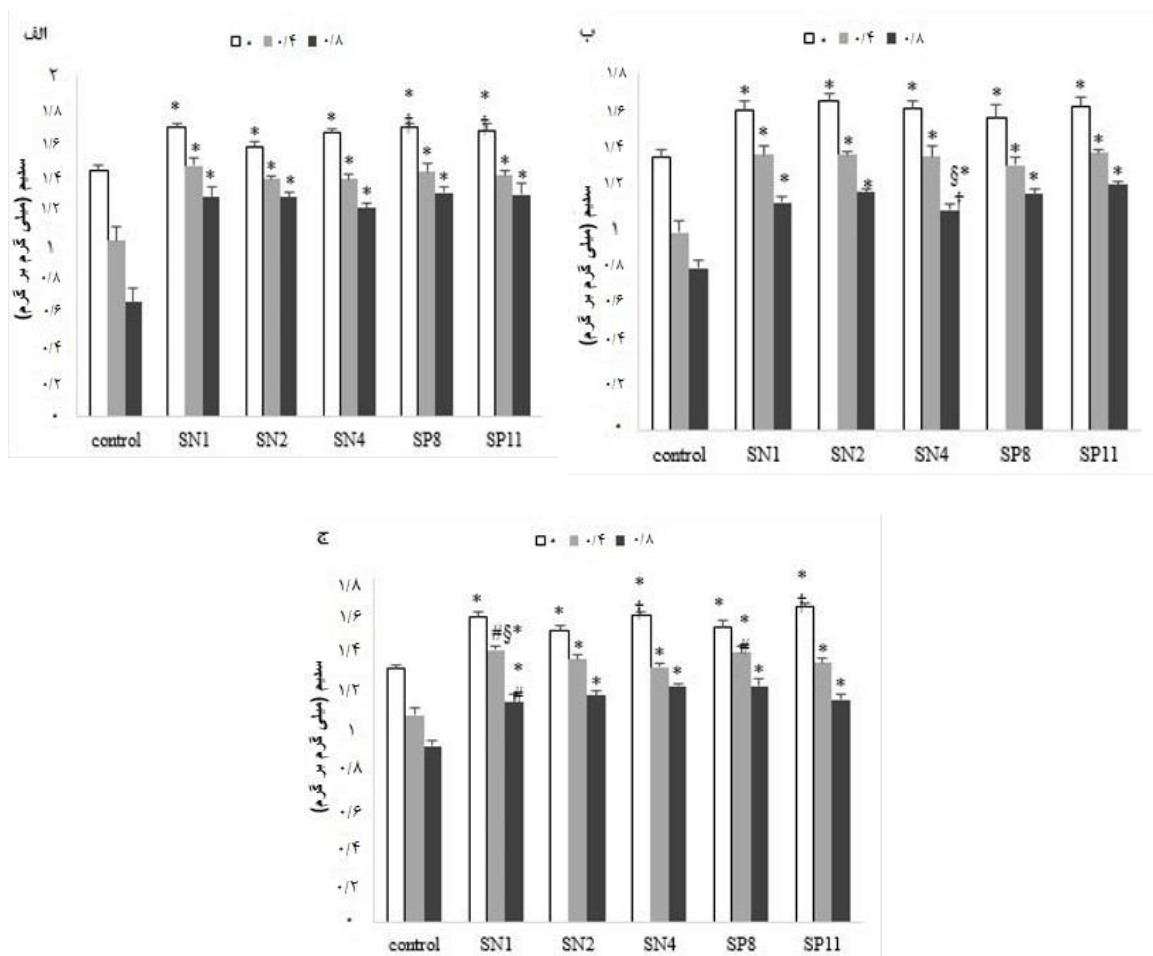
کلسیم ریشه					
%۹۵CI	Eta <sup>2</sup>	درصد تغییرات نسبت به گروه کنترل	میانگین (انحراف استاندارد)	ایزوله‌ها	تنش
۰/۸۴، ۰/۹۸	۰/۹۶		۲/۵۷ (۰/۰۴)	کنترل	۰
		۲۹/۱۸	۳/۳۲ (۰/۱۰)	SN1	
		۲۸/۴۰	۳/۳۰ (۰/۰۷)	SN2	
		۳۰/۷۳	۳/۳۶ (۰/۰۳)	SN4	
		۲۶/۸۴	۳/۲۶ (۰/۰۴)	SP8	
		۲۸/۷۹	۳/۳۱ (۰/۰۷)	SP11	
۱/۰۰، ۰/۹۸	۱/۰۰		۱/۲۱ (۰/۰۵)	کنترل	-۴
		۱۲۵/۶۱	۲/۷۳ (۰/۰۴)	SN1	
		۱۱۸/۱۸	۲/۶۴ (۰/۰۳)	SN2	
		۱۲۷/۲۷	۲/۷۵ (۰/۰۴)	SN4	
		۱۱۹/۰۰	۲/۶۵ (۰/۰۴)	SP8	
		۱۲۱/۴۸	۲/۶۸ (۰/۰۳)	SP11	
۱/۰۰، ۰/۹۶	۰/۹۹		۰/۷۱ (۰/۰۳)	کنترل	-۸
		۲۰۵/۶۳	۲/۱۷ (۰/۰۶)	SN1	
		۲۱۴/۰۸	۲/۲۳ (۰/۰۷)	SN2	
		۲۱۱/۲۶	۲/۲۱ (۰/۰۷)	SN4	
		۲۰۵/۶۳	۲/۱۷ (۰/۰۶)	SP8	
		۲۱۲/۶۷	۰/۲۲ (۰/۰۷)	SP11	

جدول 3: تغییرات در مقادیر کلسیم ساقه گیاه گوجه‌فرنگی

کلسیم ساقه					
تنش	ایزوله‌ها	میانگین (انحراف استاندارد)	درصد تغییرات نسبت به گروه کنترل	Eta <sup>2</sup>	%CI
۰	کنترل	۲/۶۵ (۰/۰۲)		۰/۹۹	۰/۹۶, ۱/۰۰
	SN1	۳/۶۹ (۰/۰۷)	۴۴/۱۴		
	SN2	۳/۶۶ (۰/۰۲)	۴۲/۹۶		
	SN4	۳/۶۷ (۰/۰۶)	۴۳/۳۵		
	SP8	۳/۶۶ (۰/۰۴)	۴۲/۹۶		
	SP11	۳/۷۳ (۰/۰۳)	۴۵/۷۰		
-۴	کنترل	۱/۷۶(۰/۰۶)		۰/۹۷	۰/۹۹, ۰/۸۸
	SN1	۳/۰۳ (۰/۰۷)	۷۲/۱۵		
	SN2	۳/۰۸ (۰/۱۵)	۷۵/۰۰		
	SN4	۳/۰۵ (۰/۰۷)	۷۳/۲۹		
	SP8	۳/۰۰ (۰/۱۱)	۷۰/۴۵		
	SP11	۳/۰۷ (۰/۰۸)	۷۴/۴۳		
-۸	کنترل	۰/۸۶ (۰/۰۴)		۱/۰۰	۱/۰۰, ۰/۹۹
	SN1	۲/۵۹ (۰/۰۷)	۲۰۱/۱۶		
	SN2	۲/۶۵ (۰/۰۴)	۲۰۸/۱۳		
	SN4	۲/۵۵ (۰/۰۲)	۱۹۶/۵۱		
	SP8	۲/۶۱ (۰/۰۳)	۲۰۳/۴۸		
	SP11	۲/۶۵ (۰/۰۲)	۲۰۸/۱۳		

بررسی میزان سدیم در برگ، ریشه و ساقه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.): نتایج حاصل نشان داد که در نمونه‌های شاهد با افزایش سطح خشکی، مقدار سدیم برگ، ریشه و ساقه با شیب زیادی کاهش می‌یابد درحالی‌که در نمونه‌های آزمایشی که با ایزوله‌های باکتریایی تلقیح شده بودند، شدت کاهش کمتر بود. تحلیل آماری با ANOVA نشان داد که میزان سدیم برگ، ریشه و ساقه گیاه گوجه‌فرنگی در ایزوله‌های مختلف

باکتریایی در هر سه سطح تنش با یکدیگر متفاوت است (جدول ۴). آزمون تعقیبی توکی نشان‌دهنده‌ی آن بود که سویه‌های SP8، SN1 و SP11 بیشترین توانایی را در افزایش سدیم برگ در فشار اسمزی صفر، سویه SP11 بیشترین توانایی را در افزایش سدیم ریشه در فشار اسمزی ۰/۸- مگاپاسکال و سویه‌های SP8 و SN1 بیشترین توانایی را در افزایش سدیم ساقه در فشار اسمزی ۰/۴- مگاپاسکال داشتند (شکل ۵).



شکل ۵: مقایسه میزان سدیم برگ (الف)، ریشه (ب) و ساقه (ج) در سه سطح فشار اسمزی صفر، ۰/۴ و ۰/۸ مگاپاسکال در

ایزوله‌های کنترل و تیمار شامل SN1، SN2، SN4، SP8 و SP11

(\*) تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل در سطح  $P < 0.001$ ؛ † تفاوت معنادار نسبت به گروه SN2 در سطح  $P < 0.05$ ؛ ‡ تفاوت معنادار نسبت به گروه SP11 در سطح  $P < 0.05$ ؛ § تفاوت معنادار نسبت به گروه SN4 در سطح  $P < 0.05$ ؛ # تفاوت معنادار نسبت به گروه SN4 در سطح  $P < 0.05$ .

جدول 4A: تغییرات در مقادیر سدیم برگ گیاه گوجه‌فرنگی

کلسیم ریشه					
تنش	ایزوله‌ها	میانگین (انحراف استاندارد)	درصد تغییرات نسبت به گروه کنترل	Eta <sup>2</sup>	%۹۵CI
۰	کنترل	۲/۶۴ (۰/۰۳)		۰/۹۹	۰/۹۴, ۰/۹۹
	SN1	۳/۸۷ (۰/۱۱)	۴۶/۵۹		
	SN2	۳/۸۷ (۰/۰۶)	۴۶/۵۹		
	SN4	۳/۸۴ (۰/۰۶)	۴۵/۴۵		
	SP8	۳/۸۲ (۰/۰۵)	۴۴/۶۹		
	SP11	۳/۸۸ (۰/۰۴)	۴۶/۹۶		
-۴	کنترل	۱/۷۱ (۰/۰۴)		۰/۹۹	۱/۰۰, ۰/۹۷
	SN1	۳/۲۸ (۰/۰۶)	۹۱/۸۱		
	SN2	۳/۲۴ (۰/۰۸)	۸۹/۴۷		

		۹۴/۱۵	۳/۳۲ (۰/۰۵)	SN4	
		۹۱/۲۲	۳/۲۷ (۰/۰۴)	SP8	
		۹۵/۳۲	۳/۳۴ (۰/۰۶)	SP11	
			۰/۹۳ (۰/۰۵)	کنترل	
۱/۰۰، ۰/۹۸	۱/۰۰	۱۹۱/۳۹	۲/۷۱ (۰/۰۵)	SN1	-۸
		۱۹۲/۴۷	۲/۷۲ (۰/۰۶)	SN2	
		۱۹۷/۸۴	۲/۷۷ (۰/۰۶)	SN4	
		۱۹۵/۶۹	۲/۷۵ (۰/۰۶)	SP8	
		۱۹۱/۳۹	۲/۷۱ (۰/۰۴)	SP11	

جدول 4B: تغییرات در مقادیر سدیم ریشه گیاه گوجه‌فرنگی

کلسیم ریشه					
تنش	ایزوله‌ها	میانگین (انحراف استاندارد)	درصد تغییرات نسبت به گروه کنترل	Eta <sup>2</sup>	%۹۵CI
۰	کنترل	۲/۵۷ (۰/۰۷)		۰/۹۶	۰/۸۴، ۰/۹۸
	SN1	۳/۳۲ (۰/۱۰)	۲۹/۱۸		
	SN2	۳/۳۰ (۰/۰۷)	۲۸/۴۰		
	SN4	۳/۳۶ (۰/۰۳)	۳۰/۷۳		
	SP8	۳/۲۶ (۰/۰۴)	۲۶/۸۴		
	SP11	۳/۳۱ (۰/۰۷)	۲۸/۷۹		
-۴	کنترل	۱/۲۱ (۰/۰۵)		۱/۰۰	۱/۰۰، ۰/۹۸
	SN1	۲/۷۳ (۰/۰۴)	۱۲۵/۶۱		
	SN2	۲/۶۴ (۰/۰۳)	۱۱۸/۱۸		
	SN4	۲/۷۵ (۰/۰۴)	۱۲۷/۲۷		
	SP8	۲/۶۵ (۰/۰۴)	۱۱۹/۰۰		
	SP11	۲/۶۸ (۰/۰۳)	۱۲۱/۴۸		
-۸	کنترل	۰/۷۱ (۰/۰۳)		۰/۹۹	۱/۰۰، ۰/۹۶
	SN1	۲/۱۷ (۰/۰۶)	۲۰۵/۶۳		
	SN2	۲/۲۳ (۰/۰۷)	۲۱۴/۰۸		
	SN4	۲/۲۱ (۰/۰۷)	۲۱۱/۲۶		
	SP8	۲/۱۷ (۰/۰۶)	۲۰۵/۶۳		
	SP11	۲/۲۲ (۰/۰۷)	۲۱۲/۶۷		



جدول 4C: تغییرات در مقادیر سدیم ساقه گیاه گوجه‌فرنگی

کلسیم ساقه					
تنش	ایزوله‌ها	میانگین (انحراف استاندارد)	درصد تغییرات نسبت به گروه کنترل	Eta <sup>2</sup>	%CI
۰	کنترل	۲/۶۵ (۰/۰۲)		۰/۹۹	۰/۹۶, ۱/۰۰
	SN1	۳/۶۹ (۰/۰۷)	۴۴/۱۴		
	SN2	۳/۶۶ (۰/۰۲)	۴۲/۹۶		
	SN4	۳/۶۷ (۰/۰۶)	۴۳/۳۵		
	SP8	۳/۶۶ (۰/۰۴)	۴۲/۹۶		
	SP11	۳/۷۳ (۰/۰۳)	۷۰/۴۵		
-۴	کنترل	۱/۷۶(۰/۰۶)		۰/۹۷	۰/۹۹, ۰/۸۸
	SN1	۳/۰۳ (۰/۰۷)	۷۲/۱۵		
	SN2	۳/۰۸ (۰/۱۵)	۷۵/۰۰		
	SN4	۳/۰۵ (۰/۰۷)	۷۳/۲۹		
	SP8	۳/۰۰ (۰/۱۱)	۷۰/۴۵		
	SP11	۳/۰۷ (۰/۰۸)	۷۴/۴۳		
-۸	کنترل	۰/۸۶ (۰/۰۴)		۱/۰۰	۱/۰۰, ۰/۹۹
	SN1	۲/۵۹ (۰/۰۷)	۲۰۱/۱۶		
	SN2	۲/۶۵(۰/۰۴)	۲۰۸/۱۳		
	SN4	۲/۵۵ (۰/۰۲)	۱۹۶/۵۱		
	SP8	۲/۶۱ (۰/۰۳)	۲۰۳/۴۸		
	SP11	۲/۶۵ (۰/۰۲)	۲۰۸/۱۳		

#### بحث

از جمله تنش خشکی به‌عنوان یک استراتژی جذاب توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است نتایج توانایی تولید سیدروفور در ایزوله‌های مورد مطالعه حاکی از آن بود که ۵ ایزوله قدرت تولید سیدروفور داشتند. در مطالعه مشخص شد که همه سویه‌های مورد مطالعه توانایی تولید سیدروفور داشتند (Azadikhah et al., 2017). همچنین مطالعه‌ای مبنی بر تنوع تولید سیدروفور در ایزوله‌های جداسازی شده از برنج نشان دادند که از ۳۳۶ باکتری جدا شده ۸۴ ایزوله توانایی تولید سیدروفور داشتند (de Souza et al., 2013). سیدروفورهایی که باکتری‌ها تولید می‌کنند با افزایش فراهم‌سازی آهن در خاک اطراف ریشه، جذب آهن توسط گیاه و رشد ریشه را افزایش می‌دهند. این مکانیسم علاوه بر تأمین آهن گیاه، اثر

تنش خشکی یکی از مشکلات اصلی تولید گیاهان در بسیاری از نقاط دنیا است. تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی (بیومس گیاهی) در گیاهان زراعی می‌شود (Akula et al., 2011). تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاه از راه‌های گوناگون مانند کاهش توانایی‌های فتوسنتزی، اثر منفی می‌گذارد؛ استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید در سیستم‌های تولید زراعی باعث افزایش میزان تحمل گیاهان نسبت به تنش‌های زنده و غیرزنده نظیر خشکی، شوری، کمبود عناصر غذایی و سمیت فلزات را دارد، در حال افزایش است (Heidari et al., 2012). مصرف باکتری‌های PGPR جهت تحریک تحمل گیاهان زراعی نسبت به تنش‌های غیرزنده

اکتینومیست‌ها ویژگی‌های بسیاری در جهت کمک به رشد گیاهان دارند. از جمله این ویژگی‌ها چرخه‌ی غذایی آن‌ها، ویژگی آنتی‌بیوتیک و فراوانی آن‌ها در ریزوسفرها عنوان شدند. Passari و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که اکتینومیست‌های اندوفیت می‌توانند به‌عنوان تلقیح زیستی برای کمک به رشد گیاه، حرکت مواد غذایی و عوامل بیوکنترلی در برابر پاتوژن‌های قارچی مورداستفاده قرار گیرند. Anwar و همکاران (۲۰۱۶) نیز در تحقیق خود بیان کردند که اکتینومیست‌ها هم در شرایط درون تنی وهم برون تنی دارای ویژگی‌های PGPR هستند همچنین در تحقیقی بر روی جمعیتی کروی خاک جنگلی نشان دادند که باکتری‌های خانواده‌ی اکتینومیست، جزو جمعیت میکروبی غالب در این خاک هستند. همچنین این محققان بیان کردند که این باکتری‌ها قدرت فسفات‌سازی بالایی دارند (Mahajan et al., 2016). در تحقیق دیگری نیز برای شناسایی باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات نامحلول نشان داده شد که از بین ۱۳۹، ۲۰۰ ایزوله‌ی باکتریایی جداسازی شده که دارای قدرت انحلال فسفات در محیط کشت PVK بودند، سیزده ایزوله بیشترین هاله را داشتند و در بین آن‌ها باکتری‌های اکتینومیست بیشترین انحلال فسفر را نشان دادند (Dastager and Damare, 2013).

یکی از باکتری‌های مؤثر در تحقیق حاضر نیز اکتینومیست بود که دارای اثرات مثبت برافزایش یون‌های گیاه، افزایش درصد نشت یون، افزایش کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها و به‌طورکلی مقاومت به تنش خشکی و آلودگی قارچی بود. این نتایج با سایر تحقیقات انجام‌شده در این زمینه که به برخی از آن‌ها اشاره شد، هم‌راستا می‌باشد. پس از اطمینان از توانایی تحمل خشکی توسط، این ایزوله‌ها به نشاء گیاه گوجه‌فرنگی تلقیح شدند و پس از القای خشکی، نتایج نشان داد که گیاهان تلقیح شده با باکتری کمتر از

غیرمستقیمی بر رشد گیاهان می‌گذارد که باعث کاهش رشد عوامل بیماری‌زای گیاهی و کاهش دسترسی آن‌ها به آهن می‌شود.

در این مطالعه ۵ جدایه PGPR از جنس باسیلوس و اکتینومیست جداسازی شد. باکتری‌های PGPR جداسازی شده در تحقیق حاضر اغلب از جنس باسیلوس بودند. همچنین اکتینومیست نیز در میان آن‌ها مشاهده شد. در همین راستا Porcel و همکاران (۲۰۱۴) نیز باسیلوس‌ها را جزو PGPR های معرفی کردند که موجب افزایش تولید هورمون آبسزیک اسید در گیاه گوجه‌فرنگی می‌شود. Govindasamy و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کردند که باسیلوس‌ها و پنی‌باسیلوس‌ها دوجنسی هستند که در ریزوباکترها به فراوانی یافت شده و با ویژگی‌های همچون پیشبرد رشد و تغذیه‌ی گیاه میزبان، آنتاگونیسم علیه پاتوژن‌های قارچی، باکتریایی، نماتود و حشرات و همچنین تحریک مکانیسم دفاعی گیاه میزبان، به‌عنوان باکتری‌های PGPR محسوب می‌شوند. همچنین در پژوهشی که با استفاده از محیط کشت PVK برای جداسازی باکتری از خاک کشاورزی انجام گرفت، ۳۷ ایزوله وجود داشت که از بین آن‌ها ۸ ایزوله بیشترین انحلال فسفر را نشان دادند. این هشت ایزوله، از جنس‌های باسیلوس، پنی‌باسیلوس، ازتوباکتر و سودوموناس بودند (Karpagam et al., 2014).

جداسازی باسیلوس‌ها از ریزوسفرها و اثبات ویژگی‌های آن‌ها در بسیاری تحقیقات گزارش شده است (Alina et al., 2015) که با نتایج تحقیق حاضر همسو هستند و پتانسیل بالقوه اعضای این جنس به عنوان کود زیستی جهت حمایت گیاه در شرایط استرس را نشان می‌دهد.

گزارشات اکتینومیست‌ها نیز به‌عنوان باکتری‌های PGPR خیراً افزایش یافته است. Jog و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که از میان باکتری‌های PGPR،

نتایج این تحقیق می‌باشد بطوریکه بررسی اثر این دو جنس بر روی تنش خشکی در گیاه گوجه‌فرنگی نشان‌دهنده اثر مثبت این باکتری‌ها بر میزان افزایش میزان تحمل گیاه بود بطوریکه با سنجش میزان یون‌های پتاسیم، کلسیم و سدیم مشخص شد که میزان این یون‌ها در گروه کنترل تحت تنش خشکی به‌سرعت و با شیب تندی کاهش یافت این درحالی‌که بود که در گروه مورد آزمایش که PGPR به کمک گیاه آمده بود به نسبت گروه کنترل میزان این یون‌ها در آن‌ها افزایش یافته بود و تحمل بیشتری نسبت به خشکی نشان دادند.

در ادامه روند آزمایشات، میزان عناصر پتاسیم، کلسیم و سدیم در برگ، ریشه و ساقه، اندازه‌گیری و بررسی شد. طی تحقیقی در شرایط گلخانه‌ای اعلام داشتند که تلقیح سویا با باکتری‌های حل‌کننده فسفات، موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی، غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن در اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و تعداد گره‌های روی ریشه شد (Abdel, 2008). همچنین در آزمایشی اثر تلقیح ریشه نهال سیب با چند سویه از توباکتر بومی را بر جذب عناصر و شاخص‌های رشد بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح، جذب پتاسیم، منیزیم، آهن، منگنز، روی و بور توسط برگ‌ها و همچنین مقادیر جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منگنز و روی در ریشه را افزایش می‌دهد (Khosravi et al., 2018). به هنگام تنش خشکی تعادل یونی در گیاه به هم می‌ریزد و در صورت تداوم باعث ناپایداری غشا و در نتیجه از بین رفتن سیالیت آن در نهایت آسیب به غشا را به دنبال دارد. همانند چیزی که در این مطالعه مشاهده شد و با تداوم شرایط خشکی میزان یون‌های مورد بررسی در این مطالعه به‌سرعت در گروه کنترل کاهش یافت در نتیجه از دست دادن این یون‌ها جذب آب از خاک با مشکل مواجه شده و گیاه آسیب‌دیده و در نهایت

گیاهان شاهد علائم خشکی را نشان می‌دهند. میزان رطوبت خاک نیز در خاک‌هایی که باکتری در آن‌ها تلقیح شده بود، بیشتر حفظ می‌شد. بیان شده است که باکتری‌های حل‌کننده فسفر علاوه بر افزایش جذب فسفر در گیاه زراعی ذرت، می‌توانند رشد گیاه را بهبود بخشیده و باعث افزایش تحمل ذرت در برابر تنش خشکی شوند (Ehteshami et al., 2009). در مطالعه دیگری نیز اشاره شد که در سطح نسخه‌برداری، باکتری‌های PGPR باعث القای ژن‌های مسئول در تنش خشکی و به دنبال آن افزایش تحمل گیاهان نسبت به تنش خشکی می‌شوند. در واقع باکتری‌های بهبوددهنده رشد گیاه می‌توانند از اثرات زیان‌بار تنش‌های زنده و غیرزنده در گیاه جلوگیری کنند (TimmuskWagner et al., 1999).

گروهی از محققان به‌عنوان کنترل تنش خشکی در گندم با استفاده از باکتری‌های محرک رشد، دریافتند که تلقیح باکتریایی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای میزان آسیب حاصل از تنش خشکی را در گیاه گندم کاهش داد. آن‌ها نیز اشاره داشتند که باکتری‌های محرک رشد از طریق مکانیسم‌های متعددی چه به‌صورت مستقیم و چه غیرمستقیم باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش خشکی می‌شوند که یکی از این مکانیسم‌ها، القای افزایش + بیان ژن‌های مربوط به تنش خشکی نظیر (SAMS1 و HSP) در برگ‌های گندم است که باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های چرخه آسکوربیت‌گلوکاتیون ریداکس می‌شود. تلقیح گونه‌های مختلف گیاهی با باکتری‌های PGPR باعث افزایش رشد ریشه شده و با افزایش تشکیل ریشه‌های فرعی از طریق ترشح هورمون اکسین توسط این باکتری‌ها و به دنبال آن افزایش سطح مؤثر ریشه و نهایتاً افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه زراعی تحت شرایط تنش خشکی می‌گردد (Kasim et al., 2013). این امر توصیف‌کننده بخش مهمی از

یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم هم در گیاهان شاهد و هم تیمار کاهش پیدا می‌کند اما تلقیح باکتریایی شدت این کاهش را در گیاهان تیمار شده کمتر کرده بود. در شرایط کنونی استفاده از باکتری‌های PGPR به‌عنوان عوامل بیوکنترلی و جایگزین شدن آن‌ها با کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی، می‌تواند در جهت سلامت انسان و موجودات، عدم آلودگی محیط‌زیست و افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی، بسیار کمک‌کننده باشد. نتیجه نهایی این تحقیق معرفی پنج ایزوله باکتریایی به‌عنوان باکتری‌های PGPR مناسب برای جلوگیری و کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه گوجه‌فرنگی است که امید است در صنایع کشاورزی مورد استفاده وسیع قرار گیرد.

#### سپاسگزاری

شایسته است که از کارکنان محترم گروه میکروبی‌شناسی دانشکده کشاورزی و فناوری‌های نوین دانشگاه آزاد واحد شیراز در قبال تمام همکاری‌ها و کمک‌هایشان کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

#### References

- Abdel Hadi, N.A.R.M. (2008).** Stabilization of the phosphatic wastes using high calcium ash in Jordan. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(11):1193-1199.
- Akula, R. and Ravishankar, G.A. (2011).** Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 6(11):1720-1731.
- Alikhani, H.A., Etesami, H. and Mohammadi, L. (2018).** Evaluation of the Effect of Rhizospheric and Non-Rhizospheric phosphate Solubilizing Bacteria on Improving the Growth Indices of Wheat under Salinity and Drought Stress. *Journal of Soil Biology*, 6(1):1-14.

می‌میرد؛ اما در گروه مورد آزمایش میزان یونی پتاسیم و کلسیم در همه قسمت‌های برگ به نسبت کنترل بیشتر بوده و روند کاهش آن کمتر بود. در نتیجه فرآیند جذب آب از خاک توسط گیاه افزایش می‌یابد و باعث افزایش تحمل گیاه نسبت به خشکی می‌شود؛ اما میزان سدیم در جدایه SP8, SP11, SN1 در برگ افزایش یافت در جدایه SP11 در ریشه و در جدایه SP8 و SN1 ساقه افزایش یافت. این مشاهده در این مطالعه و همچنین مطالعه ALP و Kabay (۲۰۱۷) نشان داد که گیاهان حتی اگر متعلق به یک گونه باشند مکانیسم دفاعی و تحمل تنش متفاوتی از همدیگر دارند.

#### نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از تحقیق حاضر کاملاً بیانگر آن بود که تلقیح باکتریایی ایزوله‌ها به مقاومت در برابر تنش خشکی گیاه کمک می‌کند. داشتن توانایی تثبیت نیتروژن و تولید سیدروفور، به این باکتری‌ها توانایی آن را می‌دهد که در شرایط خشکی مقاوم بوده و به گیاه میزبان خود نیز کمک کنند. در این مطالعه نشان داده شد که طی تنش خشکی و با افزایش میزان تنش،

**Alina, S.O., Constantinescu, F. and Petruta, C.C. (2015).** Biodiversity of *Bacillus subtilis* group and beneficial traits of *Bacillus* species useful in plant protection. *Romanian Biotechnological Letters*, 20:10737-10750.

**Alp, Y. and Kabay, T. (2017).** The effect of drought stress on plant development in some landraces and commercial tomato genotypes. *Yüzüncü Yil Üniversitesi Journal of Agricultural Sciences*, 27(3): 387-395.

**Anwar, S., Ali, B. and Sajid, I. (2016).** Screening of rhizospheric actinomycetes for various in-vitro and in-vivo plant growth promoting (PGP) traits and for agroactive compounds. *Frontiers in Microbiology*, 7:1334.

- Askary, M., Maghsoudi Moud, A., Saffari, V.R. and Askari, A. (2018).** Effects of drought stress on some physiological variables and grain yield of different wheat varieties. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 8(1):57-73.
- Azadi, H., Keramati, P., Taheri, F., Rafiaani, P., Teklemariam, D., Gebrehiwot, K. and Witlox, F. (2018).** Agricultural land conversion: Reviewing drought impacts and coping strategies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31:184-195.
- Azadikhah, M., Jamali, F., Nooryazdan, H.R. and Bayat, F. (2017).** Screening *Pseudomonas fluorescens* strains for plant growth promoting properties and salinity tolerance. *Biological Journal of Microorganism*, 6(23):95-107.
- Dastager, S. G. and Damare, S. (2013).** Marine actinobacteria showing phosphate-solubilizing efficiency in Chorao Island, Goa, India. *Current Microbiology*, 66(5):421-427.
- de Souza, R., Beneduzi, A., Ambrosini, A., Da Costa, P.B., Meyer, J., Vargas, L.K. and Passaglia, L.M. (2013).** The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on the growth of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in southern Brazilian fields. *Plant and soil*, 366(1-2):585-603.
- Dessaux, Y., Grandclément, C. and Faure, D. (2016).** Engineering the rhizosphere. *Trends in Plant Science*, 21(3):266-278.
- Ehteshami, S., Aghaalkhani, M., Chaichi, M. and Khavazi, K. (2009).** Effect of phosphate biofertilizers on yield and yield components of grain corn (*Zea mays* LSC 704) under water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40(1):15-27.
- Govindasamy, V., Senthilkumar, M., Magheshwaran, V., Kumar, U., Bose, P., Sharma, V. and Annapurna, K. (2010).** *Bacillus* and *Paenibacillus* spp.: potential PGPR for sustainable agriculture. *Plant growth and health promoting bacteria* (pp. 333-364): Springer.
- Gururani, M.A., Venkatesh, J. and Tran, L.S.P. (2015).** Regulation of photosynthesis during abiotic stress-induced photoinhibition. *Molecular Plant*, 8(9):1304-1320.
- Hayat, R., Sheirdil, R.A., Iftikhar-ul-Hassan, M. and Ahmed, I. (2013).** Characterization and identification of compost bacteria based on 16S rRNA gene sequencing. *Annals of Microbiology*, 63(3): 905-912.
- Heidari, M. and Golpayegani, A. (2012).** Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11(1):57-61.
- Jog, R., Nareshkumar, G. and Rajkumar, S. (2016).** Enhancing soil health and plant growth promotion by actinomycetes. *Plant growth promoting actinobacteria* (pp. 33-45): Springer.
- Karpagam, T. and Nagalakshmi, P. (2014).** Isolation and characterization of phosphate solubilizing microbes from agricultural soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(3):601-614.
- Kasim, W.A., Osman, M.E., Omar, M.N., Abd El-Daim, I.A., Bejai, S. and Meijer, J. (2013).** Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(1):122-130.
- Khanizadeh, P., Abtahi Faezeh Sadat, H.M. and Hosseini, N. (1398).** Stimulating effects of *Pseudomonas putida* and fluorescence on germination and growth components of *Melissa officinalis*. *Journal of Plant Research*, 32(3):559-572.
- Khosravi, A., Zarei, M. and Ronaghi, A. (2018).** Effect of PGPR, phosphate sources and vermicompost on growth and nutrients uptake by lettuce in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 41(1):80-89.
- Kiran, S., Kuşvuran, Ş., Özkay, F. and Ellialtıoğlu, Ş.Ş. (2015).** Domates, Patlıcan ve Kavun Genotiplerinin Kuraklığa Dayanım Durumlarını Belirlemeye Yönelik Olarak İncelenen Özellikler Arasındaki İlişkiler. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2):9-25.

- Kusvuran, S. (2012).** Influence of drought stress on growth, ion accumulation and antioxidative enzymes in okra genotypes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14(3):401-406.
- Kusvuran, S., Dasgan, H.Y. and Abak, K. (2013).** Citrulline is an important biochemical indicator in tolerance to saline and drought stresses in melon. *The Scientific World Journal*, 1-8.
- Mahajan, R., Nikitina, A., Litt, Y., Nozhevnikova, A. and Goel, G. (2016).** Autochthonous microbial community associated with pine needle forest litterfall influences its degradation under natural environmental conditions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(7): 417.
- Marschner, H. (2011).** Marschner's mineral nutrition of higher plants: Academic press.
- Passari, A.K., Lalsiamthari, P., Leo, V.V., Mishra, V.K., Yadav, M.K., Gupta, V. K. and Singh, B.P. (2018).** Biocontrol of Fusarium wilt of Capsicum annum by rhizospheric bacteria isolated from turmeric endowed with plant growth promotion and disease suppression potential. *European Journal of Plant Pathology*, 150(4):831-846.
- Porcel, R., Zamarreño, Á.M., García-Mina, J.M. and Aroca, R. (2014).** Involvement of plant endogenous ABA in *Bacillus megaterium* PGPR activity in tomato plants. *BMC Plant Biology*, 14(1):1-12.
- Taromi Aliabadi, B., Hassandokht, M., Etesami, H., Alikhani, H. and Dehghanisanij, H. (2019).** Effect of mulching on some characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under deficit irrigation. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(4):927-941.
- Timmusk, S. and Wagner, E.G.H. (1999).** The plant-growth-promoting rhizobacterium *Paenibacillus polymyxa* induces changes in *Arabidopsis thaliana* gene expression: a possible connection between biotic and abiotic stress responses. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 12(11):951-959.
- Yang, X., Chen, L., Yong, X. and Shen, Q. (2011).** Formulations can affect rhizosphere colonization and biocontrol efficiency of *Trichoderma harzianum* SQR-T037 against *Fusarium* wilt of cucumbers. *Biology and Fertility of Soils*, 47(3):239-248.
- Yekbun, A. and Kabay, T. (2019).** The Effect of Drought Stress on Antioxidative Enzyme and Nutrient Exchange in Genotypes. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(1):71-77.