نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد یازدهم، شماره سوم، پاییز ۹۷
۶۱-۷۵
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.14442.2095

تأثیر برخی جدایه‌های باکتریایی در جذب و انتقال پتاسیم گیاه ذرت

مهدیه لیلاسی مرند[۱] و *محمدرضا ساریخانی[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز،
[۲]دانشیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: با وجود مقدار نسبتاً زیادی از پتاسیم در خاک، مشکل دسترسی به منابع پتاسیمی، مهم‌ترین عامل بروز کمبود پتاسیم در گیاهان می‌باشد. بنابراین تجزیه کانی‌های خاک توسط ریزجانداران قابل تأمل بوده و در این بین کاربرد باکتری‌های آزادکننده پتاسیم می‌تواند از اهمیت بیش‌تری برخوردار باشد. بر این اساس این آزمایش با هدف بررسی تأثیر جدایه‌های مختلف باکتریایی در تأمین پتاسیم گیاه ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش گلخانه‌ای با کاربرد بذور ضدعفونی شده ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴)، در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل ۱۰ تیمار تلقیح شده با جدایه‌های مختلف باکتریایی متعلق به جنس‌های *سودوموناس*، *باسیلوس*، *انتروباکتر* و *ازتوباکتر*، تیمارهای کودی (کاربرد کود سولفات پتاسیم به میزان ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد توصیه کودی) و کنترل منفی (بدون تلقیح باکتری و بدون مصرف کود) بود. آزمایش تا ابتدای فاز زایشی گیاه به طول انجامید و پس از برداشت گیاه و آون خشک کردن نمونه‌های گیاهی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه توزین شد. در نهایت نمونه‌ها هضم شده و در عصاره‌های به‌دست آمده غلظت و مقدار پتاسیم، فسفر و نیتروژن محاسبه گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد به‌جز از وزن خشک ریشه، فاکتور انتقال و غلظت فسفر اندام هوایی، بقیه پارامترها متأثر از تیمارهای آزمایش بودند. بیش‌ترین مقدار کل پتاسیم در *Pseudomonas* sp. Az-8 و تیمار کودی ۱۰۰ درصد برابر با ۱۵۸۲ و ۱۵۷۰ میلی‌گرم بر وزن گیاه به‌دست آمد. در مورد مقدار کل فسفر و نیتروژن هم بالاترین مقادیر در بین تیمارهای باکتریایی به جدایه باکتری Az-8 اختصاص داشت که به‌ترتیب برابر با ۵۰/۵۹ و ۲۶۴/۵ میلی‌گرم بر وزن گیاه بود. اما بیش‌ترین غلظت و مقدار پتاسیم اندام هوایی در تیمار کودی ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۲/۵۵ درصد و ۱۰۷۷/۲۹ میلی‌گرم بر وزن اندام هوایی بود. اما در بین تیمارهای باکتری، *Azotobacter chroococcum* 14SP2-1 با افزایش ۲۴ و ۱۶ درصد نسبت به شاهد، نتایج بهتری را به‌همراه داشت. بیش‌ترین غلظت و مقدار پتاسیم ریشه (به‌ترتیب ۲/۴ درصد و ۶۰۵/۱ میلی‌گرم بر وزن ریشه) نیز در تیمار باکتری Az-8 مشاهده شد. جدایه Az-8 با ۱۰۴/۵ درصد بیش‌ترین کارایی تغذیه پتاسیمی را به خود اختصاص داد. بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای کودی ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد (۴۴/۴۲ و ۴۴/۰۶ گرم) مشاهده شد.

*مسئول مکاتبه: rsarikhani@yahoo.com

نتیجه‌گیری: نتایج کلی این آزمایش نشان داد، تلقیح باکتری‌های مورد آزمون در برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده بهتر از کاربرد کود شیمیایی عمل کرده است و علت این امر می‌تواند به تأثیرات زیستی باکتری‌ها در خاک مربوط باشد. به‌طورکلی جدایه‌های *Pseudomonas* sp. Az-8، *A. chroococcum* 14SP2-1 و *Enterobacter* sp. S16-3 برای انجام آزمایشات تکمیلی پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های آزادکننده پتاسیم، تلقیح باکتری، جدایه، ذرت

مقدمه

سلامت محصولات تولید شده در سیستم‌های مختلف از نظر وجود بقایای سموم و مواد شیمیایی و تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست، سبب شده است تا توجه ویژه‌ای به روش‌های تولید و نهاده‌های به کار رفته در امر تولید، شود. در سال‌های اخیر در پی بحران آلودگی‌های زیست‌محیطی، تلاش‌های گسترده‌ای به‌منظور یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک و محصولات کشاورزی، حذف آلاینده‌ها و حفظ پایداری اکوسیستم‌های طبیعی آغاز شده است (۳۹). یکی از شیوه‌های زیستی برای افزایش تولید در کشاورزی، استفاده از پتانسیل ریزجانداران خاکزی است. از جمله این موجودات می‌توان به ریزوباکترهای محرک رشد گیاه اشاره کرد (۷ و ۱۳). از طرف دیگر، پتاسیم یکی از عناصر غذایی ضروری و پرمصرف گیاهان می‌باشد که نقش‌های بسیار مهمی در فتوسنتز، حفظ تورژسانس سلول، تنظیم روزنه‌ها، تقسیم سلولی و رشد، کمیت و کیفیت محصولات و در اقتصاد آب برای گیاه دارد (۳۷ و ۳۰). پتاسیم به‌طور متوسط ۲/۸۵ درصد از لیتوسفر و ۱/۲ درصد از خاک را تشکیل می‌هد و به چهار صورت محلول، تبادلی، تثبیت‌شده و ساختمانی وجود دارد و از میان اشکال مختلف پتاسیم، شکل محلول و تبادلی آن قابل استفاده گیاه هستند و بقیه شکل‌ها تقریباً غیرقابل استفاده می‌باشند، لذا به‌منظور تأمین پتاسیم موردنیاز گیاه، این عنصر بایستی به طریقی از شکل‌های تثبیت‌شده و معدنی به شکل‌های تبادلی و محلول تبدیل شود (۹). اگر چه کمبود پتاسیم مثل کمبود نیتروژن و فسفر گسترده نیست اما بسیاری از خاک‌ها که در ابتدا از نظر این عنصر غنی بودند به علت برداشت متوالی محصول، رواناب، آبشویی و فرسایش خاک با کمبود این عنصر مواجه شده‌اند (۳۵). مهم‌ترین منابع پتاسیم در خاک‌های معدنی آلومینوسیلیکات‌های اولیه شامل فلدسپارها و میکاها می‌باشند. پتاسیم هم‌چنین در ایلایت و ورمی‌کولایت نیز وجود دارد (۲۱ و ۳۸). ریزجانداران نقش مهمی را در تغییر و تبدیل مواد از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس برای گیاهان ایفا می‌کنند. به‌طوری‌که به واسطه فعالیت آن‌ها مقدار مواد در دسترس و مغذی در خاک افزایش یافته و سبب افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود (۱۵). مطالعات مختلفی اثر فرآیندهای زیستی و مواد مترشحه از ریشه گیاهان و ریزجانداران را بر هوادیدگی کانی‌ها در ناحیه ریزوسفر گزارش نموده‌اند (۲۵).

هو و همکاران (۲۰۰۶) دو سویه KNP414 و KNP413 متعلق به باکتری *Bacillus mucilaginosus* را از خاک جداسازی کردند. این دو سویه به‌طور معنی‌داری قادر به آزادسازی پتاسیم از کانی پتاسیم‌دار موجود در محیط کشت الکساندروف بودند. سویه KNP414 در آزادسازی پتاسیم مؤثرتر بود (۱۲). بخشنده و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی

هوادیدگی کانی پالیگورسکایت در ریزوسفر گیاه سورگوم، مشاهده نمودند که فعالیت ریشه و باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات منجر به کاهش pH محیط ریزوسفر و در نهایت باعث آزادسازی عناصر از بین لایه‌های کانی می‌شود (۲). این ادعا در نتایج آزمایش‌های بسیاری به چشم می‌خورد و اثر مثبت آن‌ها در موارد زیادی دیده شده است. سوگوماران و جانارتانام (۲۰۰۷) باکتری‌های آزادکننده پتاسیم را از خاک جدا کرده و نتایج نشان داد مقدار فسفر و پتاسیم قابل استفاده در خاک به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت (۳۷). مدنی و همکاران (۲۰۱۵) با تلقیح جدایه‌های باکتریایی به بستر حاوی کانی موسکویت به‌این نتیجه رسیدند که ارتفاع گیاه در پایان دوره، وزن تر و خشک کل، غلظت و مقدار پتاسیم اندام هوایی و غلظت و مقدار فسفر ریشه گیاه گوجه‌فرنگی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد بدون باکتری داشتند و بیش‌ترین میانگین به‌دست آمده برای مقدار پتاسیم جذب‌شده در میان ایزوله‌ها، مربوط به S10-3 و S21-1 بود که به‌ترتیب نسبت به شاهد افزایش ۷۰ و ٤۰ درصدی را باعث شدند (۱۸).

با توجه به نیاز اساسی گیاهان به عنصر پتاسیم و عدم دسترسی کامل به منابع پتاسیمی موجود در خاک به‌علت ساختمانی بودن و یا تثبیت این عنصر توسط کانی‌های خاک و از طرف دیگر لزوم استفاده از روش‌های زیستی در تأمین عناصر موردنیاز گیاهان به‌علت مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، این آزمایش در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت تا اثر چند گونه میکروبی را بر روی آزادسازی پتاسیم و به‌عبارتی تأمین این عنصر حیاتی برای گیاه ذرت بررسی کرده و مقایسه‌ای بین تیمارها انجام گیرد. استفاده از کود زیستی پتابارور که به‌عنوان کود زیستی پتاسیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد در کنار کود شیمیایی این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان مقایسه درستی برای تیمارهای باکتری مورد استفاده فراهم ساخت. جدایه‌های باکتریایی مورد استفاده قبلاً از نظر تأمین‌کنندگی پتاسیم مورد آزمون قرار نگرفته بودند. پس در صورت موفقیت، جدایه برتر را می‌توان برای انجام آزمایشات بعدی پیشنهاد نمود و گامی در جهت توسعه روش‌های تغذیه زیستی برداشت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۱۰ جدایه باکتریایی که طی مطالعات مختلف جداسازی شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفت که شامل *Enterobacter* sp. S16-3، *Azotobacter chroococcum*، *Bacillus* sp. 44-1، *Pseudomonas* sp. 34A-2،14SP2-1 *Pseudomonas* sp.، *Pseudomonas* sp. Az-48، *Pseudomonas* sp. S19-1 ،Az-8، *Pseudomonas* sp. S14-3، S11-2 و 36A-2L می‌باشد. به غیر از جدایه‌های S19-1+S14-3 که باکتری‌های مورد استفاده در کود زیستی پتاسیمی پتابارور (محصول شرکت زیست‌فناور سبز) و جدایه 44-1 که از بانک میکروبی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بوده، بقیه جدایه‌ها متعلق به بانک میکروبی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز می‌باشند. در ابتدا در ۳۰ میلی‌لیتر محیط کشت NB، سوسپانسیون میکروبی تهیه شده و به ۱۰ گرم حامل استریل باگاس و پرلیت (۱:۱) با رطوبت اولیه ۱۵ درصد اضافه شد. بذور ذرت مورد استفاده در این آزمایش رقم سینگل کراس ۷۰٤ بوده که پس از ضدعفونی با اتانول ۱۰ درصد به‌مدت ۳۰ ثانیه و هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به‌مدت ۱۰ دقیقه (۱) مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام آزمایش از گلدان‌های ۳ کیلوگرمی استفاده شد و تعداد ۵ بذر ذرت بعد از آغشته شدن به حامل باکتری‌ها در عمق ۳ تا ٤ سانتی‌متری زیر سطح خاک کشت شدند و بعد

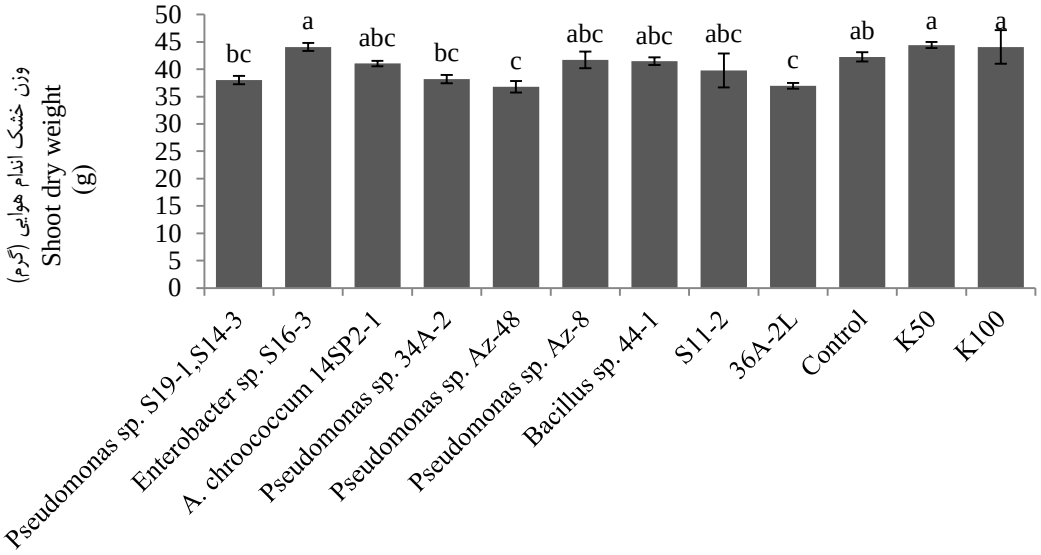
از سبز شدن گیاه، ۲ گیاه سالم تا پایان آزمایش حفظ شد. خاک مورد استفاده خاکی با مقدار پتاسیم قابل دسترس کم بوده و از منطقه خلعت‌پوشان نمونه‌برداری شده بود و قبل از استفاده در فشار ۱/۲ اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد با بخار آب استریل شد. در این تحقیق که عنصر پتاسیم هدف اصلی آزمایش بود، تیمارهای کودی بر اساس آزمون خاک به مقدار ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد توصیه شده (معادل ۳۸/۵ و ۷۶/۹ میلی‌گرم سولفات پتاسیم به ازای هر کیلوگرم خاک) ۲۰) به‌همراه تیمارهای باکتریایی و تیمار شاهد (بدون کود و بدون باکتری) استفاده شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن ۳ تکرار انجام شد. لازم به ذکر است گلدان‌های آزمایش از نظر بقیه نیازهای عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر (۲۰) و عناصر کم مصرف (۳۲) بر اساس آزمون خاک از طریق دادن کود شیمیایی تأمین شد. در طول آزمایش رطوبت گلدان‌ها در ۰/۸FC تنظیم شد. پس از برداشت گیاه و آون خشک کردن نمونه‌های گیاهی (۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد)، وزن خشک اندام هوایی و ریشه با استفاده از ترازوی حساس وزن شد. سپس نمونه‌ها هضم شده و غلظت و مقدار عناصر پتاسیم، فسفر و نیتروژن در اندام هوایی و ریشه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای اندازه‌گیری عناصر پتاسیم و فسفر، ابتدا هضم نمونه‌ها به روش هضم تر (۴۰) انجام گرفت و سپس فسفر به روش رنگ زرد (۲۶) و پتاسیم به روش فلیم‌فتومتری (۴۰) اندازه‌گیری شد. نیتروژن بافت گیاهی نیز به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (۴۰ و ۲۹). لازم به ذکر است برتری باکتری‌ها از نظر تأمین پتاسیم گیاه ذرت با استفاده از رابطه زیر مورد مقایسه قرار گرفت (۱۶):

$$\text{کارایی تغذیه پتاسیمی} = \frac{\text{مقدار پتاسیم شاهد} - \text{مقدار پتاسیم تیمار میکروبی}}{\text{مقدار پتاسیم شاهد} - \text{مقدار پتاسیم تیمار کود شیمیایی } 100\%} \times 100$$

نتایج و بحث

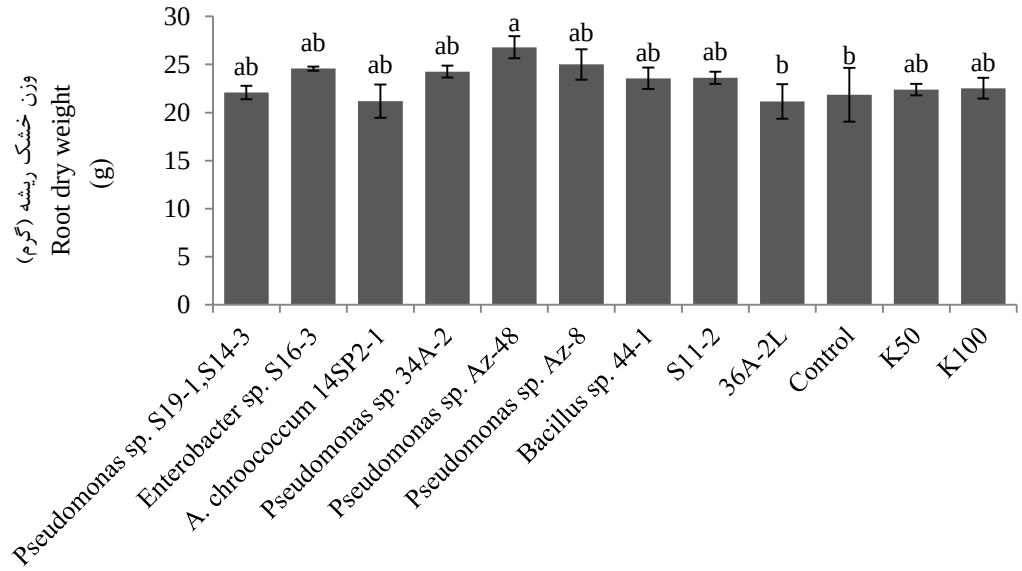
وزن خشک اندام هوایی و ریشه: وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار کودی ۵۰ درصد و سپس ۱۰۰ درصد بوده که به ترتیب برابر با ٤٤/٤٢ و ٤٤/٠٦ گرم بوده و نسبت به شاهد ۵ درصد افزایش نشان داده است اما با آن در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار باکتری *Pseudomonas* sp. Az-48 و برابر با ۳٦/۸ گرم و کاهش ۱۲/۸ درصد نسبت به شاهد بود (شکل ۱). در مورد وزن خشک ریشه، با وجود این‌که تحت تأثیر از تیمارهای آزمایش قرار نگرفت اما تیمار *Pseudomonas* sp. Az-48 بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داد (شکل ۲). همان‌طور که مشخص است بیش‌ترین وزن خشک ریشه و کمترین وزن خشک اندام هوایی به یک تیمار باکتری (*Pseudomonas* sp. Az-48) تعلق گرفته است که این می‌تواند به تفاوت در توسعه ریشه‌ها مربوط باشد. علت این می‌تواند به‌خاطر وجود ریشه‌های مویین باشد که در جذب و انتقال عناصر غذایی بهتر از ریشه‌های خشبی‌تر که وزن بالاتری دارند عمل کرده‌اند در نتیجه تیمارهای با وزن پایین‌تر ریشه به خاطر شرایط مساعدتر تغذیه‌ای اندام هوایی توسعه یافته‌تری داشته‌اند. میرزا و همکاران (۲۰۰۰) نیز، علت این امر را افزایش رشد ریشه و گسترش تارهای کشنده توسط هورمون‌های محرک رشد عنوان کردند که موجب افزایش جذب مواد غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد ذرت می‌شود (۲۳). دیلمی‌راد

و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی اثر باکتری‌های *سودوموناس* بر رشد و جذب پتاسیم در گیاه گوجه‌فرنگی نشان دادند جدایه‌های S19-1 (۱۱/۲۲ گرم) و S14-3 (۱۱/۰۲ گرم) بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی را داشتند که به‌ترتیب نسبت به شاهد ٤ و ۲ درصد افزایش داشتند اما وزن خشک ریشه شاهد با وزن ۱/۳۲ گرم بیش‌تر از بقیه بود (۵).



شکل ۱- تأثیر تیمارهای آزمایش بر وزن خشک اندام هوایی.

Figure 1. Effect of expriment treatments on shoot dry weight.



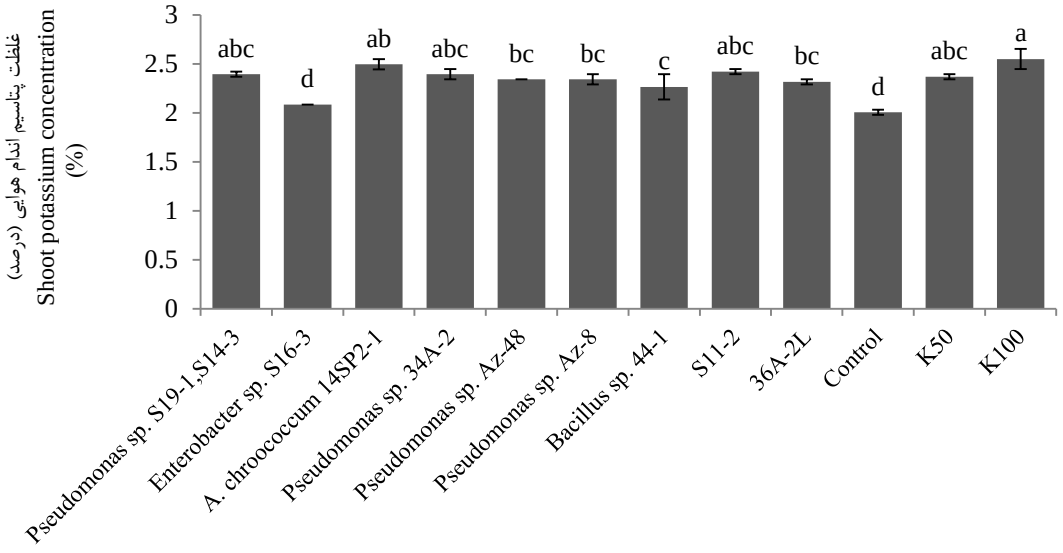
شکل ۲- تأثیر تیمارهای آزمایش بر وزن خشک ریشه.

Figure 2. Effect of expriment treatments on root dry weight.

غلظت و مقدار پتاسیم اندام هوایی: تجزیه واریانس نتایج غلظت و مقدار پتاسیم اندام هوایی نشان داد هر دو صفت در سطح احتمال ۱ درصد متأثر از تیمارهای آزمایش هستند. مقایسه میانگین غلظت پتاسیم اندام هوایی نشان داد بالاترین غلظت در تیمار کودی ۱۰۰ درصد برابر با ۲/٦ درصد بوده که با افزایش ۲۷ درصد

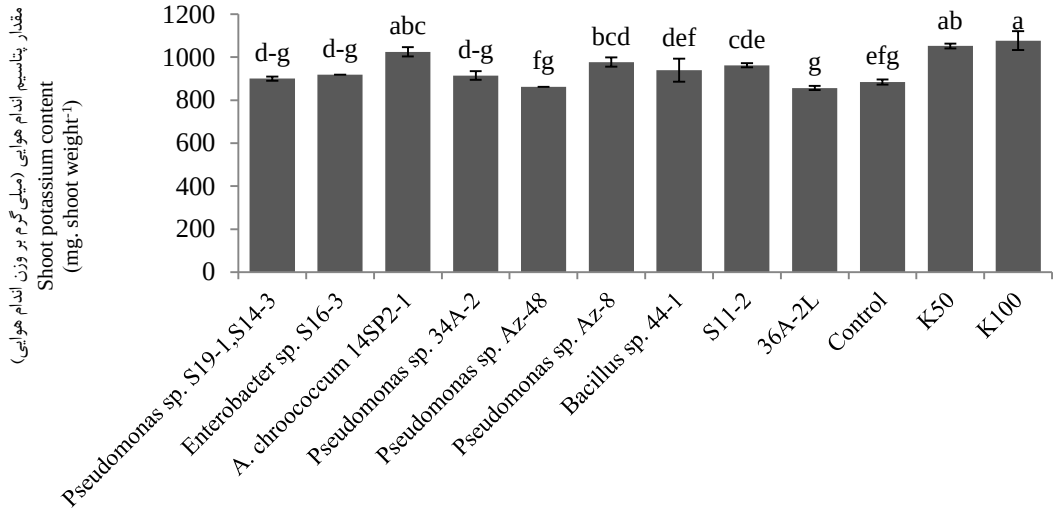
نسبت به شاهد، دارای اختلاف آماری معنی‌دار با آن است. پس از آن تیمار باکتری *A. chroococcum* 14SP2-1 بهتر از بقیه می‌باشد. کمترین غلظت پتاسیم اندام هوایی در تیمار شاهد و برابر با ۲ درصد مشاهده شد (شکل ۳). در مورد مقدار پتاسیم اندام هوایی بالاترین میانگین مربوط به تیمار کودی ۱۰۰ درصد و سپس ۵۰ درصد به‌ترتیب برابر با ۱۰۷۷/۳ و ۱۰۵۲/۳ میلی‌گرم بر وزن اندام هوایی بوده که با اختلاف آماری معنی‌دار، افزایش نسبی ۲۰/٤ درصد نسبت به شاهد داشت و کمترین مقدار پتاسیم اندام هوایی که در تیمار باکتری 36A-2L مشاهده شد، کاهش ۲۰/٤ درصد نسبت به شاهد نشان داد (شکل ٤).

غلظت و مقدار پتاسیم ریشه: غلظت و مقدار پتاسیم ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بالاترین غلظت و مقدار در تیمار باکتری *Pseudomonas* sp. Az-8 به‌دست آمد (شکل ۵ و ٦) که نسبت به شاهد در گروه‌های آماری مختلف قرار گرفتند و کمترین غلظت و مقدار پتاسیم در تیمار شاهد بوده است. غلظت پتاسیم ریشه در تیمار باکتری *Pseudomonas* sp. Az-8 برابر با ۲/٤ درصد بوده و نسبت به شاهد افزایش ۲۵/٤ درصد داشته است. مقدار پتاسیم نیز در این تیمار باکتری با افزایش ٤۳/۵ درصد نسبت به شاهد برابر با ٦۰۵/۱ میلی‌گرم بر وزن ریشه بود. کمترین غلظت و مقدار پتاسیم ریشه در تیمار شاهد به‌ترتیب برابر با ۱/۹ درصد و ٤۲۱/٤ میلی‌گرم بر وزن ریشه به‌دست آمد (شکل ۵ و ٦).



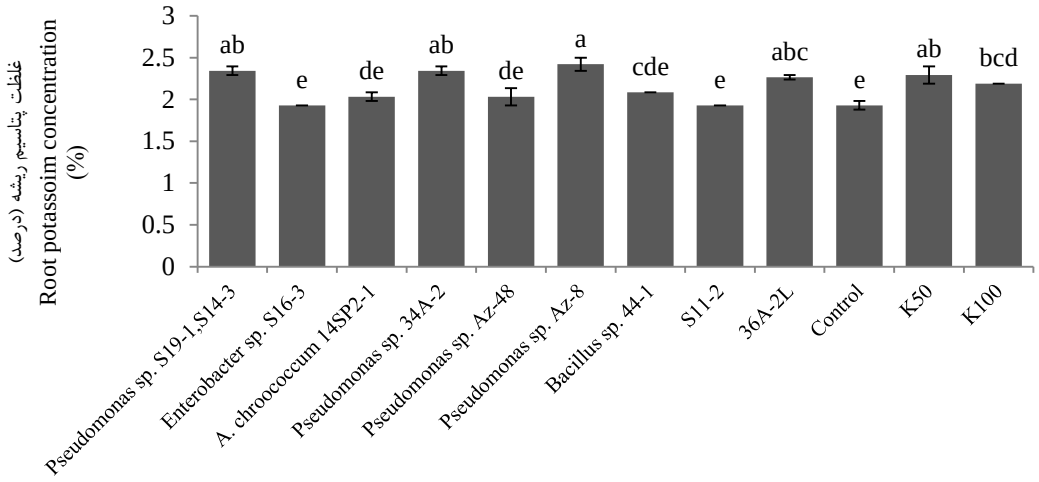
شکل ۳- تأثیر تیمارهای آزمایش بر غلظت پتاسیم اندام هوایی.

Figure 3. Effect of expriment treatments on shoot potassium concentration.



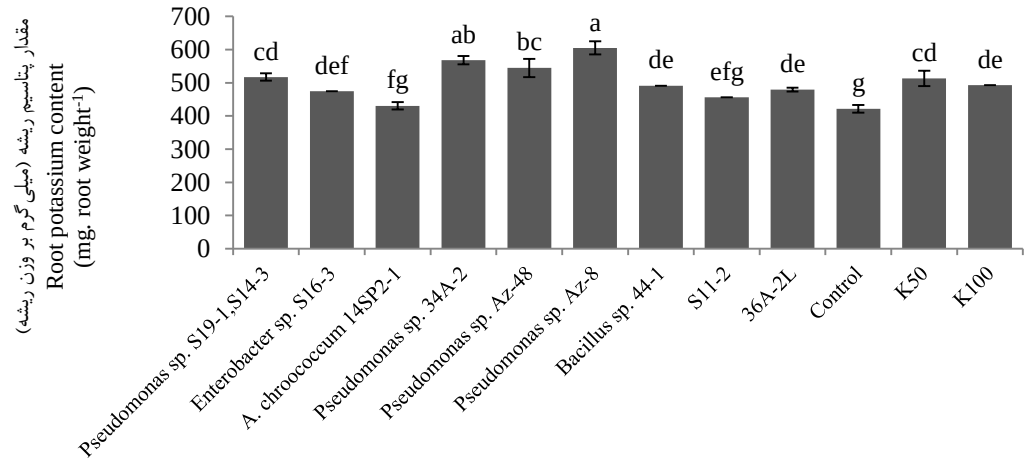
شکل ٤- تأثیر تیمارهای آزمایش بر مقدار پتاسیم اندام هوایی.

Figure 4. Effect of expriment treatments on shoot potassium content.



شکل ٥- تأثیر تیمارهای آزمایش بر غلظت پتاسیم ریشه.

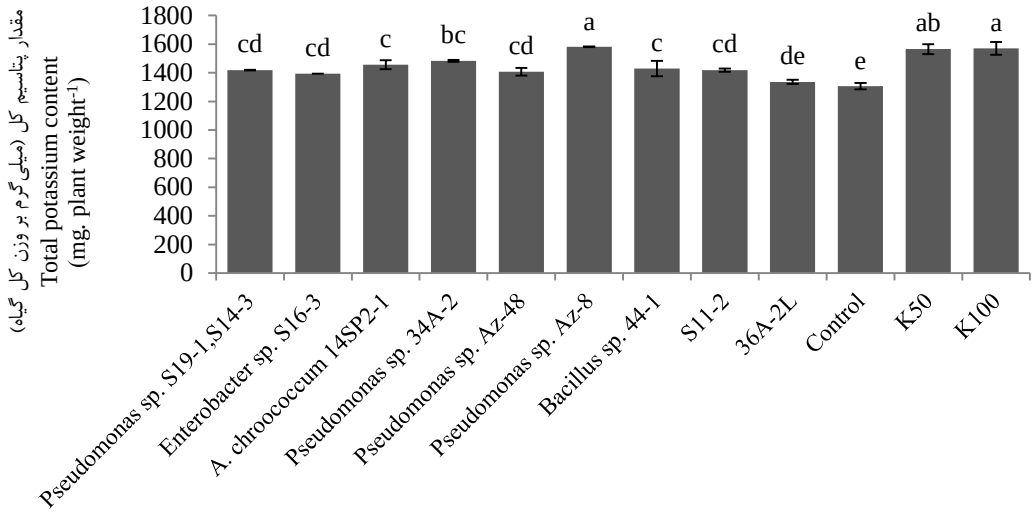
Figure 5. Effect of expriment treatments on root potassium concentration.



شکل ٦- تأثیر تیمارهای آزمایش بر مقدار پتاسیم ریشه.

Figure 6. Effect of expriment treatments on root potassium content.

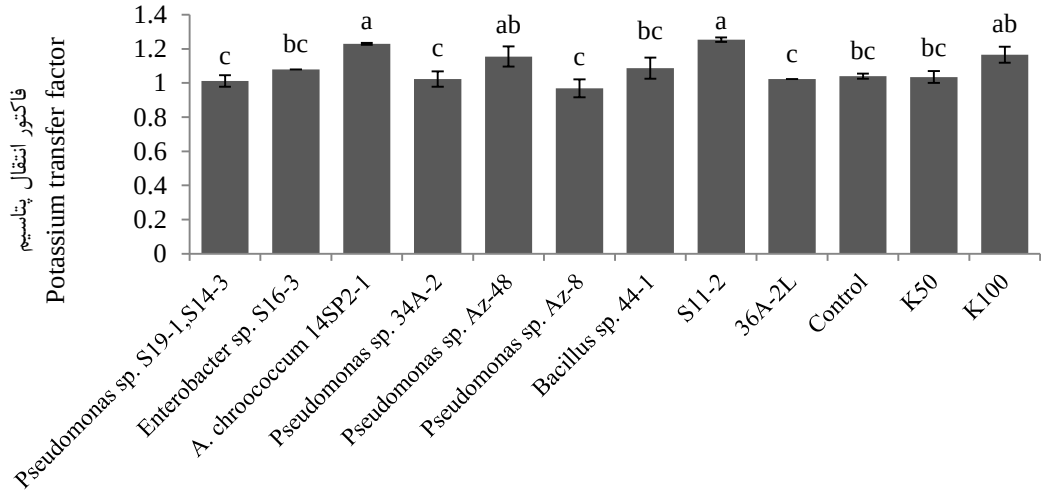
مقدار پتاسیم کل: مقدار پتاسیم کل در سطح احتمال ۱ درصد متأثر از تیمارهای آزمایشی بود. مقایسه میانگین نتایج نشان داد بالاترین مقدار آن متعلق به تیمار باکتری *Pseudomonas* sp. Az-8 و تیمار کودی ۱۰۰ درصد به‌ترتیب برابر با ۱۵۸۲ و ۱۵۷۰ میلی‌گرم بر وزن گیاه بوده است (شکل ۷). این تیمارها افزایش نسبی ۲۰/۶۷ درصد نسبت به شاهد داشته و اختلاف آماری معنی‌دار با آن داشتند. کمترین مقدار پتاسیم کل در تیمار بدون تلقیح یا همان شاهد برابر با ۱۳۰۶ میلی‌گرم بر وزن گیاه مشاهده شد.



شکل ۷- تأثیر تیمارهای آزمایش بر مقدار کل پتاسیم.

Figure 7. Effect of expriment treatments on total potassium content.

فاکتور انتقال پتاسیم: فاکتور انتقال پتاسیم که از نسبت غلظت پتاسیم اندام هوایی به ریشه به دست آمد در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود و بالاترین فاکتور انتقال در تیمار باکتری S11-2 و *A. chroococcum* 14SP2-1 با مقدار ۱/۲۶ و ۱/۲۳ مشاهده شد که با اختلاف آماری معنی‌دار نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۲۰ و ۱۸ درصدی نشان دادند (شکل ۸).



شکل ۸- تأثیر تیمارهای آزمایش بر فاکتور انتقال پتاسیم.

Figure 8. Effect of expriment treatments on potassium transfer factor.

همان‌طور که از نتایج به‌دست آمده مشخص است، تیمار کودی ۱۰۰ درصد، پتاسیم موردنیاز گیاه را به علت وجود پتاسیم در دسترس کافی، تأمین نموده ولی در بین تیمارهای باکتریایی *A. chroococcum* 14SP2-1، *Pseudomonas* sp. 34A-2 و *Pseudomonas* sp. Az-8 موفق‌تر از بقیه عمل کرده‌اند. اما جدایه Az-8 و 34A-2 با وجود جذب مقدار بالایی از پتاسیم توان انتقال آن به اندام هوایی را نداشته‌اند، این در حالی است که جدایه 14SP2-1 توان جذب و انتقال خوبی را از خود نشان داده است. *ازتوباکترکروکوکوم* و *سودوموناس* به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد، توان تجزیه سیلیکات‌ها و آزادسازی عناصری مانند پتاسیم را دارند (۱۱ و ۱۷)، توانسته‌اند در تأمین این نیاز گیاه مؤثر واقع شوند. در مورد تأثیر جدایه‌ها بر تقسیط پتاسیم در اندام هوایی و ریشه، درصد مقدار پتاسیم در جدایه‌ها را نسبت به شاهد مقایسه می‌کنیم. این مقدار در اندام هوایی و ریشه شاهد به‌ترتیب ٦٧/٧ درصد و ٣٢/٣ درصد بوده است.لازم به ذکر است این نسبت در تیمارهای کودی ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد به شاهد نزدیک بوده و در تیمار ۵۰ درصد توصیه کودی در اندام هوایی و ریشه به‌ترتیب برابر با ٦٧/٢ درصد و ٣٢/٨ درصد و در تیمار ۱۰۰ درصد توصیه کودی برابر با ٦٨/٦ درصد و ٣١/٩ درصد بود. تقسیط پتاسیم در جدایه‌هایی که دارای مقدار کل پتاسیم بالاتری بودند نظیر *Pseudomonas* sp. Az-8، *Pseudomonas* sp. 34A-2 و *A. chroococcum* 14SP2-1 در مقایسه با شاهد، در بعضی موارد کم‌تر و در برخی بیش‌تر به‌دست آمد. جدایه Az-8 و 34A-2 همان‌طور که گفته شد توان انتقال پتاسیم کمتری داشته‌اند به‌طوری‌که از مقدار کل پتاسیم در این تیمارهای باکتری، ٦١/٧ درصد به اندام هوایی و ٣٨/٣ درصد به ریشه تخصیص یافته است. اما بر خلاف این دو باکتری، درصد پتاسیم در اندام هوایی تیمار 14SP2-1 افزایش یافته و به ٧٠/٤ درصد رسیده است. انتقال پتاسیم به اندام هوایی به احتمال زیاد متأثر از ترشح برخی هورمون‌ها و تغییراتی در تنظیمات هورمونی گیاه است که متأثر از تلقیح باکتری می‌باشد. شاید ترشح یک سری اسیدهای آلی از جانب گیاه توانسته مقدار بالاتری از پتاسیم را در داخل گیاه به حالت محلول نگه داشته و توان انتقال بالاتری داشته باشد. مینا و همکاران (٢٠١٤) افزایش میزان حلالیت پتاسیم در اثر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد را ٨٤/٨– ١٢٧/٩ درصد نسبت به شاهد بیان کردند (٢٢). کاهش pH و عدم تثبیت پتاسیم در حضور کودهای زیستی از دلایل افزایش دسترسی این عنصر در خاک و به تبع آن جذب بیش‌تر آن توسط گیاه می‌باشد (٦). کشاورز زرجانی و همکاران (٢٠١٢) تأثیر ٦ سویه باکتری آزادکننده پتاسیم را بر افزایش جذب پتاسیم در گوجه‌فرنگی بررسی نموده و نتایج آن‌ها نشان داد که تلقیح هر ٦ سویه به ریشه گیاه در خاک لوم شنی با پتاسیم قابل جذب پایین، منجر به جذب بیش‌تر پتاسیم شده و حتی بیش‌تر از تیمار کود پتاسیم بوده است (١٤). نتایج اکثر آزمایش‌ها حاکی از تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد با توان تجزیه سیلیکات‌ها بر افزایش میزان پتاسیم در دسترس گیاه می‌باشد (٣، ٢٧ و ٣٦). همچنین ساریخانی و همکاران (٢٠١٧) در بررسی آزادسازی پتاسیم و تغییرات کانی‌های میکا در نتیجه تلقیح میکروبی، مقدار پتاسیم آزاد شده توسط جدایه‌ها از محیط الکساندروف را بین ٢/١٧ تا ٣/٢٣ میلی‌گرم در گرم به‌دست آورند و بیان کردند بیش‌ترین مقدار پتاسیم آزاد شده مربوط به جدایه S14-3 می‌باشد (٣٤). به‌علاوه در پژوهشی دیگر ساریخانی (٢٠١٥)، اثر ٧ سویه باکتری که متعلق به جنس‌های *سودوموناس*، *ازتوباکتر* و *باسیلوس* بودند، را بر رهاسازی پتاسیم از موسکویت و بیوتیت در

حضور منبع نامحلول فسفر $Ca_3(PO_4)_2$ و منبع محلول فسفر (Na_2HPO_4) مورد آزمون قرار دادند، نتایج نشان داد بین سویه‌های باکتریایی بیش‌ترین میانگین رهاسازی پتاسیم از *P. putida* P13 با افزایش ۲۷ درصد نسبت به شاهد بوده و باکتری‌ها در حضور تری‌کلسیم‌فسفات پتاسیم بیشتری از کانی‌ها آزاد نمودند (۳۳).

کارآیی تغذیه پتاسیمی گیاه ذرت: کارآیی تغذیه گیاه از نظر تأمین عنصر پتاسیم، در واقع نشان‌دهنده تفاوت میزان پتاسیم در تیمار باکتری نسبت به تیمارهای کودی و شاهد می‌باشد. نتایج کارآیی گیاه ذرت مطابق جدول زیر (جدول ۱) بوده همان‌طور که مشخص است بیش‌ترین کارآیی مربوط به باکتری *Pseudomonas* sp. Az-8 و برابر با ۱۰٤/۵ درصد می‌باشد.

جدول ۱- کارایی تغذیه پتاسیمی گیاه ذرت در تیمارهای باکتریایی.

Table 1. The efficiency of mays potassium nutrition in bacterial treatments.

باکتری‌ها Bacteria	S19-1+S14-3	S16-3	14SP2-1	34A-2	Az-48	Az-8	44-1	S11-2	36A-2
کارایی Efficiency (%)	42.42	32.95	56.82	67.045	38.26	104.55	46.97	42.42	11.36

غلظت و مقدار فسفر اندام هوایی: با توجه به نتایج تجزیه واریانس، غلظت فسفر اندام هوایی تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفت. اما میانگین نتایج نشان داد بیش‌ترین و کمترین غلظت فسفر اندام هوایی به‌ترتیب در تیمار کودی ۱۰۰ درصد و تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۲). در مورد مقدار فسفر اندام هوایی که در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، تیمار کودی ۱۰۰ درصد بهتر از بقیه تیمارها عمل کرده که این مقدار برابر با ۲۹/۱٤ میلی‌گرم بر وزن اندام هوایی بوده است که افزایش ۱۰/۸ درصد نسبت به شاهد داشته است (جدول ۲).

غلظت و مقدار فسفر ریشه: غلظت و مقدار فسفر ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند. بیش‌ترین غلظت در تیمار باکتری *Pseudomonas* sp. Az-8 و برابر با ۰/۱۰ درصد به‌دست آمد ولی با افزایش جزئی نسبت به شاهد با آن در یک گروه آماری قرار گرفت. در مورد نتایج مقایسه میانگین مقدار فسفر ریشه، بیش‌ترین مقدار در تیمارهای باکتری‌های Az-48 و Az-8 به‌ترتیب ۲۵/۸۸ و ۲۵/٦۱ میلی‌گرم بر وزن ریشه بوده است که با افزایش ۱٦/۸ درصد نسبت به شاهد با آن در گروه‌های آماری مختلف قرار گرفت (جدول ۲).

مقدار فسفر کل و فاکتور انتقال فسفر: تجزیه واریانس مقادیر فسفر کل نشان داد این پارامتر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و بالاترین مقدار فسفر در تیمار ۱۰۰ درصد توصیه کودی و *Pseudomonas* sp. Az-8 بوده که با شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند. فاکتور انتقال فسفر متأثر از تیمارهای آزمایش نبود اما بالاترین فاکتور انتقال در تیمار باکتری‌های *Bacillus* sp. 44-1 و *A. chroococccum* 14SP2-1 مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۲- تأثیر تیمارهای آزمایش بر غلظت و مقدار فسفر اندام هوایی و ریشه، مقدار کل و فاکتور انتقال فسفر.

Table 2. Effect of treatments on concentration and content of shoot and root P, P total content and transfer factor.

تیمارها Treatments	مقدار فسفر اندام هوایی (میلی‌گرم در وزن اندام هوایی) Shoot P content (mg shoot weight^{-1})	غلظت فسفر ریشه (درصد) Root P concentration (%)	مقدار فسفر ریشه (میلی‌گرم در وزن ریشه) Root P content (mg root weight^{-1})	مقدار فسفر کل (میلی‌گرم در وزن کل بوته) Total P content (mg plant weight^{-1})	فاکتور انتقال فسفر P transfer factor
S16-3	27.7 ^{abc}	0.090 ^{e}	22.2 ^{bc}	49.86 ^{abc}	0.697
S11-2	24.3 ^{cde}	0.094 ^{cde}	22.3 ^{b}	46.63 ^{cde}	0.649
44-1	28.1 ^{ab}	0.089 ^{e}	21.2 ^{cd}	49.22 ^{bcd}	0.754
14SP2-1	27.5 ^{abc}	0.094 ^{cde}	20 ^{e}	47.57 ^{bcd}	0.710
36A-2L	23.6 ^{de}	0.093 ^{de}	19.8 ^{e}	43.48 ^{e}	0.682
34A-2	25.3 $^{b-e}$	0.092 ^{de}	22.5 ^{b}	47.82 ^{bcd}	0.715
S19-1+S14-3	23.8 ^{de}	0.094 ^{cde}	20.9 ^{de}	44.64 ^{de}	0.663
Az-48	22.9 ^{e}	0.096 ^{bcd}	25.9 ^{a}	48.78 ^{abc}	0.645
Az-8	25.3 $^{b-e}$	0.102 ^{a}	25.6 ^{a}	50.95 ^{ab}	0.594
Control-	26.3 $^{a-e}$	0.101 ^{ab}	22 ^{bc}	48.33 ^{abc}	0.592
K50	26.7 $^{a-d}$	0.096 ^{bcd}	21.6 ^{bcd}	48.32 ^{abc}	0.623
K100	29.1 ^{a}	0.099 ^{abc}	22.3 ^{b}	51.49 ^{a}	0.695

اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهای آزمایش از نظر تأمین فسفر گیاه در حالتی به‌دست آمده که سوپرفسفات تریپل در تمام تیمارهای آزمایشی به میزان برابر استفاده شده بود. این نتیجه نشان از مؤثر بودن و برتری نسبی تیمارها در تأمین و در اختیار گیاه قرار دادن عنصر مدنظر است. نتایج به دست آمده در مورد عنصر فسفر بسیار شبیه پتاسیم بوده و تیمار کودی ۱۰۰ درصد بهتر از بقیه تیمارها می‌باشد. بین تیمارهای باکتریایی نیز تیمارهای *A. chroococcum* 14SP2-1 و *Pseudomonas* sp. Az-8 در موقعیت بهتری نسبت به بقیه هستند. بخش قابل توجه‌ای از کودهای شیمیایی بلافاصله بعد از مصرف در خاک تثبیت شده و غیرقابل استفاده می‌شود اما باکتری‌ها با ویژگی انحلال فسفات خود می‌توانند آن را مجدداً برای گیاه قابل استفاده نمایند (۳٤ و ۳۳). ماهانتا و رایی (۲۰۰۸) گزارش دادند که کودهای زیستی، به‌ویژه باکتری‌های حل‌کننده فسفات، pH خاک را از طریق تولید انواع اسیدهای آلی کاهش می‌دهند. کاهش pH خاک بر اثر کاربرد کودهای زیستی بیانگر این واقعیت است که اسیدی شدن خاک توسط اسیدهای آلی و افزایش ماده آلی خاک ممکن است علت اصلی در دسترسی بیش‌تر عناصری از قبیل فسفر و پتاسیم تثبیت‌شده باشد. در نتیجه می‌توان افزایش دسترسی فسفر و پتاسیم در این آزمایش را به کاهش pH خاک نسبت داد (۱۹). محققین گزارش کردند که این باکتری‌ها قادر به تولید ایندول استیک اسید و سیدروفور می‌باشد که سیدروفور تولید شده می‌تواند با عناصر موجود در سطح کانی کمپلکس برقرار کند و در آزادسازی عناصری مثل فسفر، پتاسیم و آهن مؤثر واقع شود (۱۰ و ٤). همانند نتایج پتاسیم، جدایه Az-8 در عین جذب زیاد فسفر توان انتقال به اندام هوایی را نداشت ولی جدایه 14SP2-1 با وجود مقدار فسفر کمتر در ریشه فاکتور انتقال بالایی دارد. قابوس و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند سویه‌ای که بیش‌ترین تأثیر را در انتقال فسفر از ریشه به اندام هوایی دارد با حل کردن فسفر نامحلول خاک اطراف ریشه و برخی اثرات جانبی دیگر، سبب انتقال بهتر فسفر به بخش هوایی خواهد شد (۸).

غلظت و مقدار نیتروژن اندام هوایی: هر دوی این پارامترها در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین غلظت و مقدار نیتروژن در

اندام هوایی به ترتیب برابر با ۰/٤۲ درصد و ۱۸۵/۱ میلی‌گرم بر وزن گیاه بوده و به تیمار *Pseudomonas* sp. Az-8 تعلق داشت که با افزایش ۱۵/۳۸ درصد و ۲۱/۹۳ درصد نسبت به شاهد، دارای اختلاف آماری معنی‌دار با آن بودند. کمترین غلظت و مقدار نیتروژن در اندام هوایی به تیمارهای *Pseudomonas* sp. 34A-2، ۵۰ درصد توصیه کودی و 36A-2L تعلق داشت که با شاهد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳).

غلظت و مقدار نیتروژن ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد غلظت و مقدار نیتروژن ریشه نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و بیش‌ترین غلظت نیتروژن در ریشه گیاهان تیمار شده با *Enterobacter* sp. S16-3 و *Pseudomonas* S19-1+S14-3 sp. برابر با ۰/٤۵ درصد به دست آمد که دارای اختلاف آماری معنی‌دار و افزایش ۳۹/۱۳ درصد نسبت به شاهد بود. در مورد مقدار نیتروژن ریشه بالاترین مقدار در تیمار باکتری *Enterobacter* sp. S16-3 و برابر با ۱۱۰/۱ میلی‌گرم بر وزن ریشه به دست آمد که افزایش ۳۸/٤۹ درصد نسبت به شاهد داشته و با آن دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود. کمترین غلظت و مقدار نیتروژن ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد توصیه کودی بوده است (جدول ۳).

مقدار کل و فاکتور انتقال نیتروژن: مقدار کل نیتروژن گیاه بر اساس تجزیه واریانس، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و بالاترین مقدار آن برابر با ۲٦٤/۵ میلی‌گرم بر وزن گیاه، در تیمار *Pseudomonas* sp. Az-8 بوده که با افزایش ۱۳/۸٦ درصد نسبت به شاهد، دارای اختلاف آماری معنی‌دار با آن می‌باشد. کمترین مقدار نیتروژن در تیمار ۵۰ درصد توصیه کودی و با اختلاف آماری معنی‌دار نسبت به شاهد بود. پارامتر فاکتور انتقال نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و بالاترین فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی در تیمار ۱۰۰ درصد توصیه کودی و برابر با ۱/۳۱ و افزایش ۱۵/۹۸ درصد نسبت به شاهد بود که در گروه‌های آماری مختلف قرار گرفتند. کمترین فاکتور انتقال در تیمار 36A-2L و برابر با ۰/۷۲ مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳- تأثیر تیمارهای آزمایش بر غلظت و مقدار نیتروژن اندام هوایی و ریشه، مقدار کل و فاکتور انتقال نیتروژن.

Table 3. Effect of expriment treatments on concentration and content of shoot and root N, N total content and transfer factor.

تیمارها Treatments	غلظت نیتروژن اندام هوایی (درصد) Shoot N concentration (%)	مقدار نیتروژن اندام هوایی (میلی‌گرم در وزن بخش هوایی) Shoot N content (mg shoot weight^{-1})	غلظت نیتروژن ریشه Root N concentration (%)	مقدار نیتروژن ریشه (درصد) Root N content (mg root weight $^{-1}$)	مقدار نیتروژن کل (میلی‌گرم در وزن ریشه) Total N content (mg plant weight $^{-1}$)	فاکتور انتقال نیتروژن (میلی‌گرم در وزن ریشه) N transfer factor
S16-3	0.336 ^{cd}	148 ^{b}	0.448 ^{a}	110.1 ^{a}	258.1 ^{ab}	0.753 ^{d}
S11-2	0.364 ^{bc}	144.8 ^{bc}	0.434 ^{ab}	102.5 ^{ab}	247.3 ^{abc}	0.847 ^{cd}
44-1	0.364 ^{bc}	150.9 ^{bc}	0.364 $^{a-d}$	85.8 $^{b-e}$	236.6 $^{a-d}$	1.006 ^{bc}
14SP2-1	0.364 ^{bc}	149.4 ^{b}	0.406 ^{abc}	85.9 $^{b-e}$	235.4 $^{a-d}$	0.898 ^{cd}
36A-2L	0.322 ^{d}	119 ^{d}	0.448 ^{a}	94.8 $^{a-d}$	213.8 ^{def}	0.724 ^{d}
34A-2	0.308 ^{d}	117.7 ^{d}	0.308 ^{d}	74.7 ^{def}	162.4 ^{ef}	1.017 ^{bc}
S19-1+S14-3	0.378 ^{b}	143.7 ^{bc}	0.448 ^{a}	98.9 ^{abc}	242.6 $^{a-d}$	0.844 ^{cd}
Az-48	0.364 ^{bc}	134 ^{c}	0.35 ^{bcd}	93.8 $^{a-d}$	227.7 ^{cd}	1.041 ^{bc}
Az-8	0.42 ^{a}	151.8 ^{b}	0.364 $^{a-d}$	80.5 $^{c-f}$	264.5 ^{a}	1.154 ^{ab}
Control-	0.364 ^{bc}	185.1 ^{a}	0.322 ^{cd}	79.5 $^{c-f}$	232.3 ^{bcd}	1.132 ^{ab}
K50%	0.266 ^{e}	118.2 ^{d}	0.308 ^{d}	68.9 ^{ef}	187.1 ^{f}	0.863 ^{cd}
K100%	0.364 ^{bc}	153.8 ^{b}	0.28 ^{d}	63.1 ^{f}	216.9 ^{de}	1.313 ^{a}

تیمار باکتری *Pseudomonas* sp. Az-8 در مورد تأمین نیتروژن گیاه بهتر از بقیه تیمارها بوده و بیش‌ترین غلظت و مقدار نیتروژن اندام هوایی و مقدار کل نیتروژن و حتی بالاترین فاکتور انتقال بعد از تیمار ۱۰۰ درصد توصیه کودی را به خود اختصاص داده است اما تیمار S16-3 با وجود جذب بالای نیتروژن توان انتقال آن به اندام هوایی را نداشت. اثر تیمار باکتری Az-8 که *سودوموناس* می‌باشد، احتمالاً می‌تواند به اثر هورمونی نظیر سیتوکینین و نیز اثر سیدرفور به‌عنوان عوامل محرک رشد گیاه نسبت داده شود که ضمن تحریک رشد، سبب هدایت یون‌های ضروری به بخش‌های هوایی می‌شود. پتاسیم خود تأثیر به‌سزایی در متابولیسم و جذب نیتروژن و انتقال مواد غذایی در گیاهان دارد (۳۱)، که در مورد نتیجه این آزمایش هم می‌توان گفت وقتی گیاه پتاسیم کافی از خاک دریافت کرده (از طریق باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات) توانسته باعث افزایش جذب نیتروژن شده و در انتقال این عنصر ضروری نیز مؤثر واقع شود. رئوستی و همکاران (۲۰۰۶) افزایش قابل ملاحظه نیتروژن و فسفر بخش‌های مختلف بوته ذرت را بر اثر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد گزارش کردند (۲۸). مرادی و همکاران (۲۰۱۶) با آنالیز عناصر گیاهی در بافت خشک گیاه بیان کردند جدایه *Psudomonas* sp. Az-48 بیش‌ترین مقدار عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن را جذب نموده است (۲٤).

نتیجه‌گیری کلی

با نگاهی کلی به نتایج آزمایش می‌توان برتری تیمارهای کود شیمیایی و برخی از جدایه‌های باکتریایی را مشاهده کرد. در این مطالعه غربالگری و انتخاب جدایه‌های کارآمد هدف آزمایش بود و نتیجه کلی نشان داد جدایه‌های *Pseudomonas* sp. Az-8 با برتری در پارامترهای مقدار پتاسیم کل، کارایی تغذیه پتاسیمی، غلظت و مقدار نیتروژن اندام هوایی و مقدار کل نیتروژن، *A. chroococcum* 14SP2-1 در پارامترهایی مانند غلظت و مقدار پتاسیم اندام هوایی و فاکتور انتقال پتاسیم و *Enterobacter* sp. S16-3 در مورد پارامترهای غلظت و مقدار نیتروژن ریشه بهتر از بقیه تیمارهای باکتریایی و در برخی موارد حتی بهتر از تیمارهای کود شیمیایی عمل کرده‌اند، لذا می‌توان برای انجام آزمایشات تکمیلی و یا مرزعه‌ای پشنهاد کرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح پژوهشی می‌باشد که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا گردیده است.

منابع

1.Arzanesh, M.H., Alikhani, H.A., Khavazi, K., Rahimian, H.A., and Miransari, M. 2011. Wheat growth enhancement by *Azospirillum* sp. under drought stress. World J. Microbiol. Biotechnol. 27: 2.197-205.

2.Bakhshandeh, S., Khormali, F., Dordipour, E., Olamaei, M., and Kehl, M. 2011. Comparing the weathering of soil and sedimentary palygorskite in the rhizosphere zone. Appl. Clay Sci., 54: 235-241.

3.Biari, A., Gholami, A., and Rahmani, H.A. 2008. Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) by application of plant growth promoting *Rhizobacteria* in arid region of Iran. J. Biol. Sci., 8: 6.1015-1020. (In Persian)

4.Chakraborty, U., Chakraborty, B., and Basnet, M. 2006. Plant growth promotion and induction of resistance in Camellia sinensis by *Bacillus megaterium*. J. Basic Microbiol. 46: 3.95-186.

5.Deilamirad, M., Sarikhani, M.R., and Oustan, Sh. 2017. Effect of potassium releasing Pseudomonas on growth and K uptake of tomato in soils with different amount of available K. J. Water Soil.,

31: 4.1159-1170. (In Persian)
6.Eidizadeh, Kh., Mahdavi Damghani, A.M., Ebrahimpoor, F., and Sabahi, H. 2012. Effects of integrated application of biological and chemical fertilizer and application method of biofertilizer on yield and yield components of maize. J. Crop Prod., 4: 3.21-35.
7.Fallah Qazaani, M., Habibi, D., Pazoki, A.R., and Khavazi, K. 2012. Effect of some *Azotobacter chroococcum* spices and humic acid on production auxin hormone, yield and yild components of wheat under different nitrogen levels, Iranian J. Agron. Plant Breed., 8: 2.97-109. (In Persian)
8.Gabos, M.B., Abreu, C.A., and Coscione, A.R. 2009. EDTA assisted phytoremediation of a Pb contaminated soil: Metal leaching and uptake by jack beans. Sci. Agric. J., 66: 4.506-514.
9.Haby, V.A., Russelle, M.D., and Skogley, E.O. 1990. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. P 181-227. In: S.H. Mickelson (ed), Soil Testing and Plant Analysis, Madison, WI., USA.
10.Heinrichs, D.E., Rahn, A., Dale, S.E., and Sebulsky, M.T. 2004. Iron transport systems in pathogenic bacteria: *Staphylococcus*, *Streptococcus*, and *Bacillus*. P 387-401. In: crosa J.H., Mey A.R., and payne S.M., (eds.), Iron Transport in Bacteria, Washington, DC: ASM Press.
11.Heiydarian Barugh, Z., Aliasgharzad, N., and Sarikhani, M.R. 2011. Importance of *Azospirillum* biofertilizers and its application in sustainable agriculture. The 1st Iranian Fertilizer Challenges congress: Half a century of the fertilizer consumption. 29 February-2 March, Tehran, Iran. (In Persian)
12.Hu, X.F., Chen, J., and Guo, G.F. 2006. Two phosphate and potassium solubilizing bacteria isolated from Tiannumountain, Zhejiang, China. World J. Microbiol. Biotechnol., 22: 9.983-990.
13.Kanimozhi, K., and Panneerselvam, A. 2010. Studies on isolation and nitrogen fixation ability of *Azospirillum spp*. isolated from Thanjavur district. Der Chemica. Sinica., 1: 3.138-145.
14.Keshavarz Zarjani, J., Aliasgharzad, N., and Oustan, Sh. 2012. Effects of six strains of potassium releasing bacteria on growth and potassium uptake of tomato Plant. J. Water Soil Sci., 23: 2.245-255. (In Persian)
15.Keshavarz, J., Aliasgharzad, N., Oustan, Sh., Emadi, M., and Ahmadi, A. 2013. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian soils, Arch. Agron. Soil Sci., 59: 12.1713-1723.
16.Khavazi, K. et al. 2012. Protocols in assessment of biofertilizers, Soil Water Res. Inst. (In Persian)
17.Khosravi, H. 2013. Biofertilizers containing plant growth promoting rhizobacteria: strengths and weaknesses. J. Land Manag., 1: 1.33-46. (In Persian)
18.Madani, O., Sarikhani, M.R., and Oustan, S. 2015. Inoculation effects of potassium releasing bacteria on K nutrition of tomato in sand-muscovite medium and identification of efficient isolates. J. Water Soil Sci., 26: 1.259-271. (In Persain)
19.Mahanta, D., and Rai, R.K. 2008. Effects of sources of phosphorus and biofertilizers on productivity and profitability of soybean (*Glycine max*) – wheat (*Triticum aestivum*) system. Indian J. Agron., 53: 279–284.
20.Malakouti, M.J., and Gheibi, M.N. 1988. Determine the Critical Nutrients Strategic and Proper Fertilizer Recommendations in the Country. Publication of Agricultural Education, Training and Equipping the Human Resources Department of Tat, The Ministry of Agriculture, Karaj. 64p. (In Persian)
21.Malakouti, M.J., Shahabi, A.A., and Bazargan, K. 2005. Potassium in Iranian Agriculture. Sana. Press, Tehran. 381p. (In Persian)
22.Meena, V.S., Maurya, B.R., and Verma, G.P. 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance K+ availability in agricultural soils. Microbiol. Res., 169: 5.337–347.
23.Mirza, M.S., Rasul, G., Mehnazs Ladha, J.K., Ali, S., and Malik, K.A. 2000. Beneficial effects of inoculated nitrogen-fixing bacteria on rice. P 191–204. In: Ladha J.K., and Reddy P.M. (eds), The Quest for Nitrogen Fixation in Rice. International Rice Research

Institute, India.
24. Moradi, S.H., Sarikhani, M.R., and Aliasgharzad, N. 2016. The effect of some bacterial isolates on root growth and nutrient uptake in corn (*Zea mays* L.), J. Agric. Sci. Sustainable Prod., 26: 4. 33-47. (In Persian)
25. Norouzi, S., and Khademi, H. 2010. Ability of alfalfa (*medicago sativa L.*) to take up potassium from different micaceous minerals and consequent vermiculitization, Plant Soil J. 328: 1.83-93.
26. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. Methods of Soil Analysis. Part 1, chemical and biological properties. Soil Sci. Soc. Am. J., Pp: 403–427.
27. Rahimzadeh, N., Olamaei, M., Khormali, F., Dordipour, E., and Amini, A. 2013. The effect of silicate dissolving bacteria on potassium release from glauconite in canola (Brassica napus) rhizosphere. J. Soil Manage., Sustain. Prod., 3: 2.169-185. (In Persian)
28. Roesty, D., Gaur, R., Johri, B.N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawaljeet, K., and Aragno, M. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bioinoculation of *arbuscular mycorrhizal* fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. J. Soil Biol. Biochem., 38: 5.1111-1120.
29. Rowell, D.L. 1994. Soil Science: Method and Application. Longman Scientific and Technical, Soil and Plant Analysis. Wageningen Agric. University, The Netherland, 350p.
30. Ruzhen, J., and Yuhong, P. 2010. Preliminary Study on Phosphate Solubilization and K-releasing Abilities of *Rhizobium tropici* Martinez-Romeroet al. Strains from Woody Legumes. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1– 6 August, Brisbane, Australia, Pp: 104-107.
31. Saber, M.S.M., and Zanaty, M.R. 1981. Effectiveness of inoculation white silicate bacteria in relation to the potassium content of plants using the intensive cropping technique. J. Agric. Res., 59(4): 280-289.
32. Sadeghi, S., Oustan, Sh., Najafi, N., Valizadeh, M., and Monirifar, H. 2017. Effect of cadmium and zink interactions on growth and chemical composition of corn (*Zea mays* cv. Single cross). J. Water Soil., 31: 2.460-477. (In Persian)
33. Sarikhani, M.R. 2015. Increasing potassium (K) release from K-containing minerals in the presence of insoluble phosphate by bacteria. Biol. J. Microorganism., 4: 16.87-96.
34. Sarikhani, M.R., Madani, O., and Oustan, Sh. 2017. Study on potassium release from mica minerals and its alternative as influenced by microbial inoculation. J. Water Soil., 31: 3.900-914. (In Persian)
35. Sheng, X.F., and Huang, W.Y. 2002. Study on the conditions of potassium release by strain NBT of silicate bacteria. Sci. Agric. Sinica., 35: 6.673-677.
36. Sheng, X.F., Zhao, F., He, L.Y., Qiu, G., and Chen, L. 2008. Isolation and characterization of silicate mineral solubilizing *Bacillus globisporus* Q12 from the surfaces of weathered feldspar. Can. J. Microbiol., 54: 12.1064-1068.
37. Sugumaran, P., and Janarthanam, B. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. World J. Agric. Sci., 3: 3.350-355.
38. Surapaneni, A., Palmer, A.S., Tillman, R.W., Kirkman, J.H., and Geregg, P.E.H. 2002. The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand. Geoderma J., 110: 3.191-204.
39. Verma, J.P., Yadav, J., Tiwari, K.N., and Jaiswal, D.K. 2014. Evaluation of plant growth promoting activities of microbial strains and their effect on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in India. Soil Biol. Biochem., 70: 33-37.
40. Waling, I., Vark, W.V., Houba, V.G.J., and Van der lee, J.J. 1989. Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, The Netherland, 179p.