# اثر مایه‌زنی توأم باکتری *Pseudomonas fluorescens* و قارچ *Glomus intraradices* بر جذب عناصر غذایی در گیاه گوجه‌فرنگی تحت سطوح مختلف شوری

**مینا حکیمی[۱*]، ناصر علی‌اصغرزاد[۲]، محمدرضا ساریخانی[۳] و نصرت‌اله نجفی[۳]**

۱-فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

۲-استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

*نویسنده مسئول: hakimi4916@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۰۶

**چکیده**

گیاهان در همزیستی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (AMF) علاوه بر جذب بیشتر آب و عناصر غذایی، می‌توانند مقاومت خود را در برابر تنش‌های محیطی از قبیل شوری و یا خشکی افزایش دهند. تصور می‌رود حضور برخی از باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) مخصوصاً سودوموناس‌ها در ریزوسفر چنین گیاهانی احتمالاً اثر هم‌افزایی داشته و اثرات مثبت قارچ‌های میکوریز را تشدید کنند. تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر مایه‌زنی توأم (و تک‌تک) دو سویه از *باکتری Pseudomonas fluorescens* و قارچ *Glomus intraradices* بر جذب عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی رقم Super strain B تحت سطوح مختلف شوری اجرا شد. بدین منظور گیاه گوجه‌فرنگی در یک طرح فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی و سه تکرار با دو سطح قارچ *Glomus intraradices* (با مایه‌زنی (AM+) و بدون مایه‌زنی (AM-))، سه سطح باکتری *Pseudomonas fluorescens* (PFT: *Pseudomonas fluorescens* Tabriz، PFC: *Pseudomonas fluorescens* Chao و $PF_0$: بدون مایه‌زنی) و چهار سطح شوری ۱/۵۶، ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر (به‌ترتیب $S_1$ تا $S_4$) حاوی مخلوطی از نمک‌های NaCl، $CaCl_2$، $MgSO_4$ و $Na_2SO_4$ مورد بررسی قرار گرفت. سطوح شوری دو هفته پس از کاشت نشاها، به‌صورت روزانه و به مدت ۴۵ روز به گلدان‌ها اضافه شد. $S_1$ (۱/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر)، EC محلول غذایی در آب مقطر به‌عنوان محیط پایه بود. نتایج تجزیه‌های آماری نشان داد که در اکثر غلظت عناصر اندازه‌گیری شده مانند فسفر اندام هوایی، پتاسیم، کلسیم و منیزیم ریشه و نیز Ca/Na ریشه و K/Na ریشه و اندام هوایی تیمار PFT باعث افزایش معنی‌دار نسبت به تیمارهای PFC و شاهد شد ($P<۰/۰۵$) و غلظت سدیم ریشه و کلراید اندام هوایی در حضور تیمار PFC به طور معنی‌دار بیشتر از تیمارهای شاهد و PFT بود ($P<۰/۰۵$). غلظت سدیم، کلسیم، منیزیم و کلراید در اندام‌های گیاه با افزایش شوری افزایش یافت، درحالیکه غلظت پتاسیم و فسفر روند کاهشی نشان دادند. بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق، مایه‌زنی گیاه گوجه‌فرنگی با باکتری PFT، شاخص‌های تحمل به شوری و در نتیجه شرایط رشد را در گوجه-فرنگی بهبود می‌بخشد.

**واژه‌های کلیدی:** باکتری‌های‌محرک رشد گیاه، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، عناصر غذایی

**مقدمه**

شوری خاک به دلیل ایجاد سمیت و جلوگیری از جذب آب و عناصر غذایی یکی از مهمترین محدودیت‌های رشد گیاهان محسوب می‌شود. شوری ۷ درصد از زمین‌های دنیا یعنی حدود ۹۳۰ میلیون هکتار را تحت تأثیر قرار داده و روز به روز این مناطق شور در حال گسترش می‌باشند (کافی، ۲۰۰۸). در ایران مساحت خاکهایی که به نوعی تحت تأثیر شوری قرار دارند بالغ بر ۳۲ میلیون هکتار است که نزدیک به ۳۰ درصد از سطح کل کشور و ۵۵ درصد از اراضی قابل کشت را

شامل می‌شود (پذیرا و همایی، ۲۰۰۳). از مهمترین عوارض شوری می‌توان به کاهش آب قابل استفادهٔ گیاه، ایجاد مسمومیت توسط برخی یونهای سمی، تنش‌های اسمزی، کمبود عناصر غذایی، فعالیت اندک عناصر ضروری، نسبت زیاد Na/Ca، Mg/Ca، Na/K و $Cl/NO_3$ در گیاه اشاره کرد که منجر به ناهنجاری‌های تغذیه‌ای، کاهش رشد و کیفیت محصول می‌شود (مانس، ۲۰۰۲؛ هاسگاوا و همکاران، ۲۰۰۰). نسبت بالای K/Na در گیاهان تحت تنش شوری به عنوان یک معیار انتخابی مهم در تعیین تحمل به شوری پیشنهاد شده است، در نتیجه گیاهانی که تحت تنش شوری دارای جذب $K^+$ بیشتر و در نتیجه دارای نسبت بالای K/Na هستند نسبت به شوری تحمل بیشتری از خود نشان می‌دهند (اشرف، ۲۰۰۴). ایجاد گیاهان مقاوم به شوری از راه مهندسی ژنتیک یا از بین بردن شوری خاک از راه شستشو به منظور کاهش اثرات شوری، اگرچه موفقیت آمیز بوده است؛ اما برای مقاصد کشاورزی اقتصادی نمی‌باشد. برای این منظور، راه‌های بیولوژیکی مانند استفاده از کودهای بیولوژیک به عنوان راه مفید پیشنهاد شده است. از مهمترین کودهای بیولوژیک که تولید و مصرف آن مورد توجه قرار گرفته است انواع باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه[1] و قارچهای میکوریزی[2] می‌باشند (گلیک و همکاران، ۱۹۹۷؛ کانتریل و لیندرمن، ۲۰۰۱). حضور قارچهای میکوریزی در خاک‌های شور و ایجاد همزیستی با ریشهٔ بسیاری از گیاهان در این شرایط نشان می‌دهد که احتمالاً برخی از این قارچها در برابر تنش شوری مقاوم بوده و در همزیستی با گیاهان، از طریق بهبود رشد گیاه، تحمل آنها را در برابر شوری افزایش می‌دهند (جونیپر و ابوت، ۱۹۹۳؛ یانو- ملو و همکاران، ۲۰۰۳). علی‌اصغرزاده (۱۳۷۶) بیان کرد که بیشترین اثر سودآور قارچهای میکوریز در جذب عناصر غذایی به خصوص فسفر برای گیاه است. همچنین جذب عناصر غذایی در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی است که یکی از دلایل آن افزایش سطح تماس ریشهٔ گیاه با خاک پیرامونی می‌باشد. برین و همکاران (۱۳۸۵) اثر شوری حاصل از NaCl و مخلوط نمک‌ها را بر عملکرد و شاخص‌های رشد گیاه گوجه‌فرنگی رقم پیتو در همزیستی با دو گونه از AMF[3] (*G. intraradices* و *G. mosseae*) مورد بررسی قرار داده و نتایج زیر را بدست آوردند: بین گونه‌های قارچی، قارچ *G. intraradices* توانست با توجه به افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد بدون قارچ، در شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل وزن خشک ریشه و بخش‌هوایی، درصد کلنیزاسیون، غلظت P, K و نسبت K/Na در بخش هوایی، ریشه و میوه، تحمل به شوری را در گیاه گوجه‌فرنگی رقم پیتو بهبود بخشد. همچنین علیرغم عدم وجود اختلاف معنی‌دار در عملکرد گوجه‌فرنگی در دو نوع ترکیب شوری، برخی از شاخص‌های بسیار مهم در ارزیابی مقاومت گیاهان به شوری از جمله نسبت K/Na و Ca/Na در شوری مخلوط نمک‌ها نتایج بهتری را نشان دادند.

همچنین استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه نیز مانند قارچهای میکوریزی ممکن است در توسعهٔ استراتژیهایی برای کمک به رشد گیاه در خاکهای شور مفید باشد. مخصوصاً سودوموناس‌های خاک توجه و دقت خاصی می‌طلبند. آنها بدلیل تنوع کاتابولیسم، توانایی کلنیزاسیون ریشه و ظرفیت برای تولید تعداد زیادی از آنزیمها و متابولیتها، به گیاه کمک می‌کنند تا تنش‌های زیستی و غیرزیستی گوناگون را تحمل نماید (وسی، ۲۰۰۳). این باکتری‌ها می‌توانند بطور مستقیم یا غیرمستقیم موجب افزایش یا تحریک رشد گیاه شوند. در روش غیرمستقیم باکتری‌های محرک رشد با استفاده از مکانیسم‌های خاص (مانند تولید آنتی‌بیوتیک، تخلیهٔ ریزوسفر از آهن، افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های غیرزنده و غیره) موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند. اما در روش مستقیم این باکتری‌ها با تثبیت آزادزی نیتروژن، تولید متابولیت‌های مؤثر در رشد گیاه، مانند هورمون‌های گیاهی (اکسین، سیتوکینین، جیبرلین)، ترشح تنظیم کننده‌های رشد گیاه، افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول مثل فسفر و پتاسیم از طریق تولید اسیدهای معدنی و آلی، تولید سیدروفور[4]ها و افزایش فراهمی عناصر کم‌مصرف بویژه آهن و تولید آنزیم ACC دآمیناز[5] مؤثر در کاهش اثرات سوء اتیلن‌تنشی، به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند (گلیک و همکاران، ۱۹۹۹).

1 - Plant growth promoting rihzobacteria (PGPR)
2 - Mycorrhizal fungi
3- Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)
4 - Siderophore
5 - ACC deaminase

تأثیر مثبت این باکتری‌ها روی سایر میکروارگانیسم‌های مفید خاک و قارچ میکوریز و همچنین کمک به جذب مواد معدنی (به خصوص فسفر و نیتروژن) توسط گیاه از مکانیسم‌های مؤثر در افزایش رشد گیاه می‌باشند (کیل و دیفاگو، ۱۹۹۷). در ریزوسفر، گیاه با آزادسازی فعال ترشحات ریشه‌ای انواع میکروارگانیسم‌های هتروتروف را به سمت ریشه جلب می‌کند (بارهآ و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین در ریزوسفر برهمکنش بین گیاه و میکروارگانیسم‌ها و همچنین میکروارگانیسم‌ها با یکدیگر بسیار شدید و متغیر است (کیلی و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از شکل‌های معمول این برهمکنش‌ها، برهمکنش بین قارچ‌ها و باکتری‌هاست. بل و همکاران (۲۰۰۳) گزارش نمودند که کاربرد همزمان باکتری *Azotobacter* و قارچ میکوریزی اثرات مثبت و هم‌افزایی بر گیاه گندم داشت و دلایل آن را تأثیر *Azotobacter* در افزایش رشد ریشه‌های مویی و افزایش رشد طولی میسیلیوم‌های قارچ و نفوذ آنها به لایه‌های زیرین خاک دانسته‌اند، که این امر امکان دسترسی گیاه به عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. نتایج نشان داد که اثرات هم‌افزایی کودهای بیولوژیک (قارچ میکوریزی و *Azotobacter*) باعث افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه، غلظت فسفر و عملکرد مادهٔ خشک و رقیق شدن غلظت برخی از عناصر معدنی جذب شده گردیده است. حساس‌ترین مرحلهٔ رشد از نظر تنش‌های شوری و خشکی در اکثر گونه‌های گیاهی، مراحل اولیهٔ رشد می‌باشد و بیشتر تحقیقات مربوط به این زمینه در همین مرحله از رشد انجام گرفته است (ذکری و پارسونز، ۱۹۹۰). با توجه به اهمیت موضوع و لزوم به کارگیری روش‌های مناسب برای کاهش اثرات مضر شوری، این تحقیق با هدف بررسی اثرات تک‌تک و برهمکنش دو سویهٔ باکتری *Pseudomonas fluorescens* دارای خصوصیت محرک رشد گیاه و قارچ *Glomus intraradices* بر غلظت برخی عناصر در ماده خشک ریشه و اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی رقم Super strain B تحت سطوح مختلف شوری، و نیز انتخاب سویهٔ باکتری کاراتر در برهمکنش با قارچ *G. intraradices* در کاهش اثرات سوء شوری در این گیاه انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### تکثیر درون شیشه‌ای[6] قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و آماده‌سازی زادمایهٔ قارچی

گونهٔ قارچی مورد آزمایش *Glomus intraradices* می‌باشد که از دپارتمان بیولوژی دانشگاه Lund سوئد دریافت گردید و به صورت درون‌شیشه‌ای تکثیر یافت، بدین ترتیب که اسپورهای این قارچ روی ریشهٔ تراریخته هویج (دارای T-DNA) روی محیط کشت MSR[7] به مدت سه ماه تکثیر شد و بعد از گذشت سه ماه، ریشه‌های تراریختهٔ میکوریزی، هیف‌های برون‌ریشه‌ای و اسپورها به عنوان زادمایهٔ قارچی خالص در ریشهٔ گیاه مورد استفاده قرار گرفت.

### تکثیر سودوموناس‌های مورد آزمایش در محیط کشت کینگ‌ب[8] و آماده‌سازی زادمایهٔ تیمارهای باکتریایی

در این تحقیق از دو سویهٔ *Pseudomonas fluorescens* (Tabriz و Chao) که از آزمایشگاه بیولوژی خاک گروه علوم خاک دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تبریز دریافت گردید، استفاده شد. جهت آماده‌سازی زادمایهٔ باکتریایی از محیط کشت مایع کینگ‌ب استفاده شد. بدین منظور از هر دو سویهٔ باکتریایی موجود در محیط کشت جامد به مقدار یکسان به ارلن‌های حاوی محیط کشت منتقل گردید. ارلن‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۹ درجه سانتی‌گراد در داخل شیکر انکوباتور با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار گرفتند، بعد از پایان این مدت جمعیت باکتری‌ها در هر میلی‌لیتر از سوسپانسیون با استفاده از روش کدورت سنجی[9] و با اندازه‌گیری چگالی نوری در طول موج ۶۰۰ نانومتر، با استفاده از جدول مک فارلند[10] $۱/۱\times۱۰^{۸}$ تعیین شد (این جمعیت زمانی حاصل می‌شود که $OD_{۶۰۰}=۰/۷$ می‌باشد) و آمادهٔ مایه‌زنی در ریشهٔ گیاهان گردید.

6- *In vitro* culture
7- Modified Strullu-Romand (MSR)
8- King′ B
9- Turbidimetry
10- Mc Farland

### تعیین ترکیب و سطوح شوری برای تهیهٔ تیمارهای شوری

ترکیب شوری به صورت مخلوطی از نمک‌های NaCl، $Na_2SO_4$، $MgSO_4.7H_2O$ و $CaCl_2.2H_2O$ تهیه شد (برین و همکاران، ۱۳۸۵). سطوح شوری نیز بر اساس جدول ماس و هافمن (۱۹۷۷) در ۴ سطح ۱/۵۶، ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر انتخاب شد، که سطح شوری اول ($EC=۱/۵۶dS\ m^{-1}$) شوری محلول غذایی جانسون[11] تهیه شده در آب مقطر و بالاترین سطح شوری نیز حدود ۶۵٪ کاهش احتمالی محصول در نظر گرفته شد (تمامی سطوح شوری در پایه محلول غذایی جانسون تهیه شدند). در نهایت با انجام محاسبات لازم مقدار نمک‌های مورد نیاز ($g\ l^{-1}$ (محلول غذایی)) برای ایجاد ECهای مورد نظر در محلول غذایی به صورت جدول ۱ آماده شد (برین و همکاران، ۱۳۸۵).

جدول ۱) مقدار نمک‌های لازم ($g\ l^{-1}$ (محلول غذایی)) برای ایجاد ECهای مورد نظر در محلول غذایی

Table 1) The amount of salts required for Create the desired EC in nutrient solution

| EC ($dS\ m^{-1}$) | 1.56 | 3 | 6 | 9 |
|---|---|---|---|---|
| $MgSO_4.7H_2O$ | - | 0.28 | 1.34 | 2.76 |
| $Na_2SO_4$ | - | 0.13 | 0.65 | 1.33 |
| NaCl | - | 0.01 | 0.03 | 0.06 |
| $CaCl_2.2H_2O$ | - | 0.24 | 1.18 | 2.42 |

### کشت بذر در خزانه به منظور تهیهٔ نشاء

در این مرحله، بذر گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum L. cv. Super strain B*) به مقدار مورد نیاز در بستر پرلیت استریل کشت شد و پس از حدود یک ماه رشد، نشاها ۲ برگی و آمادهٔ انتقال به گلدان‌های اصلی شدند. در طول مدت رشد نشاها در خزانه، سطح کشت همواره مرطوب نگه داشته شده و ۳ بار گیاهچه‌ها با محلول غذایی جانسون تغذیه شدند و همچنین گلدان‌ها زیر نور کافی و دمای روز ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد و شب ۲±۱۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

### انتقال نشاها به گلدان‌های اصلی و اعمال تیمارهای شوری

گلدان‌های حاوی پرلیت بعد از استریل شدن به اتاقک رشد منتقل شدند. بر اساس نقشهٔ طرح آزمایشی، در تیمارهای حاوی قارچ میکوریزی از ژل زادمایهٔ قارچی به مقدار یکسان و حدود $۲cm^2$ در چهار نقطهٔ مختلف با رعایت فاصله و در عمق مورد نظر، در هر گلدان قرار داده شد. در تیمارهای شاهد بدون قارچ میکوریز هم به همان مقدار ژل MSR بدون قارچ قرار داده شد. سپس برای هر گلدان چهار نشای یکدست و هم‌اندازه انتخاب و در تماس با زادمایه قرار داده شدند. در تیمارهای حاوی باکتری، یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتریایی با جمعیت $۱/۱\times۱۰^{۸}$ به اطراف ریشهٔ هر نشاء تزریق شد و برای تیمارهای شاهد بدون باکتری هم یک میلی‌لیتر از محیط مایع کینگ‌ب بدون باکتری تزریق گردید و سپس ریشهٔ نشاها در گلدان‌ها پوشانده شد. بعد از اتمام کشت، گلدان‌ها تا حد اشباع با محلول غذایی جانسون پر شدند به طوریکه مقداری از محلول از سوراخ‌های ته گلدان‌ها خارج شد و سپس به اتاقک رشد انتقال یافتند و هر روز با محلول غذایی تغذیه شدند. دو هفته بعد از استقرار کامل گیاهچه‌ها، اعمال تیمارهای شوری در داخل محلول غذایی آغاز شد. هفتهٔ اول با نصف مقدار شوری هر سطح و از هفتهٔ دوم تیمارهای شوری بطور کامل اعمال شدند. در این آزمایش برای ثابت نگه داشتن EC مورد نظر در بستر کشت گیاهان، اعمال تیمارهای شوری به صورت روزانه صورت گرفت به صورتی که مقداری از محلول داده شده از سوراخ‌های ته گلدان بیرون بیاید. در طول مدت آزمایش، گلدان‌ها در شرایط کنترل شدهٔ اتاقک رشد با شدت نور ۸۰۰۰ لوکس و مدت زمان روشنایی ۱۶ ساعت با دمای روز ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد و شب ۲±۱۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده و بعد از ۴۵ روز رشد رویشی، گیاهان برداشت و درصد کلنیزاسیون ریشه با روش تلاقی خطوط شبکه[12] (کورمانیک و مک‌گراو، ۱۹۸۲)، غلظت فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم و کلر در ریشه و اندام هوایی گیاهان با استفاده از

11- Johnson

12 - Gridline-Intersect Method

روش‌های رایج آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. همچنین نسبت‌های K/Na و Ca/Na نیز در گیاهان مورد ارزیابی قرار گرفت.

## طرح آزمایشی و تجزیهٔ آماری

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به صورت کشت گلخانه‌ای گیاه گوجه‌فرنگی در پرلیت اجرا شد که در مجموع ۷۲ واحد آزمایشی وجود داشت.

فاکتورها عبارتند از:

۱) قارچ *G. intraradices* در دو سطح (با مایه‌زنی (+AM) و بدون مایه‌زنی (-AM))،

۲) باکتری *Pseudomonas fluorescens* در سه سطح (بدون باکتری ($PF_0$)، *P. fluorescens* Tabriz (PFT) و *P. fluorescens* Chao (PFC))،

۳) شوری بر حسب دسی‌زیمنس بر متر در چهار سطح $S_1$ (غیر شور، EC= ۱/۵۶)، $S_2$ (EC= ۳)، $S_3$ (EC= ۶) و $S_4$ (EC= ۹). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار MSTATC بر مبنای روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### درصد کلنیزاسیون ریشه

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثرات اصلی قارچ میکوریز، تیمارهای باکتریایی و سطوح مختلف شوری و نیز اثرات متقابل قارچ در باکتری و قارچ در سطوح شوری بر درصد کلنیزاسیون ریشه معنی‌دار شد ($P$<۰/۰۱). مقایسه میانگین تیمارهای باکتریایی (جدول ۴) نشان داد که کاربرد هر دو باکتری توانست درصد کلنیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریزی را نسبت به تیمار بدون باکتری به طور معنی‌داری ($P$<۰/۰۵) افزایش دهد (تیمار PFC ۳۴/۸۸٪ و تیمار PFT ۳۱/۲۲٪ باعث افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه نسبت به تیمار بدون باکتری شد و بین دو باکتری از این نظر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت). آزکون و همکاران (۱۹۷۸) پیشنهاد کردند که باکتری‌های *Pseudomonas* با تولید هورمونهای رشد مثل اکسین و سیتوکینین، درصد کلنیزاسیون ریشه را افزایش می‌دهند.

جدول ۶ نشان می‌دهد که افزایش سطوح شوری باعث کاهش معنی‌دار درصد کلنیزاسیون ریشه ($P$<۰/۰۵) شد، بیشترین درصد کلنیزاسیون ریشه در سطح شوری اول (۱/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر) و کمترین آن در سطح شوری چهارم (۹ دسی‌زیمنس بر متر) دیده می‌شود (درصد کلنیزاسیون ریشه در سطح شوری چهارم ۱۵٪ کمتر از سطح شوری اول می‌باشد و بین سطوح دوم و سوم تفاوت معنی‌داری از این نظر وجود ندارد). بیشترین درصد کلنیزاسیون ریشه در مایه‌زنی مشترک قارچ میکوریز با تیمار PFC مشاهده شد و تیمار مایه‌زنی مشترک قارچ میکوریز با تیمار PFT و تیمار میکوریزی بدون باکتری به ترتیب در ردیف دوم و سوم قرار گرفتند (جدول ۴)، در مورد تیمارهای بدون قارچ هم که درصد کلنیزاسیون ریشه صفر است. مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ در سطوح شوری نیز نشان داد که با افزایش سطوح شوری، درصد کلنیزاسیون کاهش می‌یابد.

سادات و همکاران (۱۳۸۸) تأثیر گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار (قارچ‌های *Glomus etunicatum* و *Glomus intraradices*) و باکتری محرک رشد گیاه (باکتری‌های *Pseudomonas fluorescens* سویه‌های ۴، ۹ و ۱۲) را بر درصد کلنیزاسیون ریشه دو رقم گندم در یک خاک شور ($EC_e$= ۱۰/۱dS $m^{-1}$) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با کاربرد قارچ‌های *G. etunicatum* و *G. intraradices*، درصد کلنیزاسیون ریشه به طور معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون مایه‌زنی) افزایش یافت و در این میان کارایی قارچ *G. intraradices* برای کلنیزاسیون ریشه بیشتر از قارچ *G. etunicatum* بود. استفاده از باکتریهای مختلف، درصد کلنیزاسیون ریشه را نسبت به شاهد (بدون باکتری) افزایش داد، که این افزایش در مورد باکتری *P. fluorescens* سویه ۹ معنی‌دار بود. مایه‌زنی مشترک قارچ و باکتری نیز درصد کلنیزاسیون ریشه را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد ( بدون قارچ و باکتری) و مایه‌زنی مجزای هر کدام از آنها (قارچ تنها یا باکتری تنها) افزایش داد. بیشترین درصد کلنیزاسیون ریشه در مایه‌زنی مشترک قارچ *G. intraradices* با باکتری سویه ۹ مشاهده شد.

جدول ۲) تجزیه واریانس اثر قارچ میکوریز، سویه‌های باکتریایی و سطوح شوری بر درصد کلنیزاسیون، غلظت و نسبت عناصر اندازه‌گیری شده در گیاه گوجه‌فرنگی

Table 2) Analysis of variance mycorrhizal fungi, bacterial treatments and salinity levels effecs on root colonization, elements concentration and ratio in tomato plant

| منابع تغییر | درجه آزادی | فسفر اندام هوایی | فسفر ریشه | سدیم اندام هوایی | سدیم ریشه | پتاسیم اندام هوایی | پتاسیم ریشه | کلسیم اندام هوایی | کلسیم ریشه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک | 2 | $0.001^{ns}$ | $0.230^{**}$ | $0.005^{ns}$ | $1.191^{**}$ | $0.988^{ns}$ | $0.179^{**}$ | $0.012^{ns}$ | $0.136^{**}$ |
| قارچ | 1 | $0.000^{ns}$ | $0.010^{ns}$ | $0.006^{ns}$ | $0.000^{ns}$ | $0.036^{ns}$ | $0.007^{ns}$ | $0.059^{ns}$ | $0.008^{ns}$ |
| باکتری | 2 | $0.000^{ns}$ | $0.031^{ns}$ | $0.018^{ns}$ | $0.989^{**}$ | $1.440^{ns}$ | $0.052^{*}$ | $0.014^{ns}$ | $0.048^{*}$ |
| قارچ × باکتری | 2 | $0.001^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $0.026^{ns}$ | $0.028^{ns}$ | $1.818^{ns}$ | $0.003^{ns}$ | $0.009^{ns}$ | $0.009^{ns}$ |
| شوری | 3 | $0.002^{**}$ | $0.084^{*}$ | $0.196^{**}$ | $1.924^{**}$ | $1.996^{ns}$ | $0.019^{ns}$ | $0.326^{**}$ | $0.037^{*}$ |
| قارچ × شوری | 3 | $0.000^{ns}$ | $0.016^{ns}$ | $0.003^{ns}$ | $0.070^{ns}$ | $0.194^{ns}$ | $0.003^{ns}$ | $0.006^{ns}$ | $0.001^{ns}$ |
| باکتری × شوری | 6 | $0.000^{ns}$ | $0.017^{ns}$ | $0.006^{ns}$ | $0.021^{ns}$ | $0.561^{ns}$ | $0.015^{ns}$ | $0.044^{ns}$ | $0.011^{ns}$ |
| قارچ × باکتری × شوری | 6 | $0.000^{ns}$ | $0.010^{ns}$ | $0.006^{ns}$ | $0.086^{ns}$ | $2.843^{ns}$ | $0.003^{ns}$ | $0.014^{ns}$ | $4.666^{ns}$ |
| خطای آزمایش | 46 | 0.000 | 0.024 | 0.008 | 0.101 | 1.239 | 0.010 | 0.015 | 4.859 |
| ضریب تغییرات (٪) | | 15.29 | 0.82 | 17.31 | 26.81 | 16.74 | 0.50 | 30.71 | 16.23 |

ادامه جدول (۲) Table 2 continued

| **منابع تغییر** | درجه آزادی | کلر اندام هوایی | منیزیم اندام هوایی | منیزیم ریشه | K/Na اندام هوایی | K/Na ریشه | Ca/Na اندام هوایی | Ca/Na ریشه | درصد کلنیزاسیون ریشه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک | 2 | $0.071^{ns}$ | $0.002^{ns}$ | $0.161^{ns}$ | $3.324^{ns}$ | $0.653^{**}$ | $0.009^{ns}$ | $0.570^{**}$ | $6.931^{*}$ |
| قارچ | 1 | $0.011^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $0.028^{ns}$ | $4.687^{ns}$ | $0.008^{ns}$ | $0.015^{ns}$ | $0.009^{ns}$ | $94105.6^{**}$ |
| باکتری | 2 | $0.644^{ns}$ | $0.008^{**}$ | $0.323^{**}$ | $23.980^{*}$ | $0.367^{**}$ | $0.009^{ns}$ | $0.357^{**}$ | $774.06^{**}$ |
| قارچ × باکتری | 2 | $0.084^{ns}$ | $0.008^{**}$ | $0.061^{ns}$ | $19.274^{ns}$ | $0.015^{ns}$ | $0.024^{ns}$ | $0.024^{ns}$ | $774.06^{**}$ |
| شوری | 3 | $15.42^{**}$ | $0.021^{**}$ | $0.014^{ns}$ | $251.875^{**}$ | $0.384^{**}$ | $0.058^{**}$ | $0.532^{**}$ | $111.4^{**}$ |
| قارچ × شوری | 3 | $0.110^{ns}$ | $0.000^{ns}$ | $0.006^{ns}$ | $2.031^{ns}$ | $0.027^{ns}$ | $0.005^{ns}$ | $0.018^{ns}$ | $111.4^{**}$ |
| باکتری × شوری | 6 | $0.153^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $0.037^{ns}$ | $4.653^{ns}$ | $0.034^{ns}$ | $0.006^{ns}$ | $0.025^{ns}$ | $1.54^{ns}$ |
| قارچ × باکتری × شوری | 6 | $0.167^{ns}$ | $0.002^{ns}$ | $0.010^{ns}$ | $0.030^{ns}$ | $0.014^{ns}$ | $0.003^{ns}$ | $0.021^{ns}$ | $1.54^{ns}$ |
| خطای آزمایش | 46 | 0.218 | 0.001 | 0.058 | 0.037 | 0.053 | 0.010 | 0.031 | 5.58 |
| ضریب تغییرات (٪) | | 31.53 | 8.63 | 1.22 | 53.21 | 15.13 | 21.49 | 18.95 | 6.54 |

**، * و ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار

** , * and ns: significant at %1, %5 probability level and non significant respectively

جدول ۳) مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای باکتریایی بر غلظت عناصر (درصد) اندازه‌گیری شده در گیاه

Table 3) Effect of bacterial treatments on elements concentration (%) in plant

| تیمارهای باکتریایی | فسفر اندام هوایی | پتاسیم ریشه | سدیم ریشه | کلسیم ریشه | منیزیم ریشه | منیزیم اندام هوایی | کلر اندام هوایی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | درصد | | | | | | |
| $PF_0$ | $0.127^{b}$ | $2.629^{ab}$ | $1.146^{b}$ | $0.916^{ab}$ | $1.003^{a}$ | $0.436^{b}$ | $1.439^{ab}$ |
| PFC | $0.122^{c}$ | $2.367^{b}$ | $1.404^{a}$ | $0.818^{b}$ | $0.657^{b}$ | $0.464^{a}$ | $1.664^{a}$ |
| PFT | $0.130^{a}$ | $2.979^{a}$ | $1.003^{b}$ | $1.047^{a}$ | $1.080^{a}$ | $0.429^{b}$ | $1.345^{b}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند

(بدون باکتری ($PF_0$)، *P. fluorescens* Tabriz (PFT) و *P. fluorescens* Chao (PFC))

جدول ۴) مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای باکتریایی بر نسبت عناصر و درصد کلنیزاسیون در گیاه

Table 4) Effect of bacterial treatments on elements ratio and root colonization in plant

| تیمارهای باکتریایی | K/Na ریشه | K/Na اندام هوایی | Ca/Na ریشه | درصد کلنیزاسیون ریشه |
|---|---|---|---|---|
| $PF_0$ | $2.793^{a}$ | $13.630a^{b}$ | $0.972^{a}$ | $29.625^{b}$ |
| PFC | $1.970^{b}$ | $12.553^{b}$ | $0.683^{b}$ | $39.958^{a}$ |
| PFT | $3.733^{a}$ | $14.550^{a}$ | $1.344^{a}$ | $38.875^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند

جدول ۵) مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح شوری بر غلظت عناصر (درصد) اندازه‌گیری شده در گیاه

Table 5) Effect of salinity levels on element concentrations (%) in plant

| EC (dS/m) | فسفر ریشه | فسفر اندام هوایی | سدیم ریشه | سدیم اندام هوایی | کلسیم ریشه | کلسیم اندام هوایی | منیزیم اندام هوایی | کلر اندام هوایی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | درصد | | | | | | | |
| 1.56 | $0.179^{a}$ | $0.143^{a}$ | $0.846^{b}$ | $0.386^{c}$ | $1.028^{a}$ | $1.339^{b}$ | $0.405^{d}$ | $0.257^{d}$ |
| 3 | $0.157^{ab}$ | $0.122^{b}$ | $0.962^{b}$ | $0.500^{b}$ | $1.006^{a}$ | $1.482^{ab}$ | $0.427^{c}$ | $1.350^{c}$ |
| 6 | $0.132^{b}$ | $0.122^{b}$ | $1.470^{a}$ | $0.554^{b}$ | $0.867^{ab}$ | $1.619^{a}$ | $0.456^{b}$ | $1.909^{b}$ |
| 9 | $0.121^{b}$ | $0.119^{c}$ | $1.459^{a}$ | $0.635^{a}$ | $0.807^{b}$ | $1.622^{a}$ | $0.483^{a}$ | $2.414^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند

جدول ۶) مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح شوری بر نسبت عناصر و درصد کلنیزاسیون در گیاه

Table 6) Effect of salinity levels on elements ratio and root colonization

| EC $dS\ m^{-1}$ | K/Na ریشه | K/Na اندام هوایی | Ca/Na ریشه | Ca/Na اندام هوایی | درصد کلنیزاسیون ریشه |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.56 | $3.91^{a}$ | $18.75^{a}$ | $1.403^{a}$ | $3.58^{a}$ | $39.39^{a}$ |
| 3 | $3.50^{a}$ | $13.49^{b}$ | $1.309^{a}$ | $3.05^{b}$ | $36.44^{b}$ |
| 6 | $1.87^{b}$ | $12.12^{b}$ | $0.674^{b}$ | $3.05^{b}$ | $35.33^{b}$ |
| 9 | $2.05^{b}$ | $9.95^{c}$ | $0.612^{b}$ | $2.59^{b}$ | $33.44^{c}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند

**غلظت فسفر گیاه**

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، فقط اثر سطوح مختلف شوری بر غلظت فسفر ریشه معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$)، جدول مقایسه میانگین این اثر (جدول ۵) کاهش غلظت فسفر ریشه را با افزایش سطوح شوری نشان می‌دهد. رجالی و همکاران (۱۳۸۹) نیز در بررسی اثر همزیستی میکوریزی بر کارایی مصرف آب، تجمع پرولین و جذب عناصر غذایی در گندم در شرایط شور (شوری حاصل از دو نمک NaCl و $CaCl_2$) به این نتیجه رسیدند که اثر اصلی سطوح شوری بر غلظت فسفر گیاه در سطح ۱٪ معنی‌دار است بطوریکه با افزایش شوری میزان جذب فسفر کاهش می‌یابد.

جدول تجزیه واریانس همچنین نشان می‌دهد که مانند ریشه، فقط اثر اصلی سطوح شوری بر غلظت فسفر اندام هوایی معنی‌دار است ($P<۰/۰۱$)، به این صورت که افزایش سطوح شوری باعث کاهش معنی‌دار غلظت این عنصر در اندام هوایی شده است (جدول ۵). با توجه به این که فسفر یک عنصر غیر متحرک در خاک است، می‌توان کاهش جذب آن را به کاهش طول ریشه گیاه در شرایط شوری نسبت داد. دلیل دیگر برای کاهش جذب فسفر، احتمالاً وجود یون‌های کلسیم و منیزیم در محیط است که موجب غیر فعال شدن فسفر در خاک می‌شود. بالا بودن قدرت یونی محیط‌های شور نیز عامل دیگری برای کاهش فعالیت فسفر در خاک می‌باشد (اواد و همکاران، ۱۹۹۰). پاپادوپولوس و رندیگ (۱۹۸۳) معتقدند که در خاکهای شور، آنیونهای $Cl^-$ و $H_2PO_4^-$ برای جذب توسط گیاه با یکدیگر رقابت می‌کنند و در نتیجه جذب فسفر و تجمع آن در اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد.

نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای باکتریایی (جدول ۳)، معنی‌داری این اثر را بر غلظت فسفر اندام هوایی می‌رساند ($p<۰/۰۵$)، باتوجه به جدول ۳، بالاترین غلظت فسفر توسط اندام هوایی در حضور تیمار PFT و سپس به ترتیب در تیمارهای بدون باکتری ($PF_0$) و تیمار PFC بوده است. با این توضیح که تیمار PFT نسبت به تیمار بدون باکتری ۲/۴٪ و نسبت به تیمار PFC ۶/۵ ٪ غلظت فسفر اندام هوایی را افزایش داده است و از این نظر هم کاربرد آن به عنوان باکتری محرک رشد نسبت به تیمار PFC ارجحیت دارد.

**غلظت پتاسیم گیاه**

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که فقط تأثیر تیمارهای باکتریایی بر غلظت پتاسیم ریشه معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$). بین دو سویهٔ باکتریایی از نظر غلظت پتاسیم ریشه تفاوت معنی‌دار مشاهده شد ولی این دو سویه از نظر این صفت با تیمار شاهد ($PF_0$) اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). کاربرد تیمار PFT نسبت به تیمار PFC باعث افزایش ۲۵/۸۵٪ غلظت پتاسیم در ریشهٔ گیاه شد. این افزایش می‌تواند در نتیجهٔ تولید هورمونهای گیاهی و افزایش رشد ریشه و به عبارت دیگر افزایش سطح جذب ریشه در گیاهان مایه‌زنی شده با تیمار PFT باشد. طی تحقیقی فضائلی و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر شوری (نمک‌های کلرید سدیم، کلرید منیزیم و کلرید کلسیم) بر جذب برخی عناصر غذایی و کارآیی همزیستی *Sinorhizobium meliloti* (مقاوم به شوری و حساس به شوری) با سه رقم یونجه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مایه‌زنی با باکتری *S. meliloti* مقاوم به شوری، باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در گیاه یونجه شد.

در تحقیق حاضر غلظت پتاسیم ریشه با افزایش سطوح شوری، کاهش یافت ولی این کاهش معنی‌دار نبود (علت کاهش جذب پتاسیم در شرایط شور، انتقال کاتیونهای $Na^+$ و $K^+$ با یک پروتئین مشترک است که $Na^+$ برای شارش به درون سلول با $K^+$ رقابت می‌نماید (پرواز و ستیاواتی، ۲۰۰۸). همچنین با وجود غلظت زیاد پتاسیم در ریشهٔ گیاهان میکوریزی، اثر تیمار قارچ میکوریز آربوسکولار بر این صفت معنی‌دار نشد. اثرات متقابل موجود نیز نتوانسته‌اند تأثیر معنی‌داری روی غلظت پتاسیم ریشه داشته باشند.

جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که هیچ یک از اثرات اصلی (قارچ میکوریز آربوسکولار، تیمارهای باکتریایی و سطوح مختلف شوری) تأثیر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم اندام هوایی نداشته است، همچنین اثرات متقابل موجود نیز نتوانسته‌اند اثر معنی‌داری بر روی این صفت داشته باشند. با توجه به نتایج به دست آمده غلظت پتاسیم اندام هوایی در همه تیمارها بیشتر از ریشه می‌باشد، پیشنهاد گردیده است بالا بودن پتاسیم اندام هوایی

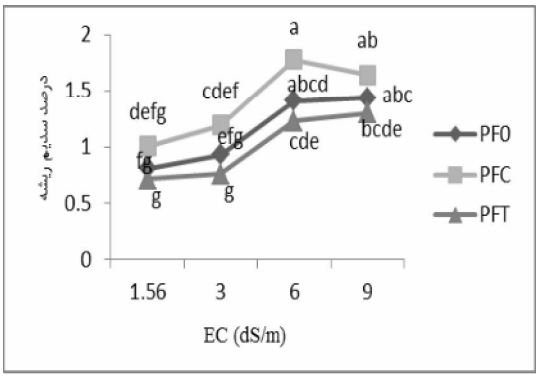
نسبت به ریشه در شرایط تنش شوری نوعی پاسخ گیاه نسبت به تجمع سدیم زیاد در برگ می‌باشد (کاچورو و همکاران، ۱۹۹۳ و میری و همکاران، ۱۹۷۱).

**غلظت سدیم گیاه**

اثر تیمارهای باکتریایی و سطوح مختلف شوری، بر غلظت سدیم ریشهٔ گیاه معنی‌دار به دست آمد ($P$<۰/۰۱). مقایسه میانگین تیمارهای باکتریایی (جدول ۳)، نشان داد که بیشترین غلظت سدیم ریشهٔ گیاه مربوط به تیمار PFC (۲۲/۵٪ بیشتر از تیمار بدون باکتری و ۴۰٪ بیشتر از تیمار PFT) و پس از آن تیمار بدون باکتری ($PF_0$) در سطح بعدی قرار گرفت و تیمار PFT، با کمترین غلظت سدیم ریشه پائین‌ترین سطح را به خود اختصاص داد.

نتایج مقایسه میانگین سطوح شوری (جدول ۵)، نشان داد که با افزایش سطوح شوری، غلظت سدیم ریشه روند افزایشی دارد، علت این افزایش استفاده از نمک‌های NaCl و $Na_2SO_4$ در تهیهٔ محلولهای شوری و در نتیجه افزایش غلظت یون سدیم در محیط ریشه می‌باشد. از نظر این صفت بین سطوح اول و دوم شوری و بین سطوح سوم و چهارم شوری با هم تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و بیشترین غلظت سدیم در سطح شوری چهارم (۹ دسی‌زیمنس بر متر) و کمترین غلظت در سطح شوری اول (۱/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر) دیده می‌شود. افزایش غلظت سدیم در گیاه با افزایش سطوح شوری طی تحقیقات زیادی گزارش شده است. در تحقیقی که برین و همکاران (۱۳۸۵) روی اثر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی تحت شوری حاصل از NaCl و مخلوط نمک‌ها انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با افزایش سطوح شوری در هر دو نوع ترکیب شوری، غلظت سدیم ریشه وساقه افزایش معنی‌داری دارد. همچنین جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمار قارچ میکوریز آربوسکولار اثر معنی‌داری روی غلظت سدیم ریشه نداشته است.

نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱) نشان می‌دهد که اثر متقابل تیمارهای باکتریایی و سطوح مختلف شوری بر غلظت سدیم ریشه گیاه معنی‌دار است ($P$<۰/۰۵) و با افزایش سطوح شوری غلظت سدیم ریشه افزایش می‌یابد و در کلیه سطوح شوری، تیمار PFT توانسته است غلظت سدیم ریشه گیاه را نسبت به تیمار PFC و شاهد کاهش دهد (البته این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار نبوده است)، پس تیمار PFT نسبت به تیمار PFC کارایی بهتری در کاهش اثرات مضر شوری دارد.




شکل ۱) مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای باکتریایی و سطوح شوری بر درصد سدیم ریشه

Fig. 1) Interaction effect of bacterial treatments and salinity levels on %Na in root

رجبی و همکاران (۱۳۸۹) کارآیی چهار سویه از باکتری *Pseudomonas fluorescens* را بر میزان جذب عناصر غذایی در برنج تحت شرایط آبیاری با آب شور بررسی کردند، نتایج نشان داد که اثر تیمارهای شوری و باکتری و نیز اثر متقابل باکتری در شوری بر غلظت سدیم گیاه معنی‌دار بود ($P$<۰/۰۱). بطوریکه با افزایش شوری آب، میزان سدیم گیاه افزایش یافت و لیکن با مایه‌زنی باکتری میزان جذب سدیم کاهش یافت، در بالاترین سطح شوری با مایه‌زنی باکتری میزان جذب سدیم نسبت به شاهد ۳۹/۳٪ کاهش یافت.

تجزیه واریانس غلظت سدیم اندام هوایی (جدول ۲) نشان داد که فقط اثر سطوح مختلف شوری بر این صفت معنی‌دار بوده ($P$<۰/۰۱) و تیمارهای قارچی و باکتریایی نتوانستند این صفت را تحت تأثیر قرار دهند. مقایسه میانگین این اثر (جدول ۵) مشخص می‌کند که با افزایش سطوح شوری، غلظت سدیم اندام هوایی روند افزایشی داشته است، علت این افزایش هم مانند ریشه افزایش غلظت یون سدیم در محیط رشد گیاه می‌باشد. غلظت سدیم بین سطوح دوم و سوم شوری از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارد، سطح شوری چهارم (۹ دسی‌زیمنس بر متر) سدیم اندام هوایی را ۶۴/۵٪ نسبت به سطح اول (۱/۵۶

دسی‌زیمنس بر متر) افزایش داد. تحقیقی که توسط علی‌اصغرزاده و اسفندیاری (۲۰۰۴) در بررسی اثرات همزیستی توأم قارچ‌های میکوریز و باکتری *Sinorhizobium meliloti* بر عملکرد، میزان پروتئین و جذب برخی عناصر غذایی یونجه در سطوح مختلف شوری انجام شد نیز نشان داد که با افزایش سطوح شوری غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی در یونجه افزایش می‌یابد.

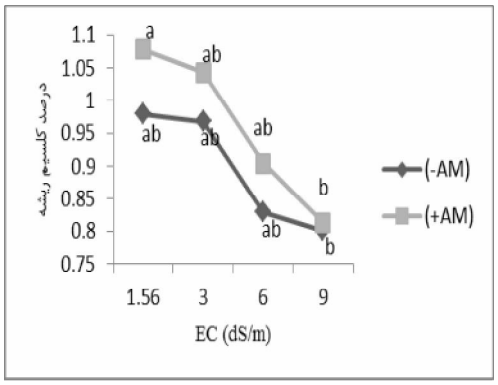
**غلظت کلسیم گیاه**

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی تیمارهای باکتریایی و سطوح شوری بر غلظت کلسیم ریشه معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$). مقایسه میانگین اثر تیمارهای باکتریایی (جدول ۳) نشان داد بیشترین غلظت کلسیم در حضور تیمار PFT و کمترین غلظت در حضور تیمار PFC در ریشه حاصل شده است. تیمار PFT نسبت به تیمار PFC کلسیم ریشه را ۲۸٪ افزایش داده است، تیمار شاهد هم از نظر غلظت کلسیم ریشه مابین دو تیمار PFT و PFC قرار گرفته است ولی به لحاظ آماری بین تیمارهای باکتریایی با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. لیکسیا و همکاران (۲۰۱۰) ضمن مطالعهٔ نقش باکتری *Pseudomonas putida Rs-198* بر رشد و جذب عناصر غذایی در پنبه در شرایط تنش شوری گزارش دادند که با کاربرد زادمایهٔ باکتریایی، میزان جذب پتاسیم، کلسیم و منیزیم افزایش و میزان جذب سدیم کاهش یافت.

مقایسه میانگین سطوح مختلف شوری (جدول ۵) هم بیانگر این است که با افزایش سطوح شوری، غلظت کلسیم ریشه کاهش می‌یابد، به طوریکه بالاترین غلظت کلسیم ریشه در سطح شوری اول (۱/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر) و پایین‌ترین غلظت در سطح چهارم (۹ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده می‌شود. اشرف و عروج (۲۰۰۶) با مطالعه در مورد گیاه *Trachyspemum ammi* L. نشان دادند که افزایش شوری (مخلوط نمک‌ها) موجب افزایش سدیم و کاهش پتاسیم و کلسیم در ریشه و ساقه گیاه می‌شود. همچنین با وجود اینکه غلظت کلسیم ریشه در تیمار میکوریزی (AM+) بیشتر از تیمار غیر میکوریزی (AM-) است، نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) عدم معنی‌داری این تیمار را بر روی غلظت کلسیم ریشه نشان می‌دهد.

مقایسه میانگین اثرات متقابل موجود بین تیمارهای مختلف نشان داد اثر متقابل قارچ و سطوح شوری بر غلظت کلسیم ریشه معنی‌دار است (شکل ۲)، بطوریکه در شکل هم مشاهده می‌شود با افزایش سطوح شوری، غلظت کلسیم ریشه در هر دو تیمار میکوریزی و غیر میکوریزی کاهش می‌یابد و در همه سطوح شوری غلظت کلسیم ریشه در تیمار میکوریزی بالاتر از تیمار غیر میکوریزی است که البته از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) فقط اثر اصلی سطوح شوری بر غلظت کلسیم اندام هوایی معنی‌دار شد و بقیه اثرات اصلی (تیمارهای قارچی و باکتریایی) و اثرات متقابل موجود نتوانستند این غلظت را بطور معنی‌دار تحت تأثیر قرار دهند. مقایسه میانگین سطوح مختلف شوری (جدول ۵) نشان می‌دهد افزایش سطوح شوری باعث افزایش غلظت کلسیم اندام هوایی گیاه گردید. تفاوت غلظت کلسیم بین سطح اول و دوم شوری با هم و بین سطوح دوم، سوم و چهارم با هم معنی‌دار نمی‌باشد.




شکل ۲) مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ میکوریز و سطوح شوری بر درصد کلسیم ریشه

Fig. 2) Interaction effect of mycorrhizal fungi and salinity levels on %Ca in root

**غلظت منیزیم گیاه**

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که غلظت منیزیم ریشه فقط تحت تأثیر تیمارهای باکتریایی در سطح ۱٪ قرار گرفت، بقیه اثرات اصلی و متقابل نتوانستند غلظت این عنصر را در ریشه بطور معنی‌داری تغییر دهند. مقایسه میانگین تیمارهای

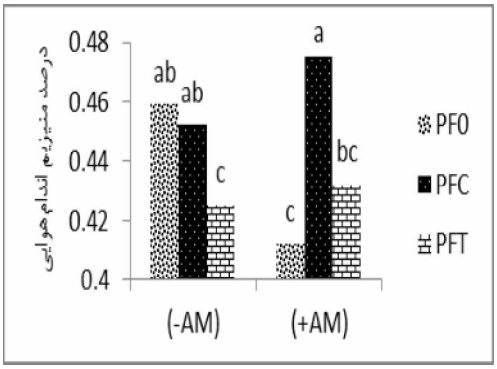
باکتریایی (جدول ۳) نشان داد که با کاربرد تیمار PFT غلظت منیزیم در ریشه نسبت به تیمار PFC ۶۴/۳۸٪ افزایش یافت، تیمار PFT باعث افزایش غلظت منیزیم ریشه نسبت به تیمار شاهد هم شد ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود.

جلیلی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی به منظور بررسی تأثیر سودوموناس‌های فلورسنت محرک رشد گیاه بر میزان جذب عناصر غذایی و رشد کلزا در شرایط شور (NaCl) به این نتیجه رسیدند که کاربرد سویه‌های $P_f$196، Pp108 و $Pf_0$169 غلظت منیزیم را بطور معنی‌داری نسبت به شاهد بدون باکتری افزایش داد. جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) برای غلظت منیزیم اندام هوایی نشان می‌دهد که این صفت تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای باکتریایی، سطوح شوری و همین‌طور اثر متقابل قارچ میکوریز و سویه‌های باکتریایی بوده است.

مقایسه میانگین اثر تیمارهای باکتریایی بر غلظت منیزیم اندام هوایی (جدول ۳)، نشان می‌دهد که بالاترین غلظت منیزیم اندام هوایی در حضور تیمار PFC می‌باشد، این تیمار توانسته است غلظت منیزیم اندام هوایی را ۸/۱۶٪ نسبت به تیمار PFT و ۶/۴۲٪ نسبت به تیمار شاهد ($PF_0$) افزایش دهد. تیمار PFT باعث کاهش غلظت این عنصر در اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد که البته این کاهش معنی‌دار نبود.

مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح شوری بر غلظت منیزیم اندام هوایی (جدول ۵)، افزایش غلظت منیزیم را در اندام هوایی با افزایش سطوح شوری نشان می‌دهد. نکتهٔ مهم این است که در اکثر مطالعات شوری که تاکنون انجام گرفته است، عمدتاً از نمک های NaCl و $CaCl_2$ استفاده کرده‌اند، لذا در اکثر موارد غلظت منیزیم را گزارش نکرده و یا کاهش آن را با افزایش شوری در اندام‌های گیاهی گزارش نموده‌اند (گراتان و گریو، ۱۹۹۹)، در حالیکه در این تحقیق منیزیم (به شکل $MgSO_4$) یکی از کاتیون‌های عمدهٔ شوری بود و افزایش غلظت آن با افزایش شوری قابل توجیه است. برین و همکاران (۱۳۸۵) با بررسی اثر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی تحت شوری حاصل از NaCl و مخلوط نمک‌ها در مورد غلظت منیزیم اندام هوایی به این نتیجه رسیدند که بیشترین غلظت در سطح چهارم شوری ($EC=8\ dS\ m^{-1}$) مخلوط نمک‌ها بود که با سایر سطوح شوری اختلاف معنی‌داری داشت. ولی افزایش سطوح شوری در NaCl، تأثیر معنی‌داری روی این صفت در اندام هوایی نداشت.

شکل ۳ نشان می‌دهد که در حضور تیمارهای باکتریایی، قارچ AM نتوانسته غلظت منیزیم اندام هوایی را بطور معنی‌دار تغییر دهد در حالیکه در عدم حضور تیمارهای باکتریایی، قارچ AM توانسته غلظت منیزیم اندام هوایی را بطور معنی‌دار کاهش دهد.




شکل ۳) مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ میکوریز و تیمارهای باکتریایی بر درصد منیزیم اندام هوایی

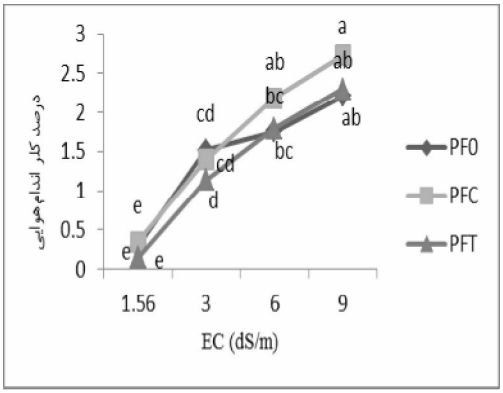
Fig. 3) Interaction effect of mycorrhizal fungi and bacterial treatments on %Mg in shoot

**غلظت کلر اندام هوایی**

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثر اصلی سطوح شوری بر غلظت کلر اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار است. مقایسه میانگین این اثر (جدول ۵) نشان می‌دهد که با افزایش سطوح شوری، غلظت کلر در اندام هوایی گیاه بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($P<0/05$). این افزایش به خاطر افزایش غلظت یون کلراید (به علت استفاده از نمک‌های NaCl و $CaCl_2$ در تهیهٔ محلولهای شوری) در محیط رشد ریشه با افزایش سطوح شوری می‌باشد. همچنین مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای باکتریایی بر درصد کلر اندام هوایی (جدول ۳) نشان می‌دهد که بین تیمارهای باکتریایی تفاوت معنی‌دار از نظر غلظت کلر وجود دارد ($P<0/05$)، بطوریکه حضور تیمار PFT باعث ۱۹٪ کاهش غلظت کلر نسبت به تیمار PFC شد، ولی بین دو تیمار نسبت به تیمار

شاهد ($PF_0$) از نظر غلظت کلر تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) همچنین نشان می‌دهد که قارچ میکوریز آربوسکولار تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلر اندام هوایی ندارد.مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای باکتریایی و سطوح شوری (شکل ۴) نشان داد که این اثر نیز بر غلظت کلر اندام هوایی معنی‌دار است ($P$<۰/۰۵)، با افزایش سطوح شوری غلظت این عنصر در اندام هوایی در تیمارهای باکتریایی و شاهد بدون باکتری روند افزایشی دارد و در این میان بیشترین غلظت در حضور باکتری PFC و کمترین غلظت در حضور باکتری PFT می‌باشد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) سایر اثرات متقابل بین تیمارها تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلر اندام هوایی ندارند.




شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای باکتریایی و سطوح شوری بر درصد کلر اندام هوایی

Figure 4- Interaction effect of bacterial treatments and salinity levels on %Cl in shoot

**نسبت K/Na در گیاه**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که نسبت K/Na ریشه تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای باکتریایی و سطوح شوری قرار گرفت ($P$<۰/۰۱) ولی تأثیر قارچ میکوریز آربوسکولار و همچنین اثرات متقابل موجود بر این صفت معنی‌دار نمی‌باشد. جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که این نسبت در تیمار PFT ۳۳/۶۵٪ نسبت به تیمار شاهد ($PF_0$) و ۸۹/۵٪ نسبت به تیمار PFC در ریشهٔ گیاه بیشتر است.

در مورد اثر سطوح شوری هم با توجه به جدول ۶، با افزایش شوری، نسبت K/Na در ریشه کاهش می‌یابد، تفاوت این نسبت بین سطوح اول و دوم با هم و بین سطوح سوم و چهارم باهم معنی‌دار نمی‌باشد. نسبت K/Na در سطح اول شوری (۱/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به سطح چهارم شوری (۹ دسی‌زیمنس بر متر) ۹۰٪ بیشتر است.

سینگلتون و بهلول (۱۹۸۴) پیشنهاد کردند که حفظ نسبت K/Na بالای بافت به عنوان معیاری برای تحمل به شوری است. گزارش شده است گیاهانی که تنش شوری را کمتر تحمل می‌کنند در شرایط غلظت بالای سدیم ریشه، کاهش شدیدی در جذب پتاسیم و افزایش جذب سدیم در اندام‌های هوایی نشان می‌دهند که این امر باعث کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه می‌شود. این الگوی توزیع یونها بیشتر از آنکه راهی برای سازگاری تلقی شود، نشانگر علائم خسارت در مقابل شوری است. زیرا این حالت با کاهش سرعت رشد و نشانه خسارت نمک به اندام‌های هوایی است (گالشی و سلطانی، ۱۳۸۱).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که نسبت K/Na اندام هوایی نیز مانند ریشه تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای باکتریایی (p<۰/۰۵) و سطوح شوری ($P$<۰/۰۱) قرار گرفت و تأثیر قارچ میکوریز آربوسکولار و همچنین اثرات متقابل موجود بر این صفت معنی‌دار نمی‌باشد. جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که این نسبت در تیمار PFT ۱۵/۹۰٪ نسبت به تیمار PFC بیشتر است ولی با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری ندارد. در مورد اثر سطوح شوری هم با توجه به جدول ۶، با افزایش شوری، نسبت K/Na اندام هوایی کاهش معنی‌داری ($P$<۰/۰۵) می‌یابد، بطوریکه این نسبت در سطح شوری اول (۱/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به سطح چهارم (۹ دسی‌زیمنس بر متر) ۸۸/۳۴٪ بالاتر است.

**نسبت Ca/Na در گیاه**

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر تیمارهای باکتریایی و سطوح شوری بر نسبت Ca/Na ریشه معنی‌دار بوده است ($P$<۰/۰۱). جدول مقایسه میانگین تیمارهای باکتریایی (جدول ۴) نشان می‌دهد که بالاترین مقدار این نسبت مربوط به تیمار

PFT است که ۹۶/۷۸٪ نسبت به تیمار PFC بیشتر است ($P<۰/۰۵$)، این نسبت در تیمار شاهد هم ۴۲/۳٪ بیشتر از تیمار PFC می‌باشد.

مقایسه میانگین سطوح شوری (جدول ۶) هم نشاندهندهٔ کاهش نسبت Ca/Na در ریشه با افزایش سطوح شوری است و بالاترین مقدار این نسبت در سطح شوری اول (۱/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر) و پایین‌ترین مقدار آن در سطح شوری چهارم (۹ دسی‌زیمنس بر متر) دیده می‌شود، بین سطوح اول و دوم و بین سطوح سوم و چهارم شوری از نظر این نسبت تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

از نظر نسبت Ca/Na در اندام هوایی فقط اثر اصلی سطوح شوری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح شوری (جدول ۶) نشان داد که افزایش سطوح شوری سبب کاهش این نسبت شده است و بالاترین مقدار این نسبت در سطح شوری اول (۱/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر) دیده می‌شود، بطوریکه مقدار این نسبت در این سطح از شوری ۳۸/۱۸٪ نسبت به سطح چهارم شوری (۹ دسی‌زیمنس بر متر) بالاتر است. بین سطوح دوم، سوم و چهارم با هم از نظر این نسبت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در این تحقیق، اگرچه غلظت هر دو یون سدیم و کلسیم با افزایش شوری زیاد می‌شود ولی چون افزایش سدیم خیلی زیادتر از افزایش کلسیم است به همین دلیل با افزایش شوری نسبت کلسیم به سدیم کاهش می‌یابد. میزان بالای Na/K و Na/Ca در محیط‌های شور ممکن است به نفوذپذیری انتخابی غشای ریشه صدمه بزند و سازوکارهای فیزیولوژیک دیگری مثل باز و بسته شدن روزنه‌ها، فتوسنتز و تعرق را تحت تأثیر قرار دهد (میرمحمدی میبدی و قره‌یاضی، ۱۳۸۱). برین و همکاران (۱۳۸۵) هم در مورد نسبت Ca/Na اندام هوایی به نتیجهٔ مشابهی با تحقیق حاضر رسیدند.

## نتیجه‌گیری کلی

کاربرد هر دو سویهٔ باکتریایی (PFT و PFC) به همراه تیمار قارچی (*G. intraradices*) باعث افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه نسبت به تیمار شاهد (تیمار قارچی بدون باکتری) شد و از دو سویهٔ باکتریایی به کار رفته در این تحقیق، سویهٔ PFT با افزایش غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم (غلظت منیزیم اندام هوایی در سویهٔ PFC بیشتر بود)، کاهش غلظت عناصر سدیم و کلر در گیاه، افزایش نسبت K/Na و Ca/Na به عنوان معیارهایی برای ارزیابی تحمل به شوری نسبت به سویهٔ PFC و تیمار شاهد بدون باکتری به عنوان سویهٔ مؤثر و کارا در کاهش اثرات مضر شوری معرفی می‌گردد.

## References


Aliasgharzadeh N. 1997. Soil Microbiology and Biochemistry (Translated to Farsi). First edition**.** published by University of Tabriz.

Aliasgharzadeh N and Esfandiari MR. 2004. Effects of dual inoculations of *Sinorhizobium meliloti* and *arbuscular mycorrhizal* fungi on growth of salt-stressed alfalfa. Proceeding of the 2004 CIGR International Conference, 11-14 October 2004, Beijing, China.

Ashraf M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora. 199:361-376.

Ashraf M and Orooj A. 2006. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* L. Sprague). Journal of Arid Environments, 64(2): 209-220.

Awad AS, Edwardsand DG and Campbell LC 1990. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. Crop Science, 30: 123-128.

Azcon R, Azcon-Aguilar C and Barea JM. 1978. Effect of plant hormones present in bacterial culture on the formation and responses to VA endomycorrhizae. New Phytologist, 80:359-364.

Barea JM, Pozo MJ, Azcon R and Azcon-Aguilar C. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. Journal of Experimental Botany, 56: 1761-1778.

Barin M, Aliasgharzadeh N and Samadi A. 2006. Influence of mycorrhization on the mineral nutrition and yield of tomato under sodium chloride and salts mixture induced salinity levels. Iranian Journal of Water and Soil Science, 20(1): 94-105. (In Farsi with English Summary)

Behl, R.K., Sharma, H., Kumar, V. and Singh, K.P. 2003. Effect of dual inoculation of VA mycorrhiza and *Azotobacter chroococcum* on above flag leaf characters in wheat. Agronomy and Soil Science, 49: 25–31.

Cachorro P, Ortiz A and Cetda A. 1993. Growth, water relations and solute composition of *Phaseolus vulgais* L. under saline conditions. Plant Science, 95: 23-29.

Cantrell IC and Linderman RG. 2001. Preioculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. Plant and Soil, 233:269-281.

Fazaeli A, Besharati H and Pirvali Biranvand N. 2011. Effect of salinity on nutrients absorption and symbiosis between *Sinorhizobium meliloti* and different genotypes of alfalfa. Iranian Journal of Soil Research, 24(3): 253-263. (In Farsi with English Summary)

Galeshi, S. and Soltani, A. 2002. Evaluation of growth, biological nitrogen fixation and salinity tolerance in five subterranean clover cultivars (*Trifolium subterraneum* L.). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 9(3): 71-83. (in Farsi with English Summary).

Glick BR, Changping L, Ghosh S and Dumbroff EB. 1997. Early development of canola seed lines in the presence of the plant growth promoting rhizobacterium *pseudomonas putida* GR. Soil Biology and Biochemistry, 24:1233-1239.

Glick BR, Patten CL, Holguin G and Penrose DM. 1999. Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. Imperial Collage Press London U. Kingdom. P267.

Grattan SR and Grieve CM. 1992. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in Saline environments. In: Pessarakli, M. (Ed). Handbook of plant and cold stress. pp. 203-226.

Hasegawa PM, Bressan RA, Zhu JK and Bohnert HJ. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51:463-499.

Jalili F, Khavazi K and Asadi Rahmani H. 2011. Effects of *Fluorescent Pseudomonads* with ACC deaminase activity on growth characteristics of canola (*Brassica napus* L.) under salinity condition. Soil and Water Research, 21(2): 175-187. (in Farsi with English Summary)

Juniper S and Abbott LK. 1993. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and soil salinity. Mycorrhiza, 4: 45-57.

Kafi M. 2008. Saline agriculture and its necessity in Iran. 10th Iranian Congress of Crop roduction and Plant Breading, 17-20 Aug. Karaj, 137-162. (in Farsi with English Summary)

Keel C and Defago G. 1997. Interactions between beneficial soil bacteria and root pathogens: mechanisms and ecological impact. In: Gange, A.C., Brown, V.K, eds. Multitrophic interactions in terrestrial system. Oxford: Blackwell Science, 27-47.

Kiely PD, Haynes JM, Higgins CH, Franks A, Mark GL, Morrissey JP and O'Gara F. 2006. Exploiting new systems-based strategies to elucidate plant-bacterial interactions in the rhizosphere. Microbial Ecology, 51: 257-266.

Kormanik PP and Graw AC. Mc. 1982. Quantification of VA mycorrhizae in plant roots. In: Schenck, N. C. (eds.) Methods and principles of mycorrhizal research. The American Phytopathological Society. pp. 37-36.

Lixia Y, Zhansheng Wu, Yuanyuan Z, Imdad K and Chun L. 2010. Growth promoting and protection against salt stress by *Pseudomonas putida Rs-198* on cotton. European Journal of Soil Biology, 46: (2010).49-54.

Maas EV and Hoffman GJ. 1977. Crop salt tolerance: current assessment. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 103: 115-134.

Meiri A, Kamburoff J and Poljakoff-Mayber A. 1971. Response of bean plant to sodium chloride and sodium sulphate salinization. Annals of Botany, 35: 837-847.

Mirmohammady Maibody S and Mhmdqrhyazy B. 2002. Plant physiology and breeding aspects of salinity. Isfahan University Publication. (in Farsi with English Summary)

Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, 25:239-250.

Papadopoulos L and Rendig VV. 1983. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. Plant and Soil, 73: 47-57.

Parvaiz A and Satyawati S. 2008. Salt stress and phyto-blochemical responses of plants. Plant, Soil and Environment, 54: 89-99.

Pazira E and Homaee M. 2003. Salt affected resources in Iranian extension and reclamation. Water-Saving Agriculture and Sustainable Use of Water and Land Resources, 855-865.

Rajabi Agereh S, Bahmanyar MA, Ramezanpour MR and Khavazi K. 2011. Role of *Fluorescent Pseudomonads* in reducing water salinity damages in rice (*Oryza Sativa* L.). Iranian Journal of Water Research in Agriculture, 25(1): 37-46. (in Farsi with English Summary)

Rejali F, Mardoukhi B and Malakouti MJ. 2011. Effects of mycorrhizal symbiosis on water use efficiency, proline accumulation, and mineral uptake of wheat (*Triticum Aestivum L.*) under saline condition. Iranian Journal of Water Research in Agriculture, 24(2):111-122. (in Farsi with English Summary)

Sadat A, Savaghebi GHR, Rejali F, Farahbakhsh M, Khavazi K and Shirmardi M. 2010. Effects of some *Arbuscular Mycorrhizal* fungi and plant growth promoting rhizobacteria on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil. Journal of Water and Soil, 24(1): 53-62. (in Farsi with English Summary)

Singleton DW and Bohlool BB. 1984. Effect of salinity on the nodule formation by soybean. Plant Physiology, 74:Pp. 72-76.

Vessey JK. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil, 255:271-586.

Yano-Melo AM, Saggin OJ and Maia LC. 2003. Tolerance of mycorrhized banana (Musa sp. cv. Pacovan) plant lets to saline stress. Agriculture, Ecosystems and Environment, 95: 343–348.

Zekri M and Parsons LR. 1990. Comparative effects of NaCI and polyethylene glycol on root distribution, growth and stomatal conductance of sour orangc seedlings. Plant and Soil, 129: 137-143.

# Effect of Dual Inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Glomus Intraradices* on Nutrient Uptake in Tomato Under Defferent Levels on Salinity

**Mina Hakimi[1*], Nasser Aliasgharzad[2], Mohammad Reza Sarikhani[3] and Nosratollah Najafi[3]**

1- MSc Student, Department of Soil Science, University of Tabriz
2- Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
3- Assistant Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
* Corresponding author: hakimi4916@gmail.com

Received: 08.03.2013
Accepted: 28.08.2013

## Abstract

The plants in symbiosis with Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) can absorb more nutrients and water which increases their resistant's against environmental stresses such as drought or salinity. It is perceived that the presence of Plant Growth Promoting Rihzobacteria (PGPR) especially *Pseudomonas* in the rhizosphere of these plants has probably synergistic effect with mycorrhizal fungi. This experiment was performed to study the effect of single and dual inoculation of *Pseudomonas fluorescens* and *Glomus intraradices* on nutrient uptake in tomato variety Super strain B under salinity stress. A factorial experiment based on completely randomized block design with application of *Glomus intraradices* (including 2 levels; with inoculation (+AM) and without inoculation (-AM)), *Pseudomonas fluorescens* (including 3 levels; *P. fluorescens strain* Tabriz *P. fluorescens strain* Chao and without bacterial inoculation (control)) and four levels of salinity ($S_1$:1.56, $S_2$: 3 $S_3$: 6 and $S_4$: 9 dS $m^{-1}$) was done in a pot culture with 3 replications. Mixed of different salts such as NaCl, $CaCl_2$, $MgSO_4$ and $Na_2SO_4$ were used to make salinity levels. Salinity treatments were daily exerted after two weeks of seedling and continued for 45 days. $S_1$ (1.56 dS $m^{-1}$) EC of the nutrient solution in distilled water was used as medium. Statistical analysis showed that concentration of nutrients such as phosphorus of shoot, potassium, calcium and magnesium of root and also root Ca/Na, root and shoot K/Na in PFT was higher than PFC and control treatment significantly ($P$<0.05). The sodium of root and chloride of shoot in the presence of PFC was higher than in PFT and control treatment. The concentrations of Na, Ca, Mg and Cl in plant tissues increased with increasing salinity, while P and K concentrations showed a decreasing trend. Based on the result obtained in this study, inoculating tomato plants with PFT improves salt tolerance index that cause favorable growth conditions for tomato plant.

**Keywords**: plant growth promoting rihzobacteria, *Arbuscular Mycorrhizal* fungi, nutrient.