نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۸ شماره ۱ صفحه‌های ۱۵ تا ۲۸/ سال ۱۳۹۷

اثر برهمکنش قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد و غلظت پرولین برگ گیاه گوجه‌فرنگی تحت سطوح مختلف شوری

مینا حکیمی[۱*]، ناصر علی‌اصغرزاد[۲]

تاریخ دریافت:۹۵/۵/۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۳۱

[۱]- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز

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

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hakimi4916@gmail.com

چکیده

شوری آب و خاک از مهمترین عوامل محیطی کاهش دهندهٔ رشد و تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران می‌باشد. استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه مخصوصاً سودوموناس‌ها و نیز قارچ‌های میکوریزی از راهکارهای مفید برای تسهیل رشد گیاهان در خاک‌های شور به‌حساب می‌آید. در این تحقیق اثر مایه‌زنی دو سویه از باکتری *Pseudomonas fluorescens* (*P. fluorescens* Tabriz) (PFT) و *P. fluorescens* Cha0 (PFC))، و قارچ *Rhizophagus irregularis* بر غلظت پرولین برگ و برخی از شاخص‌های رشد گیاه گوجه‌فرنگی رقم Super Strain B تحت چهار سطح شوری (۱/۵۶، ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب S_1، S_2، S_3 و S_4) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه‌های آماری نشان داد که وزن تر اندام‌هوایی گیاهان غیرمیکوریزی (AM-) به‌طور معنی‌دار (۱۷/۳۶٪) بالاتر از گیاهان میکوریزی (AM+) است ($p<۰/۰۵$). اثر اصلی باکتری بر تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق معنی‌دار شد. وزن تر و خشک ریشه و اندام‌هوایی و شاخص کلروفیل برگ‌ها در حضور تیمار PFC به‌طور معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بالاتر از تیمار PFT و تیمار PF_0 (تیمار شاهد بدون باکتری) شد و کاربرد هر دو تیمار باکتریایی توانست درصد کلنیزاسیون ریشه را نسبت به تیمار شاهد بطور معنی‌دار (تیمار PFC ۳۴٪/۸۸ و تیمار PFT ۳۱٪/۲۲) افزایش دهد ($p<۰/۰۵$). وزن تر ریشه و شاخص کلروفیل گیاه با افزایش سطوح شوری تا سطح S_3 روند افزایشی داشته و در S_4، این دو پارامتر کاهش یافتند ($p<۰/۰۵$). همچنین درصد کلنیزاسیون ریشه با افزایش سطوح شوری کاهش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) و غلظت پرولین برگ‌ها با افزایش شوری افزایش معنی‌دار نشان داد ($p<۰/۰۵$).

واژه‌های کلیدی: باکتری محرک رشد گیاه، سودوموناس، شاخص‌های رشد گیاه، غلظت پرولین، قارچ میکوریز آربوسکولار

Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Plant Growth Promoting Rhizobacterium Interaction on Growth Indices and Leaf Proline Concentration of Tomato under Salinity Levels

M Hakimi[1*], N Aliasgharzad[2]

Received: 2016.07.28 Accepted: 2017.06.21
[1]-Former M.Sc Student of Soil Biol. and Biotechnol., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran
[2]-Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran
* Corresponding Author, Email: hakimi4916@gmail.com

Abstract

The soil and water salinity are usually crucial factors in diminishing the growth and production of crops in arid and semiarid areas. Inoculation of plant with plant growth promoting rhizobacteria particularly *Pseudomonas* and mycorrhizal fungi are helpful ways to facilitate plant growth in saline soils. In this research, the effects of two strains of *Pseudomonas fluorescens* (*P. fluorescens* Tabriz (PFT) and *P. fluorescens* Cha0 (PFC)) and the mycorrhizal fungus, *Rhizophagus irregularis* on proline concentration in plant leaves as well as some growth indices of tomato (var. Super strain B) under 4 different levels of salinity (1.56, 3, 6 and 9 dS m^{-1} S_1, S_2, S_3 and S_4, respectively) were studied, The results showed that plant fresh weight was significantly (17.36%) higher in non mycorrhizal plant (-AM) than mycorrhizal plant (+AM) ($p<0.05$). The bacteria had significant effect on measured parameters. The dry and fresh weight of the root and shoot and chlorophyll index of leaves at the presence of PFC were significantly ($p<0.05$) higher than those at the presence of PFT and PF_0 (non-bacterial control) and application of both bacteria increased root mycorrhizal colonization percentage compared to the PF_0 (PFC 34.88% and PFT 31.22%). Root fresh weight and chlorophyll index of the plant increased with the increase of salinity levels up to S_3 but at S_4 level these two parameters decreased ($p<0.05$). Also, the root mycorrhizal colonization percentage significantly decreased by increasing the salinity levels while the proline concentration of leaves significantly increased ($p<0.05$) with enhancement of the salinity.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, Plant growth indices, Plant growth promoting rhizobacteria, Proline concentration, *Pseudomonas*

مقدمه

یکی از جدی‌ترین مشکلات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مسئله شوری و تجمع نمک‌ها در سطح خاک می‌باشد که موجب کاهش عملکرد و سطح زیر کشت می‌شود (الکاراکی و حامد ۲۰۰۱). گیری و همکاران (۲۰۰۷) گزارش دادند که بیش از ۱۰۰۰ میلیون هکتار از خاک‌های جهان تحت تأثیر شوری هستند. در ایران نیز بر اساس اطلاعات استخراج شده از نقشهٔ منابع و استعداد خاک‌های ایران، مناطق دارای خاک‌های تحت تأثیر شوری ۴۴/۵ میلیون هکتار می‌باشد (بنائی و همکاران ۲۰۰۵) و پیش‌بینی می‌شود این ارقام به علت استفادهٔ نادرست از منابع آب و خاک افزایش یابند. مهمترین واکنش گیاه به شوری خاک یا آب، کاهش رشد است. شوری از راه تأثیر بر چند مکانیسم مهم

گیاه مانند فتوسنتز، تغییر فشار اسمزی و فعالیت آنزیم-ها، رشد گیاه را کاهش می‌دهد (اشرف ۲۰۰۱، غلام و همکاران ۲۰۰۲). برای کاهش اثرات سوء شوری بر رشد و تولید محصول روش‌های متفاوتی وجود دارد که یکی از آنها استفاده از کودهای بیولوژیک می‌باشد که در پایداری تولیدات کشاورزی از راه بهبود وضعیت تغذیه‌ای و روابط آبی و افزایش رشد گیاه نقش مهمی دارند. از مهمترین کودهای بیولوژیک که تولید و مصرف آن مورد توجه قرار گرفته است انواع باکتری-های ریزوسفری محرک رشد گیاه[1] و قارچ‌های میکوریزی[2] می‌باشند. بررسی‌های مختلف اثرات مثبت کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه را بر شاخص‌های رشد ریشه از جمله افزایش سطح کل ریشه، وزن خشک ریشه، طول ریشه، تعداد ریشه‌های فرعی، تعداد و تراکم تارهای کشنده، همچنین افزایش تقسیم سلول‌های مریستم ریشه و تحریک تراوشات از ریشه گیاهان مختلف نشان داده‌اند (پان و همکاران ۱۹۹۹). در این میان باکتری‌های جنس *Pseudomonas* به‌دلیل توزیع گستردهٔ آنها در خاک، توانایی کلنیزاسیون[3] ریزوسفر بسیاری از گیاهان و تولید طیف متنوعی از متابولیت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. همچنین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار[4] نیز نقش مهمی در بهبود تغذیه و رشد گیاهان در شرایط شور دارند، به‌نحوی‌که بعضی آنها را به‌عنوان اصلاح کنندگان زیستی[5] خاک‌های شور می‌نامند (سینگ و همکاران ۱۹۹۷). نشان داده شده که تحت تنش شوری، گیاه ذرت میکوریزی ماده خشک بیشتری نسبت به ذرت غیرمیکوریزی داشت و گوجه-فرنگی میکوریزی نیز در شرایط تنش شوری در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی دارای افزایش معنی-داری در وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی بود (الکاراکی ۲۰۰۰). برهمکنش‌های مثبت زیادی بین باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ‌ها که عمدتاً از نوع قارچ‌های میکوریزی هستند در ریزوسفر گیاهان میزبان وجود دارد. برای اولین بار موس در سال ۱۹۶۲ گزارش کرد که حضور باکتری *Pseudomonas* برای رشد قارچ میکوریز و کلنیزاسیون میکوریزی ریشه ضروری است. کولر و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که مایه‌زنی مشترک قارچ‌های میکوریزی و باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش معنی‌دار در وزن خشک اندام‌هوایی گیاه کاهو (*Lactuca sativa*) تحت تنش شوری شد. با توجه به نتایج این تحقیق، به‌نظر می‌رسد که مایه‌زنی گیاهان با قارچ و باکتری، با تأثیر مثبتی که بر روابط آبی گیاه داشته توانسته‌اند باعث افزایش زیست‌تودهٔ گیاهی در شرایط شور شوند. هادج (۲۰۰۰) گزارش کرد که قارچ میکوریز و باکتری‌های موجود در خاک در یک ارتباط متقابل، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و برخی هورمون‌ها را ترشح می‌کنند که باعث تشدید رشد و تکثیر آنها می‌شود. در این تحقیق اثرات تک‌تک و برهمکنش دو سویه از باکتری *Pseudomonas fluorescens* دارای خصوصیت محرک رشد گیاه و قارچ *Rhizophagus irregularis* بر غلظت پرولین برگ‌ها و برخی از شاخص‌های رشد در گوجه‌فرنگی رقم Super strain B تحت سطوح مختلف شوری، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تکثیر درون‌شیشه‌ای[6] قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و آماده‌سازی زادمایهٔ قارچی

گونهٔ قارچی مورد آزمایش *Rhizophagus irregularis* می‌باشد که از دپارتمان بیولوژی دانشگاه Lund سوئد دریافت گردید و به‌صورت درون‌شیشه‌ای تکثیر یافت (نام سابق این قارچ *Glomus intraradices* بود)، بدین‌ترتیب‌که اسپورهای این قارچ روی ریشهٔ تراریختهٔ هویج (دارای T-DNA) روی محیط کشت MSR[7] به مدت سه ماه تکثیر شد و بعد از گذشت سه ماه، ریشه‌های تراریختهٔ میکوریزی، هیف-های برون‌ریشه‌ای و اسپورها به‌عنوان زادمایهٔ قارچی خالص در ریشهٔ گیاه مورد استفاده قرار گرفت.

[1]- Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)
[2]- Mycorrhizal fungi
[3]- Colonization
[4]- Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)
[5]- Bio-ameliorators
[6]- In vitro culture
[7] Modified Strullu-Romand (MSR)

تکثیر سودوموناس‌های مورد آزمایش در محیط کشت کینگ‌ب[1] و آماده‌سازی زادمایهٔ تیمارهای باکتریایی

در این تحقیق از دو سویهٔ *Pseudomonas fluorescens* (Tabriz و Cha0) که از آزمایشگاه بیولوژی خاک گروه علوم خاک دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تبریز دریافت گردید، استفاده شد. جهت آماده-سازی زادمایهٔ باکتریایی از محیط کشت مایع کینگ‌ب استفاده شد. بدین‌منظور از هر دو سویهٔ باکتریایی موجود در محیط کشت جامد به مقدار یکسان به ارلن-های حاوی محیط کشت منتقل گردید. ارلن‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۹ درجه سلسیوس 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 کدورت‌سنجی[2] و با اندازه‌گیری چگالی نوری در طول موج ۶۰۰ نانومتر، با استفاده از جدول مک فارلند[3] $۱/۱\times۱۰^{۸}$ تعیین شد (این جمعیت زمانی حاصل می‌شود که $OD_{۶۰۰}$=۰/۷ می‌باشد) و آمادهٔ مایه‌زنی در ریشهٔ گیاهان گردید.

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 وهمکاران 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 ($EC=۱/۵۶ dS\ m^{-1}$) شوری محلول غذایی جانسون[4] 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).

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 بستر همواره مرطوب نگه داشته شده و ۳ بار گیاهچه‌ها با محلول غذایی جانسون تغذیه شدند و همچنین گلدان‌ها زیر نور کافی و دمای روز ۲۵±۲ درجه سلسیوس و شب ۲±۱۷ درجه سلسیوس 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

[1] KingB
[2] Turbidimetry
[3] Mc Farland
[4] Johnson

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

EC ($dS\ m^{-1}$)	۱/۵۶	۳	۶	۹
$MgSO_4.7H_2O$	–	۰/۲۸	۱/۳۴	۲/۷۶
Na_2SO_4	–	۰/۱۳	۰/۶۵	۱/۳۳
NaCl	–	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۶
$CaCl_2.2H_2O$	–	۰/۲۴	۱/۱۸	۲/۴۲

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 به‌طوری‌که 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 به‌طور کامل اعمال شدند. در این آزمایش برای ثابت نگه داشتن EC مورد نظر در بستر کشت گیاهان، اعمال تیمارهای شوری به‌صورت روزانه صورت گرفت به‌طوری‌که 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 سلسیوس و شب ۲±۱۷ درجه سلسیوس نگهداری شده و بعد از رشد کامل برگ‌ها، شاخص کلروفیل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج، غلظت پرولین برگ‌ها با روش ایریگوئن و همکاران (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد و همچنین بعد از ۴۵ روز رشد رویشی، گیاهان برداشت و درصد کلنیزاسیون ریشه با روش تلاقی خطوط شبکه[1](کورمانیک و مک‌گراو ۱۹۸۲)، و وزن تر و خشک اندام‌هوایی و ریشه اندازه-گیری شد.

طرح آزمایشی و تجزیهٔ آماری

آزمایش به‌صورت 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 *Rhizophagus irregularis* 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* Cha0 (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

شاخص کلروفیل برگ‌ها

بین تیمارهای باکتریایی مورد آزمایش و سطوح مختلف شوری از نظر شاخص کلروفیل در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود (جدول ۲). با توجه به جدول ۴ هر دو تیمار باکتریایی باعث کاهش این شاخص در گیاه نسبت به تیمار بدون باکتری شده‌اند. تیمار PFT باعث ۲۰/۳۵٪ کاهش نسبت به تیمار شاهد (PF_0) شد ولی کاهش توسط تیمار PFC نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود.

[1]- Gridline-Intersect method

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر قارچ میکوریز، سویه‌های باکتریایی و سطوح شوری بر درصد کلنیزاسیون میکوریزی، غلظت پرولین برگ و برخی از شاخص‌های رشد گیاه گوجه‌فرنگی.

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	درصد کلنیزاسیون ریشه	شاخص کلروفیل برگ	غلظت پرولین برگ
بلوک	۲	۰/۱۰۷**	۰/۲۳۷*	۴/۳۷۹**	۰/۲۴۴**	۲۶/۹۳۱*	۰/۰۵۳^{ns}	۰/۱۸۰^{ns}
قارچ	۱	۰/۰۸۵*	۰/۰۴۶^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۹۴۱۰۵/۶**	۰/۰۰۶^{ns}	۳/۱۵۸**
باکتری	۲	۰/۱۶۶**	۰/۳۱۹**	۴/۷۲۰**	۰/۲۷۷**	۷۷۴/۰۵**	۰/۰۶۰*	۱۵/۷۹**
قارچ × باکتری	۲	۰/۰۲۷^{ns}	۰/۰۲۵^{ns}	۰/۱۶۲^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}	۷۷۴/۰۵**	۰/۰۳۵^{ns}	۰/۱۹۰^{ns}
شوری	۳	۰/۰۳۷^{ns}	۰/۰۷۲^{ns}	۱/۲۳۷*	۰/۰۵۸^{ns}	۱۱۱/۳۸**	۰/۰۶۴*	۱۵/۴۵**
قارچ × شوری	۳	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۰۴۱^{ns}	۰/۱۵۸^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۱۱۱/۳۸**	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۱۰۳^{ns}
باکتری × شوری	۶	۰/۰۱۹^{ns}	۰/۰۶۱^{ns}	۰/۴۷۶^{ns}	۰/۰۴۶^{ns}	۱/۵۳۷^{ns}	۰/۰۲۹^{ns}	۱/۱۱۰**
قارچ × باکتری × شوری	۶	۰/۰۳۴^{ns}	۰/۱۱۰^{ns}	۰/۲۸۸^{ns}	۰/۰۲۰^{ns}	۱/۵۳۷^{ns}	۰/۰۱۲^{ns}	۰/۱۲۵^{ns}
خطای آزمایش	۴۶	۰/۰۱۶	۰/۰۵۵	۰/۴۲۸	۰/۰۳۶	۵/۵۸۳	۰/۰۱۹	۰/۰۷۴
ضریب تغییرات (٪)		۱۰/۴۳	۲۱/۱۴	۲۵/۱۶	۲۹/۵۴	۶/۵۴	۱۲/۹۳	۶/۸۶

** ، * و ns به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی قارچ میکوریز آربوسکولار بر برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گیاه گوجه-فرنگی.

تیمارهای قارچی	وزن تر اندام‌هوایی ($g\ pot^{-1}$)	درصد کلنیزاسیون ریشه	غلظت پرولین برگ ($\mu mol\ g^{-1}_{(Fw)}$)
-AM	۱۸/۳۵۲a	۰/۰۰۰b	۳/۷۶۴b
+AM	۱۵/۶۳۷b	۷۲/۳۰۶a	۴/۱۸۲a

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

در مورد اثر سطوح شوری، با توجه به جدول ۵، افزایش سطوح شوری تا سطح S_3 باعث افزایش شاخص کلروفیل گیاه شد و در سطح S_4، این شاخص بطور غیر معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین شاخص کلروفیل در سطح S_3 بود به‌طوری‌که ۳۴/۲٪ نسبت به S_2 و ۴۵٪ نسبت به تیمار S_1 افزایش نشان داد و کمترین شاخص کلروفیل در تیمار S_1 مشاهده شد. در بالاترین تیمار شوری (S_4) نیز به علت تخریب کلروفیل در اثر شوری عدد کوچکتری بدست آمده است. اختلاف بین سطوح S_1، S_2 و S_4 و بین سطوح S_3 و S_4 معنی‌دار نمی‌باشد. در اغلب پژوهش‌ها کاهش شاخص کلروفیل به هنگام شوری گزارش شده است (هیور و نادلر ۱۹۹۸، اریلماز ۲۰۰۶، جامپیتونگ و بریکس ۲۰۰۹). گزارش‌های معدودی مانند تحقیق حاضر حاکی از تأثیر افزایشی شوری بر شاخص کلروفیل هستند (لی-دیلی و همکاران ۱۹۹۳). این افزایش ممکن است نتیجه افزایش تعداد کلروپلاست در برگ‌های تحت تنش باشد (میسرا و همکاران ۱۹۹۷، جمیل و همکاران ۲۰۰۷). برخی محققان نیز تیره‌تر شدن رنگ برگ‌های گیاه در سطوح بالای شوری را نشانه‌ای از افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌ها می‌دانند (براون و هایوارد ۱۹۵۶). کاهش عدد کلروفیل متر در سطوح شوری بالاتر نیز می‌تواند در ارتباط با صدمه دیدن کلروفیل در اثر افزایش فعالیت آنزیم تخریب کنندهٔ کلروفیل (کلروفیلاز) باشد (نلسون و

همکاران ۱۹۹۵، کمپل و همکاران ۱۹۹۸) و یا ممکن است در غلظت بالای نمک، به علت اثری که یون‌ها بر روی پروتئین‌ها دارند، اتصال بین کلروفیل و پروتئین‌های کلروپلاستی سست شده و کلروفیل تخریب گردد.

یدلرلو و مجیدی هروان (۱۳۸۷) با بررسی تأثیر شوری (در چهار سطح ۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌مول کلرید سدیم) بر صفات مورفوفیزیولوژیک چند رقم گندم متحمل به شوری به این نتیجه رسیدند که بیشترین محتوای کلروفیل نسبی در تیمار ۱۲۰ و کمترین آن در تیمار شاهد بود. چنین به‌نظر می‌رسد که با افزایش سطح شوری تجمع کلروفیل در واحد سطح منجر به افزایش عدد قرائت شده توسط دستگاه شده در بالاترین تیمار شوری (۱۸۰ میلی‌مول سدیم کلراید) نیز به‌علت تخریب کلروفیل در اثر شوری عدد کوچکتری به‌دست آمده است.

غلظت پرولین برگ‌ها

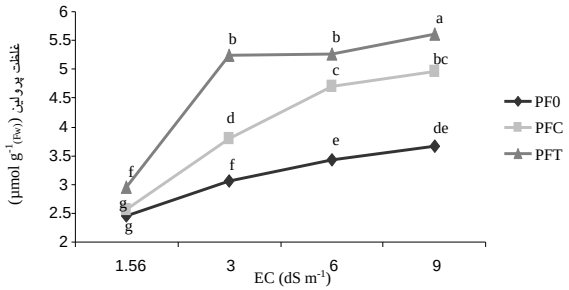
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثرات اصلی قارچ میکوریز، تیمارهای باکتریایی، سطوح مختلف شوری و نیز اثر متقابل تیمارهای باکتریایی در سطوح مختلف شوری میزان پرولین برگ را به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) تحت تأثیر قرار دادند. مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرات اصلی نشان داد که، میزان پرولین برگ در تیمارهای میکوریزی (AM+)، ٪۱۱ بالاتر از تیمارهای غیر میکوریزی (AM-) است ($p<۰/۰۵$) (جدول ۳). در مورد تیمارهای باکتریایی، میزان پرولین برگ در تیمار PFT ٪۱۹ بالاتر از تیمار PFC و ٪۵۱/۵ بالاتر از تیمار بدون باکتری (PF_0) است و هر دو باکتری توانسته‌اند باعث افزایش پرولین نسبت به تیمار شاهد شوند (جدول ۴). تغییرات میزان پرولین برگ با افزایش سطوح شوری روند افزایشی و معنی‌دار دارد ($p<۰/۰۵$)، به‌طوری‌که بالاترین غلظت پرولین در سطح شوری $S_۴$ دیده می‌شود که نسبت به سطح شوری شاهد ($S_۱$) ٪۷۸/۸ بیشتر است (جدول ۵). شکل ۱ نشان می‌دهد که با افزایش سطوح شوری، میزان پرولین برگ در هر سه تیمار باکتریایی افزایش می‌یابد و در تمامی سطوح شوری این میزان در تیمار PFT بالاتر از تیمار PFC و آن هم بالاتر از تیمار PF_0 است. افزایش پرولین می‌تواند موجب بالا رفتن تحمل نسبی به تنش شوری به‌دلیل نقش احتمالی این متابولیت در کاهش تنش ثانوی یعنی خشکی شود. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که پرولین به‌عنوان یک عامل مثبت در رابطه با سازگاری در شرایط تنش مطرح است و تجمع این متابولیت در شرایط تنش اهمیت تنظیم اسمزی را در پتانسیل آبی پایین نشان می‌دهد، علاوه بر تنظیم اسمزی، پرولین به‌عنوان منبع ذخیره برای گیاه نیز محسوب می‌شود و در شرایط کمبود منابعی مانند کربن و نیتروژن گیاه می‌تواند از آن استفاده کند (لویت ۱۹۹۰).

رجالی و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر همزیستی میکوریزی (*Glomus mosseae*، *Glomus intraradices* و *Glomus etunicatum*) بر کارآیی مصرف آب، تجمع پرولین و جذب عناصر غذایی گندم را در شرایط شور (NaCl و $CaCl_۲$) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اثرات اصلی شوری، رقم و قارچ در سطح ۱٪ و اثرات متقابل در سطح ۵٪ آماری معنی‌دار شدند و با افزایش شوری، افزایش پرولین در هر دو رقم معنی‌دار شد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای باکتریایی بر برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گیاه گوجه‌فرنگی.

تیمارهای باکتریایی	وزن تر ریشه ($g\ pot^{-1}$)	وزن تر اندام-هوایی ($g\ pot^{-1}$)	وزن خشک ریشه ($g\ pot^{-1}$)	وزن خشک اندام‌هوایی ($g\ pot^{-1}$)	درصد کلنیزاسیون ریشه	غلظت پرولین برگ ($\mu mol\ g^{-1}_{(Fw)}$)	شاخص کلروفیل برگ
بدون باکتری	۷/۲۹۸b	۱۵/۲۹۷b	۰/۴۷۰a	۱/۲۳۵b	۲۹/۶۲۵b	۳/۱۴۸c	۱۳/۳۱۱a
P. fluorescens Cha0	۹/۹۳۰a	۲۰/۸۶۵a	۰/۵۹۵a	۱/۵۷۱a	۳۹/۹۵۸a	۴/۰۰۲b	۱۳/۱۹۸a
P. fluorescens Tabriz	۴/۹۸۵c	۱۴/۸۲۱b	۰/۲۹۹b	۱/۰۷۳b	۳۸/۸۷۵a	۴/۷۷۰a	۱۰/۶۰۲b

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



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای باکتریایی و سطوح شوری بر غلظت پرولین برگ‌ها.

PF_0: بدون باکتری و PFC: *سودوموناس فلورسنس* چائو، PFT: *سودوموناس فلورسنس* تبریز

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 تیمار-های باکتریایی (جدول ۴) نشان داد که کاربرد هر دو باکتری توانست درصد کلنیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریزی را نسبت به تیمار بدون باکتری به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افزایش دهد (تیمار PFC به‌مقدار ۳۴٪/۸۸ و تیمار PFT به‌مقدار ۳۱/۲۲٪ باعث افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه نسبت به تیمار بدون باکتری شد ولی 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 ۵ نشان می‌دهد که افزایش سطوح شوری باعث کاهش معنی‌دار درصد کلنیزاسیون ریشه ($p<۰/۰۵$) شد، بیشترین درصد کلنیزاسیون ریشه در S_1 و کمترین آن در سطح S_4 دیده می‌شود (درصد کلنیزاسیون ریشه در سطح S_4 ۱۵٪ کمتر از سطح S_1 می‌باشد و بین سطوح S_2 و S_3 تفاوت معنی‌داری از این نظر وجود ندارد). با توجه به شکل ۲ بیشترین درصد

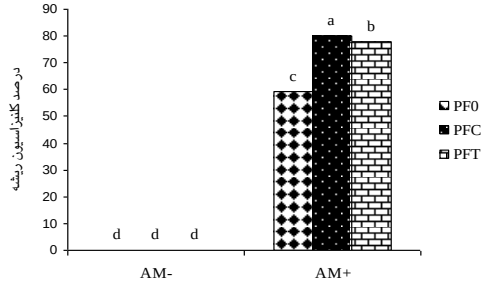
جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح شوری بر برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گیاه گوجه‌فرنگی.

EC ($dS\ m^{-1}$)	وزن تر ریشه ($g\ pot^{-1}$)	درصد کلنیزاسیون ریشه	غلظت پرولین برگ ($\mu mol\ g^{-1}_{(Fw)}$)	شاخص کلروفیل برگ
۱/۵۶	۶/۰۵۶b	۳۹/۳۸۹a	۲/۶۵۴d	۱۰/۴۶۶b
۳	۶/۴۵۰b	۳۶/۴۴۴b	۴/۰۳۲c	۱۱/۳۰۹b
۶	۹/۱۲۳a	۳۵/۳۳۳b	۴/۴۶۰b	۱۵/۱۷۷a
۹	۷/۹۸۹ab	۳۳/۴۴۴c	۴/۷۴۶a	۱۲/۵۲۹ab

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

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 به‌ترتیب در ردیف دوم و سوم قرار گرفتند. در تیمارهای بدون قارچ، درصد کلنیزاسیون ریشه صفر بود. مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ میکوریزی در سطوح شوری نیز نشان داد که با افزایش سطوح شوری در تیمارهای میکوریزی، درصد کلنیزاسیون ریشه کاهش می‌یابد (شکل ۳).

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= ۱۰/۱dSm^{-1}) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با کاربرد قارچ‌های *G. etunicatum* و *G. intraradices*، درصد کلنیزاسیون ریشه به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون مایه‌زنی) افزایش یافت و در این میان کارآیی 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 توأم قارچ و باکتری نیز درصد کلنیزاسیون ریشه را به‌طور 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 توأم قارچ *G. intraradices* با باکتری سویه ۹ مشاهده شد.

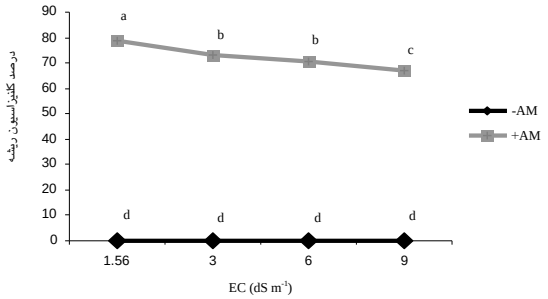


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ میکوریزی و تیمارهای باکتریایی بر درصد کلنیزاسیون ریشه.

PFC: *سودوموناس فلورسنس* چائو، PF_0: بدون باکتری و

PFT: *سودوموناس فلورسنس* تبریز

AM-: غیرمیکوریزی و AM+: میکوریزی



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ میکوریزی و سطوح شوری بر درصد کلنیزاسیون ریشه.
AM-: غیرمیکوریزی و AM+: میکوریزی

وزن تر
ریشه

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) وزن تر ریشه تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای باکتریایی ($p<۰/۰۱$) و سطوح شوری ($p<۰/۰۵$) قرار گرفت و تأثیر قارچ میکوریز و همچنین اثرات متقابل آنها غیر معنی‌دار بود. با توجه به جدول ۴ در بین تیمارهای باکتریایی، تیمار PFC ۳۶٪ نسبت به تیمار شاهد (PF_0) و ۹۹٪ نسبت به تیمار PFT وزن تر بیشتری دارد و نیز تیمار شاهد (PF_0) توانسته نسبت به تیمار PFT ۳۹٪/۴۶٪ وزن تر ریشه را افزایش دهد ($p<۰/۰۵$). جلیلی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی تأثیر سودوموناس‌های فلورسنت (جدایه‌های P.p.11، P.p.108، P.f.169 و P.f.196) بر شاخص‌های رشد کلزا در شرایط شور در مورد وزن تر ریشه به این نتیجه رسیدند که سویه‌های P.f.169 و P.f.196 باعث افزایش این صفت در ریشه نسبت به شاهد شدند.

نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان می‌دهد که با افزایش سطوح شوری تا سطح S_3، وزن تر ریشهٔ گیاه افزایش معنی‌دار داشته ($p<۰/۰۵$) و در سطح S_4 این صفت کاهش می‌یابد. در سطح S_3 این وزن ۵۰٪/۶ بیشتر از سطح S_1 و ۴۱/۴٪ بیشتر از سطح S_2 است و بین سطوح S_1 و S_2 از نظر این صفت تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد. در بیشتر تحقیقات افزایش سطوح شوری باعث کاهش وزن تر ریشهٔ گیاه شده است ولی برخی تحقیقات هم هستند که مانند تحقیق حاضر، افزایش وزن تر گیاه را با افزایش سطوح شوری (در شوری‌های پایین) و سپس کاهش آن را در سطوح بالاتر شوری گزارش کرده‌اند، که این امر می‌تواند به‌علت استفاده از مخلوط نمک‌ها به‌جای یک نمک (مخصوصاً NaCl) در تهیهٔ تیمارهای شوری باشد به‌طوری‌که اثر تغذیه‌ای نمک‌های به‌کار رفته در این تحقیقات باعث افزایش وزن تر و خشک اندام‌های گیاهی تا سطحی از شوری می‌شود. برای نمونه، در یک گونهٔ *آتریپلکس فومواداریا* وزن تر ریشه در شوری‌های پایین NaCl (۹۰ میلی‌مولار) افزایش یافت و در شوری‌های بالاتر از رشد آن جلوگیری شد (خان و همکاران ۲۰۰۰).

اندام هوایی

جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که وزن تر اندام‌هوایی گیاه تحت تأثیر قارچ میکوریزی ($p<۰/۰۵$) و تیمارهای باکتریایی ($p<۰/۰۱$) قرار گرفت. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) وزن تر اندام‌هوایی گیاهان غیرمیکوریزی (AM-) به‌طور معنی‌دار (۱۷/۳۶٪) بیشتر از گیاهان میکوریزی (AM+) است ($p<۰/۰۵$)، علت این امر می‌تواند حضور تیمار شوری در محیط رشد گیاهان باشد با این توضیح که قارچ میکوریزی با کاهش دادن وزن تر اندام‌هوایی گیاهان و در نتیجه کاهش میزان تعرق و نیاز به جذب آب، باعث می‌شود گیاه تنش شوری موجود در محیط را بهتر تحمل کند. در بین تیمارهای باکتریایی، وزن تر اندام‌هوایی در حضور تیمار PFC ۳۶٪/۴ نسبت به تیمار شاهد (PF_0) و ۴۰/۷۸٪ نسبت به تیمار PFT افزایش یافته است ($p<۰/۰۵$)، بین تیمار شاهد و تیمار PFT از

نظر این صفت تفاوت معنی‌دار نیست (جدول ۴). مایاک و همکاران (۲۰۰۴) نیز طی مطالعه بر روی گوجه‌فرنگی در شرایط شور به این نتیجه رسیدند که سویه‌های باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه اثرات نامطلوب شوری را کاهش داده و وزن تر و خشک گیاه را نسبت به شاهد افزایش داده‌اند .آنها این اثر سویه‌ها را به توانایی آنها در تولید ACC دآمیناز[1] و در نتیجه کاهش تولید اتیلن نسبت دادند.

همانند ریشه، افزایش سطوح شوری تا سطح S_3، باعث افزایش وزن تر اندام‌هوایی گیاه شده است و از سطح S_3 تا S_4، وزن تر اندام‌هوایی کاهش می‌یابد ولی هیچ یک از این تغییرات معنی‌دار نمی‌باشد. اثرات متقابل هم نتوانسته‌اند وزن تر اندام‌هوایی را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار دهند.

وزن خشک

ریشه

جدول ۲ نشان می‌دهد که فقط اثر تیمارهای باکتریایی بر وزن خشک ریشهٔ گیاه معنی‌دار است ($p<۰/۰۱$) و بقیهٔ اثرات اصلی و متقابل نتوانسته‌اند روی این صفت تأثیر معنی‌داری داشته باشند. وزن خشک ریشه نیز مانند وزن تر آن با افزایش سطوح شوری تا سطح S_3، افزایش یافته و در سطح S_4 کاهش می‌یابد که البته این تغییرات معنی‌دار نمی‌باشد. با توجه به جدول مقایسه میانگین تیمارهای باکتریایی (جدول ۴) بالاترین وزن خشک ریشه در حضور تیمار PFC بدست آمد که این مقدار نسبت به تیمار شاهد (PF_0) تفاوت معنی‌داری ندارد و نسبت به تیمار PFT ۹۹٪ بیشتر است، وزن خشک تیمار شاهد هم ۵۷٪ از تیمار PFT بیشتر است ($p<۰/۰۵$)، کاربرد تیمار PFC باعث افزایش (به‌طور غیرمعنی‌دار) و تیمار PFT باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد بدون باکتری شده است. باسیلیو و همکاران (۲۰۰۴) اعلام نمودند که استفاده از *Azospirillum lipoferum* می‌تواند اثرات منفی شوری در گندم را کاهش دهد. نتایج آنها نشان داد که وزن خشک ریشه و برگ و ارتفاع گیاه در گندم تلقیح شده افزایش یافت، آنها یکی از دلایل افزایش عملکرد این گیاهان را به افزایش جذب آب در گیاه نسبت دادند.

اندام‌هوایی

جدول ۲ نشان می‌دهد که مانند ریشه، وزن خشک اندام‌هوایی نیز فقط تحت تأثیر تیمارهای باکتریایی قرار گرفته است ($p<۰/۰۱$) و بقیهٔ اثرات اصلی و متقابل نتوانسته‌اند روی این صفت تأثیر معنی‌داری داشته باشند. بالاترین وزن خشک اندام‌هوایی در سطح S_3 به‌دست آمده است. با توجه به جدول مقایسه میانگین تیمارهای باکتریایی (جدول ۴) بالاترین وزن خشک اندام‌هوایی در حضور تیمار PFC به‌دست آمده است که این مقدار نسبت به تیمار شاهد (PF_0) ۲۷٪/۲ و نسبت به تیمار PFT ۴۶٪/۴ بیشتر است ($p<۰/۰۵$)، بین تیمار شاهد و تیمار PFT از نظر وزن خشک اختلاف معنی‌دار نیست. گلیک و همکاران (۱۹۹۵) اعلام نمودند که دورهٔ بحرانی عمل آنزیم ACC دآمیناز مراحل اولیهٔ رشد گیاه می‌باشد و چنانچه باکتری بتواند در این مرحله استقرار مناسبی در روی بذر پیدا نماید اثرات مثبت آن افزایش خواهد یافت؛ همچنین این افزایش می‌تواند حاکی از نقش آنزیم ACC دآمیناز در کاهش اثرات منفی ناشی از شوری و به عبارت دیگر افزایش تحمل گیاه به شوری باشد. مکانیسم‌های دیگری بجز تولید آنزیم ACC دآمیناز نیز در افزایش رشد گیاه مؤثر می‌باشند که از جمله توانایی سویه در تولید سیدروفور و تأمین آهن مورد نیاز گیاه و انحلال منابع نامحلول فسفر و قابل استفاده شدن فسفر برای جذب گیاه را می‌توان نام برد.

مایاک و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که باکتری *Achromobacter piechoudii* ARV8 که یک باکتری محرک رشد گیاه دارای آنزیم ACC دآمیناز است توانست وزن تر و خشک نهال‌های گوجه‌فرنگی را در حضور ۱۷۲ میلی‌مول در لیتر نمک NaCl به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد. به عقیدهٔ این محققان تأثیر باکتری در کاهش اثرات تنش شوری بر گیاه به‌واسطهٔ

[1]- ACC deaminase

تأثیری است که این باکتری بر کاهش اتیلن داشته است. محققین دریافتند که باکتری *Pseudomonas putida* UW4 با توانایی تولید آنزیم ACC دآمیناز به‌طور معنی‌داری وزن خشک اندام‌هوایی کلزا را در شرایط شور تا ۵ برابر افزایش داد، درحالی‌که سویهٔ موتانت این باکتری (فاقد فعالیت ACC دآمیناز) رشد گیاه را افزایش نداد (چنگ و همکاران ۲۰۰۷).

نتیجه‌گیری کلی

اثر تیمار قارچی (*Rhizophagus irregularis*) علیرغم درصد کلنیزاسیون بالای ریشه (۷۲/۳۰۶٪) فقط بر وزن تر اندام‌هوایی و غلظت پرولین برگ معنی‌دار شد و با کاهش وزن تر اندام‌هوایی و افزایش غلظت پرولین برگ گیاهان میکوریزی نسبت به غیرمیکوریزی تأثیر مثبت در کاهش اثرات مضر شوری در گیاه داشت.

کاربرد هر دو سویهٔ باکتریایی به همراه تیمار قارچی باعث افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه نسبت به تیمار شاهد (تیمار قارچی بدون باکتری) شد.

وزن تر و خشک ریشه و اندام‌هوایی و شاخص کلروفیل برگ‌ها در حضور تیمار PFC به‌طور معنی‌دار بالاتر از تیمارهای PFT و .PF شد ولی با توجه به اینکه در این تحقیق مدت رشد گیاهان حدود ۴۵ روز بود و در محیط، تنش شوری وجود داشت این امکان وجود دارد که گیاهان نتوانند این تنش را تا رسیدن به مرحلهٔ عملکرد تحمل کنند. از طرف دیگر افزایش غلظت پرولین برگ در حضور تیمار PFT نسبت به تیمارهای PFC و .PF، به‌عنوان یک عامل مثبت در رابطه با سازگاری گیاه در شرایط تنش شوری و نیز با توجه به نتیجهٔ تحقیق حکیمی و همکاران (۱۳۹۲) انتظار می‌رود در دراز مدت تیمار PFT باعث تداوم رشد گیاهان تا مرحلهٔ رسیدن به عملکرد در چنین شرایط تنشی باشد.

منابع مورد استفاده

Al-Karaki GN, 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. Mycorrhiza 10: 51-54.

Al-karaki GN and Hammad R, 2001. Mycorrhiza influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. Journal of Plant Nutrition 24: 1311-1323.

Ashraf M, 2001. Relation between growth and gas exchange characteristics in some salt-tolerance amphidiploid Brassica species in relation to their diploid parents. Environmental and Experimental Botany 45: 155-163.

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.

Bacilio M, Rodriguez H, Moreno M, Hernandez JP and Bashan Y, 2004. Mitigation of salt stress in wheat seedling by *agfp-taged Azospirillum lipoferum*. Biology and Fertility of Soils 40:188-193.

Banaei MH, Moameni A, Bybordi M and Malakouti MJ, 2005. The Soils of Iran. Soil and Water Research Institute. Tehran. Iran. 481p.

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. Soil and Water Science 20(1): 94-105. (In Farsi)

Brown JW and Hayward HE, 1956. Salt tolerance of alfalfa varieties. Agronomy Journal 48: 18-20.

Campbell RJ, Mobley KN, Marini RP and Pfeiffer DQ, 1998. Growing conditions alter the relationship between SPAD-501 values and apple leaf chlorophyll. Horticultural Science 25: 330- 331.

Cheng Z, Park E and Glick BR, 2007. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from *Pseudomonas putida* UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. Canadian Journal of Microbiology 53: 912-918.

Erylmaz F, 2006. The relationships between salt stress and anthocyanin content in higher plants. Biotechnology and Biotechnological Equipment 20: 47-52.

Ghoulam C, Foursy A and Fares K, 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and praline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environmental and Experimental Botany 47: 39-50.

Giri B, Kapoor R and Mukerji KG, 2007. Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. Microbial Ecology 54: 753-760.

Glick BR, Karaturovic D and Newell P, 1995. A novel procedure for rapid isolation of plant growth-promoting rhizobacteria. Canadian Journal of Microbiology 41: 533–536.

Hakimi M, Aliasgharzad N, Sarikhani MR and Najafi N, 2013. Effect of inoculation of *Pseudomonas fluorescens* and *Glomus intraradices* on nutrient uptake in tomato plants under different salinity levels. Applied Soil Research 1(2): 45-60. (In Farsi)

Heuer B and Nadler A, 1998. Physiological response of potato plants to soil salinity and water deficit. Plant Science 137: 43-51.

Hodge A, 2000. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. FEMS Microbiology Ecology 32: 91-96.

Irigoyen JJ, Emerich DW and Sanchez-Diaz M, 1992. Water stress induce changes in concentration of proline and total soluble sugar in nodulated alfalfa *(Medicgo sativa)* plants. Physiologia Plantarum 84: 55-60.

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. Water and Soil Science- University of Tabriz 21(2): 175-191. (In Farsi)

Jamil M, Rehman SH and Rha ES, 2007. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta Vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica Oleracea Capitata* L.). Pakistan Journal of Botany 39: 753-760.

Jampeetong A and Brix H, 2009. Effect of NaCl salinity on growth, morphology, photosynthesis and proline accumulation of *Salvinia natans*. Aquatic Botany 91: 181-186.

Khan MA, Ungar IA and Showalter AM, 2000. Growth and accumulation of the halophyte *Haloxylon recurvum*. Commonication Soil Science Plant Nutrition 31: 2763-2774.

Kohler J, Caravaca F, Carrasco L and Roldan A, 2006. Interaction between a plant growth-promoting rhizobacterium, an AM fungus and a phosphate-solubilising fungus in the rhizosphere of *Lactuca sativa*. Soil Ecology 35: 480-487.

Kormanik PP and Graw AC Mc, 1982. Quantification of VA mycorrhizae in plant roots. Pp. 37-45. In: Schenck NC (ed). Methods and Principles of Mycorrhizal Research. American Phytopathological Society. St. Paul.

Le-Dily F, Billard JP, Le-Saos J and Huault C, 1993. Effects of NaCl and gabaculine on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons. Plant Physiology and Biochemistry 31: 303-310.

Levitt J, 1990. Responses of Plants to Environmental Stress. Vol. 1. 2nd. Academic press, New York.

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

Mayak S, Tirosh T and Glick BR, 2004. Plant Growth promoting bacteria confer resistance in tomato plants salt stress. Plant Physiology and Biochemistry 42: 565-572.

Misra AN, Sahu SM, Misra M, Singh P, Meera I, Das N, Kar M and Sahu P, 1997. Sodium chloride induced changes in leaf growth, and pigment and protein contents in two Rice cultivars. Biologia Plantarum 39: 257-262.

Mosse B, 1962. The establishment of vesicular- arbuscular mycorrhiza under aseptic conditions. Journal of General Microbiology 27: 509-520.

Nielson DC, Hogue EJ, Neilsen GH and Parchomchuck P, 1995. Using SPAD-502 values to assess the nitrogen status of apple trees. Horticultural Science 30: 508-512.

Pan B, Bai YM, Leibovitch S and Smith DL, 1999. Plant growth promoting rhizobacteria and kinetin as ways to promot corn growth and and yield in a short growing season area. Eropean Journal of Agronomy 11: 179-186.

Rejali F, Mardoukhi B and Malakouti MJ, 2010. Effect of mycorrhizal symbiosis on water use efficiency, proline accumulation and nutrient uptake of wheat under saline conditions. Water Research in Agriculture (Soil and Water Sciences) 24(2): 111-122. (In Farsi)

Sadat A, Savaghebi Gh, 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)

Singh RP, Choudhary A, Gulati A, Dahiya HC, Jaiwal PK and Sengar RS, 1997. Response of plants to salinity in interaction with other abiotic and factors. Pp. 25-39. In: Jaiwal PK, Singh RP and Gulati A (eds). Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants. Science Publishers, Enfield.

Yadlarlou L and Majidi Heravan E, 2008. Evaluation of salinity stress on morphophysiological traits of four salin tolerant wheat cultivars. Iranian Crop Researches 6(1): 205-215. (In Farsi)