نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره دوم، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۸، (ص ۱۰۷-۱۲۹)

تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی پسته در خاک شور

مرضیه زینلی بافقی[۱]، جلال غلام نژاد[۲*]، سید علیرضا اسمعیل زاده حسینی[۳]، مصطفی شیرمردی[۴]، اعظم جعفری[۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

zeinalim70@yahoo.com

۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی ، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

jgholamnezhad@ardakan.ac.ir

۳- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات گیاه پزشکی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران .phytoplasma.iran@gmail.com

٤- استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی ، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

shirmardi@ardakan.ac.ir

۵- استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی ، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

ajafari@ardakan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۱ ***تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴***

چکیده

پسته یکی از مهم‌ترین محصولات باغی با نام ایران در آمیخته و تولید آن در کشور سابقه تاریخی دارد. یکی از مهم‌ترین معضلات پیش‌رو در مناطق پسته‌کاری ایران شوری خاک است، که این تنش باعث می‌شود مشکلات تغذیه‌ای فراوانی برای درخت پسته به وجود آید. در این پژوهش تأثیر باکتری‌های افزایش دهندهٔ رشد گیاهی (ایزوله‌های Pseudomonas putida R8 و P. fluorescens R153) بر ارقام پسته شامل بادامی زرند، اکبری و احمدآقایی در یک خاک شور به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. نتایج حاکی از این بود که استفاده از باکترهای محرک رشد (ایزوله‌های R8 وR115) باعث افزایش مقدار شاخص‌های رشدی از جمله وزن تر و خشک ساقه و ریشه همچنین، سطح و تعداد برگ شد. باکتری R8 باعث افزایش وزن خشک ریشه و وزن تر اندام هوایی به ترتیب به میزان ۷۴ و ۵۴٪ نسبت به شاهد در رقم بادامی شد. سطح برگ و تعداد برگ به میزان ۸۱ و ۳۰٪ در تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R8 در رقم بادامی افزایش پیدا کردند. محتوای نسبی آب برگ (RWC)، میزان پرولین، کلروفیل کل، a و b و کاروتنوئید نیز به وسیلهٔ کاربرد باکتری‌های محرک رشد به خصوص R8 P. putida بهبود یافت. تیمار باکتری R8 در رقم بادامی قادر به افزایش جذب عناصر پتاسیم و فسفر به میزان ۳۵٪ (برگ)، ۴۳٪ (ریشه)؛ ۶۱٪ (برگ) و ۵۳٪ (ریشه) شد. نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد باکتری‌های محرک رشد به علت ترشح ترکیبات موثر در رشد گیاه قادر به افزایش شاخص‌های رشدی همچنین، فیزیولوژیکی حتی در گیاهانی که در شریط تنش شوری قرار دارند می‌شود.

کلمات کلیدی: پسته، Pseudomonas sp.، شاخص رشد، شاخص فیزیولوژیک

مقدمه

پسته (*Pistachio vera L.*) به عنوان یک محصول استراتژیک جایگاه خاصی در تولیدات کشاورزی ایران دارد و بخش عمده‌ای از صادرات غیر نفتی را تشکیل می‌دهد (Sheibani, 1994). ایران به عنوان یکی از زیستگاه‌های اصلی پسته در دنیا شناخته شده است. وجود چندین هزار هکتار پسته خودرو متعلق به گونه پسته خوراکی (*P.vera*) در شمال شرق ایران و گونه‌های موتیکا (*P.mutica*) و خینجوک(*P.khinjuk*) بطور پراکنده در دامنه‌های زاگرس دلیلی بر این مدعاست (Zeinoddini et al., 2007).

عامل شوری حدود یک سوم زمین‌های کشاورزی را در دنیا تحت تاثیر خود قرار داده و در مناطق خشک و نیمه‌خشک به عنوان یک مشکل جدی مطرح است (Wu and Zou, 2009). در ایران خاک‌های شور و سدیمی، وسعتی حدود ۱۵ تا ۲۶ میلیون هکتار (۱۰ تا ۱۵ درصد از مساحت کشور) را به خود اختصاص داده‌اند (حکم‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۲). تنش شوری به روش‌های گوناگونی سبب کاهش رشد گیاهان می‌شود؛ هرچند، سهم هرکدام از این عوامل به درستی مشخص نیست. کاهش پایداری غشای سلولی، فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی، آماس سلول‌ها و در نتیجه کاهش توسعه برگ‌ها، اختلال در جذب یون‌ها به ویژه تجمع یون‌های سدیم و کلر در برگ و در نهایت کاهش رشد رویشی و عملکرد اقتصادی از اثرات تنش شوری بر گیاهان زراعی می‌باشد (Daeia et al., 2009).

برای مقابله با پدیده شوری، مؤثرترین راه استفاده از گونه‌ها و ارقام مقاوم می‌باشد (Demiral, 2005). استفاده از کودهای شیمیایی در اکوسیستم‌های زراعی نه تنها باعث تخریب ساختار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک می‌شود، بلکه کیفیت محصولات تولید شده را نیز به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، استفاده از منابع غذایی قابل تجدید موجود (آلی و بیولوژیکی) به همراه کاربرد بهینه‌ای از مواد معدنی، نقش مهمی در جهت حفظ باروری، ساختمان و فعالیت حیاتی خاک ایفا می‌کند، و تغذیه ارگانیک خاک یک استراتژی جهانی برای حفظ باروری طبیعی خاک از طریق تقویت میکروارگانسیم‌های خاک می‌باشد (دانشیان و هادی، ۱۳۸۸). کود آلی، مدیریتی مناسب برای تولید پایدار در تمام اکوسیستم‌های کشاورزی است زیرا می‌تواند موجب افزایش پایداری از طریق کاهش فرسایش، اصلاح خصوصیات فیزیکی، افزایش مواد آلی و نگهداری عناصر غذایی خاک شود (Dell'Amico et al., 2002).

یکی از روش‌های افزایش دسترسی به عناصر مورد نیاز در خاک‌های زراعی استفاده از باکتری‌های محرک رشد (PGPR) می‌باشد. سودوموناس از مهم‌ترین باکتری‌های ریزوسفری است که به دلیل توانایی بالا در رقابت با سایر جانداران برای عناصر غذایی و سازگاری سریع با شرایط محیطی مختلف، در بیشترمحیط‌ها مورد مشاهده قرار می‌گیرد. این باکتری‌ها توانایی استفاده از منابع کربن را دارا هستند و موثرترین گروه سودوموناس‌ها، سودوموناس‌های فلورسنت هست که به دلیل خصوصیات متابولیکی و عملکردی متنوع، نقش بارزی در بهبود باروری و سلامت خاک دارد (Yang et al., 2009). این باکتری‌ها با تولید هورمن‌های گیاهی مانند اکسین، آنزیم ACC دآمیناز، سیدروفور، اسیدهای آلی و سیانیدهیدروژن موجب افزایش انحلال و فراهمی عناصر غذایی مانند فسفر، آهن و روی در خاک شده و از طرف دیگر مقاومت گیاهان را در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی را افزایش می‌دهد (Saleem

(et al., 2007). توانایی سودوموناس‌های فلورسنت برای بقا همچنین، افزایش رشد و عملکرد گیاهان در خاک‌های مناطق شور و خشک گزارش شده است (Rehman and Nautiyal, 2002).

هدف از انجام پژوهش حاضر مقایسه اثرات و امکان کاربرد باکتری‌های افزایش‌دهندهٔ رشد بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه پسته جهت افزایش توانایی این گیاه در تحمل شوری و جلوگیری از کاهش عملکرد این گیاه بود. در این پژوهش اثر PGPR ها بر صفات مورفولوژیکی همچنین، فیزیولوژیکی دانهال‌های پسته مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

باکتری‌های افزایش‌دهندهٔ رشد گیاهی

باکتری‌های افزایش دهندهٔ رشد گیاهی (ایزوله‌های R8 *Pseudomonas putida* و *Pseudomonas fluorescens* R153) از موسسهٔ آب و خاک کرج دریافت شدند.

نحوه اعمال تیمارها

۱/۲ گرم از هر باکتری افزایش دهنده رشد (ایزوله‌های *Pseudomonas putida* R8 و *P. fluorescens* R153) به هر گلدان داده شد. اهداف شامل بررسی اثر باکتری محرک رشد گیاه (در سه سطح) بر سه رقم پسته (احمدآقایی، بادامی و اکبری) در یک خاک شور بود.

خاک شور از باغ پسته شهرستان بافق برداشت و پس از تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفت. شوری خاک مورد آزمایش دوازده دسی زیمنس بر متر بود. این منطقه در طول جغرافیایی ۳۱درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۵ درجه و٤ دقیقه شرقی واقع شده است. وسعت منطقه حدود ۱۵۲۸۳ کیلومتر مربع بود. پس از نمونه‌برداری، خاک‌ها از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شد.

مراحل کشت گلخانه‌ای

آماده‌سازی گلدان‌ها

در این تحقیق از گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع cm ۲۱/۵ با قطر دهانه cm ۲۳ استفاده شد. وزن هر گلدان خالی ۱۹٤ گرم بود و به هر گلدان ٦ کیلوگرم خاک الک شده اضافه گردید. بذر گیاه پسته از ایستگاه تحقیقات پستهٔ اردکان دریافت شد. در مرداد ماه ۱۳۹٦ در گلدان‌های مذکور این بذورکشت داده شدند، و طی سه هفته به مرحلهٔ سه الی چهار برگی رسیدند و رطوبت گلدان‌ها در حد ۸۰ درصد FC نگه داشته شد. میانگین دما در زمان نگهداری حدوداً ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. آبیاری گلدان‌ها با استفاده از آب شهر با هدایت الکتریکی ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر، انجام شد. از خروج آب از گلدان‌ها با بستن روزنه انتهایی گلدان جلوگیری شد تا شوری در همان حد بماند. گلدان‌ها درگلخانه با پوشش با شرایط دمایی و رطوبتی قابل کنترل نگهداری شدند.

اندازه‌گیری‌های شاخص رشدی

پارامترهای رشدی شامل وزن تر و خشک (اندام هوایی و ریشه)، تعداد برگ و سطح برگ بررسی شد. وزن با استفاده از ترازوی دیجیتال، و قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ، برگ را با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ اسکن کرده و سطح برگ بر اساس سانتی‌مترمربع بدست آمد.

وزن تر و خشک (اندام هوایی و ریشه)

بلافاصله بعد از خارج کردن گیاهان از خاک، کل گیاهان به آزمایشگاه انتقال داده شدند و پس از شستشوی اندام هوایی و ریشه‌ها جدا گردید، بلافاصله وزن تر هر یک اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها داخل پاکت جداگانه گذاشته و داخل آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲٤ ساعت قرار داده شد. در نهایت نمونه‌های خشک شده از آون بیرون آورده شده و وزن خشک اندام هوایی و ریشه نیز به‌طور جداگانه با ترازوی با دقت یک صدم اندازه‌گیری شد (جوادی و بهرام‌نژاد، ۱۳۸۸).

سطح برگ

بعد از برداشت گیاهان بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردید سپس شستشو انجام گرفت و قسمت هوایی از ریشه جدا گردید و به صورت کامل گیاهان با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[1] (مدل WinArea-UT-11 ساخت ایران) سطح برگ اندازه‌گیری شد.

تعداد برگ و ارتفاع

تعداد برگ از طریق شمارش در هر تکرار (هر گیاه در گلدان) انجام شد.

ارتفاع گیاه به وسیله خط‌کش از سطح خاک تانقطهٔ انتهایی گیاه اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های اکوفیزیولوژیکی

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

برای اندازه‌گیری میزان آب نسبی برگ، ابتدا ده عدد دیسک به قطر ۰/۵ سانتی‌متر از پهنک برگ بالغ و جوان به صورت تصادفی جدا شد و پس از توزین وزن تر (FW) داخل شیشه‌های حاوی ده میلی‌لیتر آب مقطر به مدت چهار ساعت در دمای صفر تا چهار درجه سانتی گراد در تاریکی قرار داده شد تا سلول‌های برگ به حالت تورژسانس کامل درآمد. سپس آن‌ها را روی کاغذ صافی قرار داده تا رطوبت آن‌ها گرفته شد، سپس وزن تورژسانس (TW) ثبت و نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ٤۸ ساعت خشک شد و وزن خشک دیسک‌ها (DW) نیز اندازه‌گیری شد. RWC با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Gonzalez and Gonzalez-Vilar, 2003).

$$RWC = [(FW-DW) / (TW-DW)] \times 100$$

اندازه‌گیری کلروفیل کل، a و b، کارتنوئید

مقدار ۰/۲۵ گرم از نمونه برگ بالغ و جوان در هاون چینی با ده میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده تا به صورت محلول یکنواختی درآمد سپس محلول به حجم ۲۵ سی‌سی رسانده شد و حجم نهایی عصاره به مدت ده دقیقه با ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس میزان جذب نور محلول با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ٤۸۰،۵۱۰،٦٤۵،٦۵۲ و٦٦۳ نانومتر قرائت شد و در نهایت غلظت کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از روش زیر محاسبه گردید.آرنون (۱۹٦۷)

[1]. Leaf area meter

کلروفیل کل $(mg / gfw) = [(8.02 \times OD_{663}) + (20.2 \times O_{D645})] \times V / [1000 \times W]$

a کلروفیل $(mg / gfw) = [(12.7 \times OD_{663}) _ (2.62\times OD_{645})] \times V / [1000 \times W]$

b کلروفیل $(mg / gfw) = [(22.9 \times OD_{645}) _ (4.68\times OD_{663})] \times V / [1000 \times W]$

کارتنوئید کل $(mg / gfw) = [(7.6 \times OD_{480}) _ (1.49\times OD_{510})] \times V / [1000 \times W]$

OD: میزان جذب نور V: حجم نهایی عصاره W: وزن تر نمونه (گرم) (Arnon, 1967)

اندازه گیری پرولین

برای استخراج پرولین، ۰/۵ گرم بافت برگ با پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی کوبیده و عمل استخراج دو بار و هر بار با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ تکرار شد. محلول بدست آمده به مدت ده دقیقه با دور ۳۵۰۰rpm سانتریفیوژ شد. پس از جداسازی فاز مایع از جامد، قسمت مایع برای استخراج مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین غلظت پرولین یک میلی‌لیتر از عصاره الکی فوق را با ده میلی‌لیتر آب مقطر رقیق نموده و پنج میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین (مخلوط ۱/۲۵ گرم ناین هیدرین در ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲۰ میلی-لیتر اسید فسفریک ٦ مولار) به آن اضافه کرده و به مدت ٤٥ دقیقه در حمام آب گرم (۹۵ درجه سانتی گراد) قرار داده و پس از خارج کردن نمونه‌ها از حمام آب گرم و خنک کردن آن‌ها، ده میلی‌لیتر بنزن به آن‌ها اضافه کرده و با همزن مکانیکی مخلوط کرده تا پرولین وارد فاز بنزن شود. نمونه‌ها ۳۰ دقیقه به حالت سکون رها شدند، سپس میزان جذب با اسپکتوفتومتر (PG Instruments, T80 UV/VIS) در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (Bates, 1973) محاسبه میزان پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر نمونه بود.

اندازه‌گیری عناصر غذایی

جهت اندازه‌گیری یون پتاسیم (برگ‌ها، شاخه و ریشه) هر گیاه به طور جداگانه با آب مقطر شسته شد. بافت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد آون خشک شد، پس از چهار روز آسیاب و پودر شدند. سپس برای اندازه‌گیری یون-های پتاسیم یک گرم از پودر خشک هر نمونه وزن و در کروزه چینی در دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی گراد پس از پنج ساعت به خاکستر تبدیل شد. پس از عصاره‌گیری با اسیدکلریدریک دو نرمال طبق روش چاپمن و پرت مقدار سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتـومتر (مدل Model PEP7, Jenway, Dunmow, UK) خوانده شد و اندازه‌گیری فسفر با استفاده از دستگاه اسـپکتروفتومتر (مدل Jenus) و به روش زرد مولیبدات وانادات انجام شد (Chapman and Pratt, 1961).

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و در نهایت رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel صورت گرفت. برای بررسی نمودن نرمال بودن داده ها از نرم افزار MINItab 5.3 استفاده شد.

نتایج

وزن تر و خشک (اندام هوایی و ریشه)

بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول (۱) مشخص شد که بین ارقام مختلف، همچنین، تیمارهای مختلف بر وزن تر ریشه و اندام هوایی و همچنین وزن خشک ریشه و اندام هوایی از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. در مورد اثرات متقابل تیمارها و ارقام، وزن تر اندام‌هوایی و وزن خشک ریشه، اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف تیمارهای اعمال شده وجود داشت، اما در مورد دو صفت دیگر، وزن خشک اندام هوایی و تر ریشه، اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف آن‌ها وجود نداشت (جدول ٤-۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه تحت تأثیر ارقام مختلف تغییر معنی‌داری نشان می‌دهد.

نتایج اثرات متقابل تیمارها و ارقام نشان داد که فقط دو صفت وزن تر اندام هوایی و وزن خشک ریشه دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول، ۳). در مورد وزن خشک ریشه، تیمار استفاده از باکتری R8 در روی رقم بادامی با مقدار ۰/۸۹ بیشترین مقدار را نشان داد و با همهٔ تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود. در مورد وزن تر اندام هوایی نیز همین روند تکرار شد و تیمار باکتری R8 بیشترین مقدار (۱/۷۸) را بر روی رقم بادامی نشان دادند که این مقدار نیز با همهٔ تیمارهای دیگر به جز همین تیمار در رقم اکبری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر ارقام مختلف پسته و باکتری‌های PGPR بر وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی

Table 1. Analysis of variance of the effect of different pistachio cultivars as well as different treatments of PGPR bacteria on fresh and dry weight of roots and stem

Mean of squares				Degrees of freedom	Sourse of variation (S.O.V)
Root dry weight	Stem dry weight	Root fresh weight	Stem fresh weight		
0.26**	0.021**	0.67**	0.29 **	2	Cultivars (A)
0.91**	1.58**	2.39**	3.37**	2	Bacteria (B)
0.32 **	0.091 ns	0.32 ns	0.08 **	4	Cultivars (A)× Bacteria (B)
0.063	0.25	0.41	0.030	27	Error
9.65	۷/۸۹	7.71	9.41		CV
				35	Total

Ns; Non-significant; ** Significant at P≤0.01

جدول ۲- جدول مقایسهٔ میانگین اثرات متقابل تیمارهای مختلف (شامل باکتری‌های PGPR) و ارقام متفاوت پسته بر وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی (بر حسب گرم)

Table 2. Comparison of the interactions of different treatments (PGPR bacteria) and different pistachio cultivars on fresh and dry weight of the roots and stem

No.		Treatments	Stem fresh wegh (g)	Root fresh weght (g)
1	Akbari cultivar	Control	1.19e	0.44e
2		Bacteria (R8)	1.72ab	081b
3		Bacteria (R115)	1.59bc	0.62c
4	Ahmad aghyee cultivar	Control	1.18e	0.42e
5		باکتری R8	1.64b	0.86ab
6		باکتری R115	Bacteria (R8)	0.67c
7	Badami cultivar	Control	Bacteria (R115)	0.51de
8		Bacteria (R8)	1.78a	0.89a
9		Bacteria (R115)	1.65b	0.69c

The average table numbers are four replicates and the weight (in gams).

سطح برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس۳ نشان داد که بین ارقام مختلف، دو ایزولهٔ باکتری محرک رشد و همچنین اثرات متقابل ارقام و باکتری محرک رشد از نظر تأثیر بر صفت سطح برگ، از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که صفت سطح برگ به صورت معنی‌دار تحت تأثیر ارقام مختلف قرار می‌گیرد. رقم بادامی بیشترین سطح برگ را (۴۸/۱۲) نشان داد، که با سایر ارقام اختلاف معنی‌دار داشت. استفاده از باکتری‌های محرک رشد باعث ایجاد تغییرات معنی‌داری بر روی صفت سطح برگ شدند. به این صورت که بیشترین مقدار سطح برگ در تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R8 با مقدار ۵۷/۱۲ مورد مشاهده قرار گرفت که این میزان با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ٤). اثرات متقابل استفاده از تیمارهای مختلف و همچنین ارقام مختلف به صورت معنی‌داری باعث ایجاد اختلاف در مورد صفت سطح برگ شد، به این صورت که سطح برگ در تیمار استفاده از باکتری R8 در مورد رقم بادامی زرند بیشترین مقدار (٤٠/٠٤) را نشان داد که این تیمار با سایر تیمارهای مورد مطالعه (به جز همین تیمار در مورد رقم اکبری) دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ٤).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر ارقام مختلف پسته و باکتری‌های PGPR بر سطح برگ، تعداد برگ، ارتفاع و قطر ساقه

Table 3. Analysis of variance of the effect of different pistachio varieties (Akbari, Ahmad Aghaei and Badami) as well as different treatments of mycorrhizal fungi and PGPR bacteria on leaf area, number of leaves, stem height and diameter

Leaf No.	Leaf area	Degrees of freedom	Sourse of variation
^{ns}18.56	1012 **	2	Cultivars (A)
^{ns}3.33	2003**	2	Bacteria (B)
26.69 **	53 **	4	(A)× Bacteria (B) Cultivars
7.36	9.78	27	Error
12.56	5.63		CV
		35	Total

**The difference was significant at 99% probability (P≤0.01).

جدول ٤- جدول مقایسهٔ میانگین اثرات متقابل تیمارهای مختلف (شامل باکتری‌های PGPR) و ارقام متفاوت پسته بر سطح برگ (سانتی‌متر مربع) و تعداد برگ

Table 4: Comparison of the interactions of different treatments (including PGPR bacteria) and different pistachio cultivars on leaf area and leaf number

Leaf No.	Leaf area (cm^2)	تیمارهای مختلف	Cultivars	No.
14.94c	28.74d	Control	Akbari cultivar	1
15.78b	38.82a	Bacteria (R8)		2
15.44bc	31.92bc	Bacteria (R115)		3
14.42c	23.02g	Control	Ahmad aghyee cultivar	4
15.03b	32.86b	باکتری R8		5
14.62e	28.04c	باکتری R115		6
14c	22.51d	Control	Badami cultivar	7
17.25a	40.04a	Bacteria (R8)		8
16.55a	32.53b	Bacteria (R115)		9

The average table numbers are four replicates and the weight

تعداد برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس (۳) نشان داد که بین ارقام مختلف و باکترهای محرک رشد از نظر صفت تعداد برگ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما بین اثرات متقابل ارقام و تیمارهای مختلف از نظر تأثیر بر روی صفت تعداد برگ، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین (٤) نشان داد که صفت تعداد برگ تحت تأثیر استفاده از تیمارهای مختلف و همچنین ارقام متفاوت، تغییر معنی‌داری نشان می‌دهد. بیشترین تعداد برگ در تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R8 در مورد رقم بادامی (۲۰/۱۷۷۵/۲۵) و همچنین تیمار باکتری R8 در مورد رقم اکبری (۲۰/۱۵۷۰/۷۸) مورد مشاهده قرار گرفت.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

محتوای نسبی آب برگ (RWC) بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس ۵، تحت تأثیر اثرات متقابل استفاده از تیمارهای مختلف (باکتری‌های مختلف محرک رشد) و استفاده از ارقام مختلف قرار گرفت. از طرفی استفاده از ارقام مختلف و همچنین تیمارهای مختلف هر یک به طور جداگانه نتوانست تأثیر معنی‌داری بر روی این صفت بگذارد. بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC) مربوط به تیمار استفادهٔ از باکتری محرک رشد R8 در مورد هر سه رقم بود که میزان آن‌ها به ترتیب برای ارقام اکبری، احمدآقایی و بادامی ٦٢/٠٩ ، ٦٧/٦٩ و ٧٥/٦٦ بود، لازم به ذکر است که این تیمار از نظر آماری بیشترین مقدار را داشت و در بالاترین سطح (a) قرار داشتند و با یکدیگر نیز دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول- ٦). محتوای نسبی آب برگ (RWC) مربوط به تیمار باکتری R115 بعد از تیمار استفادهٔ از باکتری محرک رشد R8 قرار داشت و در مورد هر سه رقم به ترتیب با میزان ٦٥/٧٩ برای رقم اکبری، ٦١/٩٠ برای رقم احمدآقایی و ٦٨/٩٨ برای رقم بادامی بود

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر ارقام مختلف پسته و باکتری‌های PGPR بر RWC، پرولین ()،کلروفیل کل a ()، کلروفیل b، کاروتنوئید

Table 5. Analysis of variance of the effect of different pistachio varieties (Akbari, Ahmad Aghaei and Badami) as well as different treatments of PGPR bacteria on RWC, proline, total chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids

MS						Degrees of freedom	Sourse of variation
Carotenoids	Chlorophyll (b)	Chlorophyll (a)	Total chlorophyll	Prolin	RWC		
0.23 ns	0.012 ns	0.22**	4.79**	0.198**	ns162.12	2	Cultivars (A)
0.74**	0.26 ns	5.22**	2.35**	0.814**	151 ns	2	Bacteria (B)
0.049**	0.012 **	0.021 ns	0.026**	0.019**	145**	4	(A)× Bacteria (B) Cultivars
0.029	0.006	9.12	.00119	0.012	0.362	27	Error
6.34	9.32	14.49	4.26	5.64	12.52		CV
						35	Total

Ns; Non-significant; ** Significant at P≤0.01

جدول٦- جدول مقایسهٔ میانگین اثرات متقابل تیمارهای مختلف (باکتری‌های PGPR) و ارقام متفاوت پسته بر صفات RWC، پرولین، کلروفیل a،کلروفیل b کاروتنوئید

Table 6. Comparison of mean interactions between different treatments (PGPR) and different pistachio cultivars on RWC, proline, chlorophyll a, chlorophyll b carotenoids

Carotenoeid (mg/gfw)	Chlorophyll b(mglgfw)	Chlorophyll a (mglgfw)	Total Chlorophyll (mg/gfw)	Prolin (µmol/gr)	RWC	Treatments	Cultivars	No.
0.156f	0.06e	1.49ef	1.54e	0.522f	51.65f	Control	Akbari cultivar	1
0.306ab	0.47a	2.34ab	2.30ab	0.95a	69.02b	Bacteria (R8)		2
0.212d	0.30c	2.24c	2.01bc	0.68cd	65.80cd	Bacteria (R115)		3
0.136g	0.06e	1.4f	1.44e	0.51f	50.66f	Control	Ahmad aghyee cultivar	4
0.292b	0.42ab	2.29b	2.23ab	0.86b	68.70b	Bacteria (R8)		5
0.205de	0.28cd	2.04d	1.98bc	0.57de	61.90d	Bacteria (R115)		6
0.149f	0.07e	1.58ef	1.69de	0.57de	55.90e	Control	Badami cultivar	7
0.320a	0.48a	2.41a	2.48a	0.96a	75.66a	Bacteria (R8)		8
0.227cd	0.32c	2.35bc	2.13b	0.82b	65.98cd	Bacteria (R115)		9

The average table numbers are four replicates.

پرولین

میزان پرولین براساس نتایج جدول تجزیه واریانس ۵، تحت تأثیر اثرات ارقام و تیمارها هر یک به طور جداگانه و همچنین تحت تأثیر اثرات متقابل استفاده از این دو عامل شامل تیمارهای مختلف (باکتری‌های مختلف محرک رشد) و همچنین استفاده از ارقام مختلف و تیمارهای مختلف هر کدام به طور جداگانه قرار گرفت. در مورد اثرات متقابل، بیشترین میزان پرولین مربوط به تیمار استفادهٔ از باکتری محرک رشد R8 در مورد ارقام بادامی و اکبری بود که میزان آن‌ها به ترتیب برای ارقام اکبری، احمدآقایی و بادامی ۰/۹۵، ۰/۸٦ و ۰/۸۲ بود، لازم به ذکر است که این تیمارها از نظر آماری در بالاترین سطح قرار داشتند و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول-٦). میزان پرولین مربوط به تیمار باکتری R115 بعد از تیمار استفادهٔ از باکتری محرک رشد R8 قرار داشت و در مورد هر سه رقم به ترتیب با میزان ۰/٦۷ برای رقم اکبری، ۰/۵۷ برای رقم احمدآقایی و ۰/۸۲ برای رقم بادامی بود.

اندازه‌گیری کلروفیل کل، a و b ،کاروتنوئید

همانطور که جدول۵، نشان می‌دهد محتوای کلروفیل کل، تحت تأثیر اثرات متقابل استفاده از تیمارهای مختلف (باکتری‌های مختلف محرک رشد) و همچنین استفاده از ارقام مختلف قرار گرفت و از طرفی استفاده از تیمارهای مختلف و همچنین ارقام مختلف هر یک به طور جداگانه توانست تأثیر معنی‌داری بر روی میزان کلروفیل کل بگذارد. بیشترین میزان محتوای کلروفیل کل مربوط به تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R8 در مورد هر سه

رقم بود که میزان آن‌ها به ترتیب برای ارقام اکبری، احمدآقایی و بادامی ۲/۰۱، ۱/۹۸ و ۲/۱۳ بود، لازم به ذکر است که این تیمارها از نظر آماری در بالاترین سطح قرار داشتند و با یکدیگر دارای اختلاف معنی دار نبودند اما با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول-٦).

محتوای کلروفیل a بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس ۵، تحت تأثیر اثرات متقابل استفاده از تیمارهای مختلف (باکتری‌های مختلف محرک رشد) و همچنین استفاده از ارقام مختلف قرار گرفت و از طرفی استفاده از تیمارهای مختلف هر یک به طور جداگانه توانست تأثیر معنی‌داری بر روی میزان کلروفیل a بگذارد، اما استفاده از ارقام مختلف به طور جداگانه نتوانست تأثیر معنی‌داری بر روی این صفت بگذارد. بیشترین میزان محتوای کلروفیل a مربوط به تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R8 در مورد هر سه رقم بود که میزان آن‌ها به ترتیب برای ارقام اکبری، احمدآقایی و بادامی ۲/۳٤، ۲/۲۹ و ۲/٤۱بود، لازم به ذکر است که این تیمارها از نظر آماری در بالاترین سطح قرار داشتند و با یکدیگر و همچنین با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول-٦).

در مورد محتوای کلروفیل b نتایج جدول تجزیه واریانس ۵، نشان داد که این صفت تحت تأثیر اثرات متقابل استفاده از تیمارهای مختلف (باکتری‌های مختلف محرک رشد) و همچنین استفاده از ارقام مختلف قرار گرفت و از طرفی استفاده از تیمارهای مختلف هر یک به طور جداگانه توانست تأثیر معنی‌داری بر روی میزان کلروفیل b بگذارد، اما استفاده از ارقام مختلف به طور جداگانه نتوانست تأثیر معنی‌داری بر روی این صفت بگذارد. بیشترین میزان محتوای کلروفیل b مربوط به تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R8 در مورد هر سه رقم بود که میزان آن‌ها به ترتیب برای ارقام اکبری، احمدآقایی و بادامی ۰/٤۷، ۰/٤۲ و ۰/٤۸ بود، لازم به ذکر است که این تیمارها از نظر آماری در بالاترین سطح قرار داشتند و با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌دار نبودند ولی با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول-٦).

میزان کاروتنوئید تحت تأثیر ارقام مختلف، تیمارهای مختلف و همچنین اثرات متقابل تیمار و ارقام قرار گرفت (جدول-۵). به عبارت دیگر ارقام و تیمارهای مختلف هر یک هم به طور جداگانه، و هم اثرات متقابل آن‌ها به صورت معنی‌داری باعث ایجاد تغییرات در میزان کاروتنوئید شدند. در مورد اثرات متقابل ارقام و تیمارهای مختلف، بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R8 در مورد هر سه رقم بود که میزان آن‌ها به ترتیب برای ارقام اکبری، احمدآقایی و بادامی ۰/۳۰۲، ۰/۲۹۲ و ۰/۳۲۰ بود، لازم به ذکر است که این تیمارها از نظر آماری در بالاترین سطح قرار داشتند و با یکدیگر دارای اختلاف معنی دار نبودند اما با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول-٦).

اندازه‌گیری عناصر غذایی

اندازه‌گیری پتاسیم برگ و ریشه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس ۷، میزان پتاسیم برگ و ریشه، تحت تأثیر اثرات متقابل استفاده از تیمارهای مختلف باکتری‌های مختلف محرک رشد و همچنین استفاده از ارقام مختلف قرار گرفت و از طرفی استفاده از تیمارهای مختلف و همچنین ارقام متفاوت هر یک به طور جداگانه توانست تأثیر معنی‌داری بر روی میزان این صفت در برگ و ریشه بگذارد. در مورد اثرات متقابل ارقام و تیمارهای مختلف، بیشترین میزان پتاسیم

برگ مربوط به تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R8 در مورد رقم بادامی با میزان ۱/۳۰٪ و بیشترین میزان پتاسیم ریشه هم مربوط به همین تیمار و در همین رقم (۱/۰۹٪) مورد مشاهده قرار گرفت. در مورد میزان پتاسیم برگ در مورد ارقام احمدآقایی و اکبری نیز مانند رقم بادامی بیشترین مقدار پتاسیم مربوط به تیمار استفادهٔ توأم از تیمارهای مختلف و باکتری محرک رشد R8 به ترتیب با مقادیر ۱/۲۳٪ و ۱/۲٦٪ مورد مشاهده قرار گرفت. برای میزان پتاسیم ریشه هم بعد از رقم بادامی (۱/۰۹٪) بیشترین میزان پتاسیم مربوط به تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R8 و ارقام اکبری (۱/۰٦٪) و احمدآقایی (۱/۰۲) بود (جدول-۸).

اندازه‌گیری فسفر برگ و ریشه

آنچنان‌که از نتایج جدول تجزیه واریانس ۷ مشخص است، میزان فسفر برگ و ریشه، تحت تأثیر اثرات متقابل استفاده از تیمارهای مختلف باکتری‌های مختلف محرک رشد و همچنین استفاده از ارقام مختلف قرار گرفت و از طرفی استفاده از تیمارهای مختلف و همچنین ارقام متفاوت هر یک به طور جداگانه توانست تأثیر معنی‌داری بر روی میزان این صفت در برگ و ریشه بگذارد. در مورد اثرات متقابل ارقام و تیمارهای مختلف، بیشترین میزان فسفر برگ مربوط به تیمار استفاده از باکتری محرک رشد R8 در مورد رقم بادامی با میزان ۰/۲۱۲٪، و بیشترین میزان فسفر ریشه هم مربوط به همین تیمار و در همین رقم (۰/۱۹٤٪) مورد مشاهده قرار گرفت. در مورد میزان فسفر برگ در مورد ارقام احمدآقایی و اکبری نیز مانند رقم بادامی بیشترین مقدار فسفر مربوط به تیمار استفادهٔ توأم از تیمارهای مختلف و باکتری محرک رشد R8 به ترتیب با مقادیر ۰/۱۸۷ و ۰/۲۰۵ مورد مشاهده قرار گرفت. برای میزان فسفر ریشه هم بعد از رقم بادامی (۰/۱۹٤٪) بیشترین میزان فسفر مربوط به تیمار استفادهٔ توأم از تیمارهای مختلف و باکتری محرک رشد R8 و ارقام اکبری (۰/۱۷۷٪) و احمدآقایی (۰/۱٦۲٪) بود (جدول-۸).

جدول-۷- تجزیه واریانس تأثیر ارقام مختلف پسته و باکتری‌های PGPR بر عناصر غذایی پتاسیم و فسفر برگ و ریشه

Table 7. Analysis of variance of the effect of different pistachio varieties (Akbari, Ahmad Aghaei and Badami) as well as different treatments of PGPR bacteria on potassium and phosphorus elements of leaves and roots

MS				Dedree of freedom	Sourse of variation
Phosphorus Root %	Phosphorus leaves %	Potassium Root %	Potassium leaves %		
۰/0.006 **	0.006 **	0.016 **	0.042**	2	Cultivars (A)
**0.016	**0.061	**0.619	0.175**	2	Bacteria (B)
۰/0.002**	**0.006	**0.009	0.006 **	4	× (B) Cultivars (A)Bacte
0	0	0	0	27	Error
3.46	7.54	4.56	4.21		CV
				35	Total

**The difference was significant at 99% probability (P≤0.01). There was no statistically significant difference between treatments.

جدول- ۸- جدول مقایسهٔ میانگین اثرات متقابل تیمارهای مختلف (باکتری‌های PGPR) و ارقام متفاوت پسته بر صفات پتاسیم و فسفر برگ و ریشه

Table 8. Comparison of mean interactions of different treatments (PGPR bacteria) and different pistachio cultivars on potassium and phosphorus of leaves and roots

P Root %	P Leaf %	K Roor %	K Leaf %	Treatments		No.
0.117g	0.124gh	0.75d	1.00c	Control	Akbari cultivar	1
0.177b	0.205ab	1.06a	1.26ab	Bacteria (R8)		2
0.144d	0.173d	0.86c	1.09b	Bacteria (R115)		3
0.111h	0.119h	0.73d	0.99c	Control	Ahmad aghyee cultivar	4
0.162c	0.187b	1.02ab	1.23ab	Bacteria (R8)		5
0.139de	0.165e	0.83c	1.07b	Bacteria (R115)		6
0.126fg	0.131fg	0.76d	1.04c	Control	Badami cultivar	7
0.194a	0.212a	1.09a	1.3a	Bacteria (R8)		8
0.174b	0.189c	0.87c	1.12b	Bacteria (R115)		9

The average table numbers are four replicates

بحث

در این مطالعه استفاده از باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاه، شامل وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه، سطح برگ، تعداد برگ گیاه پسته در خاک شور شد. کاهش رشد ارقام و گونه‌های پسته در شرایط تنش شوری در پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده شده بود (Khaet al., 2005). تحقیقات زیادی کاهش وزن گیاهانی که در معرض تنش شوری قرارگرفته‌اند را به اثبات رسانده است (Saleh, 2013). با افزایش شوری، کاهش فشار تورژسانس در گیاهان اتفاق افتاده، فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه نیز کاهش می‌یابد و نهایتاً باعث کاهش وزن خشک و تر در گیاه می‌شود (Neumann ,.1977).

تنش شوری و خشکی پارامترهای رشدی گیاه مانند وزن خشک، سطح برگ، طول ریشه و نیز پارامترهای فتوسنتزی گیاه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد، همچنین این تنش‌ها تولید انواع اکسیژن فعال را القا می‌کند که می‌تواند به میتوکندری وکلروپلاست آسیب برساند. گیاهان در مقابله با تنش‌های شوری و خشکی، تولید ترکیبات اسمزی سازگار با متابولیسم مانند: پرولین، گلایسین بتائین و قندهای محلول را افزایش می دهند. شوری و خشکی همچنین باعث به هم خوردن هومئوستازی یونی می‌شوند. بعضی مطالعات اثر تحریک کنندگی رشد را در شوری ملایم ۲۵ الی ۷۵ میلی‌مولار NaCl در گیاهان هالوفیت و متحمل به شوری نشان داده است (کیم و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج سایر محققین نیز نشان داد که با افزایش شوری، وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه پسته با کاهش معنی‌داری مواجه می‌شود (تاج‌آبادی پور، ۱۳۸۳). احتمالاً این کاهش می‌تواند مربوط به سمیت یون‌های کلر و سدیم، کاهش پتانسیل

آب و یا کاهش تعداد برگ و کوچکتر شدن سطح برگ‌ها باشد. همچنین این یافته‌ها با نتایج سپاسخواه و مفتون ۱۹۸۱ و توللی و همکاران ۲۰۰۸ که در مورد پسته مطالعه کردند، همخوانی دارد.

اثرات سطوح مختلف باکتری‌های محرک رشد استفاده شده در این تحقیق و اثرات متقابل آن‌ها بر روی شاخص‌های رشدی نشان‌دهندهٔ افزایش در تمام شاخص-های رشدی به خصوص در تیمارهای استفادهٔ ترکیبی از این عوامل است، به نحوی که همواره کمترین شاخص‌ها مربوط به تیمار شاهد و بیشترین شاخص ها مربوط به تیمار کاربرد باکتری می‌باشد. یکی از دلایلی که باعث می شود که افزایش در شاخص های رشدی را در تیمارهای کاربرد باکتری‌های محرک رشد شاهد باشیم تولید ترکیبات و موادی هست که این باکتری‌ها در اختیار گیاه قرار می دهند و با افزایش این ترکیبات در منطقهٔ موثر ریشه شاهد افزایش در صفات رشدی گیاه هستیم.

شوری خاک باعث اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه شده و پیامد آن کاهش رشد و عملکرد است (Rabie and Almadini, 2005). کاهش رشد در گیاه تحت تنش شوری با کاهش میزان فتوسنتز اتفاق می‌افتد.

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که تعداد برگ در رقم بادامی به طور معنی‌داری بیشتر از ارقام احمدآقایی و اکبری بود. در مورد سایر صفات رشدی مانند وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی هم این اختلاف معنی‌دار بین ارقام مشاهده شد. مقایسه تیمارهای مختلف استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه نشان داد که این باکتری‌ها قادربه افزایش شاخص‌های رشدی شدند و زمانی که این دو عامل با یکدیگر به کار گرفته شدند اثر هم افزایی بر روی شاخص‌های مذکور داشتند.

پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه

محتوی نسبی آب برگ (RWC)

از نظر محتوی نسبی آب برگ (RWC) اختلافی معنی‌دار بین ارقام مشاهده نشد، ولی اثرات متقابل تیمارها و ارقام و همچنین اثرات تیمارها به تنهایی توانست باعث تأثیر معنی‌داری بر روی این صفت شود. شوری با تغییر غلظت املاح در محیط رشد گیاه بر تعادل یونی، اسمزی و متابولیسم گیاه تأثیر می‌گذارد. تنش شوری همانند دیگر تنش‌های غیرزیستی، علاوه بر اثرات مذکور، اثرات اکسیداتیو را نیز بدنبال دارد. گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) فوق‌العاده فعال هستند و می‌توانند متابولیسم نرمال سلولی را از طریق آسیب‌های اکسیداتیو به ماکرومولکول‌های ضروری مثل لیپیدها، نوکلئیک اسیدها و پروتئین‌ها و رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر قرار دهند. این امر به ایجاد تغییراتی در نفوذپذیری انتخابی غشاءهای زیستی و نشت مواد از غشاء و تغییر در فعالیت آنزیم‌های باند شده به غشاء منجر خواهد شد (Chookhampaeng, 2011).

یازیچی و همکاران در سال ۲۰۰۷ (موافق با نتایج حاصل از آزمایش‌های ما) بیان نمودند که تنش اسمزی ازجمله مشکلاتی است که به دنبال تنش شوری به وجود می‌آید و نتیجه آن کاهش تورم سلول‌هاست. در نهایت از آنجا که رشد سلول وابسته به تورژسانس است تا بر مقاومت دیواره‌های سلولی غلبه کند، بنابراین فقدان تورگر موجب کاهش رشد گیاه می‌شود (Yazici et al., 2007).

در مطالعهٔ حاضر زمانی که گیاه تحت تأثیر تیمار استفاده از باکتری های محرک رشد قرار گرفت میزان RWC نسب به گیاه شاهد افزایش یافت. باکتری‌های محرک رشد با تولید متابولیت‌ها و ترکیباتی که برای رشد گیاه مفید هستند توانستند RWC را در گیاه با اینکه تحت تنش شوری بود بهبود ببخشند. محتوای نسبی آب برگ (RWC) یک صفت فیزیولوژیکی است که بارها به عنوان معیار گزینش برای تحمل به تنش اسمزی و همچنین تنش شوری پیشنهاد شده است (Cechin et al., 2010).

از راهکارهای نوین برای رویارویی با تنش شوری در گیاهان و کاهش تأثیر زیانبار آن‌ها، می‌توان به معرفی ریزجانداران مقاوم به شوری بهبوددهندهٔ رشد گیاه اشاره کرد. برخی از باکتری‌های جداسازی شده از مناطق شور شامل: Flavobacterium, Azospirillum, Alcaligens, Acetobacteriumو Pseudomonas هستند. اینگونه باکتری‌های نمکدوست و مقاوم به شوری در اطراف ریشهٔ گیاهان، می‌تواند تأثیر تنش شوری را کاهش و حاصلخیزی خاک را بهبود ببخشند (Yang et al., 2009). باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش شوری از طریق هدایت هیدرولیکی، تنظیم اسمزی، از بین بردن تأثیر سمی یون سدیم، حفظ هدایت اسمزی بالاتر و نورساخت (فتوسنتز) بیشتر می‌شوند (Mayak et al., 2004).

این باکتری‌ها از راه‌های گوناگون مانند تولید هورمون‌ها، افزایش رهاسازی عنصرهای غذایی، تولید آنزیم ACC دی آمیناز، تثبیت زیستی نیتروژن و انحلال ترکیب‌های نامحلول روی سبب افزایش جذب عنصرهای غذایی شده و مقاومت گیاهان را در برابر تنش‌های محیطی مانند شوری، خشکی و سرما را افزایش می‌دهند (Suarez et al., 2015).

میزان پرولین، کلروفیل کل، a، b و کاروتنوئید

از دیگر مکانیسم‌هایی که به تامین و حفظ آب بافت در شرایط تنش‌ها مانند شوری و خشکی کمک می‌نماید، تجمع مواد سازگار با متابولیسم و تنظیم اسمزی است. در واقع، کاهش پتانسیل اسمزی در پاسخ به تنش آبی مکانیسمی است که با آن بسیاری از گیاهان با شرایط شوری خشکی سازگار می‌شوند. این پدیده یا از تغلیظ غیرفعال مواد ساده قابل حل در اثر دهیدراسیون منتج می-شود یا از تجمع خالص مواد حل شونده؛ که حالت دوم تنظیم اسمزی فعال نامیده می‌شود (Patakas et al., 2002). تجمع این مواد حل شونده سازگار که تحت عناوین محافظت کننده اسمزی یا اسمولیت نیز نامیده می‌شوند در بسیاری گیاهان روشی برای مقابله با خشکی و تعدیل تنظیم اسمزی و حفاظت از ساختارهای زیر سلولی است (Pinheiro et al., 2004). مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که از نظر میزان پرولین، کلروفیل a، b، کاروتنوئید و گلایسین بتائین بین تیمارهای مختلف استفاده از باکتری‌های محرک رشد اختلاف معنی‌دار وجود دارد و در این مورد هم بیشترین میزان این صفات در اثر کاربرد باکتری محرک رشد R8 به دست آمد. به طوری که تیمار شاهد در مورد هر پنج صفت کمترین میزان بود. مقایسه میانگین داده ها در مورد چهار صفت یاد شده (میزان پرولین، کلروفیل a و b و کاروتنوئید) نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار بین سه رقم بود که در مورد همهٔ صفات رقم بادامی دارای بیشترین مقدار بود. افزایش میزان کلروفیل‌ها وکاروتنوئید در تیمار استفاده از

باکتری‌های محرک رشد می‌تواند تأثیر مثبت این عوامل را نشان دهد. لازم به ذکر است که سازگاری گیاه میزبان و باکتری های محرک رشد شرط لازم برای رسیدن به بهترین عملکرد است. پرولین در سلول‌های تحت تنش شوری، نقش آنتی‌اکسیدانی و تنظیم‌کننده پتانسیل اسمزی دارد و با تجمع در سیتوپلاسم سلول‌ها از طریق کاهش پتانسیل اسمزی درون سلولی تجمع نمک در واکوئل را تنظیم می‌کند (Akha et al., 2011).

در مطالعه‌ای تأثیر سطح‌های مختلف تنش شوری (۰/٦، ٤، ٦، و ۸ میلی‌موس بر سانتی‌متر) بر چهار دورگه انجیر، انجام شد. اعمال تنش شوری در سطح هشت میلی‌موس بر سانتی‌متر منجر به افزایش غلظت پرولین (۹/۱۸ برابر)، کاروتنوئیدها (۸/۰٤ ٪)، تراکم روزنه (۵٤/۱۳٪)، کاهش مقدار نسبی آب برگ ۱۵/۲٤٪، نشاسته۳۹/٤۲٪، نسبت به تیمار شاهد شد (زارعی و همکاران، ۱۳۹٦). در بسیاری از گونه‌های گیاهی از جمله انجیر (زارعی و همکاران، ۱۳۹٦) و انار (خیاط و همکاران، ۲۰۱٤) افزایش پرولین تحت تنش شوری گزارش شده است. جیانگ و همکاران (۱۹۹۱) دریافتند که تنش شوری در انجیر موجب افزایش مقدار پرولین در برگ‌ها شد و افزایش پرولین در رقم‌های انجیر با تحمل به شوری رابطه مثبتی دارد. به‌طوری که تغییرهای پرولین به‌عنوان یک شاخص فیزیولوژیکی می‌تواند در ارزیابی تحمل به شوری رقم‌های انجیر به‌کار رود (Jiang et al., 1991).

بختیاری اسفندقی (۱۳۹۱) نیز ضمن بررسی چهار سطح خشکی (۱، ۳، ٦ و ۱۰ روز) بر روی پسته بادامی ریز گزارش کرد که میزان پرولین آزاد و قندهای محلول با افزایش دور آبیاری افزایش می‌یابد، در حالی‌که میزان پروتئین با افزایش دور آبیاری به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در تحقیقی که روی چند رقم پسته (اوحدی، کله‌قوچی و اکبری) انجام شد، همه ارقام تحت تاثیر تنش خشکی میزان پرولین آزاد آنها افزایش و فتوسنتز آن‌ها کاهش یافت (اسماعیل‌پور و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج تحقیق مستاجران و رحیمی ایچ (۲۰۰۹) نشان داد که میزان پرولین آزاد و قندهای محلول می‌تواند به‌عنوان معیاری برای انتخاب پایه‌های مقاوم به خشکی استفاده شود. محققان دیگری نیز مطالعه ای روی اثرات تنش آبی روی برخی پایه های پسته انجام دادند و اهمیت پرولین آزاد به عنوان یک شاخص تنش را ثابت کرده‌اند (کریمی و همکاران، ۲۰۱٦). کارتنوئیدها به‌عنوان اجزای اصلی کلروپلاست شناخته می‌شوند که در خاموش کردن اکسیژن منفرد دخالت دارد (Gaber, 2010). این قابلیت خاموش نمودن کارتنوئیدها ناشی از بازوی زنجیره‌های ایزوپرونیک با تعداد زیادی پیوند دوگانه با دی-الکترون‌های تغییر مکان یافته، امکان دریافت آسان انرژی از مولکول‌های تهییج شده و اتلاف انرژی مازاد به شکل گرما را فراهم می‌آورد (Noreen and Ashraf, 2009).

در گیاهانی که با استفاده از باکتری‌های محرک رشد تیمار شده بودند میزان ترکیبات مختلف از جمله میزان پرولین، کلروفیل a، b و کاروتنوئید بالاتر بود که این مورد نشان‌دهندهٔ تأثیر شگرف این تیمارها در کاهش میزان تأثیرات منفی تنش شوری بر گیاه پسته است. همچنان که بارها در قسمت‌های مختلف این تحقیق ذکر شده است تیمارهای استفاده شده در این تحقیق با افزایش میزان جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه توانستند اثرات مخرب تنش، مانند کاهش متابولیت‌های اولیه وثانویه و سایر مواد سنتزی در گیاه را کاهش دهند.

(Rajcan et al, 1999)، علـت افزایش در غلظت کلروفیل a در دامنه‌های کم تنش شوری را مکانیسم‌های تحمـل بـه تنش از قبیـل کـاهش سـطح بـرگ و افـزایش ضخامت برگ دانستند. به اعتقاد آن‌ها شوری در محدوده-های کم می‌تواند باعـث افـزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ شود. لیکن با افزایش بـیش از حد شوری و اثرات سوء آن بر ساختار کلروفیل و در نتیجـه تخریـب کلروپلاست‌ها، میزان کلروفیل کاهش می‌یابد (Cramer, 2002) .

در بررسی سازوکارهای تحمل به نمک و اثر متقابل تلقیح اینتروباکتر (باکتری محرک رشد) به‌عنوان یک سویهٔ متحمل به شوری با گیاه بامیه (اوکرا) در شرایط تنش شوری نشان داده شد که تحمل به نمک در رقم‌های تلقیح‌شده افزایش یافته و باعث افزایش عملکرد مادهٔ خشک، محتوای سبزینه (کلروفیل)، قندهای کل و محلول، میزان پرولین،گلایسین بتائین، کلروفیل‌های a و b، میزان آنزیم‌های پراکسیداز و پروتئین کل ریشه در شرایط تنش شوری شده است (Habib et al., 2016). ریزش برگ‌ها، کاهش سطح هر برگ، و محدود شدن رشد شاخه باعث کاهش سطح برگ گیاه در شرایط تنش می‌شود. کاهش سطح برگ گیاه، یک مکانیسم دفاعی در برابر شرایط تنش خشکی و شوری محسوب می‌گردد و با کاهش سطح تعرق به حفظ محتوای آب گیاه کمک می‌نماید. کاهش تعداد برگ به گیاه کمک می‌کند تا نور کمتری جذب کند و به این ترتیب تجمع گرما و سطح تعرق کمتر خواهد شد (Levitt, 1980). ولی این امر از میزان تولیدات فتوسنتزی کاسته و از دلایل اصلی از دست رفتن وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش خشکی هستند. در پژوهش‌های انجام شده روی دیگر گیاهان چوبی توسط ملا سیتوس و همکاران (Molassiotis et al., 2006) و سیورتیپ و همکاران نیز نتایج مشابهی گزارش شده است (Sivritepe et al., 2004).

تاثیر کاربرد باکتری‌های محرک رشد و ارقام مختلف پسته بر میزان عناصر پتاسیم و فسفر برگ و ریشه

در پژوهش حاضر، کاربرد باکتری‌های محرک باعث بهبود شاخص‌های رشد گیاه در شرایط شوری خاک شد. به دنبال استفاده از باکتری‌های محرک رشد افزایش در شاخص های رشدی مشاهده شد در درجه اول ناشی از اثرات تامین این عناصر معدنی برای گیاه بود (Marschner, 1995)، کمبود عناصر معدنی در شرایط خاک مورد استفاده در این آزمایش طبیعی بود. کمبود عناصر معدنی سبب کوتاه ماندن فاصله میانگره و جلوگیری از رشد طولی ساقه می‌شود (Saravanan et al., 2007). نتایج این تحقیق نشان داد که با اعمال تیمار باکتری های محرک رشد میزان عناصر پتاسیم و فسفر در برگ و ریشهٔ گیاه پسته افزایش پیدا می‌کند. افزایش سطح شور خاک باعث کاهش جذب عناصری مانند کلسیم، فسفر، پتاسیم و عناصر کم مصرفی مانند مس آهن روی منگنز درشاخساره و ریشهٔنهال پسته می‌شود (اسکندری ومظفری،۱۳۹۱). بویراحمدی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که افزایش سطح شوری از ۰/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی ونسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی گندم شد. یکی از مکانیسم‌های مسئول کاهش رشد گیاهان تحت تنش شوری عدم تعادل یونی است (Anser et al., 2012). در اندام‌های گیاهی، تجمع زیاد یون سدیم سبب بروز دامنه وسیعی از مشکلات اسمزی و متابولیکی

در گیاه می‌شود. در زمان بروز تنش شوری ناشی از سدیم، خسارت وارده به برگ‌ها همواره بیشتر از ریشه ها است و دلیل آن تجمع بیشتر یون سدیم وکلر در برگ‌ها نسبت به ریشه‌ها می‌باشد. هنگام بروز تنش سدیم، به طور مشخص کمبود سایر عناصر غذایی نیز ایجاد می‌شود، زیرا افزایش میزان سدیم جذب سایر عناصر را مختل می‌کند. اختلال در جذب عناصر غذایی از طرق مختلف انجام می‌شود که شامل اختلال مستقیم در جذب عناصر، از طریق تداخل در هنگام انتقال عناصر دیگر از میان غشا سلولی، مانند کانال یونی اختصاصی برای پتاسیم و جلوگیری از رشد ریشه به وسیلهٔ تخریب یون سدیم در ساختمان خاک و تنش اسمزی این یون می‌باشد. تنش یون سدیم قادر است جذب آب را کاهش داده و به دلیل اختلال در جذب عناصر غذایی مانند فسفر، آهن و روی رشد گیاه محدود نماید. علاوه بر این وجود نمک در خاک، رشد میکروارگانیزم‌های مفید خاک، مانند میکروریزا قارچی را به شدت مختل می نماید که به نوبهٔ خود اثرات منفی بر رشد گیاهان می‌گذارد (Tester and Davenport, 2003) پتاسیم مهم‌ترین عنصر در محلول‌های غیرآلی گیاه است و نقش مهمی در کاهش پتانسیل اسمزی در مغز ریشه دارد که لازمه فشار تورگر برای سلول، انتقال شیره خام در آوند چوبی و متعادل ساختن آب گیاه است (Liang et al., 2005). در شرایط شوری سدیمی نه نها مقادیر زیاد سدیم در جذب پتاسیم به وسیلهٔ ریشه مزاحمت ایجاد می‌کند بلکه به غشا سلولی نیز آسیب‌زده و عمل انتخابی آن برای جذب پتاسیم به وسیله ریشه می-شود (Flowers and Dalmond, 1992). باکتری‌های ریزوسفری غیرهمزیست از راه‌های گوناگون ماند تولید هورمون های اکسین وسیتوکنین، افزلیش رهاسازی عناصر غذایی، افزایش جذب عناصر غذایی و همچنین جلوگیری از اثرات زیان آور تنش‌های محیطی سبب افزایش رشد گیاه می شوند (Mehboob et al., 2009). تاثیر تیمار استفاده از باکترهای محرک رشد باعث افزایش معنی‌دار نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی شد که نشان‌دهنده افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش شوری می‌باشد. نتایج نشان داد که کاربرد قارچ و باکتری در این آزمایش از طریق افزایش درصد همزیستی مایکوریزایی و بهبود جذب عناصر غذایی، می توانند سبب افزایش مقاومت گیاه ذرت در برابر تنش شوری شوند (بوستانی و فرخ-نژاد، ۱۳۹۵). که نتایج تحقیق حاضر با نتایج این تحقیق هم‌راستا بود. در گیاه Salvadoracea نیز افزایش شوری منجر به افزایش غلظت فسفر اندام هوایی گردید (Ramoliya and Pandey, 2003). رامولیا و پاندی ، ۲۰۰۳ گزارش کردند که افزایش غلظت فسفر در اندام هوایی در نتیجه کاربرد کلرید سدیم ممکن است ناشی از افزایش قابلیت استفاده فسفر و یا تأثیر هم‌افزایی با سدیم در هنگام جذب و یا انتقال به اندام هوایی باشد. این محققین همچنین عنوان نمودند که برهمکنش بین شوری و فسفر بسیار پیچیده است و مکانیسم خاصی برای توضیح افزایش، کاهش یا بی‌اثر بودن جذب فسفر در پاسخ به افزایش شوری وجود ندارد. با توجه به اینکه در باغ‌های پسته غلظت‌های زیاد کلرید سدیم در خاک و آب آبیاری منجر به کاهش و افزایش جذب به‌ترتیب پتاسیم و سدیم می‌گردد، توجه به تغذیه درختان پسته، به-خصوص مصرف کودهای پتاسیم‌دار، از عوامل مهم افزایش عملکرد است (Hoagland and Arnon, 1950). وران زوازو و همکاران (Duran Zuazo et al., 2004) مشاهده کردند که غلظت پتاسیم ریشه گیاه انبه با افزایش

شوری کاهش یافت. این کاهش جذب پتاسیم توسط سدیم، یک نمونه رقابت (تبادل یون‌های سدیم با پتاسیم) کاملاً شناخته شده بین عناصر توسط ریشه گیاهان می‌باشد. این محققین همچنین عنوان نمودند کـه در شرایط شور، بـه‌دلیـل مقادیر زیاد سدیم در محیط بیرون، نه تنها ریـشه از جذب پتاسیم ممانعت می‌کند، بلکه ممکن است سلامت غشاهای ریشه را مختل کرده و گزینش پذیری آن‌ها را تغییر دهد. در این مطالعه کاربرد باکتری‌های محرک رشد توانست باعث افزایش جذب پتاسیم و فسفر هم در اندام‌های هوایی و هم در ریشه گیاهان تحت تیمار شود. باکتری‌های ریزوسفری غیرهمزیست مانند باکتری‌های محرک رشد، از راه‌های گوناگون مانند تولید هورمون‌های مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین، باعث افزایش رهاسازی عناصر غذایی، افزایش جذب عناصر غذایی و همچنین جلوگیری از اثرات زیان‌آور تنش‌های محیطی سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند (Mehboob et al., 2009).

در شرایط شوری، غلظت سدیم و کلر معمولاً بیش از عناصر غذایی پرمـصرف و کم‌مصرف بوده و این امر موجب می شود که در گیاهان تحـت تنش شوری، عدم تعادل تغذیه‌ای از جنبه‌های گونـاگون بروز کند. ممکن است شوری بـا تأثیر بـر قابلیت اسـتفاده عناصـر غذایی، جذب، انتقال و یا توزیع عناصر غذایی درون گیاه و یـا با غیرفعال نمودن فیزیولوژیک عنصر غذایی مصرف شده، منجر به افزایش ذاتی نیاز غذایی گیاه گردد. البته شوری ممکن اسـت بر یک یا تعدادی از این مراحل به طور هم زمان اثر بگذارد (میرمحمدی میبدی و قره یاضی، ۱۳۸۱؛ طالبی و همکاران، ۱۳۸۸).

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر کاهش رشد پایه‌های پسته در شرایط شوری مشاهده شد. با توجه به نتایج، مشخصاً حفظ قدرت رویشی ارقام متحمل به شوری در شرایط تنش قابلیت بالای آن‌ها در جذب و به کارگیری آب در شرایط تنش شوری را نشان می‌دهد. در شرایط تنش شوری دانهال‌های رقم بادامی نسبت به دانهال‌های رقم اکبری و احمدآقایی وزن خشک بیشتری در ریشه‌ها و ساقه داشتند و بیومس کل آن‌ها نیز بیشتر بود. این مهم، بر کارایی بیشتر دانهال‌های رقم بادامی در مقابله با تنش شوری تاکید دارد. زمانی که گیاهان با باکتری‌های محرک رشد تیمار شدند این تیمارها قادر به بهبود وضعیت رشدی و فیزیولوژیک گیاه بودند. اثرات مثبت این تیمارها بر روی شاخص‌های رشدی مانند وزن تر و خشک و سطح برگ و همچنین شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند میزان کلروفیل های a و b، کارتنوئید و همچنین پرولین در اثر بهبود شرایط ریزوسفر در اثر (باکتری های محرک رشد) می باشد. برای مثال بهبود شرایط ریزوسفر باعث تجمع بیشتر پرولین در گیاه شد و تجمع پرولین بیشتر در ارقام مورد مطالعه بخصوص رقم بادامی تیمار شده با باکتری محرک رشد با توانایی بیشتر این گیاه در تحمل شوری ارتباط مستقیم داشت. این نتایج حاکی از اهمیت تجمع پرولین در تحمل به شوری در پسته بودند.

منابع

تـاج‌آبـادی‌پـور، ع.، ۱۳۸۱. اثرات پایـه و پیونـدک بـر روی درصد زود خندانی پسـته و ارتبـاط آن هـا بـا افالتوکسـین. گـزارش طـرح تحقیقاتـی. موسسـه تحقیقـات پسـته کشـور.

حکم‌آبادی، ح.، ارزانی، ک.، و دهقانی‌شورکی، ی. پناهی، ب. ۱۳۸۲. پاسخ پایه‌های درختان پسته بادامی زرند، سرخس و قزوینی به زیادی بور و سدیم کلراید در آب آبیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره٤، صص ۱۱-۲۳.

دانشیان، ج. هادی، ح. جنوبی، پ. ۱۳۸۸. ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های سویا در شرایط تنش کم آبی. علوم زراعی ایران. شماره ۱۱، صص ٤۰۳-٤۰۹.

میرمحمدی میبدی، س. ع. ۱۳۸۳. مدیریـت تنـش‌های سرما و یخ‌زدگی گیاهان زارعی و باغی. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.

Anantha Krishnan, G., R. Ravikumar, S. Girija and A. Ganapathi. 2004. Selection of efficient arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizospher of cashew and their application in the cashew nursery. *Scientia Horticulturae* 100: 369-375.

Anser, A. Shahzad, M. A. Basra, S. H. Javaid Iqbal, M. Ahmad Alias, A. and Bukhsh and Sarwar, M. 2012. Salt stress alleviation in field crops through nutritional supplementation of silicon. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11 : 637-655.

Bakhtiari Esfandagheh, M., 2011. The effect of arbuscular mycorrhizae fungi (*Glomus intraradices*) on drought tolerance of pistachio seedlings *Pistacia vera* L. cv. Badami. M. Sc. Thesis, Department of Horticultural Science Faculty of Agiculture, University of Vali-e-Asr, farsi Rafsanjan.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.

Cechin, I., N. Corniani, T.F. Fumis and A.C. Cataneo. 2010. Differential responses between mature and young leaves of sunflower plants to oxidative stress caused by water deficit. *Ciencia Rural*, 40: 1290-1294.

Chapman, H.I., and Pratt, P.F. 1961. Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. The University of California's Division of Agicultural Science, Berkeley, California, USA.

Chookhampaeng S., 2011. The effect of salt stress on gowth, Chlorophyll content, prolin content and antioxidative enzymes of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. *Europ*ean Journal of Scientific *Research*, 49:103-109.

Cramer, G. R. 2002. Response of abscisic acid mutant of Arabidopsis to salinity. *Functional Plant Biology* 29: 561567.

Dell'Amico, J., Torrecillas, A., Rodriguez, P., Morte, A. and M. Sanchez-Blanco. 2002. Responses of tomato plants associated with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus clarum* during drought and recovery. *Journal of Agicultural Science*, 138: 387-393.

Demiral, M.A. 2005. Comparative response of two olive (*Olea europaea* L.) cultivars to salinity. *Turkish Journal of Agiculture*, 29:267-274.

Farkhonded R., Nabizadeh E. and Jalilnezhad. N. 2012. Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relation in two sugar beet cultivars. *International Journal of Agicultural Science*, 2(5): 385-392.

Flowers, T.J. and Dalmond, D. 1992. Protein synthesis in halophytes: the influence of potassium, sodium and magnesium in vitro. *Plant and Soil*, 146: 153– 161.

Gaber, M.A. 2010. Antioxidative defense under salt stress. *Plant Signaling and Behavior*, 5: 369-374.

Gonzalez L., and Gonzalez-Vilar M. 2003. Determination of relative water content, p. 207-212. In: J. Manuel and R. Goger (eds.). Handbook of plant ecophysiology techniques. Kluwer Academic Publishers, London.

Habib S. H., Kausar H. and H. M. Saud 2016. Plant gowth-promoting rhizobacteria enhance salinity stress tolerance in okra through ROS-scavenging enzymes. *BioMed Research International*, 6: 227-235.

Hoagland, D. R. and D. I. Arnon. 1950. The water-culture method for gowing plant without soil. Calif. Agic. Experiment. *Station Circular*, 347: 1-34.

Jiang, C., Q. Cui, K. Feng, D. Xu, C. Li and Zheng. Q. 2016. Melatonin improves antioxidant capacity and ion homeostasis and enhances salt tolerance in maize seedlings. Acta Physiologiae Plantarum, 82: 1-9.

Khan M.A. and Duke N.C. 2001. Halophytes- A resource for future. Wetlands Egol. Mang.6:455-456.

Levitt, J. 1980. Response of Plants to Environmental Stresses. Vol. 2. Water, radiation, salt and other stresses. Academic Press. New York. 289 pp. 32-44.

Liang, Y. C. Wong, J. W. C. and Long, W. 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) gown in cadmium contaminated soil. *Chemosphere*, 58: 475-483.

Marschner H., 1995. Mineral Nutrition of Plants, Ed 2. Academic Press, Boston.

Mehboob, I., Naveed, M. and Zahir, Z. A. 2009. Rhizobial Association with Non-Legumes: Mechanisms and Applications. *Critical Review of Plant Sciences*, 28: 432-456.

Mostajeran, A., and Rahimi-Eichi, V. 2009. Effects of drought stress on gowth and yield of rice *Oryza sativa* L.) cultivars and accumulation of proline and soluble sugars in sheath and blades of their different ages leaves. *American-Eurasian Journal of Agicultural & Environmental Sciences*, 5(2). 264-272.

Neumann P.1977. Salinity resistance and plant gowth revised. Plant Cell and Environment 20:1193-1198.

Noreen, Z. and Ashraf. M. 2009. Assessment of variation in antioxidative defense system in salttreated pea (*Pisum sativum*) cultivars and its putative use as salinity tolerance markers. *Journal of Plant Physiology*, 166: 1764-1774.

Rabie, G. H. and Almadini, A. M. 2005. Role of bio inoculants in development of salt tolerance of Vicia faba plants. African Journal of biotechnology 4(3): 210-222.

Rahneshan, Z., Nasibi, F., and Ahmadi Moghadam, A, 2018. Effects of salinity stress on some gowth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. Journal of Plant Interactions, 13(1): 73-82.

Rajcan, I., L. M. Dwyer and M. Tollenaar. 1999. Note on relationship between leaf soluble carbohydrate and chlorophyll concentration in maize during leaf senescence. Field Crops Research 63: 13-17.

Ramoliya, P. J. and A. N. Pandey. 2003. Effect of salinization of soil on emergence, gowth and survival of seedlings of Cordia rothii. *Forest Ecology and Management*, 176: 185-194.

Rehman, A., and Nautiyal, C. S. 2002. Effect of drought on the gowth and survival of the stress-tolerant

bacterium *Rhizobium* sp. NBRI2505 sesbania and its drought-sensitive transposon Tn5 mutant, *Current Microbiology*, 45(5): 368–377.

Saleh, B. 2013. Water Status and Protein Pattern Changes towards Salt Stress in Cotton. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 9 (1): 113-123.

Saravanan, V.S., Madhaiyan, M. and Thangaraju, M. 2007. Solubilization of zinc compounds by the diazotrophic, plant gowth promoting bacterium (*Gluconacetobacter diazotrophicus*). *Chemosphere*, 66(9): 1794-1798.

Sepaskhah, A. and M. Maftoun. 1981. Gowth and chemical composition of pistachio seedlings as influenced by irrigation regimes and salinity levels of irrigation water. I. Gowth. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 469-476.

Sheibani, A. 1994. Pistachio production in Iran. First International Symposium on Pistachio Nut, Adana, Turkey.

Suareza, C., Cardinalea, M., Rateringa, S., Steffensb, D., Jungb, S., Zapata, A M., Rita, M., Plauma, G. and Schnella, S. 2015. Plant gowth-promoting effects of Hartmannibacter diazotrophicus on summer barley (*Hordeum vulgare* L.) under salt stress. *Applied Soil Ecology*, 95: 23–30.

Wu, Q.S. and Y.N. Zou. 2009. Arbuscular mycorrhizal symbiosis improves gowth and root nutrient status of citrus subjected to salt stress. *Science Asia*, 35: 388–391.

Yang, J., Kloepper, J. W. and Ryu, C. M. 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Science*, 14, 1–4

Yazici I., I. Turkan, A. H. Sekmen and T. Demiral. 2007. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca olercea*L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental and Experimental of Botany*, 61: 49-57.

Zeinoddini, A., Amirpure, M., and Farazmand, M. 2007. Evaluation of irrigation quality on soils mutation and pistachio yield in Anar zone. 10 the Congeress of Iranian Soil Science, Shahrivar 2007. Karaj, 355- 356.

Influence of gowth promoting bacteria on gowth and physiological characters of pistachio in saline soils

Marzieh Zeinali bafghi[1], Jalal Gholamnezhad[2*], Seyyed Alireza Esmaeilzadeh-Hosseini [3], Mostafa Shirmardi[4], Azam Jafari[5]

1-Agiculture and Natural resources Faculty, Ardakan University, Ardakan, Iran. zeinalim70@yahoo.com

2- Corresponding Author and Assistant Professor of Faculty of Agriculture and Natural resources , Ardakan University, Ardakan, Iran. jgholamnezhad@ardakan.ac.ir

3- Assistant Professor of Agicultural and Natural Resources Research Center, Yazd, Iran. phytoplasma.iran@gmail.com

4- Assistant Professor of Faculty of Agriculture and Natural resources , Ardakan University, Ardakan, Iran. shirmardi@ardakan.ac.ir

5- Assistant Professor of Faculty of Agriculture and Natural resources , Ardakan University, Ardakan, Iran. ajafari@ardakan.ac.ir

Received Date: 2019/07/10 **Accepted Date: 2020/02/03**

.ABSTRACT

***Introduction*:** Pistachio is a strategic product and have a special place in agicultural production and constitute the bulk of non-oil exports. One of the most important problems in Iranian pistachio areas is soil salinity, which causes many nutritional problems for pistachio trees.

***Materials and Methods*:** In this study, the effect of plant gowth promoting bacteria (*Pseudomonas putida* R8 and *P. fluorescens* R153 isolates) on pistachio cultivars including Badami Zarand, Akbari and Ahmad Ahaghi were studied in a saline soil as a factorial experiment in a completely randomized design. The studied characters included fresh and dry weights of shoots and shoots, leaf area and number, relative water content (RWC) chlorophyll and carotenoid content.

***Results and Discussion*:** The results indicated that the use of gowth promoting bacteria (R8 and R115 isolates) increased the amount of gowth indices including fresh and dry weights of stems and roots, as well as leaf area and number. R8 isolate caused an increase in root and shoot root weight of 74% and 54% in Badami cultivar, respectively. The leaf area and leaf number characters increased by 81% and 30% in the treatment of R8 gowth promoting bacteria in Badami cultivar. Relative leaf water content (RWC), proline content, total chlorophyll, a and b, and carotenoids were also improved by the use of gowth promoters, especially R8 *P. putida*. The treatment of R8 bacteria in Badami cultivar was able to increase the absorption of potassium and phosphorus elements by 35% (leaf), 43% (root), 61% (leaf) and 53% (root)

***Conclusion*:** The results of this study indicated that the application of bacteria gowth promoters to the release of effective compounds in plant gowth can increase the gowth and physiological indices even in plants that are in salinity stress.

Keywords: Pistachio, PGPR, Gowth index, Physiological index.