بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر برخی شاخص‌های رشدی و عملکرد گلرنگ در سطوح مختلف شوری خاک

فریدا اعتمادی[۱]، شهاب مداح حسینی[۱*]، حسین دشتی[۱] و عبدالرضا اخگر[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۲۷)

چکیده

به منظور بررسی اثر ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر مقاومت به شوری در مراحل رشد رویشی و زایشی گلرنگ (*Carthamus tinctorius*)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و ترکیبی از تلقیح باکتریایی و شوری، هر کدام در سه سطح و چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان انجام شد. تیمار تلقیح باکتریایی شامل شاهد (بدون تلقیح) و تلقیح با سودوموناس فلورسنس سویه‌های ۱۲ و ۵۲ و تیمار شوری به‌صورت هدایت الکتریکی ۱ (شاهد)، ۶ و ۱۲ دسی‌سیمن بر متر در خاک اعمال شدند. نتایج نشان داد که سطح برگ با افزایش شوری کاهش یافت اما سودوموناس فلورسنس سویه ۱۲ توانست به‌طور معنی‌داری سطح برگ را در مجموع سه زمان نمونه‌برداری افزایش دهد. هم‌چنین هر دو سویه باکتری به‌کار برده شده شاخص کلروفیل برگ را در اواسط دوره پر شدن دانه نسبت به شرایط بدون باکتری افزایش دادند. در نهایت تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد روغن و عملکرد بیولوژیک با افزایش سطح شوری کاهش یافتند اما تعداد طبق در بوته و شاخص برداشت تغییر نکردند. دو سویه باکتری به‌کار برده شده در این آزمایش،فقط محتوای روغن را در سطح شوری شاهد افزایش دادند و بر بقیه اجزا عملکرد اثر معنی‌داری نداشتند. به‌نظر می‌رسد که تلقیح بذر گلرنگ با باکتری محرک رشد می‌تواند سبب بهبود برخی شاخص‌های رشد رویشی گلرنگ شود اما اثر آن بر عملکرد نیازمند بررسی بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد گیاه، شوری، عملکرد، گلرنگ

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shahab.mhoseini@vru.ac.ir

مقدمه

گلرنگ به‌عنوان یکی از گیاهان روغنی کهن، در سالیان اخیر به‌دلیل سازگاری به اقلیم‌های گوناگون و مقاومت به خشکی و شرایط سخت، برای نواحی خشک و نیمه خشک دنیا از جمله ایران مورد توجه قرار گرفته است. حداکثر سطح زیر کشت گلرنگ در ایران طی سال‌های گذشته حدود ۱۰۰۰ هکتار با میانگین عملکرد حدود ۷۰۰ کیلو در هکتار بوده است (۱۲). کاربرد گلرنگ به گل، دانه و روغن محدود نمی‌شود و سایر بخش‌های گیاهی از جمله علوفه و کنجاله دانه گلرنگ هم برای تغذیه حیوانات قابل استفاده هستند (۱۴). شوری محدودیت مهم در تولید محصولات زراعی در نواحی خشک و نیمه خشک دنیا است. ضمن این‌که شوری در خاک یا آب یکی از اصلی‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد گیاه و تولید زراعی را در تمام دنیا کاهش می‌دهد (۱). تنش شوری قابلیت گیاه برای جذب آب را کاهش داده و در نتیجه کاهش رشد و تولید گیاه را موجب می‌شود (۱۶). ضمن این‌که سمیت یونی یا تجمع بیش از حد نمک در سلول‌ها رخ می‌دهد (۲۸). گلرنگ یکی از گیاهان زراعی نسبتاً مقاوم به شوری به حساب می‌آید و در شرایط شور نیز قادر به تولید محصول قابل قبولی است.

آستانه تحمل به شوری گلرنگ بالا بوده (حدود ۷/۵ دسی‌سیمن بر متر برای عصاره اشباع خاک) و آستانه کاهش عملکرد آن ۶ دسی‌سیمن بر متر می‌باشد (۲۶). با این حال بردباری آن به شوری در زمان سبز شدن و رشد آغازین گیاهچه‌ای کم است (۱۲) و هم‌چنین عملکرد آن در هدایت الکتریکی ۹/۹ دسی سیمن بر متر حدود پنجاه درصد کاهش می‌یابد (۱۵). یکی از راهبردهای مقابله با شوری که چندی است مورد توجه قرار گرفته، تلقیح بذر گیاهان زراعی با انواع مختلفی از باکتری‌ها و قارچ‌های مفید خاکزی می‌باشد. باکتری‌های آزادزی مفید ریزوسفر را اغلب باکتری‌های محرک رشد گیاه یا PGPR (Plant growth-promoting rhizobacteria) می‌نامند (۱۳). این باکتری‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم (تثبیت نیتروژن، تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه، تولید آنزیم ACC دآمیناز، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی مختلف برای گیاه، تولید ویتامین‌ها و دیگر مواد محرک رشد گیاه) و یا غیرمستقیم (تولید آنتی بیوتیک، تخلیه ریزوسفر از آهن، رقابت با گونه‌های مضر برای سرایت به ریشه، تولید آنزیم‌های لیزکننده دیواره سلولی قارچ‌های بیماریزای گیاهی، ایجاد مقاومت سیستمیک در گیاه و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های غیرزنده) موجب افزایش رشد گیاه شوند (۶). هم‌چنین گزارش شده است که یکی از دلایل افزایش رشد گیاه در اثر تلقیح با باکتری PGPR ترشح اکسین توسط آن است (۵). میزان اکسین در میان باکتری‌های محرک رشد گیاه، گروه سودوموناس‌های فلورسنس به‌دلیل توانایی در تولید دامنه وسیعی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، ترکیبات کلات‌کننده آهن، تولید اسیدهای آلی (اسید سوکسینیک و لاکتیک) و در نهایت کنترل زیستی عوامل بیماریزای گیاهی دارای اهمیت فراوان می‌باشند. تعداد زیادی از باکتری‌های PGPR با تولید آنزیم ACC دآمیناز، پیش ماده تولید اتیلن در گیاه یعنی ACC را به آمونیوم و آلفاکتوبوتیرات هیدرولیز کرده و مانع تولید بیش از حد اتیلن تولید شده در شرایط تنش درگیاه و کاهش رشد ریشه می‌شوند (۱۸).

گزارش شده است که بوته‌های ذرت تلقیح شده با باکتری‌های تولیدکننده ACC دآمیناز در شرایط شور رشد بیشتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند (۱۹). واگار و همکاران (۲۹) در بررسی اثر تلقیح باکتری‌های حاوی آنزیم ACC دآمیناز بر رشد و عملکرد گندم دریافتند که باکتری‌های دارای این آنزیم عملکرد دانه، کاه، وزن ریشه، طول ریشه، تعداد پنجه، جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کاه و دانه را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش دادند. آنها تمامی این اثرات را به‌دلیل کاهش سطح اتیلن در گیاه در اثر تلقیح با باکتری تولیدکننده ACC دآمیناز دانستند. البته فعالیت این آنزیم در جدایه‌های مختلف متفاوت بود. گلیک و همکاران (۷ و ۸) شواهدی را مبنی بر افزایش فراهمی عناصر غذایی گیاه در ریزوسفر در اثر فعالیت باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گزارش کردند. فرآیند عمل در این مورد شامل افزایش انحلال عناصر غذایی و یا تولید مواد کلات‌کننده مانند سیدروفورها می‌باشد.

جدول ۱. ویژگی‌های باکتری‌های مورد استفاده در این آزمایش

نام باکتری	حلالیت فسفر (ppm)	سیدروفور (نسبت قطر هاله به قطر کلونی)	اکسین (میکروگرم بر میلی‌لیتر)	ACC دآمیناز		
				*DF	DF+ACC	DF+$(NH_4)_2SO_4$
Psedomonas fluorescens strain12	۵۲۷	۱/۹	۸/۱	۰/۲۲	۲/۱	۲/۷
P. fluorescens strain 52	۵۰۵/۷	۱/۸	۳/۰۱	۰/۰۲	۱/۷	۲/۲

*: برگرفته از دورکین و فاستر (۴)

با توجه به اهمیت موضوع و ضرورت به‌کارگیری راهکارهای بیولوژیک برای تولید بهینه گیاهان روغنی و هم‌چنین کاهش اثرات سوء شوری بر این گیاهان، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر برخی شاخص‌های رشد و عملکرد گلرنگ در شرایط شوری متوسط و شدید (با توجه به آستانه تحمل گیاه) بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی در چارچوب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه پژوهشی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان در پاییز سال ۱۳۸۹ انجام شد. عامل اول باکتری محرک رشد گیاه در سه سطح شامل بدون تلقیح باکتری (شاهد)، تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس سویه۱۲ و تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس سویه ۵۲ بود. سویه ۱۲ از ریزوسفر کلزا و سویه۵۲ از ریزوسفر پسته در منطقه رفسنجان جدا شده بودند. عامل دوم اعمال شوری در سه سطح (۱، ۶ و ۱۲ دسی‌سیمن بر متر) بود.

آماده‌سازی مایه تلقیح باکتریایی

باکتری‌های سودوموناس فلورسنس به‌کار برده شده دارای توانایی تولید اکسین و سیدروفور، توان حل فسفات‌های معدنی و نیز توانا در استفاده از ACC به‌عنوان تنها منبع نیتروژن بودند(۴). برخی از شاخص‌های مربوط به رشد و متابولیسم دو سویه باکتری به‌کار رفته که در آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر اندازه‌گیری شدند، در جدول ۱ آمده‌اند. سویه‌های ۱۲ و ۵۲ به‌مدت ۴۸ ساعت درون محیط کشت مایع TSB (Tryptic Soybean Broth)کشت و به‌عنوان مایه تلقیح مورد استفاده قرار گرفتند.

آماده‌سازی بذرها و کشت گلخانه‌ای

قبل از کشت جهت ضدعفونی کردن، بذور گلرنگ رقم کوسه (*Carthamus tinctorius* L. cv Kooseh) به‌مدت هفت دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۵٪ غوطه‌ور شدند و پس از آن هفت بار با آب مقطر استریل شسته شدند. جهت جوانه‌دار کردن، ابتدا بذرهای ضد عفونی شده روی سینی حاوی واترآگار ۱/۲٪ و درون انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. قبل از کشت کودهای اوره و سولفات پتاسیم به‌ترتیب به میزان ۳۰ و ۵۰ پی پی ام به‌صورت محلول به گلدان‌ها داده شد. در هر گلدان ۱۰ بذر جوانه‌دار شده قرار داده و هر بذر با ۱میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری مورد نظر تلقیح شد. پس از سبز شدن بوته‌ها، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به شش عدد کاهش یافت. در (جدول ۲) برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده آورده شده است.

روش اعمال شوری

تیمارهای شوری در مرحلهٔ چهار برگ حقیقی اعمال شدند. برای ایجاد سطوح شوری ۶ و ۱۲ دسی‌سیمن بر متر از منابع کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید منیزیم استفاده شد به‌طوری‌که نسبت جذب سدیم حاصل (SAR: Sodium Absorption Ratio) حدود ۱۲ باشد. به منظور جلوگیری از شوک اسمزی، تیمارها در سه مرحله با فاصله زمانی پنج روزه اعمال گردید. پس از اعمال

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قبل از کشت

Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture	Organic matter (%)	FC (%)	pH	EC (dS/m)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
۱۷/۶	۲۳/۱	۵/۵	لوم شنی	۰/۵	۱۵/۰	۷/۵	۱/۰	۵/۳	۱۰۰/۰	۰/۷	۴/۸	۲/۰	۴/۳

تیمارهای شوری، به منظور عدم تغییر شوری خاک و نداشتن زه‌آب، گلدان‌ها تا پایان دوره رشد با آب مقطر تا حد ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (FC) آبیاری شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشد و عملکرد

قبل از برداشت پارامترهای وزن خشک اندام‌های هوایی، سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ در طی سه مرحله رشدی گلرنگ شامل هشت برگی (دوهفته پیش از ظهور طبق)، ظهور طبق و گلدهی اندازه‌گیری شدند. سطح برگ به وسیله دستگاه سنجش سطح برگ (CID, CL- 202, USA) براساس واحد سانتی‌مترمربع اندازه‌گیری شد. محتوای کلروفیل نیز با دستگاه اسپد (SPAD 502, Minolta, Japan) اندازه‌گیری شد. پس از پایان دوره رشد حدودا پنج ماهه گیاه برداشت شد و اجزا عملکرد شامل تعداد دانه در طبق، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در بوته، درصد روغن، عملکرد روغن، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. میزان روغن دانه به روش سوکسله تعیین گردید. عملکرد روغن نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در محتوای روغن محاسبه شد.

در پایان تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS و مقایسات میانگین به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. یک تجزیه واریانس جداگانه نیز به منظور بررسی تغییرات سطح برگ و شاخص کلروفیل برگ در طی زمان انجام شد.

نتایج و بحث

الف) سطح برگ

تجزیه آماری نشان داد که شوری و سویه‌های باکتری تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ در مجموع سه زمان نمونه‌برداری شامل ۳۶، ۴۹ و ۶۵ روز پس از کاشت (به‌ترتیب برابر هشت برگی، ظهور طبق و گلدهی) گلرنگ داشتند (جدول ۳). افزایش شوری سطح برگ را کاهش داد به‌طوری‌که سطوح شوری ۶ و ۱۲ دسی‌سیمن بر متر سطح برگ را به‌ترتیب ۱۰/۳۱ و ۲۶/۷۳ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند (جدول ۴). گرجی (۹) کاهش سطح برگ و وزن خشک برگ گلرنگ را در محیط شور (۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) نسبت به محیط غیرشور گزارش کرد. وانگ و همکاران (۳۰) عنوان نمودند که در حضور مقادیر بالای نمک در محیط، میزان آب قابل دسترس برای گیاه کاهش می‌یابد که از یک طرف موجب محدود شدن تقسیم سلولی و از طرف دیگر باعث کاهش آماس سلولی می‌شود و بدین صورت کاهش سطح برگ بروز می‌کند. در همین رابطه بیان شده است که گیاهان تحت تنش شوری با کاهش سطح برگ مانع از دست رفتن آب می‌شوند، در نتیجه برگ‌های گیاهانی که در محیط‌های شور رشد می‌کنند کوچک‌تر و ضخیم‌تر می‌شوند (۳۱). از سوی دیگر تلقیح بذور با سویه ۱۲ باکتری سودوموناس فلورسنس سطح برگ را نسبت به شاهد (بدون باکتری) در مجموع سه زمان نمونه‌برداری به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۴). با توجه به این‌که باکتری‌های محرک رشد مورد استفاده در این پژوهش، توانایی تولید اکسین و قابلیت انحلال فسفات‌های معدنی و تولید سیدروفور را داشتند، احتمالاً باکتری سودوموناس فلورسنس سویه ۱۲ توانسته است با استفاده از مکانیسم‌های ذکر شده در بالا سطح برگ گیاه گلرنگ را افزایش دهد. شیرمردی و همکاران (۲۵) گزارش کردند که تلقیح رقم یوروفلور آفتابگردان با *Pseudomonas fluorescens* سویه ۹، سطح برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

جدول۳. خلاصه نتایج تجزیه واریانس سطح برگ و شاخص کلروفیل برگ گلرنگ در طی سه زمان نمونه‌برداری

منابع تغییر	درجه آزادی	سطح برگ	شاخص کلروفیل
بلوک	۳	۶/۹ ns	۵۶/۴ ns
شوری	۲	۱۳۰۲/۱ **	۱۵۳۹/۵ **
باکتری	۲	۲۲۱/۸ *	۱۰۴/۶ *
شوری× باکتری	۴	۵۱/۵ ns	۲۴/۴ ns
خطا (a)	۲۴	۴۰/۸	۲۲/۳
زمان	۲	۲۱۸۰/۹ **	۲۰۳۵/۴ **
زمان× شوری	۴	۵۳/۷ ns	۹۶۸/۵ **
زمان× باکتری	۴	۳۶/۶ ns	۶۲/۶ *
زمان× شوری× باکتری	۸	۲۸/۱ ns	۱۳/۶ ns
خطا(b)	۵۴	۲۵/۲	۲۵/۵

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال۰/۰۵ و ۰/۰۱. ns: غیر معنی‌دار.

اعداد درون جدول میانگین مربعات هستند

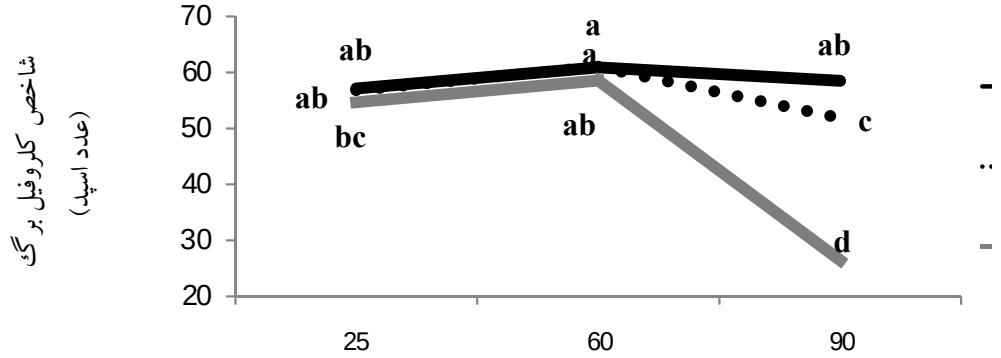
جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری، باکتری و زمان در مورد سطح برگ و شاخص کلروفیل برگ گلرنگ

عامل	سطح	سطح برگ	شاخص کلروفیل برگ
شوری	۱ds/m	۴۴/۶ a	۵۸/۸ a
	۶ds/m	۴۰/۰ b	۵۶/۶ a
	۱۲ds/m	۳۲/۶ c	۴۶/۵ b
باکتری	بدون تلقیح	۳۶/۴ b	۵۲/۰۹ b
	P12	۴۱/۴ a	۵۵/۳ a
	P52	۳۹/۳ ab	۵۴/۶ a
زمان	T1	۳۰/۶ c	۵۶/۲ b
	T2	۴۰/۵ b	۶۰/۱ a
	T3	۴۶/۰ a	۴۵/۶ c

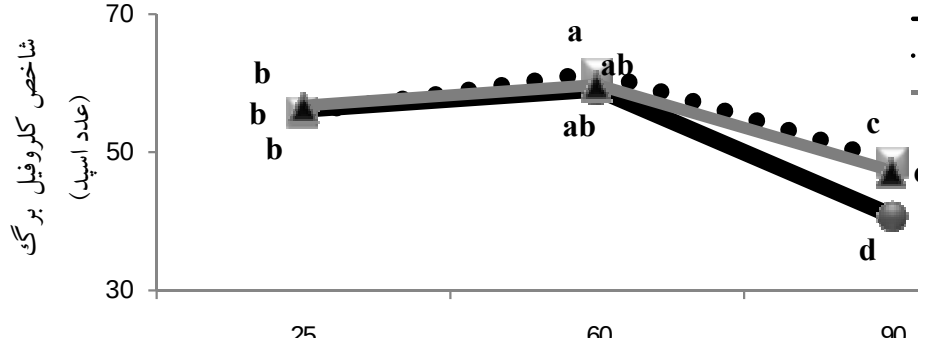
در هر ستون و در هر عامل میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه می‌باشند در آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

ب) شاخص کلروفیل برگ (SPAD)

نتایج نشان داد که شوری و باکتری اثر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل برگ گلرنگ داشتند، هم‌چنین برهمکنش شوری در زمان و باکتری در زمان نیز برای این صفت معنی‌دار شد (جدول۳). روند تغییرات شاخص کلروفیل برگ در طی زمان وابسته به سطح شوری بود. بدین ترتیب که در ۲۵ و ۶۰ روز پس از کاشت تفاوت معنی‌داری بین سطوح شوری از لحاظ شاخص کلروفیل برگ وجود نداشت اما ۹۰ روز پس از کاشت شوری محتوای کلروفیل را بطور معنی‌داری کاهش داد به‌طوری‌که اعمال شوری ۶ و ۱۲ دسی‌سیمن بر متر محتوای کلروفیل را به‌ترتیب ۱۱/۳ و ۵۴/۶ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۱). کاهش غلظت کلروفیل از عوامل مهم تأثیرگذار



شکل۱. اثر سطوح مختلف شوری بر شاخص کلروفیل برگ گلرنگ در زمان‌های مختلف پس از کاشت به‌ترتیب معادل اواسط رشد رویشی، شروع گلدهی و اواسط پر شدن دانه. میانگین‌های دارای حرف مشترک از لحاظ آماری اختلافی با یکدیگر ندارند (P ≤۰/۰۵).



شکل ۲. اثر سطوح مختلف باکتری بر شاخص کلروفیل برگ در زمان‌های مختلف روز پس از کاشت به‌ترتیب معادل اواسط رشد رویشی، شروع گلدهی و اواسط پر شدن دانه. میانگین‌های دارای حرف مشترک از لحاظ آماری اختلافی با یکدیگر ندارند (P≤۰/۰۵).

در میزان ظرفیت فتوسنتزی گیاه به شمار میرود به‌طوری‌که احتمالاً با افزایش درجه شوری سبب کاهش کارایی فتوسنتزی برگ‌ها و تشدید آسیب‌های تنش می‌گردد. از این رو کاهش پارامترهای رویشی را می‌توان به کاهش میزان مواد فتوسنتزی برای تأمین رشد سبزینه‌ای نسبت داد (۲۰). اشرف (۲) بیان می‌کند که تأثیر شوری بر میزان کلروفیل با توقف فعالیت آنزیم‌هایی که مسئول سنتز رنگدانه‌های سبز در گیاه می‌باشند، در ارتباط است. از سوی دیگر اثر سویه‌های باکتری بر شاخص کلروفیل برگ شباهت زیادی با روند تغییر این صفت در اثر شوری داشت (شکل ۲). به‌طوری‌که تا ۶۰ روز پس از کاشت (شروع گلدهی) هیچ یک از سویه‌های باکتری اثر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل برگ نداشتند در حالی‌که ۹۰ روز پس از کاشت هر دو سویه به‌کار رفته (۱۲ و ۵۲) شاخص کلروفیل برگ را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. به‌نظر می‌رسد که این دو باکتری توانسته‌اند از طریق مکانیسم‌هایی مانند کاهش غلظت اتیلن وتأمین آهن از طریق تولید سیدروفورها باعث پایداری بیشتری در میزان کلروفیل برگ در مراحل انتهایی رشد شوند. سادات (۲۱) نیز گزارش کرد که استفاده از مایه تلقیح باکتری سودوموناس فلورسنس میزان کلروفیل برگ گندم را افزایش داد.

ج) اثر باکتری و شوری بر اجزای عملکرد گلرنگ

نتایج نشان داد که شوری تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد روغن و عملکرد بیولوژیک را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵). در مجموع شاخص‌های فوق با افزایش شوری به‌طور معنی‌دار کاهش

جدول ۵. خلاصه نتایج تجزیه واریانس برخی اجزا عملکرد گلرنگ تحت تأثیر سطوح مختلف شوری و تلقیح با باکتری

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه در بوته	وزن هزار دانه	محتوای روغن دانه	عملکرد روغن	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک
بلوک	۳	۰/۰۱^{ns}	۰/۳^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۱۴/۰۲^{ns}	۰/۷^{ns}	۰/۶^{ns}	۱۱/۹^{ns}	۰/۱^{ns}
شوری	۲	۰/۰۳^{ns}	۲۱/۳**	۰/۰۳***	۱۲۷/۲***	۲/۷^{ns}	۳۵/۴***	۵/۳^{ns}	۱۶/۹***
باکتری	۲	۰/۰۰۱^{ns}	۴/۲^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۱۱/۹^{ns}	۵/۴*	۰/۴۱^{ns}	۹/۶^{ns}	۰/۰۶^{ns}
شوری× باکتری	۴	۰/۰۰۶^{ns}	۴/۳^{ns}	۰/۰۰۰۸^{ns}	۱/۰۵^{ns}	۱۰/۲**	۳/۴^{ns}	۱۴/۶^{ns}	۰/۰۴^{ns}
خطا	۲۴	۰/۰۱	۳/۱	۰/۰۰۱	۶/۴	۱/۳	۱/۲	۱۳/۳	۰/۲۰

*، ** و ***: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱. اعداد داخل جدول میانگین مربعات هستند.

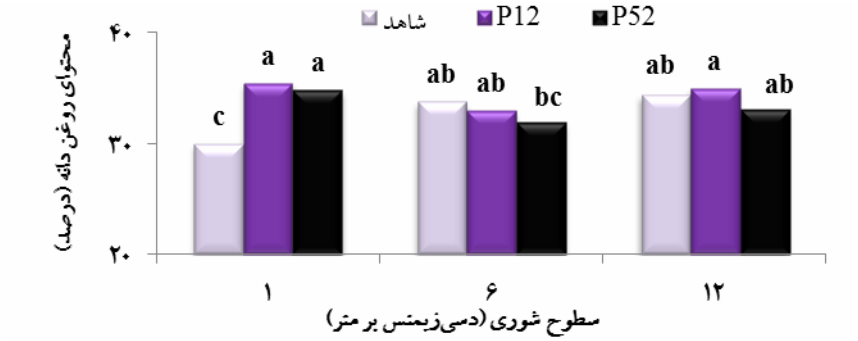
جدول ۶. مقایسه میانگین اجزای عملکرد گلرنگ تحت سطوح مختلف شوری و باکتری

عامل	سطح	تعدادطبق در بوته	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه (گرم در بوته)	وزن هزار دانه (گرم)	محتوای روغن دانه (درصد)	عملکرد روغن (گرم در بوته)	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته)	شاخص برداشت (٪)
	۱	۱/۱^{a}	۱۱/۶^{a}	۰/۴۱^{a}	۳۸/۴^{a}	۳۳/۲^{a}	۰/۱۴^{a}	۶/۹^{a}	۳۰/۲^{a}
شوری	۶	۱/۰۱^{a}	۱۰/۹^{ab}	۰/۳۵^{b}	۳۲/۵^{b}	۳۳/۵^{a}	۰/۱۱^{b}	۵/۵^{b}	۳۰/۲^{a}
	۱۲	۱/۰^{a}	۹/۸^{b}	۰/۲۹^{c}	۳۱/۵^{b}	۳۴/۵^{a}	۰/۰۹^{c}	۴/۵^{c}	۳۱/۴^{a}
بدون تلقیح		۱/۰۵^{a}	۱۰/۳^{a}	۰/۳^{a}	۳۲/۶^{a}	۳۳/۵^{b}	۰/۱^{a}	۵/۶^{a}	۳۱/۵^{a}
باکتری	P12	۱/۰۳^{a}	۱۱/۳^{a}	۰/۳^{a}	۳۵/۱^{a}	۳۴/۷^{a}	۰/۱^{a}	۵/۷^{a}	۲۹/۷^{a}
	P52	۱/۰۳^{a}	۱۰/۹^{a}	۰/۳^{a}	۳۴/۷^{a}	۳۳/۱^{ab}	۰/۱^{a}	۵/۵^{a}	۳۰/۷^{a}

در هر ستون و در هر عامل میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه می‌باشند در آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

یافتند (جدول ۶). از سوی دیگر کاربرد باکتری‌سودوموناس فلورسنس تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های عملکرد ذکر شده نداشتند. هم‌چنین اثر شوری و تلقیح با باکتری بر تعداد طبق در بوته معنی‌دار نبود. اما در مقابل کمالی و همکاران (۱۱) گزارش کردند که شوری تأثیر معنی‌داری بر تعداد طبق در بوته گلرنگ داشت به‌طوری‌که با بالا رفتن میزان شوری از ۳/۳۱ دسی سیمن بر متر به ۱۱/۲۱ دسی‌سیمن بر متر تعداد طبق در بوته ۶۰/۲ درصد کاهش یافت. گزارش‌هایی در مورد اثر مثبت کاربرد برخی سویه‌های باکتری‌های محرک رشد، قارچ‌های همزیست و باکتری‌های آزادزی بر رشد و عملکرد گندم در شرایط شوری خاک وجود دارد (۵، ۱۷ و ۲۱) اگرچه تفاوت‌هایی ژنوتیپی روشنی در شدت واکنش وجود داشته است (۲۱). ممکن است باکتری‌های محرک رشد با بهبود تغذیه و رشد گیاهان در شرایط شور باعث افزایش عملکرد آنها می‌شوند.

از سوی دیگر، محتوای روغن دانه گلرنگ تحت تأثیر تیمار باکتری و برهمکنش شوری در باکتری قرار گرفت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان دادکه با اعمال شوری‌های ۶ و ۱۲ دسی‌سیمن بر متر، درصد روغن دانه تحت تأثیر سویه باکتری قرار نگرفت اما در شرایط بدون شوری(هدایت الکتریکی یک دسی سیمن بر متر)، هر یک از دو سویه ۱۲ و ۵۲ درصد روغن را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون باکتری) افزایش دادند (شکل ۳). با توجه به اثر کاهشی شوری‌های ۶ و ۱۲



شکل ۳. تغییرات محتوای روغن دانه گلرنگ در شرایط اعمال شوری و کاربرد سویه‌های مختلف باکتری.
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از لحاظ آماری اختلافی با یکدیگر ندارند (P≤۰/۰۵).

دسی‌سیمن بر متر بر وزن هزار دانه می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که افزایش معنی‌دار در درصد روغن دانه در اثر شوری‌های ۶ و ۱۲ دسی‌سیمن بر متر و در هر دو نوع باکتری نسبت به شاهد (بدون شوری و بدون باکتری) احتمالاً ناشی از کاهش ماده خشک دانه بوده است. به عبارت دیگر افزایش درصد روغن در شرایط شوری به‌دلیل افزایش نسبت آن در وزن خشک بوده است و نه سنتز بیشتر آن. در این مورد تنها استثناء تیمار باکتری ۵۲ و شوری ۶ دسی‌سیمن بر متر است که تفاوت معنی‌داری با شاهد (بدون شوری و بدون باکتری) ندارد. در مقابل افزایش معنی‌دار در درصد روغن دانه در شرایط شوری شاهد در اثر هر دو سویه باکتری، نشان از اثر مثبت این باکتری‌ها احتمالاً بر گسترش سطح برگ و افزایش جذب عناصری مانند فسفر، منگنز، منیزیم، کلسیم و روی و در نتیجه افزایش سنتز روغن بوده است. با توجه به نبود اثر معنی‌دار باکتری بر وزن دانه (جدول ۶) این استدلال درست به نظر می‌رسد. در یک آزمایش مزرعه‌ای تلقیح کلزا با باکتری *Bacillus cereus* عملکرد دانه و درصد روغن را ا افزایش داد (۳۱). در مقابل برخی پژوهش‌ها کاهش درصد روغن دانه را با افزایش شوری گزارش کرده‌اند، به‌عنوان مثال سینگ و بارگاوا (۲۷) دریافتند که عملکرد دانه در شوری چهار دسی سیمن بر متر شروع به کاهش می‌کند و در ۱۹ دسی‌سیمن بر متر ۷۵ درصد افت پیدا می‌کند. آنها بر این باورند که شوری از طریق افزایش درصد پوسته دانه باعث کاهش درصد روغن می‌شود. هم‌چنین گزارش شده است که افزایش شوری تا غلظت‌های زیاد نمک موجب کاهش درصد روغن شده است. هرچند به نظر می‌رسد که در شرایط تنش شوری نسبت اسیدهای چرب زیاد تغییر نمی‌کند ولی درصد پوسته بذر افزایش می‌یابد (۱۰ و ۲۴). از آنجا که عملکرد روغن حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد دانه است و درصد روغن نیز تحت تأثیر شوری قرار نگرفت بنابراین می‌توان کاهش عملکرد روغن را ناشی از کاهش عملکرد دانه با افزایش شوری دانست. اثر هیچ یک از عامل‌های آزمایش و هم‌چنین اثر متقابل آنها بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۵). ممکن است معنی‌دار نشدن اثر شوری بر شاخص برداشت به‌دلیل کاهش همزمان و تقریباً یکنواخت عملکرد بیولوژیک و عملکرد اقتصادی با افزایش شوری باشد. از سوی دیگر کمالی و همکاران (۱۱) گزارش کردند که شوری اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت گلرنگ داشت به گونه‌ای که با افزایش میزان شوری از شاهد تا سطح ۸/۷۷ دسی سیمن بر متر شاخص برداشت ۸/۱۱ درصد افزایش یافت اما با بالا رفتن شوری به ۱۱/۲۱ دسی سیمن بر متر از مقدار شاخص برداشت ۴۸/۶ درصد کاسته شد.

نتیجه‌گیری

باکتری‌های سودوموناس به‌کار فته در این پژوهش اثر قابل توجهی در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد رقم کوسه گلرنگ (به استثنای درصد روغن دانه) نداشتند اگرچه برخی پارامترهای

رشدی گلرنگ را در شرایط شوری بهبود بخشیدند. در مجموع سویه باکتری ۱۲ در اغلب پارامترهای اندازه‌گیری شده و در هر دو شرایط تنش شوری و بدون تنش شوری بهتر از سویه ۵۲ عمل کرد.

منابع مورد استفاده

1. Arzani, A. 2008. Improving salinity tolerance in crop plants: A biotechnological view. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant* 44: 373-383.
2. Ashraf, M. 1989. The effect of NaCl on water relations, chlorophyll, and protein and proline contents of two cultivars of blackgram (*Vigna mungo* L.). *Plant and Soil* 119: 205-210.
3. Cheng, Z., E. Park and B. R. Glick. 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.
4. Dworkin, M and J. W. Foster. 1958. Experiments with some microorganisms which utilize ethane and hydrogen. *Journal of Bacteriology* 75(5): 592–603.
5. Frankenberger, W. T. and M. Arshad. 1995. Phytohormones in Soils: Microbial Production and Function. Marcel Dekker, New York, pp:503.
6. Frietas, J. and J. J. Germida. 1990. Plant growth promoting rhizobacteria for winter wheat. *Canadian Journal of Microbiology* 36:265-272.
7. Glick, B. R., D. M. Karaturovic and P. C. Newell. 1995. A novel procedure for rapid isolation of plant growth promoting pseudomonads. *Canadian Journal of Microbiology* 41:533-536.
8. Glick, B. R., L. Changping, S. Ghosh and E. B. Du Mbroff. 1997. Early development of canola seed lines in the presence of the plant growth promoting rhizobacterium *pseudomonas putida* GR 12-2. *Soil Biology and Biochemistry* 24(8): 1233-1239.
9. Gorji, M. 2008. Effects of calcium and potassium concentrations in hydroponic system on response of safflower to salinity. MSc. Thesis, Industrial University of Isfahan. Isfahan, Iran. (In Farsi).
10. Hans-Henning, M., R. E. Blackshaw, J. R. Byers, H. C. Huang, D. L. Johnson, R. Keon, J. Kubik, R. McKenzie, B. Otto, B. Roth and K. Stanford. 2004. Safflower production on the Canadian prairies. Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge, Alberta.
11. Kamali, A., Z. Shahmohammadi Heidari, M. Heidari and M. Feizi. 2011. Effect of irrigation water salinity and leaching on soil chemical characteristics and safflower yield in Isfahan district. *Iranian Crop Science Journal* 42: 63-70. (In Farsi).
12. Khajehpoor, M. R. 2004. Industrial Crops. Jahad Daneshgahi. Industrial University of Isfahan. Isfahan, Iran. (In Farsi).
13. Kloepper, J. W., R. Lifshitz and R. M. Zablotowicz. 1989. Free-living bacterial inocula for enchancing crop productivity. *Trends in Biotechnology* 7: 39-43.
14. Lyon, C. K., M. R. Grusman, A. A. Betschart, D. J. Robins and R. M. Saunders. 1979. Removal of deleterious glucosides from safflower meal. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 56: 560-564.
15. Maas, E.V. 1990. Crop salt tolerance. PP. 262-304. *In*: K. K. Tanji (Ed.), Agricultural salinity and management. ASCE Manuals Rep. Eng. Practive no.71. American Society of Civli Engineering, New York, NY.
16. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239-250.
17. Nabila Zaki, M., M. S. Hassanein, M. Karima and E. D. Gamal. 2007. Growth and yield of wheat cultivars irrigated with saline water in newly cultivated land as affected by biofertilization. *Journal of Applied Sciences Research* 3(10): 1121-1126.
18. Nadeem, S., Z. A. Zahir, M. Naveed and M. Arshad. 2007. Preliminary investigations on inducing salt tolerance in maize through ACC-deaminase activity. *Canadian Journal of Microbiology* 53(10): 1141-1149.
19. Penrose, D. M. and B. R. Glick. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Plant Physiology* 18:10-15.
20. Qasim, M., M. Ashraf, M. Y. Ashraf, S. U. Rehman and E. S. Rha. 2003. Salt – induced changes in two canola cultivars differing in salt tolerance. *Biologia Planarum* 46(4): 632-692.
21. Sadat, A. 2007. Effects of vesicular arbuscular mycorhiza and plant growth promoting bacteria on nutrient uptake and yield of wheat under salinity condition. MSc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Farsi).
22. Sadat, A., G. Savaghebi, F. Rejali, M. Farahbakhsh, K. Khavazi and M. Shirmardi. 2010. Effects of some vesicular arbuscular fungi and plant growth promoting bacteria on growth indices and yield of two wheat cultivars in a saline soil. *Soil and Water (Science and Agriculture industry)* 24: 53- 62. (In Farsi).

23. Shahzad, S. M., A. Khalid, M. Archad, J. Tahir and T. Mahmood. 2010. Improving nodulation, growth and yield of *Cicer arietinum* L. Through bacterial ACC-deaminase induced changes in root architecture. *European Journal of Soil Biology* 46: 342-347.
24. Shannon, M. C. 1997. Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy* 60: 75-120.
25. Shirmardi, M., G. Savaghebi, K. Khavazi, M. Farahbakhsh, F. Rejali and A. Sadat. 2010. Investigation of mycorhiza and Pseudomonas on leaf water potential and yield of two sunflower (*Helianthus annus*) cultivars in a saline soil. *Iran Soil and Water Research Journal* 2: 221- 228. (In Farsi).
26. Siddiqi, E. H., M. Ashraf and N. A. Akram. 2007. Variation in seed germination and seedling growth in some diverse lines of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salt stress. *Pakistan Journal of Botany* 39: 1937-1944.
27. Singh, R. and G. P. Bhargava. 1995. Response of safflower and dill to soil salinity. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 65: 442-444.
28. Ueda, A., M. Kanechi, Y. Uno and N. Inagaki. 2003. Photosynthetic limitations of a halophyte sea aster (*Aster tripolium* L.) under water stress and NaCl stress. *Journal of Plant Research* 116: 63-68.
29. Wagar, A., B. Shahroona, Z. A. Zahir and M. Arshad. 2004. Inoculation with Acc deaminase containing rhizobacteria for improvming growth and yield of wheat. *Pakistan Journal of Agriculture* 41: 119-124.
30. Wang, D., M. C. Shannon and C. M. Grieve. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. *Field Crops Research* 69: 276-277.
31. Xia, L., X. Ding, J. Li and R. Mei. 1990. Mechanism of PGPR. I. Influence of PGPR on physiology, resistance, quality and yield of rapeseed. *Agriculture Science in Hunan* 106:24–26.
32. Zhu, J. K. 2001. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science* 6: 66-71.