

اثر باکتری‌های محرک رشد، قارچ میکوریزا و تنش شوری بر جذب برخی عناصر غذایی توسط گیاه ذرت (*Zea mays L.*)

حمیدرضا بوستانی* و اسماعیل فرخ‌نژاد

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

چکیده:

افزایش فعالیت میکروبی در خاک و استفاده از روابط همزیستی و هم‌افزایی بین قارچ میکوریزا، باکتری محرک رشد و گیاه از طریق بهبود جذب عناصر غذایی می‌تواند سبب رشد بهتر گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش شوری شود. به منظور بررسی اثر کاربرد قارچ میکوریزا و باکتری محرک-رشد، بر جذب برخی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ذرت در سطوح مختلف شوری خاک، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. عامل اول شامل سطوح شوری خاک (صفر (S_0)، ۱۵ (S_1) و ۳۰ (S_2) میلی‌اکی والان نمک در کیلوگرم خاک از منابع کلرید سدیم، کلسیم و منیزیم به ترتیب به صورت ترکیبی ۳:۲:۱) و عامل دوم چهار سطح تلقیح میکروبی (قارچ *Glomus intraradices* (F)، باکتری *pseudomonas* (B)، تلقیح همزمان باکتری و قارچ (B+F) و بدون تلقیح (C)) بود. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح شوری، درصد همزیستی میکوریزایی ریشه، جذب فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز در اندام هوایی گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاربرد تمام تیمارهای میکروبی سبب افزایش معنی‌دار همه‌ی شاخص‌های یاد شده در بالا شد. تاثیر تیمارهای قارچ و قارچ-باکتری در افزایش صفات مذکور به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از تیمار کاربرد مجزای باکتری بود. کاربرد تیمارهای قارچ و قارچ-باکتری سبب افزایش معنی‌دار نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی شد که نشان‌دهنده افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش شوری می‌باشد. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار جذب عناصر فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز گیاه با برخی از شاخص‌های رشد ذرت مانند عملکرد خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع، سطح برگ، قطر ساقه، شاخص کلروفیل و درصد همزیستی میکوریزایی وجود داشت. نتایج نشان داد که قارچ و باکتری کاربردی در این آزمایش از طریق افزایش درصد همزیستی میکوریزایی و بهبود جذب عناصر غذایی، می‌توانند سبب افزایش مقاومت گیاه ذرت در برابر تنش شوری شوند.

کلمات کلیدی: باکتری *pseudomonas*، درصد همزیستی میکوریزایی، قارچ *Glomus intraradices*، شوری خاک

مقدمه

برخی یون‌های سمی، تنش‌های اسمزی، کمبود عناصر غذایی ضروری، نسبت‌های بالای Na^+/K^+ ، Na^+/Ca^{+2} ، Mg^{+2}/Ca^{+2} و Cl^-/NO_3^- در گیاه، ناهنجاری‌هایی تغذیه‌ای، کاهش رشد و کیفیت محصول اشاره نمود (Munns, 2005). کشور ایران دارای مناطق وسیع با خاک‌های شور بوده و ۱۵/۲ درصد از

تجمع نمک در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک دنیا یکی از مسائل مهم کشاورزی است که به‌طور گسترده‌ای بر تولید گیاهان زراعی تأثیر می‌گذارد. از مهمترین عوارض شوری می‌توان به کاهش آب قابل استفاده گیاه، ایجاد مسمومیت توسط

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Hr.boostani@shirazu.ac.ir

وسعت کل کشور (تقریباً ۳۳ میلیون هکتار) و ۵۰ درصد زمین های کشاورزی تحت تاثیر درجات مختلف شوری قرار دارند (Jafarzade and Aliasgharzad, 2007). مطالعات خاکشناسی حدود ۳۸ درصد از ۶/۵ میلیون هکتار اراضی خوزستان نشان داده است که تنها ۳/۱۵ درصد از اراضی مطالعه شده هیچگونه محدودیتی ندارند، در حالی که ۱۴/۷ درصد از این خاکها در کلاس دو قرار گرفته و دارای محدودیت های گوناگون به ویژه شوری هستند. حدود ۱ میلیون هکتار از اراضی خوزستان با مشکل شوری مواجه است. همچنین استان خوزستان با سطح زیر کشت سالانه بیش از ۱۱۰ هزار هکتار ذرت قطب اول تولید ذرت در کشور است (بوستانی، ۱۳۹۴). طبق گزارش های موجود شوری سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ و شاخص کلروفیل در ذرت می شود (بوستانی و همکاران، ۱۳۹۴). حد آستانه شوری گیاه ذرت ۱/۷ دسی زیمنس بر متر تعیین شده و در مقادیر بیش از این به ازای هر واحد افزایش در هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، عملکرد ۱۲ درصد کاهش می یابد (ترابی و عنابی میلایی، ۱۳۸۵). اسکندری و مظفری (۱۳۹۱) نشان دادند که با افزایش سطوح شوری (۰، ۰/۸، ۱/۶، ۲/۴ و ۳/۲ گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک) جذب عناصر غذایی کم مصرف شامل مس، آهن، روی و منگنز در شاخساره و ریشه نهال پسته به طور معنی داری کاهش یافت. بویر احمدی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که افزایش سطوح شوری خاک از ۰/۵ به ۱۰ دسی زیمنس بر متر سبب کاهش معنی دار ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی گندم شد. ایجاد گیاهان مقاوم به شوری از طریق مهندسی ژنتیک یا از بین بردن شوری خاک از طریق شستن نمک اضافی، اگر چه موفقیت آمیز بوده است اما برای مقاصد کشاورزی اقتصادی نمی باشد (Cantrell and Linderman, 2001). در کنار مهندسی ژنتیک راه های بیولوژیکی مانند استفاده از ارقام مقاوم و یا استفاده از میکروارگانیسیم ها برای کاهش تنش شوری به عنوان راه مفیدی پیشنهاد شده است (Dixon et al., 1993). قارچ های میکوریزا آربوسکولار دارای رابطه همزیستی با ریشه اکثر

گیاهان می باشند و در جذب مواد غذایی به ویژه عناصر کم تحرک در خاک موثر هستند. این قارچ ها علاوه بر افزایش جذب مواد غذایی معدنی در گیاه، می توانند سبب تحریک تولید مواد تنظیم کننده رشد، افزایش فتوسنتز، بهبود تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی و افزایش مقاومت به تنش های محیطی نیز شوند (Khavazi et al., 2005). قارچ های میکوریزا آربوسکولار گیاهان را در برابر اثرات مضر نمک محافظت می کنند (Almadini and Rabie, 2005). باکتری های ریزوسفری غیرهمزیست (باکتری های محرک رشد) از راه های گوناگون مانند تولید هورمون ها (اکسین، سیتوکینین ها و جیبرلین)، افزایش رهاسازی عناصر غذایی، افزایش جذب عناصر غذایی و همچنین جلوگیری از اثرات زیان آور تنش های محیطی سبب افزایش رشد گیاه می شوند (Mehboob et al., 2009). Waqar و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که تلقیح بذر گندم با سویه های مختلف باکتری های محرک رشد در یک آزمایش گلدانی، سبب افزایش عملکرد دانه و کلش، طول ریشه، تعداد خوشه و مقدار برداشت عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم و فسفر توسط دانه و کلش گندم شد. Daeia و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تحت تنش شوری گندم تلقیح شده با قارچ میکوریزا نسبت به تیمار شاهد مقدار بیشتری فسفر، پتاسیم و روی جذب کرده است. این محققان گونه های *Glomus etunicatum* و *Glomus mossae* را به عنوان گونه های برتر در تعدیل تنش شوری معرفی کردند.

نکته ای که باید به آن توجه داشت این است که گرچه تحقیقات مختلفی در مورد اثرات شوری بر فیزیولوژی، رشد و نمو و تغذیه گیاهان مختلف به ویژه گیاهان زراعی انجام شده است، اما در اکثر این پژوهش ها، تنها از نمک کلرید سدیم استفاده شده است، در حالی که در شرایط طبیعی در خاک مخلوطی از نمک های مختلف وجود دارد (Pessaraki, 1999). برخی محققین بر این باورند که در مطالعات مربوط به شوری که بر روی گیاهان غیر شورپسند (مانند گیاهان زراعی و علوفه ای) انجام می شود، بهتر است که از ترکیبی از نمک ها به عنوان عامل شوری استفاده شود در حالی که در درصد بالایی از

(*Glomus intraradices*) بود، که به ترتیب از بانک میکروبی موسسه تحقیقات خاک و آب تهران و دانشگاه شیراز تهیه شد. نمونه‌های هفت کیلوگرمی از خاک هوا خشک که از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده را درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته و سپس عناصر پتاسیم و فسفر را به ترتیب به صورت کامل از منبع سولفات پتاسیم (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و سوپرفسفات ساده (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و نیتروژن مورد نیاز را از منبع اوره (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بر اساس نتایج آزمون خاک، به خاک‌ها افزوده شدند. نوبت دوم نیتروژن، در آخر هفته چهارم رشد گیاه به خاک گلدان‌ها افزوده شد.

برای اعمال تیمارهای میکروبی، در گلدان‌های مربوط به تیمارهای قارچی قبل از کشت، مقداری از خاک سطحی (۱ الی ۵ ساتی‌متری) را برداشته و به آن مقدار ۵۰ گرم از مایه تلقیحی قارچی (متوسط کلونیزاسیون ریشه ۷۵ درصد و تعداد اسپور در هر گرم بستره ۱۰ عدد) افزوده و با خاک مخلوط شد. تیمارهای فاقد قارچ به همان اندازه از زادمایه قارچی سترون شده (اتوکلاو شده در دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد به مدت ۲۵ دقیقه) دریافت کردند. جهت تلقیح بذر با باکتری مورد نظر در هر حفره کاشت بذر، به ازای هر بذر یک گرم مایه تلقیح جامد و پودری حاوی 10^8 سلول باکتری زنده و فعال، استفاده گردید. قبل از تلقیح، بذور را به مدت ۳۰ ثانیه با الکل ۹۶ درصد و سپس به مدت ۱/۵ تا ۲ دقیقه در محلول وایتکس ۱۰ درصد ضد عفونی سطحی کرده و با آب مقطر استریل ۷ تا ۸ مرتبه شستشو داده شد. پس از اعمال تیمارهای میکروبی، در شهریور ماه ۹۲ کشت گیاه به تعداد ۷ بذر ذرت رقم سینگل‌گراس ۷۰۴ (مبین) در عمق حدود ۲ سانتی‌متری در شرایط گلخانه انجام شد. در هفته سوم رشد گیاه در هر گلدان فقط دو بوته نگهداری شد. در طول دوره رشد، رطوبت گلدان‌ها روزانه بصورت وزنی با استفاده از آب مقطر (بدون ایجاد زهاب) در حدود ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه نگه داشته شدند. پس از تنک کردن گیاهان و در پایان هفته سوم رشد، جهت اجتناب از شوک اسمزی ناشی از شوری، مقادیر نمک

مطالعاتی که در این زمینه انجام می‌گیرد، از نمک کلرید سدیم به عنوان تنها عامل شوری استفاده می‌شود که سبب محدود شدن گستره تعمیم‌پذیری نتایج و ارتباط آن‌ها به شرایط مزرعه می‌گردد (Pessaraki, 1999). با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر کاربرد باکتری‌های محرک رشد و قارچ مایکوریزا به صورت مجزا و ترکیبی، بر درصد همزیستی مایکوریزایی ریشه و جذب برخی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف گیاه ذرت (*Zea mays L.*) در شرایط تنش شوری حاصل از کاربرد ترکیبی نمک در یک خاک غیر استریل آهکی در شرایط گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه به مقدار کافی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری از منطقه صفی‌آباد دزفول (شمال خوزستان) که از نظر شوری در حد پایینی بود، تهیه شد. پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از با استفاده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (Page, 1982) (جدول ۱).

آزمایش در شرایط گلخانه‌ای (گلخانه دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گردید. عامل اول شامل تلقیح میکروبی در چهار سطح (تلقیح باکتری‌های محرک رشد (B)، تلقیح قارچ مایکوریزا (F)، تلقیح همزمان باکتری‌های محرک رشد و قارچ مایکوریزا (B+F) و بدون تلقیح (C)) و عامل دوم شامل شوری (S) در سه سطح (صفر (S_0)، ۱۵ (S_1) و ۳۰ (S_2) میلی‌اکی والان در کیلوگرم خاک) از منبع کلرید سدیم (NaCl)، کلرید کلسیم ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$) و کلرید منیزیم ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) به صورت ترکیبی ۱:۲:۳ بود. تعداد کل تیمارها و گلدان‌ها به ترتیب ۱۲ و ۳۶ عدد بود. سویه‌های میکروبی مورد استفاده در این بررسی شامل باکتری‌های سودوموناس (ترکیبی از گونه‌های *Pseudomonas. putida strain 41* و *Pseudomonas. fluorescens strain 169, 187*) به عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ مایکوریزا آربوسکولار

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی شیمیایی نمونه خاک

بافت خاک	لومی رسی سیلنی	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)
قابلیت هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	۲	۱۲
پهش	۷/۸	۱۰۴
کربن آلی (%)	۰/۷	۱۳/۲
کربنات کلسیم (%)	۴۳/۲	۹/۴
نیترژن خاک (%)	۰/۰۶	۲/۶
		۰/۵

جذب هر یک از عناصر توسط اندام هوایی ذرت از ضرب عملکرد خشک در غلظت هر عنصر محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین همبستگی بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

درصد همزیستی میکوریزایی ریشه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تیمار شوری و میکروبی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر درصد همزیستی میکوریزایی ریشه گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری از S₀ به S₂، درصد همزیستی میکوریزایی ریشه به ترتیب از ۳۰/۸۷ درصد به ۱۵/۲۰ درصد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، که این کاهش معادل ۵۰/۷ درصد بود (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای میکروبی نشان داد که هر سه تیمار میکروبی کاربردی سبب افزایش معنی‌دار درصد همزیستی میکوریزایی ریشه نسبت به تیمار شاهد شد، بدین صورت که به ترتیب بیشترین افزایش مربوط به تیمار قارچ-باکتری به میزان ۸/۸۸ برابر و کمترین میزان افزایش مربوط به تیمار باکتریایی به میزان ۳/۲۱ برابر تیمار شاهد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل شوری و تلقیح میکروبی نشان داد که بیشترین درصد همزیستی میکوریزایی ریشه در تیمار توام قارچ و باکتری در سطح شوری S₀ و کمترین میزان درصد همزیستی میکوریزایی

در هر یک از تیمارها به تدریج و به‌مدت یک هفته به آب آبیاری افزوده شد تا در نهایت نمک مصرفی به اندازه تیمار مورد نظر برسد. به‌منظور کنترل سطوح شوری در طول آزمایش از گلدان‌های تخریبی (فاقد گیاه) استفاده گردید. دامنه اندازه-گیری شده قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در تیمارهای شوری S₀، S₁ و S₂ در طول فصل رشد گیاه به ترتیب برابر با ۱/۹-۲/۲، ۴/۶-۵/۵ و ۷/۸-۸/۶ دسی‌زیمنس بر متر (dS m⁻¹) بود. پس از اتمام ۱۰ هفته از رشد، گیاهان از محل طوقه قطع شدند و پس از شستشو با آب معمولی و آب مقطر در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت، خشک و پس از آن توسط ترازو وزن شدند (عملکرد خشک). همچنین پس از جدا کردن ریشه‌ها از خاک، مقداری از ریشه‌های گیاه انتخاب و بعد از شستشو جهت تعیین درصد همزیستی میکوریزایی ریشه مورد استفاده قرار گرفتند. به‌منظور اندازه-گیری درصد همزیستی میکوریزایی، رنگ‌آمیزی ریشه‌ها انجام و درصد همزیستی میکوریزایی به وسیله روش تقاطع خطوط شبکه (Koromanik and McGraw, 1982) تعیین شد.

اندام هوایی (مخلوط ساقه و برگ) به‌صورت خشک سوزانی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شده و با استفاده از اسید کلریدریک ۲ نرمال به‌صورت محلول در آورده شدند. سپس غلظت عناصر پتاسیم و سدیم به روش شعله-سنجی با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (Corning 405, UK)، غلظت فسفر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (Milton roy Spectronic 20D, USA) در طول موج ۴۸۰ نانومتر و غلظت آهن، مس و منگنز توسط دستگاه جذب اتمی (AAS; PG 990, PG Instruments Ltd. UK) اندازه‌گیری شد. مقدار

جدول ۲- میانگین مربعات خصوصیات مورد مطالعه در ذرت تحت تاثیر تیمار میکروبی و سطوح مختلف شوری خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد همزیستی ریشه	پتاسیم	فسفر	نسبت پتاسیم به سدیم	آهن	منگنز	مس
شوری	۲	۷۵۵/۲۹ **	۳۳۹۹۱ **	۱۶۹/۴۵ **	۲۵۳۵/۷۵ **	۱۶/۰۰ **	۲۸۸۹۵/۶۳ **	۱۳۰/۸۲ ns
تلقیح میکروبی	۳	۲۳۲۱/۲۵ **	۱۷۸۳۵ **	۴۸/۷۸ **	۱۳/۸۳ **	۱۱/۲۹ **	۴۶۷۰۳/۸۴ **	۱۰۴۹/۸۶ **
شوری × تلقیح میکروبی	۶	۱۷/۶۹ **	۱۴۰۹ **	۲۰/۱۰ **	۸۶/۶۹ **	۱/۹۴ ns	۲۹۷۴/۳۹ **	۸۱۶/۰۵ **
خطا	۲۴	۳/۷۶	۴۹/۳۴	۰/۰۶۱	۳/۴۷	۸۱۲۴/۹۳	۹۹/۳۶	۱۹۲/۹۹

** و ns به ترتیب معنی دار در سطح یک درصد و غیر معنی دار

جدول ۳- تاثیر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ میکوریزا بر درصد همزیستی میکوریزایی ریشه در سطوح مختلف شوری خاک

	S ₂	S ₁	S ₀	
۴/۱۹ ^D	. i	۲/۹۸ ^{hi}	۹/۶۱ ^g	C
۱۳/۴۹ ^C	۵/۶۶ ^h	۱۳/۶۳ ^f	۲۱/۱۸ ^e	B
۳۴/۳۸ ^B	۲۶/۷۴ ^d	۳۱/۹۸ ^c	۴۴/۴۲ ^b	F
۳۷/۲۲ ^A	۲۸/۳۹ ^d	۳۴/۹۹ ^c	۴۸/۲۷ ^a	B+F
	۱۵/۲۰ ^C	۲۰/۹۰ ^B	۳۰/۸۷ ^A	

* میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشترک و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی دار نیستند.

* در همه ی جداول حروف اختصاری C, B, F, B+F به ترتیب نشانگر تیمارهای شاهد، باکتری، قارچ و باکتری + قارچ و حروف اختصاری S₀, S₁, S₂ به ترتیب نشانگر عدم کاربرد نمک، ۱۵ و ۳۰ میلی اکری والان نمک در کیلوگرم خاک می باشند.

درصد با ریشه این گیاه همزیستی برقرار کرد. کاهش درصد همزیستی میکوریزایی ریشه با افزایش شوری توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (منصوری و همکاران، ۱۳۸۶). گزارش‌های اخیر حاکی از آن است که کاهش درصد همزیستی میکوریزایی ریشه تحت تنش شوری احتمالاً به علت کاهش تندش اسپور، رشد هیف و تشکیل آرباسکول می‌باشد (Rabie and Almadini, 2005).

جذب فسفر: اثرات اصلی تیمارهای شوری و تلقیح میکروبی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر مقدار جذب فسفر توسط گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول

ریشه در سطح شوری S₂ در تیمار عدم تلقیح میکروبی حاصل شد. در سطح شوری S₀ بیشترین درصد همزیستی میکوریزایی ریشه مربوط به تیمار تلقیح توام قارچ و باکتری بود و نسبت به دیگر تیمارهای میکروبی تفاوت معنی‌داری داشت درحالی که در دو سطح شوری S₁ و S₂ بین تیمارهای کاربرد توام باکتری و قارچ و تیمار کاربرد مجزای قارچ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که موید نقش منفی شوری در ایجاد کلونیزاسیون ریشه می‌باشد (جدول ۳). نتایج تحقیق Marulanda و همکاران (۲۰۰۷) بر روی گیاه استوخودوس تیمار شده توسط میکوریز حاکمی از آن است که گونه *Glomus intraradices* به میزان ۳۵

۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار تلقیح میکروبی (جدول ۴) نشان داد که کاربرد هر سه تیمار میکروبی سبب افزایش معنی دار جذب فسفر توسط گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. ترتیب تاثیر تیمارهای میکروبی در افزایش مقدار فسفر جذب شده در گیاه نسبت به تیمار شاهد به صورت قارچ-باکتری < قارچ < باکتری بود. افزایش جذب فسفر در تیمارهای قارچی علاوه بر تأثیر همزیستی میکوریزی در افزایش سطح جذب ریشه، به عقیده Giri و همکاران (۲۰۰۳) می‌تواند به دلیل تاثیر این قارچ‌ها در ترشح فسفات‌ها، اگزالات‌ها و تراوش یون پروتون نیز صورت گیرد. Almas و Saghiri (۲۰۰۵) نشان دادند در حضور باکتری *Azotobacter* و *Pseudomonas esteria* میزان فسفر در گندم افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرد. همچنین Hammedaa و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که استفاده از باکتری‌های *Pseudomonas florescent* و *Serratia marsenese* به همراه خاک فسفات در شرایط گلخانه فسفر گیاه را به ترتیب ۴۲ و ۴۷ درصد افزایش دادند. تاثیر کاربرد باکتری *pseudomonas* در افزایش جذب فسفر در گیاه می‌تواند ناشی از اثر اسیدهای آلی ترشح شده از باکتری و کاهش pH خاک و یا کلاته کردن یون‌های کلسیم که باعث تثبیت فسفر در خاک می‌گردند، باشد (Tian and Kolawole, 2004). با افزایش سطوح شوری، جذب فسفر توسط گیاه ذرت به طور معنی داری کاهش یافت به طوری که از ۶/۶۰ میلی‌گرم در گلدان در تیمار S₀ به ۳/۶۷ میلی‌گرم در گلدان در تیمار شوری S₂ رسید (جدول ۴). همکاران (۱۳۹۰) مشاهده کردند که افزایش سطح شوری خاک تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش معنی دار جذب فسفر در گیاه گندم در یک مطالعه گلخانه‌ای شد. بالا بودن قدرت یونی محیط‌های شور، عامل مهمی برای کاهش فعالیت فسفر در خاک است (Awad et al., 1990). در خاک‌های شور، آنیون‌های کلر و دی‌هیدروژن فسفات برای جذب توسط گیاه با یکدیگر رقابت می‌کنند و در نتیجه، جذب فسفر و تجمع آن در اندام هوایی کاهش می‌یابد (Rending and Papadopoulos, 1983). همچنین می‌توان کاهش جذب آن را به کاهش طول ریشه گیاه در شرایط شوری

نسبت داد. نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل دو تیمار نشان داد که تاثیر تیمارهای میکروبی در سطوح مختلف شوری خاک بر افزایش جذب فسفر توسط گیاه متفاوت بود بدین صورت که در سطح شوری S₀ بیشترین میزان جذب فسفر در تیمارهای کاربرد مجزای قارچ و باکتری بود در حالی که در سطوح شوری S₁ و S₂ بیشترین مقدار جذب فسفر مربوط به کاربرد تیمار توام قارچ و باکتری بود (جدول ۴) که احتمالاً به دلیل میزان بیشتر وزن خشک اندام هوایی گیاه در سطوح شوری S₁ و S₂ در تیمار کاربرد توام قارچ و باکتری نسبت به کاربرد مجزای قارچ و باکتری در مقایسه با سطح شوری S₀ است (نتایج وزن خشک اندام هوایی به علت محدودیت صفحات آورده نشده است). پارسامطلق و همکاران (۱۳۹۳) نتیجه گرفتند که کاربرد قارچ *Glomus intraradices* سبب افزایش معنی دار غلظت فسفر در شرایط تنش شوری در برگ گیاه لوبیا شد.

جذب پتاسیم: اثرات اصلی تیمار شوری و تلقیح میکروبی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر جذب پتاسیم توسط اندام هوایی ذرت معنی دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری مقدار جذب پتاسیم به طور معنی داری کاهش یافت به طوری که از ۲۰۰/۱ میلی‌گرم در گلدان در تیمار بدون شوری به ۹۳/۷ میلی‌گرم در گلدان در تیمار S₂ رسید (جدول ۵). قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاه در خاک با کاهش محتوای آب خاک، کاهش می‌یابد که منجر به کاهش تحرک پتاسیم تحت شرایط خشکی و شوری می‌شود. بنا به نظر برخی پژوهشگران، غالبیت یون سدیم در سطوح بالای شوری از جذب پتاسیم توسط گیاه جلوگیری نموده و سبب کاهش تجمع یون پتاسیم در گیاه می‌شود (Mosali et al., 1992). Munns و Greenway (۱۹۸۳) کاهش پتاسیم در گیاه در اثر شوری را نتیجه رقابت عناصر سدیم و پتاسیم برای جذب دانستند. پارسامطلق و همکاران (۱۳۹۳) کاهش معنی دار مقدار جذب پتاسیم در اثر افزایش شوری خاک را در گیاه لوبیا گزارش کردند. مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار تلقیح میکروبی نشان داد که کاربرد

جدول ۴- تاثیر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ مایکوریزا بر جذب فسفر شاخساره ذرت (میلی گرم در گلدان) در سطوح مختلف شوری خاک

	S ₂	S ₁	S ₀	
۲/۶۹ ^D	۱/۶۳ ^h	۲/۴۷ ^g	۳/۹۷ ^f	C
۶/۱۸ ^C	۴/۰۳ ^{ef}	۶/۸۰ ^c	۷/۷۰ ^b	B
۶/۶۶ ^B	۴/۳۳ ^e	۷/۹۷ ^b	۷/۶۶ ^b	F
۷/۰۳ ^A	۴/۶۷ ^d	۹/۴۰ ^a	۷/۰۳ ^c	B+F
	۳/۶۷ ^B	۶/۶۵ ^A	۶/۶۰ ^A	

* میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشترک و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

جدول ۵- تاثیر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ مایکوریزا بر جذب پتاسیم شاخساره ذرت (میلی گرم در گلدان) در سطوح مختلف شوری خاک

	S ₂	S ₁	S ₀	
۸۱/۶ ^C	۴۷/۴ ^g	۷۱/۷ ^f	۱۲۵/۷ ^d	C
۱۶۵/۹ ^B	۹۶/۴ ^e	۱۶۱/۷ ^c	۲۳۹/۷ ^a	B
۱۶۷/۱ ^B	۱۰۳/۲ ^e	۱۶۵/۹ ^c	۲۳۲/۳ ^a	F
۱۷۷/۱ ^A	۱۲۷/۸ ^d	۲۰۰/۸ ^b	۲۰۲/۷ ^b	B+F
	۹۳/۷ ^C	۱۵۰/۰ ^B	۲۰۰/۱ ^A	

* میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشترک و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

توسط دانه و کلش گندم شد. Vivas و همکاران (۲۰۰۳) نیز گزارش کردند که غلظت پتاسیم در کاهوی تلقیح شده با *Bacillus sp.* تحت شرایط شور ۵۰ درصد نسبت به شاهد تلقیح نشده افزایش یافت.

نسبت جذب پتاسیم به سدیم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای شوری و تلقیح میکروبی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر نسبت جذب پتاسیم به سدیم در اندام هوایی ذرت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). Prakash و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که یکی از فاکتورهای نشان دهنده تحمل گیاهان نسبت به تنش شوری، نسبت جذب پتاسیم به سدیم اندام هوایی است و هرچه این نسبت بیشتر باشد تحمل گیاه به شوری بیشتر است. مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار شوری نشان داد که با افزایش سطح شوری از S₀ به S₂ نسبت جذب پتاسیم به سدیم از ۶۵/۲ به ۱۱ رسید که این مقدار کاهش از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). سطوح بالای یون سدیم در

هرسه تیمار میکروبی سبب افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم در گیاه نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۵). تاثیر تیمارهای باکتری و قارچ در افزایش پتاسیم گیاه مشابه و به طور معنی‌داری کمتر از تیمار توام قارچ-باکتری بود. نتایج اثرات متقابل شوری و تلقیح میکروبی نشان داد که بیشترین مقدار جذب پتاسیم در تیمار مرکب عدم اعمال شوری و کاربرد مجزای قارچ و باکتری مشاهده شد درحالی که کمترین مقدار جذب پتاسیم مربوط به تیمار مرکب سطح شوری S₂ و عدم کاربرد تیمار میکروبی بود (جدول ۵). افزایش جذب پتاسیم در گیاهان مایکوریزی در سطوح مختلف شوری و در مقایسه با گیاهان شاهد تلقیح نشده، علاوه بر افزایش سطح جذب ریشه، به عقیده Rabie و Almadini (۲۰۰۵) نتیجه تأثیری است که این قارچ‌ها بر انتقال دهنده‌های پتاسیم دارند. Waqar و همکاران (۲۰۰۴) نیز نشان دادند که تلقیح بذر گندم با سویه های مختلف باکتری‌های دارای فعالیت آنزیم ACC دی‌آمیناز در یک آزمایش گلدانی، سبب افزایش مقدار برداشت پتاسیم

جدول ۶- تاثیر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ مایکوریزا بر نسبت جذب پتاسیم به سدیم شاخساره ذرت در سطوح مختلف شوری خاک

	S ₂	S ₁	S ₀	
۳۶/۱ ^B	۱۷/۸ ^f	۳۸/۱ ^d	۵۲/۶ ^b	C
۳۶/۱ ^B	۷/۷ ^g	۴۵/۳ ^c	۵۵/۳ ^b	B
۳۹/۷ ^A	۹/۶ ^g	۳۳/۳ ^e	۷۶/۳ ^a	F
۴۰/۴ ^A	۹/۱ ^g	۳۵/۹ ^{de}	۷۶/۵ ^a	B+F
	۱۱/۰ ^C	۳۸/۱ ^B	۶۵/۲ ^A	

* میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشترک و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

عدم تلقیح میکروبی مشاهده شد (جدول ۶). در همه‌ی سطوح شوری کاربرد تیمارهای میکروبی سبب افزایش نسبت جذب پتاسیم به سدیم شد. Daeia و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که نسبت پتاسیم به سدیم در رقم‌های مختلف گندم (کویر، روشن و طبری) تلقیح شده با قارچ مایکوریزا نسبت به شاهد (بدون تلقیح) به طور معنی‌داری بالاتر بود.

جذب آهن: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تیمار شوری و تلقیح میکروبی بر جذب آهن در اندام هوایی ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد درحالی‌که اثرات متقابل شوری و تلقیح میکروبی بر جذب آهن معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری نشان داد که با افزایش سطح شوری مقدار جذب آهن از ۵۱۵/۲ میکروگرم در گلدان در تیمار شاهد (عدم کاربرد شوری) به ۳۱۶/۹ میکروگرم در گلدان در تیمار سطح S₂ رسید که این کاهش معادل ۳۸/۵ درصد بود (جدول ۷). مقادیر زیاد کلرید سدیم در محیط می‌تواند جذب آهن را تحت تأثیر قرار داده و کمبود یا سمیت آهن را تشدید کند (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۶). Nenova (۲۰۰۸) با انجام یک آزمایش آبکشت، گزارش کرد که تیمار شوری، جذب و غلظت آهن در ریشه و شاخساره نخود را کاهش داد. Achakazi و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که افزایش سطوح شوری از ۱/۱۹ به ۲۲/۳۸ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر سبب افزایش غلظت آهن در اندام هوایی گیاه آفتابگردان شد که احتمالاً به دلیل کاهش شدید عملکرد در اثر اعمال شوری است. مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار میکروبی نشان داد که با کاربرد هر سه تیمار

محیط رشد، فعالیت کلسیم محلول را کاهش داده و ممکن است جایگزین یون کلسیم موجود در غشاء پلاسمایی سلول‌ها گردد، در نتیجه نسبت سدیم به پتاسیم به نفع سدیم تغییر می‌کند. این غلظت پایین یون کلسیم در شرایط شور، ممکن است به شدت عمل غشاء را متأثر کند که به عنوان مانعی برای ورود یون‌ها به داخل سلول عمل می‌کند (Netondo et al., 2004). همچنین جوانمردی و همکاران (۱۳۷۹) علت کاهش این نسبت در تنش شوری را در خربزه به اثر متقابل یون سدیم بر جذب پتاسیم و حامل‌های انتقال دهنده این دو یون نسبت دادند. بویراحمدی و همکاران (۱۳۹۰) کاهش معنی‌دار نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در دو گیاه شبدر ایرانی و گندم را در اثر افزایش سطح شوری خاک گزارش کردند. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار تلقیح میکروبی نشان داد که کاربرد باکتری تاثیر معنی‌داری بر تغییر نسبت جذب پتاسیم به سدیم نسبت به تیمار شاهد نداشت درحالی‌که تیمارهای کاربرد مجزای قارچ و قارچ-باکتری سبب افزایش معنی‌دار این شاخص نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۶). تیمار قارچ-باکتری نسبت به تیمار کاربرد مجزای قارچ در افزایش این شاخص تاثیر بیشتری داشت اما این تفاوت معنی‌دار نشد (جدول ۶). پارسامطلق و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که کاربرد قارچ‌های مایکوریزا سبب کاهش نسبت سدیم به پتاسیم برگ لوبیا شدند. مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و تلقیح میکروبی نشان داد که بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم در تیمار مرکب عدم کاربرد شوری و قارچ-باکتری مشاهده شد درحالی‌که کمترین میزان این نسبت در تیمار مرکب سطح S₂ شوری و

جدول ۷- تاثیر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ مایکوریزا بر جذب آهن شاخساره ذرت (میکروگرم در گلدان) در سطوح مختلف شوری خاک

	S ₂	S ₁	S ₀	
۲۸۳/۵ ^B	۱۵۰/۲ ^f	۲۷۲/۹ ^{ef}	۴۲۷/۴ ^{bcde}	C
۴۷۲/۹ ^A	۳۶۱/۲ ^{cde}	۴۹۸/۸ ^{abc}	۵۶۰/۷ ^{ab}	B
۴۹۰/۵ ^A	۴۵۲/۶ ^{bcd}	۴۸۹/۷ ^{abc}	۵۲۹/۱ ^{abc}	F
۴۹۰/۹ ^A	۳۰۳/۸ ^{def}	۶۲۵/۷ ^a	۵۴۳/۳ ^{ab}	B+F
	۳۱۶/۹ ^B	۴۷۱/۳ ^A	۵۱۵/۲ ^A	

* میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشترک و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

اندام هوایی را نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد درحالی که کاربرد تیمار مجزای قارچ جذب مس اندام هوایی را افزایش داد ولی معنی‌دار نبود (جدول ۸). افزایش جذب عناصر غذایی کم مصرف توسط قارچ مایکوریزا می‌تواند مربوط به سرعت گسترش هیف‌های خارج ریشه‌ای این قارچ-ها باشد که به‌طور متوسط ۸۰۰ برابر سرعت گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه است (خاوازی و همکاران، ۱۳۸۴). میزان مس موجود در محلول خاک بسیار اندک بوده و از طرف دیگر ضریب پخشیدگی این عنصر در خاک بسیار کم است. این دو عامل سبب شده تا در گیاهان مایکوریزایی میزان مس جذب شده بیشتر از گیاهان غیر مایکوریزایی باشد (Marschner and Dell, 1994). Al-Karaki و Al-Raddad (۱۹۹۷) نیز افزایش جذب مس توسط گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های مایکوریزی را گزارش نمودند. Marschner و Tarafdar (۱۹۹۴) گزارش کردند که همزیستی گندم با قارچ‌های مایکوریزی سبب افزایش غلظت مس در اندام‌های هوایی گردید. نتایج اثرات متقابل شوری و تلقیح میکروبی نشان داد که تاثیر تیمارهای میکروبی بر افزایش جذب مس در سطوح مختلف شوری متفاوت بود (جدول ۸) به‌طوری که ترتیب جذب مس در سطح شوری S₀ به‌صورت باکتری < شاهد < قارچ < قارچ-باکتری بود در صورتی که در سطوح شوری S₁ و S₂ به صورت قارچ-باکتری < باکتری < قارچ < شاهد بود. به‌نظر می‌رسد که در شرایط شور قارچ و باکتری یک اثر هم‌افزایی بر روی یکدیگر در جذب مس داشتند و کاربرد همزمان باکتری با قارچ، کارایی قارچ مایکوریزا را در بهبود جذب مس، افزایش داده است.

میکروبی مقدار جذب آهن به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح میکروبی) افزایش یافت. مقدار افزایش جذب آهن در تیمارهای قارچ-باکتری و قارچ نسبت به تیمار باکتری بیشتر بود اما از نظر آماری این تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۷). افزایش جذب آهن توسط گیاه را می‌توان به تولید اسید توسط میکروارگانیسم‌های خاک و رهاسازی این کاتیون از کانی‌ها و افزایش قابلیت جذب آن توسط گیاه نسبت داد. Alipour و Sobhanipour (۲۰۱۲) بیان کردند افزودن باکتری *Pseudomonas fluorescent* به محیط رشد ذرت سبب افزایش جذب آهن در اندام هوایی می‌شود. نتایج حاصل از تاثیر برقراری رابطه همزیستی مایکوریزایی در غلظت کل آهن جذب شده توسط گیاه میزبان بسیار متغیر است. در گیاه سویا برقراری رابطه همزیستی مایکوریزی منجر به کاهش جذب آهن شده است درحالی‌که در گیاه ذرت منجر به افزایش آهن می‌شود. همچنین گونه‌های مختلف قارچ‌های مایکوریز توانایی متفاوتی در جذب آهن نشان می‌دهند. به‌نظر می‌رسد قارچ‌های مایکوریز از طریق ترشح انواعی از سیدروفورها و کلاته کردن آهن توانسته‌اند جذب و انتقال آهن را افزایش دهند (ساجدی و رجالی، ۱۳۹۰).

جذب مس: اثرات اصلی تیمار میکروبی و همچنین اثرات متقابل شوری و تلقیح میکروبی بر جذب مس اندام هوایی ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود درحالی‌که اثرات اصلی تیمار شوری بر جذب مس اندام هوایی معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار میکروبی نشان داد که کاربرد تیمار باکتری و قارچ-باکتری جذب مس

جدول ۸- تاثیر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ مایکوریزا بر جذب مس شاخساره ذرت (میکروگرم در گلدان) در سطوح مختلف شوری خاک

	S ₂	S ₁	S ₀	
۱۷/۱ ^B	۶/۵ ^b	۱۴/۵ ^b	۳۰/۲ ^{ab}	C
۳۳/۵ ^A	۱۸/۹ ^b	۳۲/۸ ^{ab}	۴۸/۴ ^a	B
۱۸/۱ ^B	۱۳/۹ ^b	۱۹/۷ ^b	۲۰/۴ ^b	F
۳۸/۳ ^A	۵۲/۵ ^a	۴۹/۴ ^a	۱۳/۲ ^b	B+F
	۲۲/۹ ^A	۲۹/۱ ^A	۲۸/۲ ^A	

* میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشترک و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

جدول ۹- تاثیر کاربرد باکتری محرک رشد و قارچ مایکوریزا بر جذب منگنز شاخساره ذرت (میکروگرم در گلدان) در سطوح مختلف شوری خاک

	S ₂	S ₁	S ₀	
۱۱۳/۲ ^C	۱۸۵/۰ ^g	۱۰۰/۶ ^g	۱۵۳/۸ ^f	C
۲۱۷/۳ ^B	۱۶۸/۱ ^f	۲۱۳/۶ ^d	۲۷۰/۴ ^c	B
۲۶۶/۱ ^A	۱۹۰/۱ ^e	۲۶۶/۹ ^c	۳۴۱/۰ ^a	F
۲۶۵/۸ ^A	۲۰۷/۵ ^d	۳۱۵/۹ ^b	۲۷۴/۱ ^c	B+F
	۱۶۲/۸ ^C	۲۲۴/۱ ^B	۲۵۹/۸ ^A	

* میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشترک و کوچک مشترک در هر ستون یا سطر از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نیستند.

(جدول ۹). زاهدی‌فر و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که با افزایش سطوح شوری (صفر، ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کلرید کلسیم نسبت وزنی ۲ به ۱) در کشت گوجه‌فرنگی به صورت آبکشت، جذب منگنز شاخساره به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. Talei و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که افزایش سطوح شوری خاک (۴ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) سبب کاهش معنی‌دار مقدار جذب منگنز توسط گیاه دارویی پادشاه تلخ (*Andrographis paniculata* Nees.) شد. مقایسه میانگین اثرات اصلی تلقیح میکروبی نشان داد که کاربرد هر سه تیمار میکروبی سبب افزایش معنی‌دار جذب منگنز شاخساره ذرت نسبت به تیمار شاهد شد به‌طوری که تاثیر تیمارهای قارچ و قارچ-باکتری مشابه و به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار کاربرد مجزای باکتری بود (جدول ۹). ساجدی و رجالی (۱۳۹۰) افزایش معنی‌دار جذب منگنز توسط گیاه ذرت در یک آزمایش مزرعه‌ای تحت تاثیر کاربرد قارچ مایکوریزا (*Glomus intraradices*) را گزارش کردند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. نتایج اثرات متقابل شوری و تلقیح

Hernandez و همکاران (۱۹۹۴) گزارش نمودند که استفاده از باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد مثل *Azotobacter* به همراه قارچ‌های مایکوریزی، کارایی قارچ مایکوریزا را در جذب عناصر غذایی افزایش داد. Behl و همکاران (۲۰۰۳) گزارش نمودند که کاربرد هم‌زمان باکتری *Azotobacter* و قارچ مایکوریزا اثرات مثبت و هم‌افزایی روی گیاه گندم داشت و دلایل آن را تاثیر *Azotobacter* در افزایش رشد ریشه‌های مویین، افزایش رشد طولی میسلیوم‌های قارچ و نفوذ آن‌ها به لایه‌های زیرین خاک دانسته‌اند، که این امر امکان دسترسی گیاه به عناصر غذایی را افزایش می‌دهد.

جذب منگنز: اثرات اصلی تیمارهای شوری و تلقیح میکروبی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر جذب منگنز اندام هوایی ذرت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار شوری نشان داد که با افزایش سطوح شوری مقدار جذب منگنز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری که از ۲۵۹/۸ میکروگرم در گلدان در تیمار S₀ به ۱۶۲/۸ میکروگرم در گلدان در تیمار S₂ رسید

جدول ۱۰- نتایج ضرب همبستگی پیرسون (r) بین شاخص‌های رشد و جذب برخی عناصر غذایی در شاخساره ذرت تحت تاثیر تلفیح میکروبی و شوری خاک

شاخص	ارتفاع	سطح برگ	عملکرد خشک	قطر ساقه	درصد همزیستی مایکوریزایی	وزن خشک ریشه
فسفر	۰/۹۱**	۰/۸۴**	۰/۸۹**	۰/۸۰**	۰/۷۴**	۰/۸۹**
پتاسیم	۰/۹۳**	۰/۹۳**	۰/۹۶**	۰/۹۰**	۰/۷۵**	۰/۹۶**
آهن	۰/۷۷**	۰/۷۲**	۰/۷۶**	۰/۶۹**	۰/۴۰*	۰/۱۶ ^{ns}
منگنز	۰/۹۴**	۰/۸۹**	۰/۹۶**	۰/۸۶**	۰/۸۶**	۰/۹۵**
مس	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۳۳ ^{ns}	۰/۰۳۲ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}

** و * و ns به ترتیب معنی دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی دار

با هیچ کدام از شاخص‌های رشد گیاه همبستگی معنی داری را نشان نداد. بنابراین می‌توان به نقش موثر عناصر فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز در بهبود پارامترهای یاد شده و افزایش تحمل گیاه به شوری در اثر کاربرد ریزجانداران میکروبی مورد استفاده در این پژوهش، اذعان کرد.

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش سطوح شوری درصد همزیستی مایکوریزایی ریشه، جذب فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز در اندام هوایی گیاه به‌طور معنی داری کاهش یافت، در صورتی که کاربرد همه‌ی تیمارهای میکروبی سبب افزایش درصد همزیستی مایکوریزایی ریشه و جذب عناصر مذکور در تمام سطوح شوری اعمال شده گشت. استفاده از قارچ آربوسکولار مایکوریزا و تیمار توأم قارچ-باکتری تاثیر بهتری را در افزایش اکثر ویژگی‌های مورد مطالعه نسبت به استفاده مجزا از تیمار کاربرد باکتری محرک رشد در همه‌ی سطوح شوری خاک داشت. کاربرد تیمارهای قارچ و قارچ-باکتری سبب افزایش معنی دار نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی شد که نشان‌دهنده افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش شوری در اثر کاربرد این تیمارها می‌باشد. برهمکنش شوری و تیمار میکروبی نیز بر تمامی صفات مورد مطالعه بجز جذب آهن معنی دار بود، بنابراین تاثیر کاربرد تیمارهای میکروبی بر عملکرد و جذب عناصر غذایی بستگی به سطوح شوری خاک داشت و کاربرد تیمارهای قارچ و باکتری در

میکروبی نشان داد که بیشترین میزان جذب منگنز در تیمار مرکب عدم کاربرد شوری و کاربرد قارچ (FS₀) و کمترین میزان جذب منگنز در تیمار مرکب سطح S₂ شوری و عدم کاربرد تیمار میکروبی (CS₂) به ترتیب به میزان ۳۴۱ و ۸۵/۱ میکروگرم در گلدان مشاهده شد (جدول ۹). اثر کاربرد تیمار میکروبی در سطوح مختلف شوری بر جذب منگنز اندام هوایی متفاوت بود به طوری که در سطح S₀ شوری (عدم کاربرد نمک) تیمار کاربرد قارچ دارای بیشترین میزان جذب منگنز بود در حالی که در سطوح S₁ و S₂ شوری تیمار کاربرد توأم قارچ و باکتری دارای بیشترین میزان جذب منگنز بود که احتمالاً به دلیل ایجاد عملکرد بهتر بین قارچ و باکتری در سطوح شوری ایجاد شده و افزایش عملکرد گیاه در تیمار کاربرد توأم قارچ و باکتری نسبت به کاربرد مجزای قارچ در سطوح شوری اعمال شده می‌باشد.

ضرب همبستگی بین برخی از شاخص‌های رشد ذرت

و جذب عناصر غذایی: نتایج همبستگی میان برخی شاخص‌های رشد ذرت و جذب عناصر غذایی اندام هوایی، نشان داد که تمام شاخص‌های مورد بررسی با جذب فسفر، پتاسیم و منگنز همبستگی مثبت و معنی داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۱۰). جذب آهن توسط گیاه فقط با میزان وزن خشک ریشه همبستگی معنی داری نشان نداد در حالی که با سایر پارامترهای رشد گیاه همبستگی مثبت و معنی داری را نشان داد (جدول ۱۰). جذب مس در اندام هوایی

بهبتر در شرایط تنش شوری مؤثر باشند. بنابراین با توجه گسترده‌گی اراضی دچار مشکلات شوری و لزوم مدیریت بهینه مصرف کودهای شیمیایی در شرایط شور، استفاده از کودهای بیولوژیک می‌تواند روش موثری در بهبود عملکرد ذرت و جذب بهتر عناصر غذایی در شرایط شور بدون ایجاد مشکلات زیست محیطی، محسوب شود. البته بررسی‌های بیشتر در شرایط مزرعه توصیه می‌شود.

تمامی سطوح شوری خاک سبب بهبود این صفات شدند. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار جذب عناصر فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز گیاه با برخی از شاخص‌های رشد ذرت مانند عملکرد خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع، سطح برگ، قطر ساقه، شاخص کلروفیل و درصد همزیستی مایکوریزای وجود داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که تیمارهای قارچی و باکتریایی مورد استفاده در این پژوهش، می‌توانند در افزایش مقاومت گیاه به شوری و تولید عملکرد

منابع

- اسکندری، س. و مظفری، و. (۱۳۹۱) اثر سطوح مختلف شوری و مقدار متفاوت مس بر جذب عناصر غذایی کم‌مصرف توسط ریشه و اندام‌هوایی دو رقم پسته در شرایط گلخانه، مجله علوم و فنون کشت گلخانه‌ای ۱۲(۱): ۱۹-۲۴.
- بوستانی، ح.، چرم، م.، معزی، ع.، عنایتی‌ضمیر، ن. و زارعی، م. (۱۳۹۴) اثر کاربرد کود زیستی بر جذب روی و برخی از شاخص‌های رشد ذرت در یک خاک غیراستریل آهکی با درجات مختلف شوری، مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۷(۲۲): ۱۰۹-۱۲۳.
- بوستانی، ح. (۱۳۹۴) اثر باکتری PGPR، قارچ مایکوریزا آرباسکولار و ماده آلی بر شکل‌های شیمیایی و سینتیک آزادسازی روی در سطوح مختلف شوری بر خاک آهکی تحت کشت ذرت. پایان نامه دکتری گروه علوم خاک دانشگاه شهید چمران اهواز.
- بویراحمدی، م.، رئیس، ف. و محمدی، ج. (۱۳۹۰) اثر سطوح مختلف شوری بر شاخص‌های رشد و جذب عناصر غذایی شبدر ایرانی و گندم رقم چمران، مجله پژوهش‌های تولید گیاهی ۱۸: ۲۵-۴۴.
- پارسامطلق، ب.، محمودی، س.، زهان، م. و نقی‌زاده، م. (۱۳۹۳) اثر قارچ مایکوریزا و کود فسفر بر غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و عناصر غذایی لوبیا تحت تنش شوری، مجله اکولوژی کشاورزی ۳(۲): ۲۳۳-۲۴۴.
- ترابی، م. و عنابی‌میلابی، ع. (۱۳۸۵) روش استفاده از آب شور در آبیاری و مدیریت شوری. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، تبریز، ایران.
- جوانمردی، ج.، لسانی، ه. و کاشی، ا. (۱۳۷۹) اثر سطوح مختلف کلرید سدیم بر جذب و انتقال برخی عناصر غذایی در پنج رقم مختلف هندوانه، مجله علوم کشاورزی ایران ۳۲: ۳۱-۴۰.
- خاوازی، ک.، اسدی‌رحمانی، ه. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۵) ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور، انتشارات سنا، تهران، ایران.
- زاهدی‌فر، م.، رونقی، ع.، موسوی، ع. و صفرزاده، ص. (۱۳۸۹) اثر سطوح شوری و نیتروژن بر رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی گوجه‌فرنگی در شرایط آبکشت، مجله علوم و فنون کشت گلخانه‌ای ۱۱(۲): ۳۱-۴۰.
- ساجدی، ن. ر. و رجالی، ف. (۱۳۹۰) اثر تنش خشکی، کاربرد روی و تلقیح مایکوریزا بر جذب عناصر غذایی کم‌مصرف در گیاه ذرت، مجله پژوهش‌های خاک ۲۵(۲): ۸۳-۹۲.
- شهرآیینی، ا.، شبانپور، م. و سادات، س. (۱۳۹۰) اثر شوری و تراکم خاک بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گندم، مجله پژوهش‌های خاک ۲۵(۴): ۲۷۹-۲۸۴.
- منصوری، ه.، ا. احمدی‌مقدم و ن. روحانی. ۱۳۸۶. پاسخ‌های لوبیای مایکوریزایی و غیر مایکوریزایی به تنش شوری، مجله زیست-شناسی ایران ۲۰(۱): ۸۰-۸۸.

- Achakazi, A. K. K., Kayani, S. A., Hanif, A. 2010. Effect of salinity on uptake of micronutrients in sunflower at early vegetative stage. *Pakistanian Journal of Botany* 42(1): 129-139.
- Alipour, Z. T. and Sobhanipour, A. (2012) The Effect of *Thiobacillus* and *Pseudomonas fluorescens* Inoculation on maize growth and Fe Uptake. *Annals of Biological Research* 3(3): 1661-1666.
- Al-Karaki, G. N. and Al-Raddad, A. (1997) Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhizae* 7: 83-88.
- Awad, A. S., Edward, D. G. and Campbell, L. C. (1990) Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. *Crop Science* 30: 123-128
- Almas, Z. and Saghir, K. (2005) Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on growth, yield and nutrient uptake of wheat. *Canadian Journal of Microbiology* 28: 2079-2092.
- Behl, R. K., Sharma, H., Kumar, V. and Singh, K. P. (2003) Effect of dual inoculation of VA mycorrhiza and *Azotobacter chroococcum* on above flag leaf characters in wheat. *Agronomy and Soil Science* 49: 25-31.
- Cantrell, I. C. and Linderman, R. G. (2001) Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. *Plant Soil* 233: 269-281.
- Caris, C., Hordt, W., Hawkins, H. J., Romhel, V. and Eckhard, G. (1998) Studies of iron transport by AM hyphae from soil to peanut and sorghum plants. *Mycorrhizae* 8: 35-39.
- Daeia, G., Ardekania, M. R., Rejalic, F., Teimurib, S. and Miransari, M. (2009). Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield components, and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. *Journal of Plant Physiology* 166: 617-625.
- Dixon, R. K., Garg V. K. and Rao, M. V. (1993) Nodulation of *Lecaena* and prosopis seedlings with *Glomus* and *Rhizobium* species in saline soil: rhizosphere relations and seedlings growth. *Soil Research and Rehabilitants* 7: 133-144.
- Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, G. (2003) Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *Biology and Fertility of Soil* 38: 170-175.
- Greenway, H. and Munns, R. (1980) Mechanism of salt tolerance of non-halophytes. *Plant Physiology* 31: 149-190.
- Hameedaa, B., Harinib, G. O., Rupelab, P., Wanib, S. P. and Reddya, G. (2008) Growth promotion of maize by phosphate solubilizing bacteria isolated from composts and macro fauna. *Microbiological Research* 163: 234-242.
- Hernandez, M., Pereira, M. and Tang, M. (1994) Use of microorganisms as bio fertilizers in tropical crops. *Pastos-y-Forrajés* 17: 183-192.
- Jafarzadeh, A. A., and Aliasghar zad, N. (2007) Salinity and salt composition effects on seed germination and root length of four sugarbeet cultivars. *Proceeding of "Bioclimatology and Natural Hazards" International Scientific Conference, Poľana Nad Detvou, Slovakia, September 17 - 20.*
- Koromanik, P. P. and McGraw, A. C. (1982) Quantification of vesicular arbuscular mycorrhizae in plant roots. In *method and principles of mycorrhizal research*. Ed. N. C. Schenck. The American Phyto Pathological Society. Pp. 36-37.
- Marschner, H., and B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and soil*, 159: 82-102.
- Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J. M. and Azcon, R. (2007) Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought tolerant or drought sensitive *Glomus* species. *Microbial Ecology* 54(3): 543-552.
- 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.
- Mosali, J., Desta, K., Teal, K. R., Freeman, K. W., Martin, K. L., Lawles, J., Raun, W. R. and Oertli, J. J. (1992) Nutrient management under water and salinity stress. In: *Proceedings of the International Symposium of Nutrient management for sustained productivity*. Department of Soil Science. Punjab Agricultural University. Ludhiana, India p. 138-165.
- Munns, R. (2005) Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist* 167: 645-663.
- Nenova, V. (2008) Growth and mineral content ratios of pea plants under different salinity levels and iron supply. *Journal of Plant Physiology* 34 (3-4): 189-202.
- Netondo, G. W., Onyango, J. C. and Beck, E. (2004) Sorghum and salinity. I: Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Sciences* 44: 797-805.
- Papadopoulos, L. and Rendig, V. V. (1983) Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. *Plant and Soil* 73: 47-57.
- Page, A. L. (1982) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Methods. Agronomy No.9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Pessarakli, M. (1999) *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker Incorporation. New York. 1254p.
- Prakash, R. P., Sushil, S. K., Vinay, R. P., Vimal, J. P. Sunil, M. K. (2010) Impact of salt stress on nutrient uptake and growth of cowpea. *Brasilian Society of Plant Physiology* 22(1): 43-48.
- 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.

- Talei, D., Kadir, M. A., Yusop, M. K., Valdiani, A. and Abdollah, M. P. (2012) Salinity effects on macro and micro nutrients uptake in medicinal plant king of bitters (*Andrographis paniculata* Nees.). *Plant Omics Journal* 5: 271-278.
- Tarafdar, J. C., and H. Marschner. 1994. Efficiency of VAM hyphae in utilization of organic Phosphorus by wheat plant. *Soil Science and Plant Nutrition* 40: 593-600.
- Tian, G. and Kolawole, G. O. (2004) Comparison of various plant residues as phosphate rock amendment on Savanna Soils of West Africa. *Journal of Plant Nutrition* 27(4): 571-583.
- Vivas, A., Marulanda, A., Ruiz-Lozano, J. M., Barea, J. M. and Azcon, R. (2003) Influence of a *Bacillus* sp. on physiological activities of two arbuscular mycorrhizal fungi and on plant response to PEG-induced drought stress. *Mycorrhizae* 13: 249-256.
- Waqar, A., Shahroona, B., Zahir, Z. A. and Arshad, M. (2004) Inoculation with ACC deaminase Containing Rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Pakistanian Journal of Agricultural Science* 41: 119-124.
- Yousfi, S., Wissal, M., Mahmoudi, H., Abdelly, C. and Gharsalli, M. (2007) Effect of salt on physiological responses of barley to iron deficiency. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 45: 309-314.