دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و ششم، شماره اول، ۱۳۹۸
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2019.14474.2295
۱۲۳-۱۴۰

بررسی اثر تنش شوری و ریزسازواره‌های خاکزی بر میزان جذب عناصر معدنی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.)

*احمدرضا دهقانی تفتی[۱]، سهراب محمودی[۲]، حسینعلی علیخانی[۳] و معصومه صالحی[۴]
[۱]دکتری زراعت، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، [۲]دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران،
[۳]استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران، ایران، [۴]مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk) در فلور ایران پراکنش طبیعی دارد و پرداختن به زراعت آن از اولویت اقتصادی برخوردار است. شوری یکی از ویژگی‌های طبیعی بوم‌نظام‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در تنش شوری، بالا بودن نسبت K^+/Na^+ در بافت‌های گیاهی به‌عنوان یکی از سازوکارهای فیزیولوژیکی مهم در ایجاد تحمل به شوری در بعضی گونه‌های گیاهی مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات نشان داده قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و باکتری‌های حل‌کننده فسفات معدنی موجب افزایش نسبت K^+/Na^+ در گیاه شده و از اثرات منفی یون Na^+ جلوگیری می‌کنند. این ریزسازواره‌های خاکزی نقش مؤثری در افزایش دسترسی و جذب عناصر ضروری رشد داشته و در نهایت تولید گیاه را افزایش می‌دهند. هدف از این مطالعه بررسی اثر تنش شوری و ریزسازواره‌های خاکزی بر میزان جذب عناصر معدنی در گیاه دارویی اسفرزه می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر تنش شوری و ریزسازواره‌های خاکزی بر تجمع عناصر معدنی در گیاه دارویی اسفرزه آزمایشی در سال ۱۳۹۳ به‌صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند انجام گرفت. عامل اول سه سطح شوری شامل ۲/۵، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر (از منبع کلرید و سولفات سدیم، کلسیم و منیزیم)، عامل دوم قارچ میکوریزا آربوسکولار شامل عدم کاربرد قارچ و گونه‌های *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus intraradices* و *Glomus fasciculatum* و عامل سوم باکتری حل‌کننده فسفات معدنی شامل دو سطح عدم کاربرد و کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* بود که در آزمایشگاه زیست‌شناسی خاک دانشگاه تهران تهیه شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاهان از گلدان خارج و نمونه‌ها خشک شدند. سپس وزن خشک هر نمونه اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری عناصر از روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک استفاده شد و در ادامه غلظت عناصر معدنی در اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد افزایش شوری موجب کاهش جذب عناصر فسفر، نیتروژن و پتاسیم و افزایش جذب سدیم و نسبت سدیم/پتاسیم گیاه شد و وزن خشک ساقه گیاه را کاهش داد. کاربرد ریزجانداران مفید خاکزی در شرایط تنش شوری علاوه بر افزایش جذب عناصر پرمصرف ضروری گیاه موجب کاهش جذب یون سدیم و نسبت سدیم/پتاسیم گیاه گردید و وزن خشک ساقه را افزایش داد. بررسی نتایج نشان داد بیش‌ترین درصد فسفر در اندام هوایی اسفرزه به‌میزان ۷/۲۱ درصد در ترکیب تیماری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + کاربرد قارچ *Rhizophagus intraradices* + کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* حاصل

* مسئول مکاتبه: ahmadreza4814@yahoo.com

شد. بالاترین درصد نیتروژن در ترکیب تیماری شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + قارچ میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* به‌میزان ۲/۲۸ درصد به‌دست آمد و حداکثر میزان پتاسیم در ترکیب تیماری شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + قارچ میکوریزا آربوسکولار *Funneliformis mosseae* به‌میزان ٤۸/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک حاصل گردید. کم‌ترین میزان سدیم و نسبت یون سدیم/پتاسیم در اندام هوایی اسفرزه به‌ترتیب به‌میزان ۳/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و ۰/۰٦ در ترکیب تیماری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* به‌دست آمد. همچنین بیش‌ترین وزن خشک ساقه در ترکیب تیماری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + *Rhizophagus intraradices* + عدم مصرف باکتری به‌میزان ۳/۹ گرم حاصل گردید. البته این میزان تفاوت آماری معنی‌داری با ترکیب تیماری که در آن باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* به‌کار رفته بود نداشت.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج نشان داد کاربرد ریزجانداران خاکزی می‌تواند با افزایش جذب عناصر پر مصرف و کاهش جذب عنصر سدیم بخشی از اثرات منفی تنش شوری را جبران نماید. کاربرد هم‌زمان باکتری *Pseudomonas fluorescens* و قارچ *Rhizophagus intraradices* می‌تواند بهترین کارایی را در جذب عناصر در شرایط تنش شوری از خود نشان دهد و موجب افزایش میزان تولید گیاه دارویی اسفرزه گردد.

واژه‌های کلیدی: باکتری حل‌کننده فسفات معدنی، شورورزی، عناصر پر مصرف، قارچ میکوریزا آربوسکولار

مقدمه

اسفرزه (*Plantgo ovata* Forsk.) گیاهی از تیره بارهنگ (*Plantaginaceae*) می‌باشد. گیاهان تیره بارهنگ در نواحی مختلف کره زمین، به‌خصوص مناطق معتدل پراکنش دارند، اما منشاء اولیه آن‌ها هند و پاکستان است (۷). پژوهش‌های پزشکی اثربخشی این گیاه را در درمان بیماری‌های قلبی، ریوی، رماتیسم، نقرس، دیابت، مخاطی، روده‌ای و اسهال ثابت کرده است (۲۷ و ۵۰). این گونه از اسفرزه در فلور ایران پراکنش طبیعی دارد و پرداختن به زراعت آن از اولویت اقتصادی برخوردار است (۳).

شوری یکی از ویژگی‌های طبیعی بوم‌نظام‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و همچنین می‌تواند از فعالیت‌های انسانی مانند آبیاری ناشی شود (۱). شوری بالغ بر ۸۰۰ میلیون هکتار از اراضی سطح زمین، که بیش از ٦ درصد از کل سطح زمین می‌باشد را تحت‌تأثیر قرارداده است (٤۰). پژوهش‌ها نشان می‌دهد اسفرزه قادر است شرایط خشکی و شوری را تحمل کند (۲۵). مطالعات بیان‌گر آن است که گیاه اسفرزه قادر است تا شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل کند (۲۰). در تنش شوری، بالا بودن نسبت K^+/Na^+ در بافت‌های گیاهی به‌عنوان یکی از سازوکارهای فیزیولوژیکی مهم در ایجاد تحمل به شوری در بعضی گونه‌های گیاهی مورد توجه قرار گرفته است (۲). تجمع کم‌تر سدیم در گیاه، ناشی از جذب کم‌تر سدیم توسط ریشه، انتقال کم‌تر آن به اندام هوایی و اختصاص آن به اندامک‌های خاص سلولی مانند واکوئل است (۲). بررسی اثر شوری بر گیاه *Plantago maritima* L. نشان داد سطوح بالای شوری باعث کاهش وزن خشک ساقه و برگ می‌شود. همچنین محتوای K^+ و Na^+ در برگ و ریشه با افزایش سطح شوری افزایش یافت، اما در نسبت K^+/Na^+ تغییری ایجاد نشد (۱۰). بر اساس مطالعات انجام شده یکی از راه‌های بهبود شرایط رشد و افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش شوری استفاده از ریزسازواره‌های خاکزی است. ریزسازواره‌ها از

راهبردهای مختلف برای کاهش تنش شوری در محصولات کشاورزی استفاده می‌کنند (۲۹). مطالعات نشان می‌دهد قارچ میکوریزا آربوسکولار موجب تسهیل جذب یون K^+ و Ca^+ و جلوگیری از جذب یون Na^+ به اندام هوایی گیاه می‌شود (٤٦). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار موجب افزایش نسبت K^+/Na^+ در گیاه شده و از اثرات منفی یون Na^+ جلوگیری می‌کند. هامر و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌توانند به‌صورت انتخابی یون‌های K^+ و Ca^+ را از محلول خاک جذب کنند و از جذب یون Na^+ جلوگیری کنند. همچنین همزیستی میکوریزایی موجب حفظ خاصیت بافری بافت‌های گیاهی بر خلاف وجود یون Na^+ می‌شود (۳۲). در یک پژوهش اثر قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار *Glomus intraradices* و *Gigaspora margarita* بر گیاه *Plantago lanceolata* در خاک‌های فقیر نشان داد این قارچ‌ها می‌توانند جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش دهند اما اثربخشی هر قارچ متفاوت بود (٤٥). در پژوهش دیگر تلقیح بذور با سویه‌های ۱٦۹ و ۱۸۷ باکتری سودوموناس باعث بهبود صفات رشدی گیاه دارویی اسفرزه شد (۲۸). هچنین کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفر طول بوته‌ها، تعداد ساقه فرعی، تجمع ماده خشک و محتوای پروتئین در گیاه اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) را افزایش داد (۳۱). برخی از گونه‌های *Pseudomonas* به‌دلیل توانایی در توسعه میکوریزایی به‌عنوان باکتری کمک‌کننده میکوریز نیز شناخته می‌شوند (۱۱).

با توجه به اهمیت دارویی و اقتصادی گیاه دارویی اسفرزه و نقش قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و باکتری‌های حل‌کننده فسفات معدنی در کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی و بهبود جذب عناصر غذایی (به‌ویژه فسفر) در خاک‌های فقیر، این آزمایش با هدف بررسی اثر قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفر در شرایط تنش شوری بر میزان تولید و عناصر معدنی گیاه دارویی اسفرزه، طراحی و اجراء شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند روی گیاه دارویی اسفرزه انجام شد. بذر مورد استفاده برای آزمایش از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اول سه سطح شوری خاک شامل ۲/۵ (به‌عنوان شاهد)، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر (از منبع کلرید و سولفات سدیم، کلسیم و منیزیم)، عامل دوم قارچ میکوریزا شامل عدم کاربرد قارچ (به‌عنوان شاهد) و گونه‌های *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus intraradices* و *Glomus fasciculatum* که از شرکت زیست فناور توران تهیه گردید. عامل سوم باکتری حل‌کننده فسفات معدنی شامل دو سطح عدم کاربرد (به‌عنوان شاهد) و گونه مقاوم انتخاب شده از پیش آزمایش (گونه برتر) بود که از آزمایشگاه زیست‌شناسی خاک دانشگاه تهران تهیه شد. ابتدا گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۱/۵ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر ٤ کیلویی ضدعفونی شدند. خاک مورد استفاده از یک زمین تحت آیش تهیه گردید و با غربال ٤ میلی‌متری الک شد. برای اعمال تیمار تنش شوری ابتدا خاک مورد استفاده را آزمایش کرده و شوری آن مشخص گردید. سپس با استفاده از کلرید و سولفات سدیم، کلسیم و منیزیم شوری خاک به‌میزان مورد نظر (۲/۵، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) رسانده شد. خصوصیات خاک مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل مورد آزمایش (پیش از کاشت).

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the studied soils (Preplant).

مس Cu (ppm)	فسفر قابل‌جذب P (ppm)	نیتروژن کل Total N (٪)	آهن Fe (ppm)	روی Zn (ppm)	منگنز Mn (ppm)	EC (dS/m)	pH
0.25	8	0.08	2.65	0.63	1.96	0.93	7.12

پتاسیم قابل‌جذب K (ppm)	بافت Soil Texture	کلسیم Ca ($meq.L^{-1}$)	منیزیم Mg ($meq.L^{-1}$)	سدیم Na ($meq.L^{-1}$)	بیکربنات Bicarbonate ($meq.L^{-1}$)	کلر Cl ($meq.L^{-1}$)
210	لومی شنی Sandy Loam	2.6	3.14	4	0.3	0.5

جهت اعمال تیمار قارچ میکوریز آربسکولار، در هنگام کشت بذور حدود پنج تا هفت سانتی‌متر از قسمت بالایی خاک هر گلدان برداشته شد و در واحدهای آزمایشی که قرار بود تیمار قارچ میکوریزا مورد بررسی قرار گیرد، ابتدا ۵۰ گرم خاک حاوی مایه تلقیح قارچ به هر گلدان اضافه شد و سپس در هر گلدان ۱۵ عدد بذر کاشته شد. در واحدهایی از آزمایش که باکتری حل‌کننده فسفر مورد استفاده قرار گرفت، بذرها قبل از کاشت با یک میلی‌لیتر از زادمایه باکتری با جمعیت 1×10^{8} cfu/ml مایه‌زنی شدند. گلدان‌ها در مرحله ٤ برگی گیاهچه‌ها تنک شدند و در نهایت ۵ گیاهچه باقی ماند. میانگین درجه حرارت روز و شب در گلخانه به‌ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی هوا نیز ٤۰ درصد در نظر گرفته شد. آبیاری روزانه گلدان‌ها پس از کاشت به‌صورت کامل و بر مبنای ظرفیت زراعی، با وزن کردن هر گلدان انجام شد و این روال تا زمان اطمینان از استقرار مناسب بوته‌های موردنظر ادامه یافت. در تمام مدت آزمایش، کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی بود و هیچ‌گونه علف‌کشی مورد استفاده قرار نگرفت. آبیاری هر ۷ روز یک‌بار در حد ظرفیت مزرعه با توزین گلدان‌ها انجام شد. جهت اطمینان از یکسان بودن میزان آب آبیاری در سطوح مختلف شوری، آبیاری به‌صورت کنترل شده انجام شد.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی برای محاسبه وزن خشک ساقه ابتدا گیاه از خاک گلدان خارج و نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت. سپس وزن خشک هر نمونه اندازه‌گیری شد. به‌منظور تجزیه اندام‌های هوایی گیاه جهت اندازه‌گیری عناصر از روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک استفاده شد. اندازه‌گیری فسفر در گیاه یا روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات١٥٤) انجام گرفت. فسفر در نمونه خشک گیاه بر حسب درصد از رابطه زیر محاسبه شد:

$$P = \frac{(C\times N\times V\times 100)}{(W\times 10^{6})\%} \qquad (۱)$$

که در آن، C غلظت فسفر قرائت شده (ppm)، N ضریب رقت، V حجم عصاره (میلی‌لیتر) و W وزن نمونه خشک گیاه (گرم).

برای اندازه‌گیری غلظت عنصر سدیم و پتاسیم از دستگاه فلیم‌فتومتر مدل ELE استفاده شد (۸). سری محلول‌های استاندارد و نمونه شاهد و عصاره‌های گیاهی با استفاده از دستگاه فیلم‌فتومتر در طول موج ۷٦٦/۵ نانومتر جهت پتاسیم و ۵۸۹ نانومتر جهت سدیم قرائت شده و در مقایسه با منحنی کالیبراسیون حاصل از قرائت سری محلول‌های استاندارد، غلظت عناصر سدیم و پتاسیم در محلول‌ها بر حسب میلی‌گرم در گرم

ماده خشک محاسبه شدند (۱۳). اندازه‌گیری نیتروژن گیاه با استفاده از دستگاه کجلدال انجام شد (٦). تجزیه داده‌ها، محاسبات آماری و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و EXCEL صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD محافظت‌شده در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

درصد فسفر اندام هوایی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار، باکتری حل‌کننده فسفات معدنی، اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار، اثر متقابل تنش شوری و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی، اثر متقابل قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی و اثر متقابل تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی بر درصد فسفر اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین مربعات میزان عناصر معدنی و وزن خشک ساقه گیاه دارویی اسفرزه.

Table 2. Mean square of element concentration and shoot dry weight of isabgol.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	سدیم/ پتاسیم Na/K	غلظت سدیم Na	غلظت پتاسیم K	غلظت نیتروژن N	غلظت فسفر P
		میانگین مربعات MS					
بلوک Block	2	0.01^{ns}	0.001^{ns}	0.12^{ns}	3.95^{ns}	0.006^{ns}	0.02^{ns}
تنش Stress	2	7.25^{**}	0.54^{**}	324.35^{**}	1380.8^{**}	0.72^{**}	20.99^{**}
میکوریزا Mycorrhiza	3	3.3^{**}	0.11^{**}	33.51^{**}	381.72^{**}	2.94^{**}	25.14^{**}
باکتری Bacteria	1	0.96^{**}	0.004^{**}	0.72^{*}	53.59^{**}	0.01^{ns}	58.42^{**}
تنش × میکوریزا Stress× Mycorrhiza	6	0.15^{**}	0.04^{**}	8.14^{**}	43.05^{**}	0.04^{**}	0.81^{**}
تنش × باکتری Stress×Bacteria	2	0.05^{**}	0.0009^{ns}	0.07^{ns}	0.054^{ns}	0.0008^{ns}	1.13^{**}
میکوریزا × باکتری Mycorrhiza ×Bacteria	3	0.01^{ns}	0.0002^{ns}	0.021^{ns}	0.053^{ns}	0.0005^{ns}	0.13^{**}
تنش × میکوریزا × باکتری Stress× Mycorrhiza× Bacteria	6	0.02^{**}	0.0005^{ns}	0.08^{ns}	2.71^{ns}	0.006^{ns}	0.39^{**}
خطا Error	46	0.0004	0.0004	0.1	2.22	0.006	0.01
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		2.1	9.8	4.6	3.8	4.3	2.2

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج، یک درصد و عدم معنی‌داری.

*, ** and ns respectively significant at 5%, 1% and non significant.

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی نشان داد بیش‌ترین درصد فسفر در اندام‌های هوایی گیاه در ترکیب تیماری شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + قارچ میکوریزا *Rhizophagus intraradices* + مصرف باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* به‌میزان ۷/۲۱ درصد حاصل شد. کم‌ترین میزان فسفر به‌میزان ۱/٤۱ درصد در ترکیب تیماری شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر + عدم مصرف قارچ میکوریزا آربوسکولار + عدم مصرف باکتری حل‌کننده فسفات معدنی حاصل شد (جدول ۳). بررسی نتایج بیانگر دامنه بسیار گسترده درصد فسفر گیاه در ترکیبات تیماری متفاوت بود به‌گونه‌ای که کم‌ترین درصد فسفر گیاه و نزدیک به ۸۰ درصد کم‌تر از ترکیب تیماری بود که بیش‌ترین درصد فسفر گیاه را حاصل نمود. افزایش سطح تنش شوری موجب کاهش درصد فسفر گیاه شد. این کاهش در ترکیبات تیماری که فاقد ریزسازواره‌های خاکزی بودند مشهودتر بود. پژوهشگران دیگری نیز کاهش جذب فسفر به‌واسطه افزایش تنش شوری را گزارش کرده‌اند (۱۸ و ٤۹). از آن‌جا که فسفر عنصر ضروری و پرمصرف برای رشد گیاه می‌باشد، بنابراین کاهش جذب آن به‌واسطه افزایش تنش شوری می‌تواند در فرآیند فتوسنتز و تولید گیاه خسارت ایجاد کند. از طرفی نتایج نشان داد کاربرد ریزسازواره‌های خاکزی موجب افزایش درصد فسفر گیاه شده است. به‌طوری‌که در هر سطح شوری کم‌ترین درصد فسفر گیاه به ترکیب تیماری فاقد کود زیستی تعلق داشت. از این نتایج می‌توان نتیجه گرفت به‌واسطه کاربرد قارچ میکوریزا آبوسکولار و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی می‌توان وضعیت تغذیه‌ای گیاه را در شرایط تنش شوری بهبود بخشید. گزارش‌های متعددی در زمینه نقش قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و باکتری‌های حل‌کننده فسفات معدنی در افزایش فراهمی و جذب فسفر وجود دارد (٤، ۱٦، ۲۳ و ۳۵). نتایج نشان داد در بین گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* کارایی بیش‌تری در جذب فسفر در شرایط تنش شوری از خود نشان داده است. همچنین بهره‌گیری هم‌زمان از قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* موجب افزایش درصد فسفر در گیاه اسفرزه گردید که خود بیانگر هم‌افزایی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی در فراهمی و جذب فسفر می‌باشد (جدول ۳).

درصد نیتروژن اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار و اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر درصد نیتروژن گیاه داشته است (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار نشان داد بیش‌ترین درصد نیتروژن گیاه در ترکیب تیماری شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + قارچ میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* به‌میزان ۲/۲۸ درصد حاصل شد. کم‌ترین درصد نیتروژن در ترکیب تیماری شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر + عدم مصرف قارچ میکوریزا آربوسکولار به‌میزان ۱/۰۵ درصد بود (شکل ۱). نتایج نشان داد افزایش شوری موجب کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه شده است. مطالعات مشابه نیز بیانگر کاهش درصد نیتروژن گیاه به‌واسطه افزایش تنش شوری است (۲۱ و ٤۳). همچنین نتایج نشان داد در هر سطح شوری کم‌ترین درصد نیتروژن به ترکیبی

از تیمار تعلق داشت که در آن قارچ میکوریزا آربوسکولار استفاده نشده بود، به‌عبارت دیگر کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار باعث افزایش جذب نیتروژن گیاه شده است. از طرفی در تمام سطوح شوری کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* بیش‌ترین درصد نیتروژن موجود در اندام هوایی را نشان داد (شکل ۱). افزایش جذب نیتروژن یکی از اثرات مثبت قارچ مایکوریزا آربوسکولار است که در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است و نتایج این پژوهش نیز بیانگر آن می‌باشد (۱۷، ۲۲ و ۲۶).

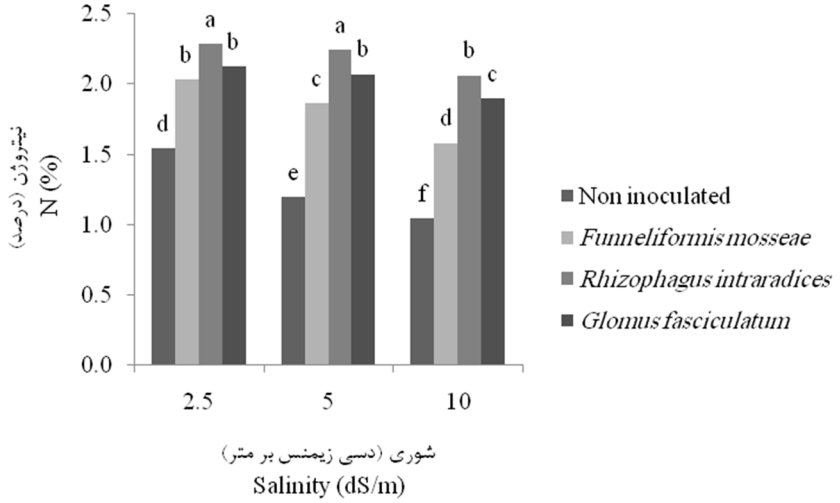
جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی بر درصد فسفر اندام هوایی و وزن خشک ساقه گیاه دارویی اسفرزه.

Table 3. Comparison of means of interaction between different levels of salinity, AMF and PBS on P (%) and shoot dry weight of isabgol.

تیمار Treatment			میانگین‌ها Means	
شوری Salinity (dS/m)	Arbuscular mycorrhiza	Phosphate solubilizing bacteria	وزن خشک ساقه (گرم) Shoot dry weight (gr)	فسفر اندام هوایی (درصد) Shoot P (%)
2.5	Non inoculated	*Pseudomonas fluorescens*	3.23 ^{g}	5.58 ^{g}
	Non inoculated	No bacteria	3.1 ^{h}	3.68 ^{l}
	Glomus fasciculatum	*Pseudomonas fluorescens*	3.81 ^{ab}	6.98 ^{bc}
	Glomus fasciculatum	No bacteria	3.59 ^{def}	6.05 ^{ef}
	Rhizophagus intraradices	*Pseudomonas fluorescens*	3.84 ^{a}	7.21 ^{a}
	Rhizophagus intraradices	No bacteria	3.9 ^{a}	5.9 ^{f}
	Funneliformis mosseae	*Pseudomonas fluorescens*	3.86 ^{a}	7.19 ^{a}
	Funneliformis mosseae	No bacteria	3.62 ^{cde}	5.64 ^{g}
5	Non inoculated	*Pseudomonas fluorescens*	2.97 ^{ij}	4.22 ^{jk}
	Non inoculated	No bacteria	2.55 ^{l}	2.24 ^{o}
	Glomus fasciculatum	*Pseudomonas fluorescens*	3.66 ^{cd}	6.82 ^{c}
	Glomus fasciculatum	No bacteria	3.48 ^{f}	4.88 ^{h}
	Rhizophagus intraradices	*Pseudomonas fluorescens*	3.72 ^{bc}	7.13 ^{ab}
	Rhizophagus intraradices	No bacteria	3.59 ^{de}	4.58 ^{i}
	Funneliformis mosseae	*Pseudomonas fluorescens*	3.52 ^{ef}	6.92 ^{c}
	Funneliformis mosseae	No bacteria	3.28 ^{g}	4.29 ^{jk}
10	Non inoculated	*Pseudomonas fluorescens*	1.88 ^{n}	3.17 ^{n}
	Non inoculated	No bacteria	1.65 ^{o}	1.41 ^{p}
	Glomus fasciculatum	*Pseudomonas fluorescens*	3.06 ^{hi}	6.13 ^{e}
	Glomus fasciculatum	No bacteria	2.77 ^{k}	4.14 ^{k}
	Rhizophagus intraradices	*Pseudomonas fluorescens*	3.29 ^{g}	6.41 ^{d}
	Rhizophagus intraradices	No bacteria	2.87 ^{jk}	4.24 ^{jk}
	Funneliformis mosseae	*Pseudomonas fluorescens*	2.65 ^{l}	4.35 ^{j}
	Funneliformis mosseae	No bacteria	2.31 ^{m}	3.44 ^{m}

میانگین‌های هر ستون که دارای حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد به روش LSD محافظت شده معنی‌دار نمی‌باشد.

Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% probability based on protected LSD.



شکل ۱- اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر درصد نیتروژن اسفرزه.

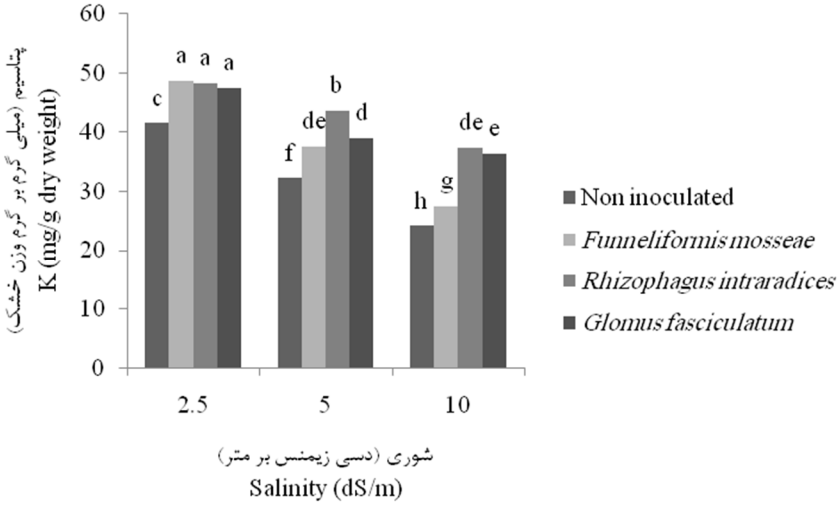
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD محافظت‌شده ندارند.

Fig. 1. Interaction beetwen salinity and AMF on N (%) of isabgol.
Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% probability based on protected LSD.

میزان پتاسیم اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار، باکتری حل‌کننده فسفات معدنی و اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر میزان پتاسیم اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار نشان داد بیش‌ترین میزان پتاسیم گیاه در ترکیب تیماری شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + قارچ میکوریزا آربوسکولار *Funneliformis mosseae* به‌میزان ۴۸/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک حاصل شد. در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌داری بین میزان پتاسیم در اندام هوایی گیاه در اثر کاربرد گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا آربوسکولار وجود نداشت. تنها ترکیب تیماری که در آن قارچ میکوریزا آربوسکولار استفاده نشده بود در سطح پایین‌تری از پتاسیم در اندام هوایی قرار داشت. کم‌ترین میزان پتاسیم در اندام هوایی گیاه در ترکیب تیماری شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر + عدم مصرف قارچ میکوریزا آربوسکولار به‌میزان ۲۴/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود (شکل ۲). بررسی نتایج نشان داد افزایش شوری موجب کاهش میزان پتاسیم اندام هوایی گیاه شده است. این نتایج بیانگر یافته‌های دیگر پژوهشگران در زمینه کاهش جذب پتاسیم به‌واسطه افزایش تنش شوری است (۵ و ۲۱). حفظ سطح کافی پتاسیم و بقای گیاه در محیط‌های شور ضروری است. پتاسیم، برجسته‌ترین عنصر حل‌شونده برای پایین نگه داشتن پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه و پیش‌نیاز برای تورژسانس سلول‌هاست. تحت شرایط شور و قلیا، زیاد بودن غلظت سدیم نه تنها در جذب پتاسیم توسط ریشه اخـتلال ایجاد می‌کند، بلکه غشای سلول‌های ریشه و خاصیت انتخابی آن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۳۸). پژوهش‌ها نشان داده است که جذب و انتقال پتاسیم به‌وسیله گیاه نسبت به سدیم برتری دارد اما در شرایط شوری و بالا بودن میزان یون سدیم در خاک جذب پتاسیم کاهش می‌یابد (۳۹).

همچنین نتایج نشان داد کاربرد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار میزان پتاسیم اندام هوایی گیاه را افزایش داد به‌طوری‌که در همه سطوح شوری عدم کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار موجب کاهش معنی‌دار پتاسیم اندام هوایی گیاه شد. در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین میزان پتاسیم به کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار *Funneliformis mosseae* تعلق داشت، اما در سطوح شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر قارچ میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* بیش‌ترین میزان پتاسیم در اندام هوایی گیاه نشان داد (شکل ۲). مطالعات نشان داده است قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار از طریق افزایش سطح جذب عناصر ضروری در ریشه و جلوگیری از جذب عناصر مضر مثل سدیم باعث افزایش میزان پتاسیم در اندام هوایی گیاه می‌شوند (۱۲).

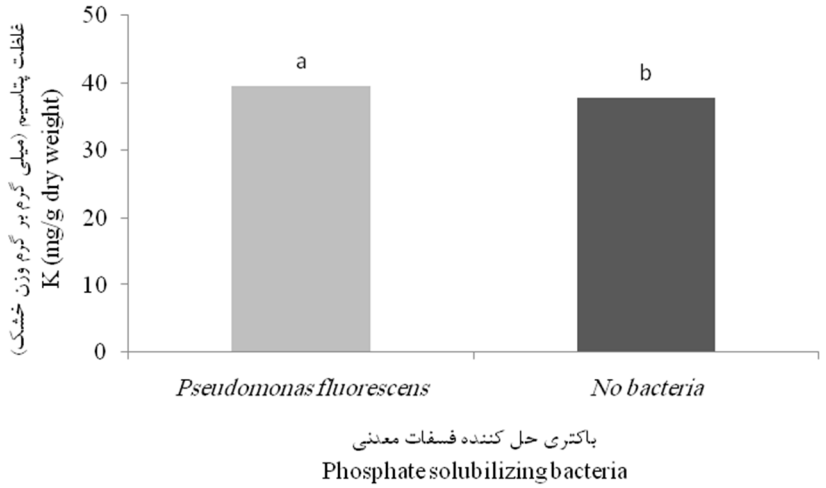


شکل ۲- اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر غلظت پتاسیم اسفرزه.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD محافظت‌شده ندارند.

Fig. 2. Interaction beetwen salinity and AMF on K concentration of isabgol.
Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% probability based on protected LSD.

مقایسه میانگین نتایج اثر باکتری حل‌کننده فسفات معدنی بر میزان پتاسیم موجود در اندام هوایی گیاه دارویی اسفرزه نشان داد کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* باعث افزایش میزان پتاسیم گیاه شده است، به‌گونه‌ای که میزان پتاسیم گیاه با کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* به‌میزان ۳۹/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود. عدم کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات معدنی ۳۷/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک پتاسیم در اندام هوایی گیاه را حاصل نمود (شکل ۳). پژوهش‌های متعددی نشان داده است که باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش جذب پتاسیم در اندام هوایی می‌شوند و نتایج این پژوهش نیز بیانگر یافته‌های این پژوهشگران می‌باشد (۳۳، ٤٤ و ٤٨).



شکل ۳- اثر باکتری حل‌کننده فسفات معدنی بر غلظت پتاسیم اسفرزه.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD محافظت‌شده ندارند.

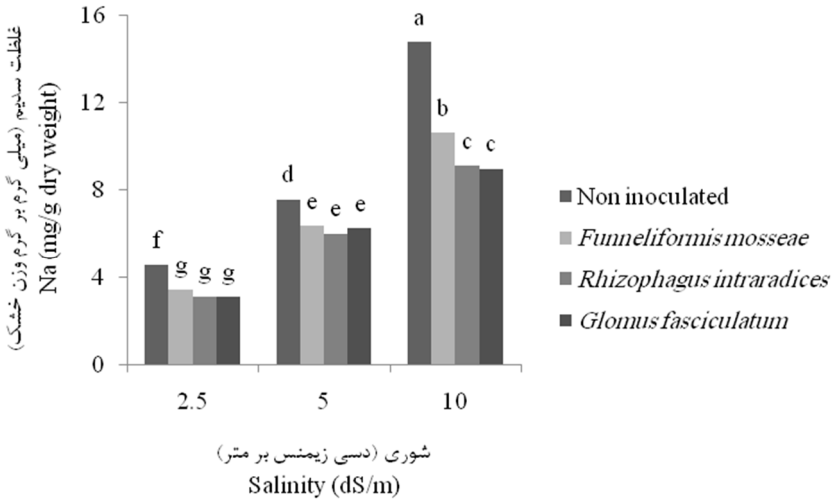
Fig. 3. Effect of PSB on K concentration of isabgol.
Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% probability based on protected LSD.

میزان سدیم اندام هوایی: تجزیه واریانس نتایج نشان داد اثر تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار و اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر میزان سدیم اندام هوایی اسفرزه در سطح احتمال ۱ درصد و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار نشان داد کم‌ترین میزان سدیم در اندام هوایی گیاه دارویی اسفرزه به‌میزان ۳/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در ترکیب تیماری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* یا *Glomus fasciculatum* حاصل شد. این مقدار تفاوت آماری معنی‌داری با کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار *Funneliformis mosseae* نداشت. در ترکیب تیماری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر عدم کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار باعث افزایش معنی‌دار میزان سدیم در اندام هوایی گیاه شد. با افزایش سطح شوری میزان سدیم موجود در اندام هوایی گیاه افزایش معنی‌داری یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان سدیم در ترکیب تیماری شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر + عدم مصرف قارچ میکوریزا آربوسکولار به‌میزان ۱٤/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک به‌دست آمد. در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت آماری معنی‌داری بین میزان سدیم موجود در اندام هوایی گیاه به‌واسطه مصرف گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا ایجاد نشد، اما در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار *Funneliformis mosseae* تجمع سدیم بیش‌تری نسبت به کاربرد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* یا *Glomus fasciculatum* از خود نشان داد (شکل ٤). از آن‌جا که یون سدیم عامل اصلی شوری خاک می‌باشد بنابراین افزایش یون سدیم در خاک و سپس جذب آن به گیاه باعث ایجاد اثرات منفی تنش شوری در گیاه می‌شود (۳٤). کاهش جذب پتاسیم در نتیجه افزایش سدیم، فرایندی رقابتی است و ارتباطی به نوع

نمک غالب در خاک ندارد. این کمبود، در مورد کاهش رشد و عملکرد محصولات مختلفی مانند گوجه‌فرنگی، اسفناج، رازیانه و ذرت گزارش شده است. در ضمن، مقادیر زیاد سدیم در محیط ریشه نه فقط در جذب پتاسیم مداخله می‌کند، بلکه بر عمل غشای ریشه مؤثر بوده و حساسیت گیاه را تغییر می‌دهد (۲٤).

در مجموع نتایج نشان داد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار جذب سدیم به گیاه را کاهش داده و در نتیجه از افزایش غلظت سدیم در گیاه جلوگیری می‌کنند. جلوگیری از جذب سدیم حاصل از افزایش شوری امکان رشد بیش‌تر گیاه در خاک‌های شور را فراهم می‌سازد (۳۰ و ۳۷).

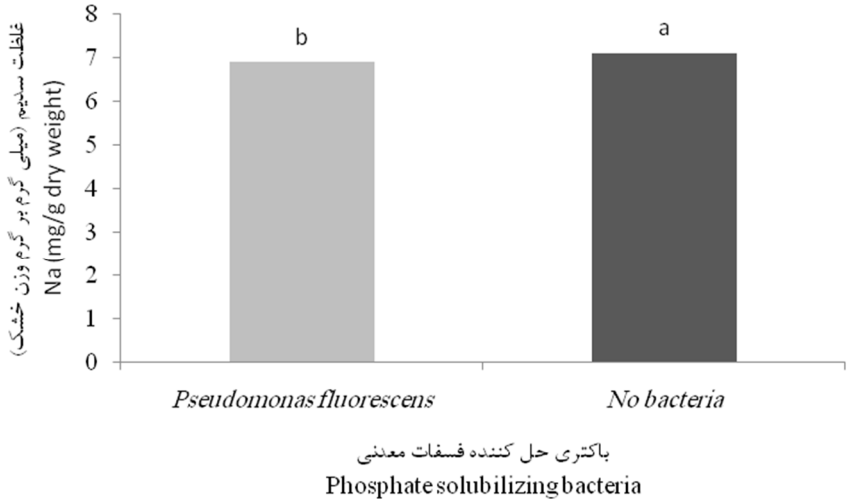


شکل ٤- اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر غلظت سدیم اسفرزه.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD محافظت‌شده ندارند.

Fig. 4. Interaction beetwen salinity and AMF on Na concentration of isabgol.
Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% probability based on protected LSD.

مقایسه میانگین نتایج اثر باکتری حل‌کننده فسفات معدنی بر میزان سدیم موجود در اندام هوایی گیاه دارویی اسفرزه نشان داد عدم کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* باعث افزایش میزان سدیم گیاه شد، به گونه‌ای که میزان سدیم گیاه با کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* ٦/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود. عدم کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات معدنی با افزایش ۲/۸ درصد ۷/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک سدیم در اندام هوایی گیاه را حاصل نمود (شکل ٥). از آن‌جا که باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* موجب کاهش جذب یون سدیم در گیاه شد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کاربرد این باکتری می‌تواند از اثرات منفی تنش شوری بکاهد. پژوهش‌های مشابه نیز اثرگذاری باکتری‌های محرک رشد را بر کاهش جذب یون سدیم تأیید می‌کند (١٤ و ٤٢).



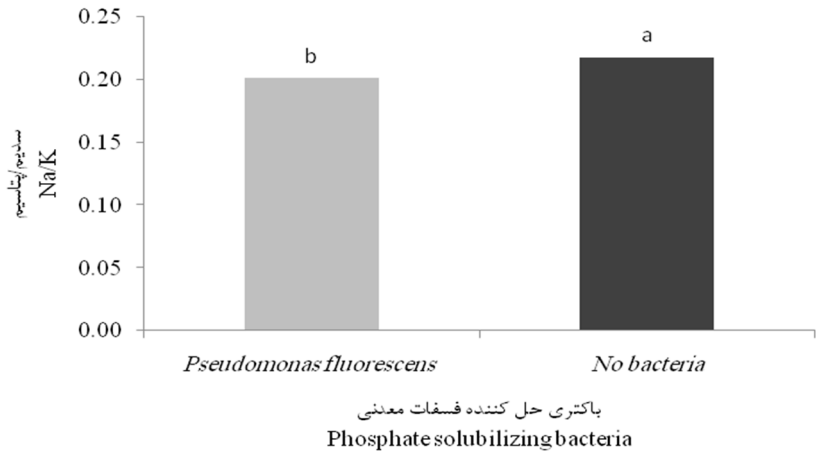
شکل ۵- اثر باکتری حل‌کننده فسفات معدنی بر غلظت سدیم اسفرزه.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD محافظت‌شده ندارند.

Fig. 5. Effect of PSB on Na concentration of isabgol.
Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% probability based on protected LSD.

نسبت یون سدیم/ پتاسیم اندام هوایی: تجزیه واریانس نتایج نشان داد تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار، باکتری حل‌کننده فسفات معدنی و اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر نسبت یون سدیم/پتاسیم اندام هوایی اسفرزه داشته است (جدول ۲).

مقایسه میانگین نتایج اثر باکتری حل‌کننده فسفات معدنی بر نسبت یون سدیم/ پتاسیم اندام هوایی نشان داد نسبت یون سدیم/ پتاسیم اندام هوایی گیاه دارویی اسفرزه با کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* ۰/۲ بود. این مقدار در صورت عدم مصرف باکتری حل‌کننده فسفات معدنی ۱۰ درصد افزایش یافت (شکل ٦) که بیانگر افزایش نسبت یون سدیم/ پتاسیم در اندام هوایی گیاه دارویی اسفرزه به‌واسطه عدم مصرف باکتری حل‌کننده فسفات معدنی است. بر اساس یافته‌های پژوهشگران نسبت سدیم/ پتاسیم در اندام هوایی گیاه بیانگر شاخصی از مقاومت به تنش شوری می‌باشد به‌گونه‌ای که کاهش این نسبت در گیاه نشان‌دهنده وضعیت بهتر مقاومت در برابر شوری می‌باشد (۹). از آن‌جا که نسبت سدیم/ پتاسیم اندام هوایی گیاه برآیندی از میزان جذب یون سدیم و پتاسیم می‌باشد، با توجه به نتایج این بررسی و نقش باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* در افزایش جذب پتاسیم و کاهش جذب سدیم، کاهش نسبت سدیم/ پتاسیم اندام هوایی گیاه قابل پیش‌بینی بود.

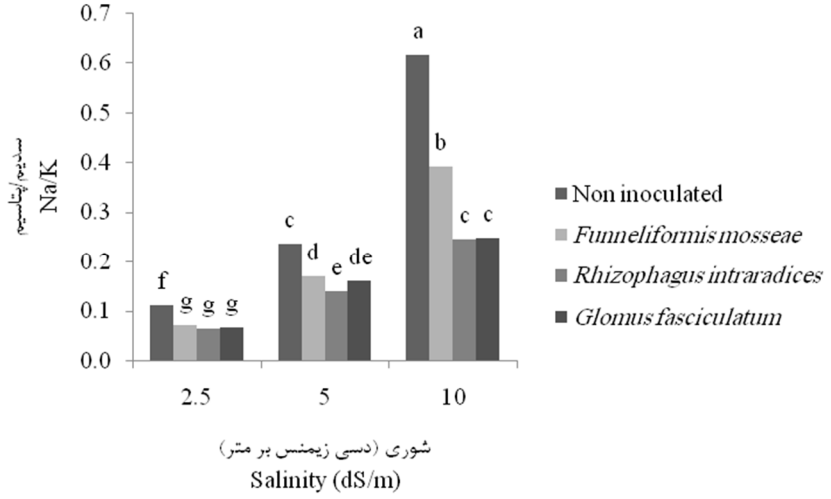


شکل ٦- اثر باکتری حل‌کننده فسفات معدنی بر نسبت سدیم/ پتاسیم اسفرزه.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD محافظت‌شده ندارند.

Fig. 6. Effect of PSB on Na/K concentration of isabgol.
Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% probability based on protected LSD.

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار نشان داد کم‌ترین نسبت یون سدیم/ پتاسیم در اندام هوایی گیاه دارویی اسفرزه به‌میزان ۰/۰٦ در ترکیب تیماری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* مشاهده شد (شکل ۷). این مقدار تفاوت آماری معنی‌داری با کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار *Funneliformis mosseae* یا *Glomus fasciculatum* نداشت. در ترکیب تیماری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + عدم کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار نسبت سدیم/ پتاسیم در اندام هوایی گیاه به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت که بیانگر ورود بیش‌تر یون سدیم به گیاه در نبود قارچ میکوریزا آربوسکولار بود. با افزایش سطح شوری نسبت سدیم/ پتاسیم در اندام هوایی گیاه افزایش معنی‌داری یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین نسبت یون سدیم/ پتاسیم در ترکیب تیماری شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر + عدم مصرف قارچ میکوریزا آربوسکولار با افزایش ۱۰۱٦ درصد حاصل شد. نسبت یون سدیم/ پتاسیم در گیاه بیانگر میزان ورود یون سدیم در اثر تنش شوری به گیاه می‌باشد. افزایش این نسبت موجب بر هم خوردن تعادل یونی در گیاه شده و باعث اثرگذاری منفی تنش شوری بر گیاه می‌باشد. پژوهش‌های مشابه نیز افزایش نسبت یون سدیم/ پتاسیم در اندام هوایی گیاه را در اثر افزایش تنش شوری گزارش کرده‌اند (۳٦). با افزایش شوری تفاوت بین نسبت سدیم/ پتاسیم موجود در اندام هوایی گیاه بواسطه مصرف گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا و عدم مصرف قارچ میکوریزا آربوسکولار بیش‌تر شد به‌طوری‌که تفاوت بیش‌ترین و کم‌ترین نسبت سدیم/ پتاسیم در اندام هوایی گیاه در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر ۰/۰۵ و در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر ۰/۳۷ بود (شکل ۷). در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر قارچ میکوریزا آربوسکولار *Funneliformis mosseae* نسبت سدیم/ پتاسیم بیش‌تری نسبت به کاربرد قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* یا *Glomus fasciculatum* از خود نشان داد که بیانگر کاهش کارایی این قارچ در شوری‌های بالا می‌باشد. پژوهش‌ها بیانگر یافته‌های دیگر پژوهشگران در اثرگذاری مثبت کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار در کاهش نسبت یون سدیم/ پتاسیم در اندام هوایی گیاه می‌باشد (۱۵، ۳۷ و ٤۱).



شکل ۷- اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر نسبت سدیم/ پتاسیم اسفرزه.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD محافظت‌شده ندارند.

Fig. 7. Interaction beetwen salinity and AMF on Na/K ratio of isabgol.
Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% probability based on protected LSD.

وزن خشک ساقه: تجزیه واریانس نتایج نشان داد تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار، باکتری حل‌کننده فسفات معدنی، اثر متقابل تنش شوری و قارچ میکوریزا آربوسکولار، تنش شوری و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی و اثر متقابل تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری، قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری حل‌کننده فسفات معدنی نشان داد بیش‌ترین وزن خشک ساقه در ترکیب تیماری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + *Rhizophagus intraradices* + عدم مصرف باکتری به‌میزان ۳/۹ گرم حاصل شد. وزن خشک ساقه در این ترکیب تیماری تفاوت آماری معنی‌داری با ترکیب تیماری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + *Glomus fasciculatum* + مصرف باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens*، ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + *Rhizophagus intraradices* + مصرف باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens*، ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + *Funneliformis mosseae* + مصرف باکتری حل‌کننده فسفات معدنی *Pseudomonas fluorescens* نداشت (جدول ۳). این نتایج نشان داد در شوری کم تفاوت آماری معنی‌داری بین اثر گونه‌های مختلف ریزسازواره‌های خاکزی بر وزن خشک ساقه وجود نداشت. در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر کم‌ترین وزن خشک ساقه به تیمار عدم مصرف قارچ میکوریزا آربوسکولار + عدم مصرف باکتری حل‌کننده فسفات معدنی به‌میزان ۳/۱ گرم تعلق داشت. نکته جالب آن بود که میزان وزن خشک ساقه در تمامی ترکیبات تیماری شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر که قارچ میکوریزا آربوسکولار استفاده شده بود بیش از ترکیب تیماری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر + عدم مصرف قارچ میکوریزا + عدم مصرف باکتری بود. کم‌ترین وزن خشک ساقه در بین تمامی ترکیبات تیماری به ترکیب تیماری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر + عدم مصرف قارچ

میکوریزا + عدم مصرف باکتری به‌میزان ۱/٦٥ گرم تعلق داشت. یافته‌های این پژوهش نشان داد افزایش نش شوری موجب کاهش وزن خشک ساقه شده است. از آن‌جا که افزایش تنش شوری موجب از بین رفتن غشاء سلولی و کلروفیل گیاه شده است، بنابراین وزن خشک ساقه به‌عنوان نتیجه فتوسنتز گیاه کاهش یافته است. پژوهشگران مختلفی اثر منفی افزایش تنش شوری بر وزن خشک ساقه گیاهان را گزارش کرده‌اند (٤٧). همچنین کاربرد ریزسازوره‌های خاکزی موجب کاهش اثرات منفی تنش شوری و افزایش وزن خشک ساقه شد. پژوهش‌های مختلفی نشان داده است کاربرد ریزسازواره‌های خاکزی با افزایش فراهمی و سطح جذب آب و عناصر غذایی برای گیاه، تحریک تولید آنتی‌اکسیدان‌ها و جلوگیری از جذب عناصر مضر موجب افزایش فتوسنتز، تولید و در نهایت وزن خشک ساقه گیاه می‌شود (١٥ و ٤٢).

با افزایش تنش شوری اثرگذاری کاربرد ریزسازواره‌های خاکزی نمایان‌تر شد، به‌طوری‌که تفاوت بین بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک ساقه در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر ۲۱ درصد بود اما با افزایش تنش شوری تفاوت بین بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک ساقه در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به ٤٦ درصد رسید. از آن‌جا که وزن خشک ساقه شاخص بسیار مهمی در ارزیابی واکنش گیاه به تیمارهای آزمایشی و میزان رشد آن می‌باشد، بنابراین با توجه به واکنش گیاه می‌توان نتیجه گرفت کاربرد ریزسازواره‌های خاکزی می‌تواند شرایط رشدی گیاه را به‌خصوص در شرایط تنش شوری بهبود بخشد.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی نشان داد افزایش تنش شوری موجب کاهش غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، نیتروژن و وزن خشک ساقه و افزایش غلظت سدیم و نسبت سدیم/ پتاسیم در اندام هوایی گیاه دارویی اسفرزه شد. از طرفی کاربرد ریزسازواره‌های خاکزی موجب افزایش جذب عناصر فسفر، پتاسیم، نیتروژن، افزایش وزن خشک ساقه و کاهش جذب سدیم و نسبت سدیم/ پتاسیم اندام هوایی گیاه شد. از آن‌جا که عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم جز عناصر ضروری و پرمصرف می‌باشند، بنابراین افزایش جذب این عناصر در شرایط تنش شوری بواسطه کاربرد ریزسازواره‌های خاکزی اثر مثبتی بر فتوسنتز و تولید گیاه دارد، بنابراین کاربرد ریزسازواره‌های خاکزی موجب افزایش وزن خشک گیاه شده است. همچنین کاهش جذب سدیم به‌واسطه کاربرد کودهای زیستی از اثرات منفی تنش شوری کاسته و به افزایش رشد و تولید گیاه کمک کرده است. در میان قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار *Rhizophagus intraradices* بیش‌ترین توانایی در جذب عناصر پرمصرف و جلوگیری از جذب سدیم از خود نشان داد.

منابع

1. Abrol, I.P., Yadav, J.S.P. and Massoud, F.I. 1988. Salt-affected soils and their management (No. 39). Food & Agriculture Organization.
2. Azimi Gandomani, M., Faraji, H., Dehdari, A., Movahedi Dehnavi, M. and Naghizadeh, M.A. 2008. Evaluation the effect of salinity on soluble accumulation and quality and quntity of springe canola varietys. J. Environ. Stress. Agric. Sci. 1: 1. 27-37. (In Persian)
3. Baghalian, K. 2008. Effect of soil and weather condition on quality and quantity of mucilage. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Tehran University Iran. (In Persian)
4. Bolan, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant Soil. 134: 2. 189-207.

5.Botella, M.A., Martinez, V., Pardines, J. and Cerda, A. 1997. Salinity induced potassium deficiency in maize plants. J. Plant Physiol. 150: 1-2. 200-205.
6.Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-total. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soil an 2), Pp: 595-624.
7.Chakraborty, M.K. and Patel, K.V. 1992. Chemical composition of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). Seed J. Food Sci. 29: 389-90.
8.Emami, A. 1996. Plant analysis methods. Agrcultural Science Information Center. 1: 982.
9.Fahad, S., Hussain, S., Matloob, A., Khan, F.A., Khaliq, A., Saud, S. and Faiq, M. 2015. Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. Plant Growth Regul. 75: 2. 391-404.
10.Flanagan, L.B. and Jefferies, R.L. 1988. Stomatal limitation of photosynthesis and reduced growth of the halophyte, *Plantago maritima* L., at high salinity. Plant Cell. Environ. 11: 4. 239-245.
11.Garbaye, J. 1994. Helper bacteria-a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. New Phytolo. 128: 197-210.
12.Garcia, K. and Zimmermann, S.D. 2014. The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition. Fron. Plant Sci. 5p.
13.Ghazanshahi, J. 1997. Soil and plant analysis. Homa Press. 268p. (In Persian)
14.Gerhardt, K.E., MacNeill, G.J., Gerwing, P.D. and Greenberg, B.M. 2017. Phytoremediation of Salt-Impacted Soils and Use of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Enhance Phytoremediation. In Phytoremediation (pp. 19-51). Springer International Publishing.
15.Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, K.G. 2007. Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. Microb Ecol. 54: 4. 753-760.
16.Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G. and Bending, G.D. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agric. Ecos. Environ. 113: 1. 17-35.
17.Govindarajulu, M., Pfeffer, P.E., Jin, H. and Abubaker, J. 2009. Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Natur. 435: 7043. 819.
18.Hajiboland, R., Aliasgharzadeh, N., Laiegh, S.F. and Poschenrieder, C. 2010. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Plant Soil. 331: 1. 313-327.
19.Hammer, E.C., Nasr, H., Pallon, J., Olsson, P.A. and Wallander, H. 2011. Elemental composition of arbuscular mycorrhizal fungi at high salinity. Myco. 21: 2. 117-129.
20.Hemming, D. 2012. Plant Sciences Reviews 2011. CABI Press. United Kingdon. 264p.
21.Hu, Y. and Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 4. 541-549.
22.Jin, H., Pfeffer, P.E., Douds, D.D., Piotrowski, E., Lammers, P.J. and Shachar-Hill, Y. 2005. The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis. New Phytolo. 168: 3. 687-696.
23.Khan, A.G. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. J. Trace Elem. Med. Bio. 18: 4. 355-364.
24.Kumar, J., Singh, S., Singh, M., Srivastava, P.K., Mishra, R.K., Singh, V.P. and Prasad, S.M. 2017. Transcriptional regulation of salinity stress in plants: A short review. Plant Gene.
25.Laxman, S. and Pal, B. 2000. Effect of water salinity and fertility levels on yield and yield attributing characters of blonde psyllium (*Plantago ovata* Forsk). Res. Crop. 1: 1. 85-90.
26.Leigh, J., Hodge, A. and Fitter, A.H. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. New Phytolo. 181: 1. 199-207.

27.Libster, M. 2002. Herb guide for nurses. Delmar, Thomson Learning. Inc. USA, 450-7.
28.Mahdi Farmanesh, M., Mahmoodi, S. and Sayari Zehan, M.H. 2015. Effect of Pseudomonas fluorescens and humic acid on growth characterestics of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk). The First National Conference on Non-operational Defence in Agriculture, Natural Resources and Enviroment with a Sustainable Development Approach. Tehran. (*http://www.civilica.com/Paper-DPCONF01- DPCONF01_023.html*.)
29.Milošević, N.A., Marinković, J.B. and Tintor, B.B. 2012. Mitigating abiotic stress in crop plants by microorganisms. Zbornik Matice srpske za prirodne nauke. 123: 17-26.
30.Nadeem, S.M., Khan, M.Y., Waqas, M.R., Binyamin, R., Akhtar, S. and Zahir, Z.A. 2017. Arbuscular Mycorrhizas: An Overview. In Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants (pp. 1-24). Springer Singapore.
31.Narolia, G.P., Shivran, A.C. and Reager, M.I. 2013. Growth and quality of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.) influenced by phosphorus, PSB and zinc. Int. J. Plant Sci. 8: 1. 160-162.
32.Oliveira, C.A., Alves, V.M.C., Marriel, I.E., Gomes, E.A., Scotti, M.R., Carneiro, N.P. and Sa, N.M.H. 2009. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. Soil Biol. Biochem. 41: 9. 1782-1787.
33.Ordookhani, K., Khavazi, K., Moezzi, A. and Rejali, F. 2010. Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. Afr. J. Agric Res. 5: 10. 1108-1116.
34.Parida, A.K. and Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotox. Environ Safe. 60: 3. 324-349.
35.Pérez-Montaño, F., Alías-Villegas, C., Bellogín, R.A., Del Cerro, P., Espuny, M.R., Jiménez-Guerrero, I. and Cubo, T. 2014. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. Microbiol Res. 169: 5. 325-336.
36.Poustini, K. and Siosemardeh, A. 2004. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. Field Crop Res. 85: 2. 125-133.
37.Saxena, B., Shukla, K. and Giri, B. 2017. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Tolerance of Salt Stress in Plants. In Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants (pp. 67-97). Springer Singapore.
38.Shabala, S. 2003. Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level. Ann. Bot. 92: 5. 627-634.
39.Shabala, S. 2017. Signalling by potassium: another second messenger to add to the list? J. Exp. Bot. 173: 1. 522-539.
40.Shahbazi, E., Arzani, A. and Saeidi, G. 2011. Effects of NaCl treatments on seed germination and antioxidant activity of canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Bang J. Bot. 40: 1. 67-73.
41.Sharifi, M., Ghorbanli, M. and Ebrahimzadeh, H. 2007. Improved growth of salinity-stressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi. J. Plant Physiol. 164: 9. 1144-1151.
42.Shivakumar, S. and Bhaktavatchalu, S. 2017. Role of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) in the Improvement of Vegetable Crop Production under Stress Conditions. In Microbial Strategies for Vegetable Production (pp. 81-97). Springer International Publishing.
43.Silveira, J.A.G., Melo, A.R.B., Viégas, R.A. and Oliveira, J.T.A. 2001. Salinity-induced effects on nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. Environ. Exp. Bot. 46: 2. 171-179.
44.Singh, S.R., Joshi, D., Tripathi, N., Singh, P. and Srivastava, T.K. 2017. Plant Growth-Promoting Bacteria: An Emerging Tool for Sustainable Crop Production under Salt Stress. In Bioremediation of Salt Affected Soils: An Indian Perspective (pp. 101-131). Springer International Publishing.
45.Stavros, D., Veresoglou, J., Liz, J., Shaw, S. and Robin, S. 2011. *Glomus intraradices* and *Gigaspora margarita*

arbuscular mycorrhizal associations differentially affect nitrogen and potassium nutrition of *Plantago lanceolata* in a low fertility dune soil. Plant Soil. 340: 481-490.

46. Talaat, N.B. and Shawky, B.T. 2011. Influence of arbuscular mycorrhizae on yield, nutrients, organic solutes, and antioxidant enzymes of two wheat cultivars under salt stress. J. Plant Nutr. Soil Sci. 174: 2. 283-291.

47. Valdez-Aguilar, L.A., Grieve, C.M. and Poss, J. 2009. Salinity and alkaline pH in irrigation water affect marigold plants: I. Growth and shoot dry weight partitioning. Hortic. Sci. 44: 6. 1719-1725.

48. Wu, F., Wan, J.H.C., Wu, S. and Wong, M. 2012. Effects of earthworms and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on availability of nitrogen, phosphorus, and potassium in soil. J. Plant Nutr. Soil Sci. 175: 3. 423-433.

49. Younesi, O. and Moradi, A. 2014. Effects of plant growth-promoting rhizobacterium (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) on antioxidant enzyme activities in salt-stressed bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agric. 60: 1. 10-21.

50. Zargari, A. 1996. Medicinal Plants. Tehran University. Press, 285p. (In Persian)