تأثیر شوری و نسبت‌های مختلف منیزیم به کلسیم بر کلونیزاسیون میکوریزی و صفات رویشی گیاه سورگوم

فیروزه نورمندی‌پور[۱]، محمد هادی فرپور[۱*] و مهدی سرچشمه‌پور[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۳۰)

چکیده

قارچ‌های میکوریزی قادرند با گیاهان همزیست شده و با جذب برخی عناصر و کاهش اثرهای سوء شوری و سمیت عناصر، باعث بهبود رشد گیاه شوند. در این تحقیق، تأثیر سطوح مختلف شوری و نسبت‌های Mg/Ca بر درصد کلونیزاسیون قارچ *Glomus* sp. و صفات رویشی گیاه سورگوم تحت شرایط گلخانه، به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی گردید. فاکتورها شامل سطوح شاهد و تلقیح شده با میکوریز، سطوح شوری (۲، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) و نسبت‌های Mg/Ca (۰/۵، ۱، ۲ و ۴) بود. نتایج نشان داد که با افزایش شوری، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و طول اندام هوایی کاهش یافت؛ اما میزان کاهش این صفات در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد به‌طور معنی‌داری ($P<0/05$) کمتر بود. میزان کلونیزاسیون در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر از ۶۲/۱۷ (شاهد) به ۳۰/۶۷ درصد کاهش یافت. با افزایش نسبت Mg/Ca، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و هم‌چنین درصد کلونیزاسیون افزایش یافت، که افزایش وزن تر و خشک در گیاهان تلقیح شده بیشتر بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل نسبت Mg/Ca با میکوریز، درصد کلونیزاسیون به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد که تلقیح نقش مهمی در افزایش پارامترهای رشد و کاهش آثار سوء شوری و منیزیم در گیاه سورگوم دارد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت به شوری، سمیت یون‌ها، تلقیح

مقدمه

یکی از جدی‌ترین مشکلات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک، مسائل ناشی از شوری و تجمع املاح در خاک می‌باشد که موجب کاهش عملکرد و سطح زیر کشت می‌گردد (۱۲). آثار سوء شوری بر رشد و متابولیسم گیاهان می‌تواند ناشی از کاهش پتانسیل آب خاک در اثر تجمع املاح (صدمه اسمزی) و ایجاد خشکی فیزیولوژیک در محیط ریشه (۵۵) و نیز سمیت یون‌ها باشد (۲ و ۱۱). غلظت بیش از حد برخی یون‌ها در داخل گیاه ممکن است به غشای سلولی صدمه وارد کرده و گاهی سبب عدم تعادل یونی شود (۵۵). کاتیون کلسیم عامل مهمی در افزایش مقاومت گیاهان به شوری است. کلسیم می‌تواند انتخاب‌پذیری پتاسیم را افزایش دهد و باعث ایجاد نسبت بزرگ‌تر پتاسیم به سدیم (K/Na) شود (۴۲). منیزیم نیز مانند یون کلسیم در جهت صعودی در جریان تعرق حرکت می‌کند. ولی برخلاف کلسیم، در آوند آبکش تحرک کافی دارد. میوه و بافت‌های ذخیره‌ای برای دریافت مواد معدنی خود شدیداً به آوندهای آبکش متکی هستند و به همین سبب در این بافت‌ها مقدار پتاسیم و منیزیم بیشتر از کلسیم است (۳ و ۶). در خاک‌های شور، فشار اسمزی افزایش یافته و به‌دنبال آن پتانسیل اسمزی و پتانسیل آب خاک کاهش می‌یابند. کاهش

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: farpoor@uk.ac.ir

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

پتانسیل آب خاک همراه با تأثیر سوء بعضی از یون‌ها نظیر کلرید، بی‌کربنات، بور و مخصوصاً سدیم باعث افزایش برخی نسبت‌ها، از جمله منیزیم به کلسیم (Mg/Ca)، در گیاه می‌شود. عدم تعادل صحیح بین غلظت عناصر غذایی عامل اصلی کاهش رشد گیاه محسوب می‌شود (۲۷). محمدخانی و صالحی (۵) بیان کردند که افزایش غلظت نمک از طریق کاهش جذب پتاسیم می‌تواند آثار سوء کلرید سدیم را تشدید نماید.

در خاک‌های حاوی منیزیم زیاد، یا در خاک‌هایی که با آب‌های حاوی منیزیم زیاد آبیاری شده‌اند، باروری گیاه کاهش می‌یابد. برخی نتایج پژوهشی حاکی از آن است که چنانچه نسبت Mg/Ca بیشتر از یک باشد، از عملکرد محصولاتی مانند جو، گندم، ذرت و چغندرقند کاسته می‌شود.

کلسیم از سمیت برخی یون‌ها نظیر Na و Mg در محیط ریشه گیاهان می‌کاهد (۱). اگر نسبت Mg/Ca حدود یک و یا بیشتر باشد، جذب کلسیم از محلول خاک و انتقال آن به اندام‌های هوایی گیاه، به سبب اثرهای **ضدیتی** ناشی از زیادی منیزیم و رقابت برای مکان‌های جذبی، کاهش می‌یابد (۱). اگر چه منیزیم کاتیونی دو ظرفیتی است، اما در سطوح زیاد روی کمپلکس تبادلی در ترکیب با سدیم و یا به تنهایی ممکن است باعث تخریب خاک از طریق فشارهای آن بر خصوصیات فیزیکی شود (۴۴). بنابراین، اثر مستقیم منیزیم بر کاهش پایداری ساختمان خاک و اثر غیرمستقیم آن بر تجمع سدیم روی مکان‌های تبادلی خاک می‌باشد (۱۸). گاهی تأثیر منیزیم در pH بیشتر از کلسیم بوده و باعث افزایش آن تا بیش از ۸/۵ نیز می‌شود.

در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های زیستی به‌عنوان یک روش عملی برای کاهش آثار تنش‌های محیطی، از جمله شوری، بر رشد گیاهان مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (۳۸). ریزوسفر گیاهان، زیستگاه مناسبی برای فعالیت انواع میکروارگانیسم‌های خاک‌زی است و میکوریزا از قارچ‌هایی هستند که همزیستی بالایی با ریشه گیاه ایجاد می‌کنند (۴). قارچ آربوسکولار میکوریز (AMF) که با بیش از ۹۰٪ گونه‌های گیاهی تحت شرایط طبیعی زندگی همزیستی دارد، می‌تواند نقش مهمی در برابر تنش‌ها ایفا کند (۳۳ و ۴۶). تعداد بسیار زیادی از گونه‌های *Glomeromycota* در این همزیستی شرکت می‌کنند (۱۷ و ۳۳). همزیستی در سلول‌های پوست ریشه گیاه تکامل می‌یابد و قارچ AM هیف‌های منشعب گسترده و اجزایی مثل آربوسکول تشکیل می‌دهد (۳۳).

جانسون- گرین و همکاران (۲۹) بیان کردند که وقتی شوری به سطوح نهایی خود می‌رسد، کلونیزاسیون AMF یا اسپورها می‌تواند به‌طور کامل از بین رود. مطالعات نشان داده که حد تحمل این قارچ‌ها به شوری، از ppt ۲۰ (قسمت در هزار) سدیم (۳۲) تا ۵۰ میلی‌گرم کل نمک در هر میلی‌لیتر محلول خاک (۲۹) متغیر است. البته این مقدار بستگی به گونه گیاه میزبان نیز دارد. تحقیقات نشان داده که تجمع کلسیم بر افزایش کلونیزاسیون مؤثر است (۲۸). کاتیون منیزیم جزئی از کلروفیل می‌باشد. از طرفی، عقیده بر این است که تحت تنش شوری، میزان فتوسنتز نیز به دلیل آسیب رسیدن به سنتز کلروفیل، کاهش می‌یابد که با جذب منیزیم توسط AMF بهبود می‌یابد (۲۵).

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار نقش قابل توجهی در بهبود رشد گیاهان از طریق بالا بردن جذب عناصر غذایی دارند (۵۲). دیگر محققین نیز به این نکته اشاره کرده‌اند که AM می‌تواند تأثیر تنش شوری بر رشد گیاه را از طریق جلوگیری از افزایش جذب سدیم و کلر و انتقال آنها به ساقه‌های گیاه کاهش دهند (۹ و ۲۵). افزایش استفاده از عناصر غذایی (۱۰)، تولید هورمون‌های رشد گیاهی، بهبود شرایط خاک و محیط ریزوسفری (۳۵)، تغییر خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک میزبان (۵۱) و دفاع از ریشه‌ها در مقابل بیماری‌های خاک‌زاد (۲۰) از جمله سازوکارهایی هستند که AMF از آن طریق تحمل به شوری را در گیاه افزایش می‌دهند. علاوه بر این، AMF می‌تواند فرآیندهای فیزیولوژیک میزبان مانند ظرفیت جذب آب گیاهان را از طریق افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه و تنظیم تعادل اسمزی و ترکیب کربوهیدرات‌ها بهبود بخشد

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

(۴۷ و ۴۸). این حالت ممکن است منجر به افزایش رشد گیاهی و به‌دنبال آن رقیق شدن اثر یون سمی شود (۲۹).

آستانه تحمل شوری سورگوم در منابع مختلف در محدوده‌های متفاوت گزارش گردیده است. این گیاه از نظر تقسیم‌بندی مقاومت به تنش شوری، در کلاس نیمه متحمل قرار می‌گیرد (۳۶). فرانکویس و همکاران (۲۲) سورگوم را یک گیاه نیمه متحمل به شوری و با آستانه ۶/۸ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند. بررسی حاضر با هدف مطالعه اثر شوری و نسبت‌های مختلف منیزیم به کلسیم بر کلونیزاسیون میکوریزی و برخی پارامترهای رشد در گیاه سورگوم انجام شده است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر تحت شرایط گلخانه، در قالب یک طرح آماری کاملاً تصادفی و به‌صورت فاکتوریل اجرا شد. فاکتور اول شامل چهار نسبت مختلف منیزیم به کلسیم (R_1، R_2، R_3 و R_4 به‌ترتیب ۰/۵، ۱، ۲ و ۴)، فاکتور دوم شامل سه سطح شوری (S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب ۲، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور سوم شامل دو سطح تلقیح (M_0 و M_1 به‌ترتیب عدم تلقیح و تلقیح با میکوریز) بود. بنابراین، آزمایش شامل ۲۴ تیمار، ۳ تکرار و در مجموع ۷۲ گلدان آزمایشی بود که گیاه سورگوم در گلدان‌ها کاشته شد.

تهیه مایه تلقیح

قارچ میکوریز مورد استفاده در این تحقیق گونه *Glomus* sp. بود که از گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران تهیه گردید. به‌منظور تهیه مایه تلقیح، از مخلوط ماسه بادی چندین بار شسته شده و یک خاک فقیر از عناصر غذایی به‌ترتیب به نسبت ۱:۴ و گیاه سورگوم استفاده شد. خاک مورد استفاده سه مرحله قبل از کاشت استریل گردید و بعد از افزودن حدود ۸۰ گرم زادمایه به ازای هر گلدان، کشت گیاه انجام شد. از یک گلدان بدون تلقیح نیز به‌عنوان شاهد استفاده گردید. پس از ۸ هفته، از ریشه‌های گیاه در شرایط استریل نمونه‌برداری و برداشت اندام هوایی در زمانی‌که درصد کلونیزاسیون ریشه به ۵۰-۷۰ درصد رسید، انجام گرفت. قابل ذکر است که آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر صورت می‌گرفت. محتویات داخل گلدان‌ها شامل بستر کاشت، هیف‌ها، اسپورها و ریشه‌های میکوریزی به‌عنوان مایه تلقیح در یخچال نگهداری و در کشت گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند.

کشت در گلدان

جهت انجام این پژوهش از بذرهای سورگوم رقم اسپیدفید، تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، با میزان جوانه‌زنی ۹۰٪ استفاده گردید. بذرها ابتدا به‌مدت ۳۰ ثانیه در الکل اتانول ۹۵٪ ضدعفونی و سپس به‌مدت ۱۲ ساعت درون آب مقطر و پس از این مدت روی پارچه ضدعفونی شده قرار گرفتند تا جوانه‌دار شدند. پس از شستشو و ضدعفونی سطحی گلدان‌ها با آب مقطر و الکل، درون هر گلدان ۴/۵ کیلوگرم خاک استریل شده ریخته شد. خاک انتخابی از منطقه ماهان و دارای بافت لوم شنی بود که خصوصیات آن در جدول ۱ آورده شده است. توزیع اندازه‌ای ذرات به روش پیپت (۲۳)، درصد وزنی رطوبت اشباع (SP) در گل اشباع، pH گل اشباع توسط دستگاه pH متر مدل Jenway (۵۳)، اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی مدل Jenway (۴۵) و تعیین فسفر قابل جذب در محلول خاک (۴۱ و ۵۴) صورت گرفت. برای گلدان‌های حاوی مایه تلقیح، ابتدا یک لایه خاک و سپس حدود ۱۰ گرم مایه تلقیح اضافه شد و با تکرار این عمل، ۸۰ گرم مایه تلقیح در خاک به‌طور یکنواخت توزیع گردید.

بذرهای جوانه‌زده در لایه سطحی گلدان‌ها قرار گرفتند و روی آنها نیز یک لایه نازک خاک استریل شده ریخته شد. آبیاری گیاهان با آب مقطر و تا حد ظرفیت مزرعه با توزین گلدان‌ها انجام می‌گرفت. گلدان‌ها در شرایط گلخانه با دمای حداقل ۲± ۲۰ و حداکثر ۲± ۳۰ درجه سلسیوس نگهداری

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده جهت کاشت گیاه

pH	EC (dS/m)	SP (٪)	FC (٪)	فسفر قابل جذب (mg/L)	توزیع اندازه ذرات (٪)			بافت
					شن	سیلت	رس	
۷/۶	۰/۳۵	۲۲/۳۴	۱۴/۷۳	۶/۸	۷۹	۹	۱۲	SL

شدند. با توجه به آزمون خاک، سطح فسفر خاک ۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک محاسبه گردید که از منبع کود کامل محلول در آب دارای نسبت‌های N، P و K به‌ترتیب ۱۰، ۳ و ۱۶ درصد تأمین گردید. باقی‌مانده مقدار کود نیتروژنه و کود پتاسیمی مورد نیاز به‌ترتیب از منابع اوره و سولوپتاس جهت رساندن سطح نیتروژن خاک به ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و سطح پتاسیم خاک به ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک محاسبه گردید. کود سولوپتاس و کود فسفره طی یک نوبت در هنگام کاشت به خاک اضافه گردیدند. کود اوره در سه نوبت به خاک اضافه شد که یک نوبت در هنگام کاشت و دو نوبت دیگر با فاصله زمانی یک ماه در طی فصل رشد بود.

اعمال تیمارهای شوری و نسبت‌های منیزیم به کلسیم

اعمال تیمارهای شوری دو هفته پس از سبز شدن گیاهان و با محلول شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و نسبت جذب سدیم (SAR) برابر با ۱۳ انجام گرفت. محلول شوری شامل ۷۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم (NaCl) بود که در تمام تیمارها این میزان ثابت بوده و ۳۰ میلی‌مولار باقی‌مانده را نیز ترکیب نمک‌های کلرید کلسیم ($CaCl_2$) و کلرید منیزیم ($MgCl_2$) تشکیل می‌داد. ابتدا خاک گلدان‌ها با محلول‌های رقیق هر یک از نسبت‌های مربوطه به تعادل رسانده شد و شوری خاک به ۲ دسی‌زیمنس بر متر رسانده شد. سپس تیمارهای شوری با محلول‌های غلیظ هر یک از نسبت‌ها طی ۷ مرحله آبیاری اعمال و شوری گلدان‌ها به حد مورد نظر رسید. برای هر سطح شوری ۳ گلدان شاهد بدون کشت گیاه برای تنظیم شوری تیمارها تهیه و با اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی آنها طی ۳ مرحله، شوری گلدان‌های تیمار در حد مورد نظر تنظیم شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های مورد نظر

حدود ۱۱ هفته پس از اعمال تیمارها، اندام هوایی و ریشه گیاه به‌طور جداگانه برداشت و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و طول اندام هوایی تعیین گردید. همزمان با برداشت، از ریشه گیاه نیز نمونه‌برداری و درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها توسط قارچ تعیین شد. جهت تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، مقدار یک گرم از هر نمونه توزین و جهت رنگ‌آمیزی ریشه‌ها در محیط آزمایشگاه، از روش فیلیپس و هایمن (۴۳) استفاده گردید. بعد از شستشوی کامل نمونه‌ها با آب مقطر، ابتدا نمونه‌ها به‌مدت یک هفته در محلول ۱۰٪ هیدروکسید پتاسیم نگهداری و پس از شفاف شدن، با آب مقطر کاملاً شسته شدند. سپس نمونه‌ها با محلول آبی رنگ تریفان‌بلو رنگ‌آمیزی شدند و جهت تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه ازروش گریدلاین (۲۴) استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثرهای اصلی و متقابل تمامی تیمارها بر وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، وزن تر اندام هوایی گیاهان میکوریزی در تمام نسبت‌های منیزیم به کلسیم بیش از

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر نسبت Mg/Ca، شوری و تلقیح با قارچ بر پارامترهای رشد و درصد کلونیزاسیون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول ساقه	کلونیزاسیون (٪)
نسبت Mg/Ca	۳	۹/۸۲**	۱/۱**	۱۳/۲۴**	۰/۶۵**	۱۱/۵۹**	۲۴۹/۸۰**
شوری	۲	۸۵/۶۶**	۳/۰۷**	۱۶/۶**	۱/۰۷**	۴/۵۲**	۱۱۷/۰۴**
میکوریزا	۱	۲۳۷/۲**	۱۹/۶۶**	۱/۵۲**	۱/۱**	۹/۱**	۶۹۵۶۴/۵۰**
نسبت Mg/Ca × شوری	۶	۷/۵۹**	۰/۴۹**	۲/۵۲**	۰/۵**	۸۵/۰۴**	۱۵/۰۶**
نسبت Mg/Ca × میکوریز	۳	۶/۸۶**	۱/۱۶**	۴/۶۶**	۰/۲۱^{ns}	۱۲/۱۲**	۲۴۹/۸۰**
شوری × میکوریز	۲	۲۷/۰۶**	۳/۲۱**	۰/۷۹**	۰/۰۶^{ns}	۱۳/۸۲**	۱۱۷/۰۴**
نسبت Mg/Ca× شوری × میکوریز	۶	۹/۵۶**	۰/۸۲**	۶/۸۹**	۱/۱**	۵۹/۲۸**	۱۵/۰۶**
خطا	۴۸	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۹	۳/۳۲

** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و فاقد اختلاف معنی‌دار

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثرهای اصلی و متقابل تیمارها بر وزن تر اندام هوایی

شوری (dS/m)	تلقیح با میکوریزا (M_1)				عدم تلقیح با میکوریزا (M_0)			
	نسبت Mg/Ca				نسبت Mg/Ca			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
S_1	۱۳/۲۲^{e*}	۱۷/۳۱^{b}	۱۶/۳۱^{c}	۱۸/۲^{a}	۱۱/۵۷^{g}	۱۱/۱۸^{g}	۱۲/۴۶^{f}	۸/۴۲^{j}
S_2	۱۴/۵۱^{d}	۱۶/۳۱^{c}	۱۳/۶۷^{e}	۱۳/۵۹^{e}	۱۱/۵۵^{g}	۱۰/۴۳^{h}	۸/۱۵^{j}	۱۰/۵۹^{k}
S_3	۱۰/۴۶^{h}	۱۰/۵۱^{h}	۱۱/۶۹^{g}	۹/۴^{i}	۸/۵۹^{j}	۱۱/۵۲^{g}	۱۰/۳۳^{h}	۶/۶۵^{h}

میانگین‌های هر یک از اثرهای متقابل که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت معنی‌دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشند.

گیاهان فاقد میکوریز و دارای اختلاف معنی‌دار بین دو گروه بود که این روند در مورد وزن خشک نیز صدق می‌کند؛ به‌طوری‌که با افزایش نسبت منیزیم به کلسیم، وزن خشک نیز افزایش یافته است. با افزایش شوری، وزن تر و خشک اندام هوایی کاهش یافته است. کمترین و بیشترین وزن تر اندام هوایی (جدول ۳) به‌ترتیب برابر ۶/۶۵ و ۱۸/۲ گرم بوده که به‌ترتیب مربوط به تیمارهای $R_4S_3M_0$ (نسبت منیزیم به کلسیم= ۴، شوری= dS/m ۱۰ و عدم تلقیح) و $R_4S_1M_1$ (نسبت منیزیم به کلسیم= ۴، شوری= dS/m ۲ و تلقیح) می‌باشد. کمترین و بیشترین وزن خشک اندام هوایی (جدول ۴) نیز به‌ترتیب مربوط به تیمارهای $R_3S_1M_0$ (نسبت منیزیم به کلسیم= ۲، شوری= dS/m ۲ و عدم تلقیح) و $R_4S_2M_1$ (نسبت منیزیم به کلسیم= ۴، شوری= dS/m ۵ و تلقیح) و برابر ۲/۳۷ و ۵/۲۱ می‌باشد.

کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی با افزایش سطوح شوری ممکن است به‌دلیل کاهش فتوسنتز در اثر کاهش سطح برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای، تجمع سدیم و کلر در اندام‌ها و یا تخریب ساختمان کلروپلاست باشد (۲). شوری ممکن است از طریق به‌هم زدن تعادل یونی و اثر بر تغذیه نیز رشد گیاه را محدود نماید. غلظت زیان‌آور نمک برای گیاهان به ترکیب نمک‌ها، خواص خاک، آب و هوا، رطوبت و واریته

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین اثرهای اصلی و متقابل تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی

شوری (dS/m)	تلقیح با میکوریزا (M_1)				عدم تلقیح با میکوریزا (M_0)			
	نسبت Mg/Ca				نسبت Mg/Ca			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
S_1	۳/۴۵^{c*}	۴/۴۴^{b}	۴/۴۹^{b}	۴/۵۳^{b}	۳/۳۵^{c}	۲/۷۲^{d}	۲/۳۷^{d}	۲/۵۳^{d}
S_2	۳/۵۸^{c}	۴/۵۴^{b}	۳/۶۵^{b}	۵/۲۱^{a}	۲/۵۲^{d}	۲/۴۲^{d}	۲/۸۳^{d}	۳/۴۱^{c}
S_3	۲/۵۹^{d}	۳/۳۷^{c}	۳/۳۷^{c}	۲/۶۱^{d}	۲/۶۳^{d}	۲/۴۸^{d}	۲/۶۲^{d}	۳/۴۱^{c}

میانگین‌های هر یک از اثرهای متقابل که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت معنی‌دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشند.

گیاهی بستگی دارد (۷).

محققین مختلف کاهش وزن تر و خشک بخش هوایی در اثر افزایش شوری را در سایر گیاهان نیز گزارش کرده‌اند (۸ و ۱۶). مونس و راوسون (۳۹) نیز گزارش کردند که تجمع نمک در برگ‌های پیر باعث تشدید مرگ آنها شده و از بین رفتن این برگ‌ها، تأمین کربوهیدرات‌ها یا هورمون‌های رشد را برای نواحی مریستمی کاهش داده و مانع رشد گیاه می‌شود.

گیاهان میکوریزی به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی، وزن تر اندام هوایی را افزایش دادند. در مورد وزن خشک نیز روند مشابهی مشاهده گردید. الکراکی و همکاران (۱۳) دو واریته از گوجه‌فرنگی را تحت تنش شوری و با حضور قارچ میکوریز بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که وزن خشک بخش هوایی گیاهان تحت شرایط تنش شوری در هر دو واریته در گیاهان میکوریزی بیشتر از غیرمیکوریزی بوده است. برین و همکاران (۲) نیز نتایج مشابهی ارائه نمودند.

با افزایش نسبت Mg/Ca تفاوت چشمگیری مشاهده نگردید. اما وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان فاقد میکوریز و دارای اختلاف معنی‌دار بود. تحت تنش شوری، رشد و زیست‌تودهٔ گیاه کاهش می‌یابد. از جمله دلایل آن ممکن است عدم قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و مصرف انرژی برای مقابله با اثرهای سمی کلرید سدیم باشد. با این وجود، میکوریز سازگاری گیاه میزبان را با افزایش رشد و زیست‌تودهٔ آن افزایش می‌دهد (۲۱).

وزن تر و خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تأثیر تمامی تیمارها در سطح احتمال ۱٪ برای صفت وزن تر و خشک ریشه، تیمارهای اصلی و تأثیر متقابل نسبت Mg/Ca با شوری معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین اثرهای اصلی نشان داد که با افزایش شوری و نسبت Mg/Ca و در گیاهان میکوریزی، وزن تر و خشک ریشه کاهش یافته‌اند. با توجه به جداول ۵ و ۶، کمترین و بیشترین وزن تر ریشه (جدول ۵) به‌ترتیب برابر ۱/۳۹ و ۷/۳۱ گرم و کمترین و بیشترین وزن خشک ریشه (جدول ۶) به‌ترتیب ۰/۴۳ و ۲/۵۳ گرم و مربوط به تیمارهای $R_3S_3M_1$ (نسبت منیزیم به کلسیم= ۲، شوری= ۱۰ dS/m و تلقیح) و $R_2S_1M_0$ (نسبت منیزیم به کلسیم= ۱، شوری= ۲ dS/m و عدم تلقیح) بودند.

با افزایش شوری، وزن تر و خشک ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این کاهش رشد ریشه احتمالاً در اثر پتانسیل کم آب در اطراف محیط ریشه و مسمومیت ناشی از تجمع یون‌های سمی می‌باشد. تحت شرایط تنش شوری، روزنه‌های هوایی بسته می‌شود و میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد و در نهایت شوری می‌تواند رشد ریشه را سریعاً متوقف نموده و بدین ترتیب ظرفیت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از خاک به طرف اندام هوایی را کاهش دهد (۲ و ۷).

با توجه به اثر قارچ بر وزن تر و خشک ریشه، از جمله

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثرهای اصلی و متقابل تیمارها بر وزن تر ریشه

شوری (dS/m)	تلقیح با میکوریزا (M_1)				عدم تلقیح با میکوریزا (M_0)			
	نسبت Mg/Ca				نسبت Mg/Ca			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
S_1	۴/۴۳^{c*}	۳/۲۸^{d}	۴/۳۵^{c}	۳/۳۹^{d}	۳/۲۳^{d}	۷/۳۱^{a}	۲/۵۸^{e}	۲/۵۶^{e}
S_2	۴/۴۱^{c}	۳/۵۱^{d}	۱/۴۶^{f}	۲/۴۹^{e}	۳/۴۳^{d}	۶/۵۱^{b}	۲/۵۲^{e}	۲/۲۵^{e}
S_3	۲/۵۵^{e}	۳/۳۹^{d}	۱/۳۹^{f}	۱/۴۹^{f}	۲/۵۸^{e}	۱/۴۷^{f}	۲/۵۷^{e}	۲/۵۹^{e}

میانگین‌های هر یک از اثرهای متقابل که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت معنی‌دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشند.

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین اثرهای اصلی و متقابل تیمارها بر وزن خشک ریشه

شوری (dS/m)	تلقیح با میکوریزا (M_1)				عدم تلقیح با میکوریزا (M_0)			
	نسبت Mg/Ca				نسبت Mg/Ca			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
S_1	۱/۲۰^{bcd*}	۱/۱۳^{cde}	۱/۶۴^{bc}	۱/۵۷^{bc}	۱/۲۷^{bc}	۲/۵۳^{a}	۱/۴۵^{bc}	۱/۳۹^{bc}
S_2	۱/۲۳^{bc}	۱/۳۹^{bc}	۰/۶^{f}	۰/۶۳^{ef}	۱/۵۱^{bc}	۱/۵۵^{bc}	۱/۴۲^{bc}	۰/۷^{def}
S_3	۱/۷۲^{b}	۱/۶۷^{bc}	۰/۴۳^{f}	۰/۶۹^{def}	۱/۴۹^{bc}	۰/۶۲^{ef}	۱/۴۶^{bc}	۱/۴۹^{bc}

میانگین‌های هر یک از اثرهای متقابل که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت معنی‌دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشند.

دلایل کاهش وزن تر و خشک در گیاهان میکوریزی را می‌توان توسعه بیشتر میسلیوم قارچ میکوریزی در خاک و کاهش ریشه‌دهی گیاه نام برد که باعث افزایش سطح جذب مواد غذایی و آب از محیط خود می‌شوند (۴). در این ارتباط، محققین گزارش نمودند که تأثیر قارچ‌های AM بر وزن تر و خشک ریشه گیاهان مختلف به صورت کاهشی، افزایشی و یا بی‌تأثیر می‌باشد (۵۰).

طول اندام هوایی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، تأثیر تیمارها بر طول اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرهای اصلی، با افزایش نسبت Mg/Ca تا سطح سوم (Mg/Ca= ۲) و شوری، طول اندام هوایی به‌ترتیب افزایش و کاهش یافت که این پارامتر در گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی بود. با توجه به جدول ۷، کمترین و بیشترین طول اندام هوایی به‌ترتیب برابر ۴۹/۳۷ و ۶۵/۴۳ سانتی‌متر بود که مربوط به تیمارهای $R_2S_3M_0$ (نسبت منیزیم به کلسیم= ۱، شوری= dS/m ۱۰ و عدم تلقیح) و $R_3S_1M_1$ (نسبت منیزیم به کلسیم= ۲، شوری= dS/m ۲ و تلقیح) می‌باشد. با افزایش شوری، طول ساقه کاهش یافته است. کاهش وزن خشک گیاه می‌تواند به کاهش رشد گیاه و به عبارتی کاهش طول ساقه مربوط شود. همان‌گونه که گزارش شده، افزایش شوری ارتباط معکوسی با هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز خالص دارد (۱۹) که منجر به کاهش جذب نور و تولید ماده خشک می‌شود (۴۹).

طول اندام هوایی در گیاهان میکوریزی افزایش بیشتری نسبت به گیاهان فاقد میکوریزا دارد و دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگر می‌باشند. صالحی و همکاران (۴) نیز به نتایج

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

جدول ۷. نتایج مقایسه میانگین اثرهای اصلی و متقابل تیمارها بر طول اندام هوایی

شوری (dS/m)	تلقیح با میکوریزا (M_1)				عدم تلقیح با میکوریزا (M_0)			
	نسبت Mg/Ca				نسبت Mg/Ca			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
S_1	۵۶/۳۳^{i*}	۶۲/۴۳^{d}	۶۵/۴۳^{a}	۶۱/۴۷^{e}	۵۷/۴۷^{h}	۵۵/۲۷^{j}	۶۱/۴۷^{e}	۵۲/۵^{k}
S_2	۶۰/۱۳^{f}	۵۸/۴^{g}	۵۷/۳^{h}	۵۲/۶^{k}	۵۷/۳۸^{h}	۶۱/۲۳^{e}	۵۱/۳۳^{l}	۵۶/۰۷^{i}
S_3	۶۱/۶^{e}	۵۶/۳۳^{i}	۶۴/۲۷^{b}	۵۱/۴۷^{l}	۵۲/۶^{k}	۴۹/۳۷^{m}	۶۳/۳^{c}	۵۲/۳۳^{k}

میانگین‌های هر یک از اثرهای متقابل که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت معنی‌دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشند.

مشابهی دست یافتند. آنها گزارش کردند که ارتباط مثبت کلونیزاسیون با طول اندام هوایی می‌تواند به‌دلیل استفاده بیشتر انرژی تولید شده توسط گیاه برای رشد اندام‌های هوایی خود بوده، زیرا ریشه‌ها برای توسعه با توجه به داشتن ابزار اضافی، که همان میسلیوم‌های قارچ میکوریزی‌اند، نیاز به انرژی زیادی در مقایسه با قسمت‌های هوایی داشته‌اند. این تفاوت توسط محققین مختلف نیز گزارش شده است (۳۴ و ۳۷). اگر چه معمولاً بین درصد کلونیزاسیون و رشد گیاه رابطه مثبتی وجود دارد، اما تأثیر قارچ‌ها با توجه به نوع گیاه میزبان همواره با درصد کلونیزاسیون ارتباط مستقیم ندارد. از این رو رشد گیاهان میکوریزی تحت تأثیر نوع، درجه بلوغ و ژنوتیپ قارچ و هم‌چنین نوع گیاه همزیست قرار می‌گیرد (۴۰).

درصد کلونیزاسیون

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که تأثیر تیمارها و اثرهای متقابل آنها بر یکدیگر بر درصد کلونیزاسیون در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۸) نشان می‌دهد که با افزایش شوری تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر و افزایش نسبت Mg/Ca، درصد کلونیزاسیون افزایش یافته است. با توجه به جدول مذکور، در بین تیمارهای تلقیح شده با میکوریز، کمترین و بیشترین درصد کلونیزاسیون به‌ترتیب برابر ۲۸/۶۷ و ۶۹/۳۳ درصد و مربوط به تیمارهای $R_4S_3M_1$ (نسبت منیزیم به کلسیم= ۴، شوری= ۱۰ dS/m و تلقیح) و $R_3S_2M_1$ (نسبت منیزیم به کلسیم= ۲، شوری= ۵ dS/m و تلقیح) می‌باشد. درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های میکوریز بستگی به گیاه میزبان و گونه قارچ دارد و حتی جدایه‌های یک گونه که از مناطق مختلف جمع‌آوری شده باشند از نظر درصد کلونیزاسیون اختلاف دارند. به این مفهوم که حتی اگر این جدایه‌ها از نظر مورفولوژی مشابه باشند، اما ممکن است از نظر فیزیولوژی متفاوت باشند (۲۹).

با افزایش شوری، درصد کلونیزاسیون ابتدا افزایش و سپس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که بیشترین درصد کلونیزاسیون (۳۱/۰۸٪) در سطح دوم شوری (EC = ۵ dS/m) مشاهده گردید و در سطح شوری بیشتر (EC = ۱۰ dS/m) درصد کلونیزاسیون کاهش یافت. بل‌یو و همکاران (۱۵) گزارش کردند که با افزایش شوری، کلونیزاسیون ریشه کاهش یافت. حاجی‌بلند و همکاران (۲۶) نیز نظر مشابهی داشتند و بیان کردند که کلونیزاسیون ریشه تحت تنش شوری کاهش و ممکن است فعالیت قارچ AM متوقف شود. ژونیپر و آبوت (۳۰) بیان کردند که این امر می‌تواند به اثر مخرب شوری روی قارچ AM با کاهش کلونیزاسیون ریشه و محدود کردن رشد هیف‌ها نسبت داده شود.

با افزایش نسبت Mg/Ca، درصد کلونیزاسیون نیز افزایش یافت. به‌طوری‌که سطوح سوم (۵۴/۵۶ درصد) و چهارم (۵۴/۳۳ درصد) بالاترین درصد کلونیزاسیون را دارا بودند و اختلاف معنی‌داری بین این دو سطح مشاهده نگردید (شکل ۱).

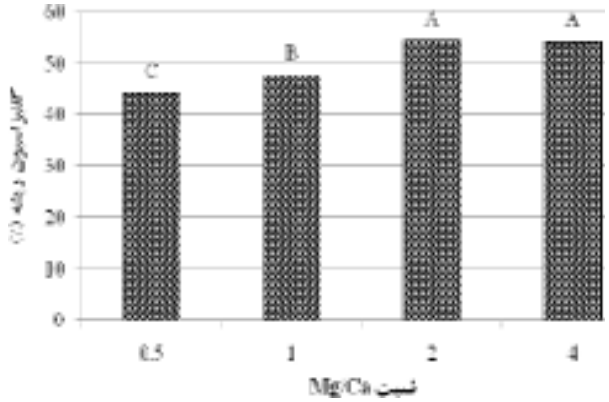
[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین اثرهای اصلی و متقابل تیمارها بر درصد کلونیزاسیون

شوری (dS/m)	تلقیح با میکوریزا (M_1)				عدم تلقیح با میکوریزا (M_0)			
	نسبت Mg/Ca				نسبت Mg/Ca			
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
S_1	۴۵/۳۳^{e}	۵۳/۶۷^{d}	۶۵/۳۳^{b}	۶۶/۶۷^{ab}	۰/۰۰^{h}	۰/۰۰^{h}	۰/۰۰^{h}	۰/۰۰^{h}
S_2	۵۲/۶۷^{d}	۵۹/۰۰^{c}	۶۹/۳۳^{a}	۶۷/۶۷^{ab}	۰/۰۰^{h}	۰/۰۰^{h}	۰/۰۰^{h}	۰/۰۰^{h}
S_3	۳۴/۶۷^{f}	۳۰/۳۳^{g}	۲۹/۰۰^{g}	۲۸/۶۷^{g}	۰/۰۰^{h}	۰/۰۰^{h}	۰/۰۰^{h}	۰/۰۰^{h}

میانگین‌های هر یک از اثرهای متقابل که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت معنی‌دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشند.



شکل ۱. تأثیر نسبت Mg/Ca بر درصد کلونیزاسیون. میانگین‌های با حروف غیرمشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار دارند.

خانپور اردستانی و همکاران (۳۱) در تحقیق خود روی ذرت به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها گزارش کردند که کلونیزاسیون میکوریزی در گیاهان تیمار شده با منیزیم در غلظت‌های بیشتر از ۷/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر کاهش یافت. ازکان و همکاران (۱۴) نیز بیان کردند که بین افزایش غلظت یون منیزیم و افزایش کلونیزاسیون میکوریزی همبستگی وجود دارد. به طوری که این روند در غلظت‌های کم تا متوسط منیزیم صدق می‌کند. اما در غلظت‌های زیاد منیزیم، کلونیزاسیون کاهش می‌یابد. از آنجا که قارچ مورد استفاده در این تحقیق *Glomus* Sp. و ظاهراً مقاوم به منیزیم می‌باشد و غلظت منیزیم استفاده شده نیز زیاد نمی‌باشد، لذا، نتایج تحقیق حاضر با نتایج این محققین مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

تنش شوری یکی از مهم‌ترین فاکتورهای غیرزیستی است که میزان رشد و عملکرد را در بسیاری از گیاهان محدود می‌نماید. شوری، عملکرد محصول را با افزایش فشار اسمزی گیاه کاهش می‌دهد. تحت شرایط شور، تعادل عناصر غذایی به هم خورده و به‌دلیل غلظت‌های زیاد سدیم و کلر سمیت یونی ایجاد می‌شود. با توجه به نتایج، تنش شوری پارامترهای رشد را هم در گیاهان میکوریزی و هم در گیاهان غیرمیکوریزی تحت تأثیر قرار داد، اگرچه کاهش قابل توجه‌تری در رشد گیاهان غیرمیکوریزی مشاهده گردید. پارامترهای رشد نشان داد که قارچ *Glomus* sp. به‌طور برجسته‌ای خصوصیات رشد گیاهان را تحت شرایط شور بهبود بخشیده است. کلونیزاسیون ریشه در شوری‌های بیش از ۵ dS/m کاهش یافت، که می‌تواند به اثرهای مخرب

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

شوری بر قارچ AM به دلیل کاهش کلونیزاسیون ریشه و محدود کردن رشد هیف‌ها نسبت داده شود. قارچ‌های میکوریزی تأثیر متفاوتی بر عملکرد گیاه دارند. به‌طوری‌که در این تحقیق، تلقیح با قارچ میکوریزی باعث افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی، ریشه و طول ساقه در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی گردیده است. با افزایش نسبت Mg/Ca، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و درصد کلونیزاسیون نیز افزایش یافت که این افزایش در گیاهان تلقیح شده بیشتر بود. به نظر می‌رسد که قارچ مورد استفاده در این تحقیق مقاوم به منیزیم باشد. از سوی دیگر، غلظت منیزیم استفاده شده در تحقیق نیز زیاد نمی‌باشد. لذا، با افزایش نسبت Mg/Ca، درصد کلونیزاسیون نیز افزایش یافته است.

سپاسگزاری

نویسندگان از کلیه همکاران محترم بخش خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، به‌واسطه همکاری در این کار تحقیقاتی تشکر می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

۱. آیرز، آر. اس. و دی. دبلیو. وست‌کات. ۱۳۸۲. کیفیت آب برای کشاورزی. ترجمه شاپور حاج‌رسولی‌ها، انتشارات دانشگاه تهران، صفحات ۱۴۰-۱۴۳.

۲. برین، م.، ن. علی‌اصغرزاده و ع. صمدی. ۱۳۸۵. اثر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی تحت شوری حاصل از NaCl و مخلوط املاح. مجله علوم خاک و آب ۲۰(۱): ۹۴- ۱۰۴.

۳. سالاردینی، ع. ا. و م. مجتهدی. ۱۳۸۲. اصول تغذیه گیاه. جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.

۴. صالحی، ف.، م. مرادی قهدریجانی، م. میرابوالفتحی و ن. علی‌اصغرزاده. ۱۳۸۷. تأثیر کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریزی (VA) و سطوح مختلف فسفر بر جذب فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و روی و صفات رویشی نهال پسته. مجله پژوهش و سازندگی (زراعت و باغبانی) ۷۸: ۴۷-۵۶.

۵. محمدخانی، ع. و م. ح. صالحی. ۱۳۸۴. تأثیر شوری بر جذب و انتقال پتاسیم در پایه‌های پسته. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، جلد دوم، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، کرج، صفحات ۳۱۱-۳۱۲.

۶. ملکوتی، م. ج. و ح. رضایی. ۱۳۸۰. نقش گوگرد، کلسیم و منیزیم در افزایش عملکرد و بهبود محصولات کشاورزی. مؤسسه تحقیقات خاک و آب و خاک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی.

۷. میرمحمدی میبدی، س. ع. و ب. قره‌یاضی. ۱۳۸۱. جنبه‌های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری گیاهان. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، شماره ۷۸، ۲۷۴ صفحه.

8. Aliasgharzadeh, N. and M.R. Esfandiari. 2004. Effects of dual inoculations of Sinorhizobium meliloti and arbuscular mycorrhizal fungi on growth of salt- stressed alfalfa. Proc. of the 2004 CIGR Intl. Conf., 11-14 Oct., Beijing, China.
9. Al-Karaki, G.N. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. Sci. Hort. 109: 1-7.
10. Al-Karaki G.N. and A. Al-Raddad. 1997. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. Mycorrhiza 7: 83-88.
11. Al-Karaki, G.N. 2000. Growth, water use efficiency, and mineral acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. J. Plant Nutr. 23: 1-8.
12. Al-Karaki, G.N. and R. Hammad. 2001. Mycorrhiza influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. J. Plant Nutr. 24: 1311-1323.
13. Al-Karaki, G.N., R. Hammad and M. Rusan. 2001. Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance to inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress. Mycorrhiza 11: 43-47.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

14. Azcon, R., E. Ambrosano and C. Charest. 2003. Nutrient acquisition in mycorrhizal lettuce plants under different phosphorus and nitrogen concentration. Plant Sci. 165: 1137-1145.
15. Belew, D., T. Astatkie, M.N. Mokashi, Y. Getachew and C.P. Patil. 2010. Effects of salinity and mycorrhizal inoculation (*Glomus fasciculatum*) on growth responses of grape rootstocks (*Vitis* spp.). S. Afr. J. Enol. Vitic. 31: 82-87.
16. Ben-Gal, A. and U. Shani. 2002. Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress. Plant Soil 247: 211-221.
17. Berbee, M.L. and J.W. Taylor. 2000. Fungal molecular evolution: Gene trees and geologic time. PP. 229-246. *In:* Mclaughlin, J.W., E.G. Mclaughlin and P.A. Lemke (Eds.), The Mycota VII part B Systematics and Evolution, Springer-Verlag, Berlin.
18. Curtin, D., H. Steppuhn and F. Selles. 1994. Effects of magnesium on cation selectivity and structural stability of sodic soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 730-737.
19. Curtis, P.S. and A. Lauchli. 1986. The role of leaf area development and photosynthetic capacity in determining growth of kenaf under moderate salt stress. Aust. J. Plant Physiol. 13: 553-565.
20. Dehne, H.W. 1982. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. Phytopathol. 72: 1115-1119.
21. Evelin, H., R. Kapoor and B. Giri. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: A review. Ann. Bot. 104: 1263-1280.
22. Francois, L.E., T.J. Donovan and E.V. Maas. 1984. Salinity effects on seed yield, growth and germination of grain sorghum. Agron. J. 76: 741-744.
23. Gee, G. and W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 388-409. *In:* Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd ed., Agron. Monograph No. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
24. Giovannetti, M. and B. Mosse. 1998. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84: 489-500.
25. Giri, B. and K.G. Mukerji. 2004. Mycorrhizal inoculants alleviate salt stress in Sesbania aegyptiaca and Sesbania grandiflora under field conditions: Evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. Mycorrhiza 14: 307-312.
26. Hajiboland, R., N. Aliasgharzadeh, S.F. Laiegh and C. Poschenarieder. 2010. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Plants. Plant Soil 331: 313-327.
27. Hosseinifard, J., H. Naghavi, A. Jalalian and M.K. Eghbal. 2005. Physicochemical and mineralogical properties of selected soils in the Rafsanjan pistachio area, Iran. Proc. of the IV Intl. Symp. on Pistachio and Almond, ISHS, Tehran, Iran.
28. Jarstfer, A.C., P.F. Koppenol and D.M. Sylvia. 1998. Tissue magnesium and calcium affect arbuscular mycorrhiza development and fungal reproduction. Mycorrhiza 7: 237-242.
29. Johnson-Green, P.C., N.C. Kenkel and T. Booth. 1995. Distribution and phenology of arbuscular-mycorrhizae along a salinity gradient at an inland salt pan. Can. J. Bot. 73: 1318-1327.
30. Juniper, S. and L.K. Abbott. 1993. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and soil salinity. Mycorrhiza 4: 45-47.
31. Khanpour Ardestani, N., H. Zare-Maivan and F. Ghanati. 2011. Effect of different concentrations of potassium and magnesium on mycorrhizal colonization of maize in pot culture. Afr. J. Biotechnol. 10(73): 16548-16550.
32. Kim, C.K. and D.J. Weber. 1985. Distribution of VA mycorrhiza on halophytes on inland sea playas. Plant Soil 83: 207-214.
33. Kipkorir, E.L., X. Yu, A. Kikuchi, T. Shimazaki, M. Mimura and K.N. Watanabe. 2010. Mycorrhizal colonization of transgenic Eucalyptus camaldulensis carrying the mangrin gene for salt tolerance. Plant Biotechnol. 27: 339-344.
34. Kothari, S.K., H. Marshner and V. Romheld. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize growth in a calcareous soil. Plant Soil 131: 177-185.
35. Lindermann, R.G. 1994. Role of VAM in biocontrol. PP. 1-26. *In:* Pfleger, F.L. and R.G. Linderman (Eds.), Mycorrhizae and Plant Health, American Phytopathological Society, St. Paul.
36. Maas, E.V. and G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance–current assessment. J. Irrig. Drain. Div., ASCE 103: 115-134.
37. Medeiros, C.A.B., R.B. Clark and J.K. Ellis. 1994. Growth, and nutrient uptake of sorghum cultivated with vesicular-arbuscular mycorrhiza isolates at varying pH. Mycorrhiza 4: 191-195.
38. Miransari, M., H.A. Bahrami, F. Rejali and M.J. Malakouti. 2008. Using arbuscular mycorrhiza to reduce the stressful effects of soil compaction on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth. Soil Biol. Biochem. 40: 1197-1206.
39. Munns, R. and H.M. Rawson. 1999. Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. Austral. J. Plant Physiol. 26: 459-464.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]

40. Nylund, J.E. and H. Wallander. 1989. Effects of mycorrhiza on host growth and carbon balance in a semi-hydroponic cultivation system. New Phytol. 112: 389-398.
41. Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture, Washington, D.C., Circ. 939.
42. Parida, S.K. and A.B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants. Ecotoxicol. Environ. Safety 60: 324-349.
43. Phillips, S.M. and U.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal for rapid assessment of infection. Trans. Brit. Mycol. Soc. 55: 158-161.
44. Qadir, M. and S. Schubert. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. Land Degrad. Dev. 13: 275-294.
45. Rhoads, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-436. *In:* Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed., ASA, Madison, WI.
46. Rosendahl, S. 2008. Communities, populations and individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytol. 178: 253-266.
47. Ruiz-Lozano, J.M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress: New perspectives for molecular studies. Mycorrhiza 13: 309-317.
48. Ruiz-Lozano, J.M. and R. Azco´n. 2000. Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal Glomus sp from saline soils and Glomus deserticola under salinity. Mycorrhiza 10: 137-143.
49. Rosendahl, C.N. and S. Rosendahl. 1991. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) on the response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salt stress. Environ. Exp. Bot. 31: 313-318.
50. Scheloske, S., M. Maetz, T. Schneider, U. Hildebrandt, H. Bothe and B. Povh. 2004. Element distribution in mycorrhizal and nonmycorrhizal roots of the halophyte Aster tripolium determined by proton induced X-ray emission. Protoplasma 223: 183-189.
51. Smith, F.A., I. Jakobsen and S.E. Smith. 2000. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with Medicago truncatula. New Phytol. 147: 357-366.
52. Smith, S.E. and D.J. Read. 1996. Mycorrhizal Symbiosis. 2nd Edition, Academic Press, London.
53. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil activity. PP. 475-490. *In:* Sparks, D.L. (Ed), Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed., ASA, Madison, WI.
54. Watanabe, F.S. and S.R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 677-678.
55. Wyn Jones, R.G. and J. Gorham. 1983. Osmoregulation. PP. 35-58. *In:* Lange, O.L., P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (Eds.), Physiological Plant Ecology, III, Responses to Chemical and Biological Environments, Springer-Verlag, New York.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.20089082.1393.5.3.7.3]