بررسی اثر قارچ میکوریز آربوسکولار (*Glomus mosseae*) و باکتری سودوموناس فلورسنت بر جذب عناصر غذایی نهال‌های پسته رقم قزوینی در چهار رژیم آبیاری

افسانه شول[1*]، محمد حسین شمشیری[1]، عبدالرضا اخگر[2] و مجید اسماعیلی‌زاده[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱/۲۴)

چکیده

پسته یکی از محصولات مهم صادراتی کشور است و با توجه به میزان کم بارندگی در ایران تولید آن با مشکل کمبود آب روبرو شده است. یکی از راه‌هایی که در سال‌های اخیر برای مقابله با کم آبی و تنش خشکی در گیاهان مورد استفاده قرار گرفته، استفاده از قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های حل‌کننده فسفات است. بنابراین به منظور بررسی اثر همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار *Glomus mosseae* و باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه P_{52} بر جذب عناصر غذایی توسط نهال‌های پسته رقم قزوینی در شرایط تنش خشکی، یک آزمایش گلخانه‌ای با چهار سطح تنش خشکی (۱۰۰درصد ظرفیت مزرعه (FC) به‌عنوان شاهد و سطوح ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد FC) و چهار سطح از کود زیستی (گیاهان بدون میکوریز و باکتری به‌عنوان گیاهان شاهد، میکوریز به‌تنهایی (۱۰۰ گرم مایه تلقیح میکوریز در هر گلدان)، باکتری به‌تنهایی (دو میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری در هر گلدان) و ترکیب میکوریز و باکتری (۱۰۰ گرم مایه تلقیح میکوریز و دو میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری در هر گلدان)) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. این آزمایش بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ روی نهال‌هایی با سن سه ماه انجام شد و تعداد نهال‌ها در هر گلدان سه عدد بود. در این آزمایش کاربرد باکتری در شرایط خشکی روی درصد آلودگی ریشه اثر معنی‌داری نداشت. صرفه‌نظر از اثر تیمار باکتری، افزایش خشکی سبب افزایش آلودگی ریشه شد. میزان فسفر با کاربرد کود زیستی افزایش یافت و در بیشتر موارد بیشترین میزان فسفر در تیمار میکوریز و تیمار ترکیبی باکتری و میکوریز در تنش خشکی ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد. بیشترین محتوای پتاسیم شاخساره در تیمار ترکیبی میکوریز و باکتری مشاهده شد. بیشترین میزان کلسیم ریشه در تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه ثبت شد. تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار عناصر کم مصرف در سطح ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه نسبت به شاهد شد درحالی‌که در ریشه بی‌تأثیر بود. در نهایت، نتایج این مطالعه نشان داد که در بیشتر موارد تیمار ترکیبی میکوریز و باکتری با افزایش عناصر و به‌خصوص فسفر در تنش خشکی شدید، سبب افزایش مقاومت به خشکی در نهال‌ها شد.

واژه‌های کلیدی: باکتری سودوموناس فلورسنت، پسته، تنش خشکی، جذب عنصر، میکوریز، نهال

۱. به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد و استادیاران علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان

۲. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shool_136611@yahoo.com

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]

مقدمه

پسته یکی از مهم‌ترین محصولات صادراتی کشور ایران به حساب می‌آید که به‌طور عمده در استان کرمان و به‌ویژه در شهرستان رفسنجان تولید می‌شود که بنا بر گزارش فائو در سال ۲۰۰۶، یکی از بزرگ‌ترین مراکز تولید پسته در جهان است و افزایش سطح زیر کشت باغ‌های آبی پسته در منطقه رفسنجان طی دو دهه گذشته به همراه خشک‌سالی‌های متوالی، منابع آبی را به‌شدت کاهش داده به‌طوری‌که در حال حاضر کمبود آب مهم‌ترین مشکل تولیدکنندگان پسته در این مناطق محسوب می‌شود. لازم به یادآوری است که اگرچه درخت پسته یک گیاه مقاوم به خشکی می‌باشد، این بدین معنا نیست که این درخت برای تولید محصول کافی به آب کم نیاز دارد (۷).

یکی از پیامدهای تنش خشکی، تأثیر بر جذب عناصر است که بنا بر پژوهش‌های انجام شده به دو صورت کاهش می‌یابد: الف) زمانی‌که گیاهان در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، هدایت روزنه‌ای کاهش یافته و در نتیجه از میزان تعرق نیز کاسته می‌شود و از آنجا که تعرق یکی از مهم‌ترین سازوکارها در روند جذب غیرفعال عناصر می‌باشد، در نهایت جذب عناصر به‌وسیله ریشه و انتقال آنها از ریشه به شاخساره کاهش می‌یابد (۲ و ۴۰). ب) با افزایش تنش خشکی از میزان رطوبت خاک کاسته می‌شود و از آنجایی که عناصر محلول در آب پیرو فرایند انتشار برای جذب به سطح ریشه نزدیک می‌شوند، در تنش خشکی از میزان انتشار آنها کم شده و در نتیجه میزان جذب آنها توسط ریشه گیاهان کاهش می‌یابد (۲ و ۴۲).

همزیستی ریشه بسیاری از گیاهان با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار به اثبات رسیده است (۱۲). پیامد این همزیستی، فایده‌هایی است که نصیب دو طرف می‌شود به‌طوری‌که گیاه ترکیبات آلی مورد نیاز برای رشد قارچ را فراهم می‌آورد و قارچ نیز بستر مناسبی را برای افزایش کارایی سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان در جذب آب و عناصر محلول ایجاد می‌نماید. مشخص شده است که آلودگی ریشه گیاهان با قارچ میکوریز باعث افزایش جذب عناصر کم‌مصرف مانند روی، مس (۲۰) و عناصر پرمصرف مانند فسفر، پتاسیم، گوگرد، منیزیم، کلسیم (۱۹) می‌شود. افزایش سطح ریشه‌های میکوریزی، اولین عامل افزایش جذب عناصر غذایی محسوب می‌شود. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار قادرند که مواد را از فاصله حدود هشت سانتی‌متری ریشه‌ها، به ریشه انتقال دهند (۲۵). فسفر بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی است که کمبود آن می‌تواند رشد گیاهان را محدود کند. فسفر جز اصلی اسید نوکلئوتید، فسفولیپیدها، فسفوپروتئین‌ها و دی نوکلئوتیدها می‌باشد. فسفر هم‌چنین در فرآیند ذخیره و انتقال انرژی، فتوسنتز، تنظیم بعضی از آنزیم‌ها و انتقال کربوهیدرات‌ها نقش ایفا می‌کند(۴۲). این افزایش در جذب فسفر در همزیستی میکوریزایی را به عواملی همچون نفوذ میسلیوم‌های قارچ به مناطقی از خاک ورای ناحیه تخلیه، حرکت سریع فسفر در میسلیوم‌های قارچ و حلالیت فسفر در خاک نسبت می‌دهند (۱۰). نشان داده شده است که قارچ‌های میکوریز می‌توانند در خاک‌هایی که میزان فسفر کم یا متوسط باشد در جذب فسفر به گیاه کمک کنند (۳ و ۴۱).

پژوهش‌های اندکی در مورد همزیستی میکوریز با گیاه پسته انجام شده است. در یک مطالعه نشان داده شد که قارچ میکوریز با ریشه‌های پسته همزیستی ایجاد می‌کند و کاربرد زیاد فسفر باعث کاهش همزیستی درختان پسته با میکوریز می‌شود (۳۶).

باکتری‌های آزادزی مفید ریزوسفر را اغلب باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌نامند. باکتری‌های سودوموناس فلورسنت نیز جز این دسته از باکتری‌ها به حساب می‌آیند. باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توانند از دو راه مستقیم و غیرمستقیم بر رشد و نمو گیاه اثر مفید داشته باشند. افزایش غیرمستقیم رشد گیاه زمانی اتفاق می‌افتد که این باکتری‌ها برخی از اثرات مضر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا (اغلب قارچ‌ها) را با استفاده از یک یا چندین سازوکار حذف و یا تعدیل نمایند (۱۴)، درصورتی‌که افزایش مستقیم رشد گیاه معمولاً مستلزم تولید یک ترکیب خاص و مؤثر بر رشد گیاه و یا تسهیل در جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه توسط این باکتری‌هاست (۱۴). اکثر این باکتری‌ها دارای توانایی تحریک رشد گیاه از طریق تولید اکسین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]

(۲۸)، آنزیم ای سی سی دآمیناز(ACC deaminase) (۲۹)، تبدیل فسفر نامحلول به محلول (۱۱)، تولید سیدروفور (۲۴)، اسید سالیسیلیک (۲۳)، کیتیناز (۱) می‌باشند. افزایش قابلیت استفاده فسفر برای گیاه توسط باکتری‌های محرک رشد مهم‌ترین نقشی است که این باکتری‌ها در افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی برای گیاهان میزبان خود دارند (۳۳). حل‌کردن فسفات توسط این باکتری‌ها معمولاً از طریق ترشح اسیدهای آلی و فسفاتازها صورت می‌گیرد که سبب تبدیل فرم‌های نامحلول معدنی و آلی فسفر به فرم‌های قابل جذب می‌شود (۱۷). نقش اسیدهای آلی در حلالیت فسفات‌های نامحلول، به کاهش pH، کلات نمودن کاتیون‌ها و رقابت با فسفر جهت اشغال مکان‌های جذب در خاک، نسبت داده می‌شود (۱۱).

با توجه به این‌که از کاربرد باکتری‌های محرک رشد روی پسته به تنهایی یا در تلفیق با میکوریز آربوسکولار گزارشی در دست نیست، به همین دلیل آزمایش حاضر به منظور ایجاد مقاومت به تنش خشکی در نهال‌های پسته رقم قزوینی از جنبه جذب عناصر به‌ویژه فسفر از طریق کاربرد تلفیقی میکوریز و باکتری حل‌کننده فسفات اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مکان آزمایش، مواد بیولوژیکی و تیمارها

این آزمایش به‌صورت گلخانه‌ای بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ در دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر رفسنجان انجام شد.

مایه قارچ *گلوموس موسه* طی یک دوره سه ماهه روی ریشه گیاه سورگوم تکثیر شد و در پایان این دوره با قطع آبیاری و حذف اندام هوایی گیاه، ریشه‌ها قطعه قطعه شده و با مقداری از خاک گلدان مخلوط شدند. قبل از این مرحله، نمونه‌هایی از ریشه سورگوم تهیه و پس از رنگ‌آمیزی در آزمایشگاه، میزان آلودگی ۸۰ درصد تشخیص داده شد. برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها ابتدا آنها با آب مقطر کاملاً شسته شده و سپس به قطعات دو سانتی‌متری تقسیم و در محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۵ درصد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. در مرحله بعد نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در محلول پراکسید هیدروژن قلیایی قرار گرفتند و سپس به‌مدت سه دقیقه در محلول یک درصد اسید کلریدریک نگهداری و سپس با معرف تریپان بلو رنگ‌آمیزی شدند (۳۸). میزان آلودگی آنها بر طبق فرمول زیر محاسبه شد (۳۰).

۱۰۰ × تعداد ریشه مشاهده شده/تعداد ریشه آلوده شده = درصد آلودگی ریشه

جهت تلقیح گیاهان پسته با باکتری از سوسپانسیون باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه P_{52} که از ریزوسفر نهال‌های پسته جداسازی شده و یک باکتری محرک رشد است، استفاده شد. تیمار قارچ و باکتری در چهار سطح شامل: تیمار باکتری، تیمار میکوریز، تیمار ترکیبی میکوریز و باکتری و گیاهان شاهد (بدون قارچ و باکتری) در زمان کشت انجام شد.

آماده‌سازی خاک، کشت بذر و تیمار خشکی

در این آزمایش از بذرهای پسته رقم قزوینی برای کاشت استفاده شد. ابتدا خاک مزرعه و ماسه به نسبت ۲:۱ مخلوط (برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مخلوط خاکی در جدول ۱ آورده شده است) و به‌مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۵ اتمسفر اتوکلاو شد. برای هر گلدان به میزان ۲/۴ گرم سنگ فسفات پودر شده به‌عنوان منبع فسفر نامحلول با خاک به‌صورت یکنواخت مخلوط شد. در گلدان‌های شاهد، ابتدا ۳/۶ کیلوگرم خاک ریخته شد و بعد از آن شش بذر جوانه‌دار پسته رقم قزوینی روی سطح خاک قرار داده شد و با دو سانتی‌متر خاک اتوکلاو شده پوشانده شد. در تیمار میکوریز ابتدا سه کیلوگرم خاک در گلدان ریخته و سطح خاک با ۱۰۰ گرم از مایه قارچ پوشانده شد و پس از افزودن دو سانتی‌متر از مخلوط خاکی، شش بذر جوانه‌دار شده روی سطح خاک قرار داده و در نهایت سطح گلدان با دو سانتی‌متر دیگر از مخلوط خاکی اتوکلاو شده پوشانده شد. در گلدان‌هایی با تیمار باکتری ابتدا ۳/۶ کیلوگرم خاک در گلدان ریخته و شش بذر جوانه‌دار شده روی سطح خاک قرار داده شد و دو میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری را با سمپلر روی هر بذر ریخته و سپس

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش حاضر

رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت	pH	EC	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)
۱۶	۱۰	۷۴	شنی لومی	۷/۹	۱/۷	۰/۱۲	۵	۱۳۹	۶/۴	۶/۲	۲/۸۷	۱/۱۸	۰/۶۲	۲/۷۱

دو سانتی‌متر از خاک اتوکلاو شده روی سطح خاک ریخته شد. در تیمار تلفیقی مجموعه مراحل بالا برای هر گلدان انجام شد. پس از کشت به فاصله زمانی هر دو روز یکبار آبیاری صورت گرفت. در تمام طول دوره آزمایش جهت آبیاری از آب مقطر استفاده شد. پس از گذشت سه ماه و قبل از آغاز تیمارهای خشکی جهت اطمینان از آلوده شدن ریشه‌ها، نمونه‌گیری از ریشه گیاهان پسته به‌صورت تصادفی انجام و در آزمایشگاه میزان آلودگی ۸۰ درصد تشخیص داده شد.

برای ایجاد تنش خشکی از شاخص ظرفیت مزرعه استفاده و سطوح آن به‌صورت وزنی مشخص شد، بدین صورت که ابتدا سه گلدان حاوی چهار کیلوگرم خاک آزمایش آبیاری شده و روی آنها با نایلون پوشانده شد تا تبخیر صورت نگیرد و پس از خروج آب اضافی، گلدان‌ها مجدداً توزین شده و میانگین اعداد به‌دست آمده به‌عنوان وزن گلدان در حالت ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شد و بقیه تیمارهای خشکی بر مبنای آن محاسبه شد. تیمارهای خشکی در چهار سطح شامل ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌عنوان شاهد، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شد و تا پایان آزمایش گلدان‌ها به‌صورت روزانه توزین و مقدار آب لازم به گلدان‌ها اضافه شد.

پس از گذشت ۸۰ روز از آغاز تنش خشکی، آزمایش با خارج نمودن گیاهان از خاک و تقسیم آنها به ریشه، ساقه و برگ پایان یافت و درصد آلودگی ریشه‌ها و میزان عناصر غذایی اندازه‌گیری شد. میزان آلودگی ریشه مطابق آنچه که قبلاً توضیح داده شد صورت گرفت. عناصر غذایی که در این آزمایش اندازه‌گیری شد شامل فسفر، پتاسیم، کلسیم، روی، مس، منگنز و آهن در برگ، ساقه و ریشه بود. برای تهیه عصاره ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه خشک و آسیاب شده را وزن کرده و در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت سه ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها خاکستر شدند و سپس اسید کلریدریک دو نرمال به میزان پنج میلی‌لیتر به ازای هر نمونه اضافه شد و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. این عصاره به طور مستقیم جهت اندازه‌گیری عناصر پتاسیم، کلسیم، روی، مس، منگنز و آهن به‌کار رفت. عناصر کلسیم، مس، روی، منگنز و آهن بعد عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه جذب اتمیک مدل JBC ساخت شرکت Avanta و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مدل TST7 ساخت شرکت Jenway اندازه‌گیری شد (۲۷). جهت اندازه‌گیری فسفر که به روش آمونیوم مولیبدات و آمونیوم وانادات (زرد) انجام شد ابتدا پنج میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده در مرحله قبل را با ۱۰ میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات وانادات مخلوط کرده و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد (۲۷) و بعد از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل T80 UV/VIS در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل آماری

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور (خشکی و کود زیستی) در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار (هر تکرار شامل یک گلدان) انجام شد. تعداد نهال در هر گلدان سه عدد بود. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و MSTATC انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد صورت گرفت.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]

جدول ۲. جدول تجزیه واریانس عناصر غذایی برگ، ساقه و ریشه در نهال‌های پسته رقم قزوینی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		فسفر	پتاسیم	کلسیم	روی	مس	آهن	منگنز
برگ								
خشکی	۳	۰/۰۰۰۶۸^{ns}	۶/۰۷۸**	۱/۳۹۸^{ns}	۱۰۳/۸۶**	۸/۰۴۹*	۲۵۱۳/۹۸**	۵۰۴/۵۴**
کود زیستی	۳	۰/۰۰۱۴۳*	۳/۱۳۸^{ns}	۱/۰۱۵^{ns}	۴۱/۳۷**	۱۶/۶۷**	۲۶۵/۱۵^{ns}	۵۲/۲۶^{ns}
خشکی^{x}کود زیستی	۹	۰/۰۰۱۲۱*	۱/۳۰۵^{ns}	۰/۶۲۷^{ns}	۲۲/۴**	۴/۸۳*	۱۹۱/۲۱^{ns}	۳۴/۱۲^{ns}
خطا	۴۸	۰/۰۰۰۴۶	۱/۱۳۷	۱/۱۴۲	۶/۵۸	۲/۰۱۴	۲۵۷/۸	۲۵/۶۴
CV		۲۲/۴	۱۴/۷	۲۰/۸	۲۴/۸	۲۰/۸	۱۶/۱	۲۱/۴
ساقه								
خشکی	۳	۰/۰۰۱۱*	۰/۰۰۹۴^{ns}	۰/۹۸۷^{ns}	۱۵۶/۸۴**	۴/۷۶**	۵۰۷/۹۳**	۵۶/۸^{ns}
کود زیستی	۳	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۱۷۹*	۰/۵۴۱^{ns}	۲۱/۸۹^{ns}	۳/۶۹**	۶۰۵/۶۳**	۲۱/۶۵^{ns}
خشکی^{x}کود زیستی	۹	۰/۰۰۱۱**	۰/۰۰۶۳^{ns}	۰/۲۸۳^{ns}	۳۸/۹۷**	۲/۵۸**	۳۹۱/۱**	۱۷/۰۴^{ns}
خطا	۴۸	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۴۷	۰/۶۳۳	۱۳/۲	۰/۶۶۵	۱۰۴/۰۱	۲۶/۶۸
CV		۱۷/۱	۷/۹	۲۰/۴	۲۵/۷	۱۵/۱	۲۱/۸	۲۴/۹
ریشه								
خشکی	۳	۰/۰۰۰۶۴^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۶/۴۲۳**	۱۷/۱۴^{ns}	۲۹/۸۵**	۵۵۴۷۰/۹^{ns}	۵۸۷۰/۱**
کود زیستی	۳	۰/۰۰۱۴۷*	۰/۰۰۷^{ns}	۱/۵۸۷^{ns}	۴۰/۰۴*	۱۳/۹*	۱۰۳۳۴۱/۰۷*	۲۹۴۶/۷**
خشکی^{x}کود زیستی	۹	۰/۰۰۰۶۷^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۱/۲۹۳^{ns}	۱۶/۳۳^{ns}	۵/۸۲^{ns}	۷۸۸۸۲/۶۵**	۹۶۷/۶**
خطا	۴۸	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۶	۰/۷۸۰	۱۰/۳۴	۳/۵۵	۲۶۳۰۰/۸	۲۷۱/۸۴
CV		۱۷/۷	۹/۷۳	۲۰/۹	۲۳/۲	۱۵/۵	۱۹/۳	۱۴/۴

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵%، ۱% و غیرمعنی‌دار

نتایج

عناصر غذایی

فسفر

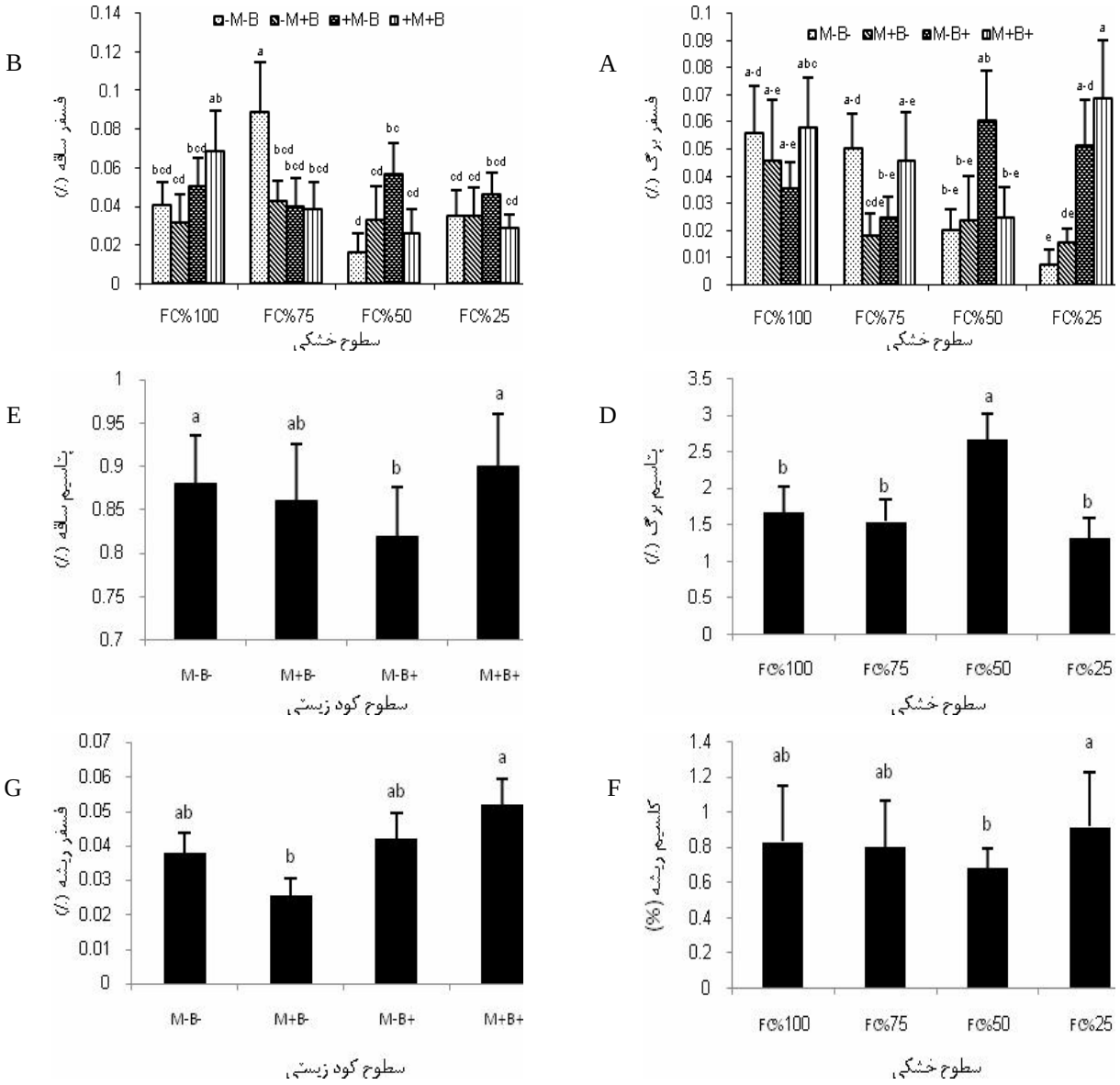
براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول۲) برهمکنش کود زیستی و تنش خشکی غلظت فسفر ساقه و برگ را تحت تأثیر قرار داد، در حالی‌که میزان فسفر ریشه فقط تحت تأثیر سطوح کود زیستی قرار گرفت. نتایج مربوط به این اثرات در شکل ۱ گزارش شده است. غلظت فسفر ساقه و برگ در گیاهان شاهد به‌شدت تحت تأثیر سطوح بالای خشکی (۵۰ و ۲۵% ظرفیت مزرعه) کاهش یافت. به‌کارگیری میکوریز و باکتری سودوموناس فلورسنت به‌ویژه در تیمار تلفیقی سبب افزایش غلظت فسفر برگ در بالاترین سطح از تنش خشکی شد. استفاده از کودهای زیستی به‌تنهایی یا در ترکیب با یکدیگر تأثیری بر غلظت فسفر ریشه در مقایسه با شاهد بر جای نگذاشت، اما تفاوت بین تیمار تلفیقی و تیمار باکتری به تنهایی از نظر آماری معنی‌دار بود.

پتاسیم

محتوای پتاسیم سلول‌های ریشه و غلظت پتاسیم در برگ تحت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]



شکل۱. اثر برهمکنش تنش خشکی و کود زیستی بر فسفر برگ (A) و فسفر ساقه (B)، اثر کود زیستی بر فسفر ریشه (C)، اثر سطوح مختلف خشکی بر پتاسیم برگ (D)، اثر کود زیستی بر پتاسیم ساقه (E) و اثر تنش خشکی بر کلسیم ریشه (F) در نهال‌های پسته رقم قزوینی. M-B-: بدون باکتری و میکوریز، M+B-: باکتری *Pseudomonas fluorescens* P_{52}، M-B+: میکوریز *Glomus mosseae*، M+B+: *Glomus mosseae+Pseudomonas fluorescens* P_{52}. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) است. حروف مشابه نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح یک یا پنج درصد است.

تأثیر نوع کود زیستی قرار نگرفت (جدول۲)، اما تجمع آن در ساقه تحت تأثیر میکوریز در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل۱،E). قرار گرفتن نهال‌های پسته در معرض خشکی، بر غلظت پتاسیم ساقه بی‌تأثیر بود، اما تنش خشکی متوسط (۵۰٪ ظرفیت مزرعه) باعث افزایش قابل توجه پتاسیم برگ در مقایسه با شاهد گردید (شکل۱،D).

کلسیم

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول۲) تنها اثر تیمار خشکی بر میزان کلسیم ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]

تیمار خشکی بر میزان کلسیم ریشه در شکل (F،۱) نشان داده شده است. با افزایش تنش خشکی میزان کلسیم ریشه تا سطح تنش خشکی متوسط کاهش یافت که این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار نبود و سپس در تنش خشکی شدید میزان کلسیم ریشه افزایش یافت، به‌طوری‌که مجدداً به سطح شاهد رسید.

عناصر کم مصرف

غلظت عنصر روی در اندام هوایی نهال‌های پسته تحت تأثیر برهمکنش تیمارهای خشکی و کود زیستی قرار گرفت و در ریشه تنها با کاربرد کود زیستی تغییر یافت (جدول۲). نتایج نشان می‌دهد که تنش خشکی در گیاهان شاهد (M-B-) سبب افزایش غلظت عنصر روی در ساقه شد، در حالی‌که بر غلظت آن در برگ تأثیری نداشت. کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش در مقایسه با شاهد (۱۰۰% ظرفیت مزرعه) دارای نتایج بهتری بود، اما در بیشتر سطوح خشکی تفاوت معنی‌داری بین شاهد و سطوح کود زیستی دیده نشد (شکل۲،A،B). تیمار میکوریز محتوای عنصر روی ریشه را کاهش داد (شکل۲،C). غلظت عنصر مس در اندام هوایی نهال‌های پسته تحت تأثیر برهمکنش تیمارهای خشکی و کود زیستی قرار گرفت و در ریشه تنها با کاربرد کود زیستی و تنش خشکی تغییر یافت (جدول۲). در تنش خشکی ۲۵% ظرفیت مزرعه میزان مس برگ در تیمار باکتری نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل۲،E). در سطوح ۵۰% و ۲۵% ظرفیت مزرعه میزان مس ساقه در تیمار میکوریز نسبت به شاهد کاهش نشان داد (شکل۲،F). تنش خشکی سبب کاهش در میزان مس ریشه و کود زیستی سبب افزایش آن در ریشه شد (شکل۲،G،D). بر طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول۲) تنها اثر تنش خشکی بر آهن برگ و اثر برهمکنش کود زیستی و خشکی بر آهن ساقه و ریشه معنی‌دار شد. با افزایش تنش خشکی میزان آهن برگ افزایش یافت (شکل۳،A). به‌طورکلی محتوای عنصر آهن در ساقه نهال‌های پسته با افزایش شدت تنش خشکی تمایل به افزایش داشت اما در اکثر موارد، در هر سطح از تنش خشکی تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف کود زیستی مشاهده نشد، منتها در سطوح متوسط خشکی (۷۵ و ۵۰ درصد) مقدار آهن در تیمار میکوریز کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (شکل۳،B). میزان آهن ریشه در تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه در تیمار ترکیبی باکتری و میکوریز و در تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه در تیمار باکتری نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشت (شکل۳،C). تنها اثر خشکی بر میزان منگنز برگ و برهمکنش کود زیستی و خشکی بر منگنز ریشه معنی‌دار شد (جدول۲). تنش خشکی سبب افزایش منگنز برگ شد (شکل۳،D). در تنش خشکی ۷۵% ظرفیت مزرعه در تیمار ترکیبی میکوریز و باکتری نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری مشاهده شد (شکل۳،E).

آلودگی ریشه

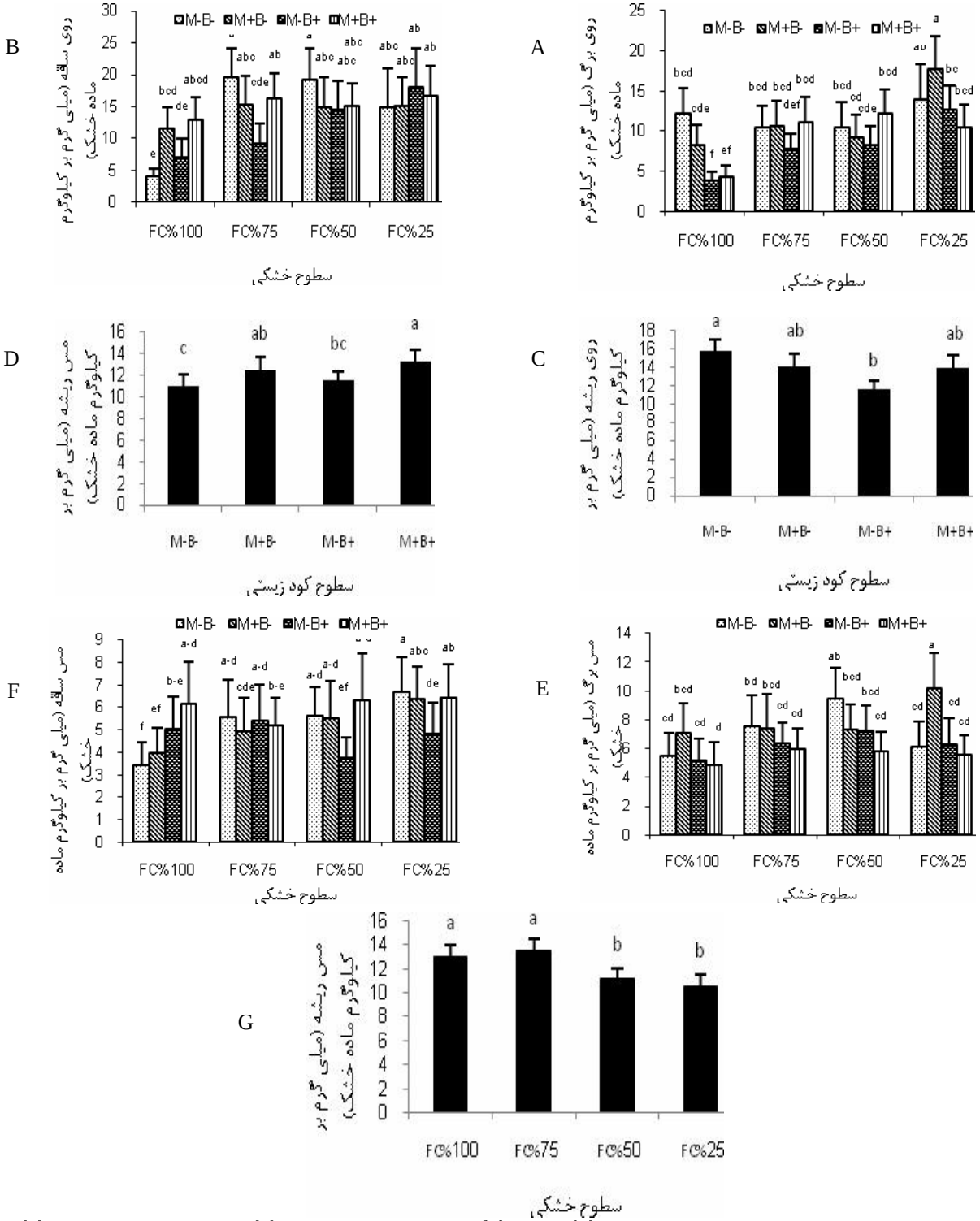
براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثرات تیمارهای کود زیستی و تنش خشکی و هم‌چنین برهمکنش آنها بر میزان آلودگی ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر برهمکنش تیمارهای کود زیستی و تنش خشکی بر آلودگی ریشه در شکل ۳ آورده شده است. در این آزمایش کاربرد باکتری به تنهایی و هم‌چنین در سطوح مختلف خشکی نتوانست بر آلودگی ریشه تأثیرگذار باشد، اما افزایش تنش خشکی به تنهایی سبب افزایش آلودگی ریشه شد.

بحث

خشکی ممکن است که روی ارتباطات تغذیه‌ای گیاهان تأثیر داشته باشد و جذب عناصر را تحت تأثیر قرار دهد. به‌طورکلی محققین دو عامل کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش تعرق و هم‌چنین کاهش انتشار عناصر در خاک را دلیل کاهش جذب عناصر در شرایط خشکی می‌دانند (۲). در آزمایشی که انجام شد تنش خشکی بر جذب عناصر پر مصرف و کم مصرف تأثیرگذار بود به‌طوری‌که عنصر فسفر در برگ و ساقه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

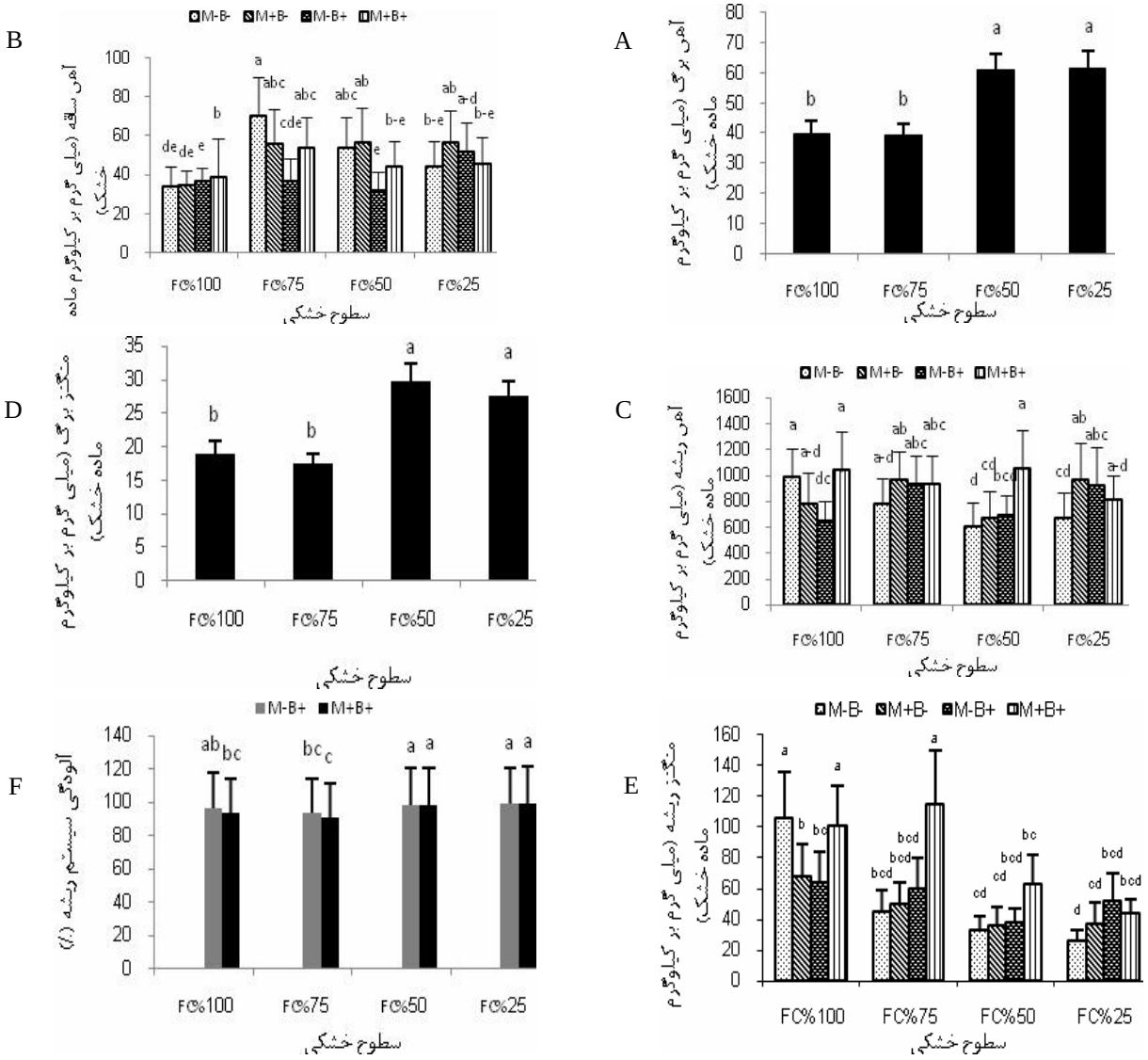
[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]



شکل۲. اثر برهمکنش تنش خشکی و کود زیستی روی برگ (A) و ساقه (B)، اثر کود زیستی روی ریشه (C)، اثر کود زیستی بر مس ریشه (D)، اثر برهمکنش تنش خشکی و کود زیستی بر مس برگ (E) و ساقه (F) و اثر تنش خشکی بر مس ریشه (G) در نهال‌های پسته رقم قزوینی. M-B-: بدون باکتری و میکوریز، M+B-: باکتری *Pseudomonas fluorescens* P_{52}، M-B+: میکوریز *Glomus mosseae*، M+B+: *Glomus mosseae+Pseudomonas fluorescens* P_{52}. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) است. حروف مشابه نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح یک یا پنج درصد است.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]



شکل۳. اثر سطوح مختلف خشکی بر آهن برگ (A) و اثر برهمکنش تیمار خشکی و کود زیستی بر آهن ساقه (B) و ریشه (C)، اثر سطوح مختلف خشکی بر منگنز برگ (D) و اثر برهمکنش تیمار تنش خشکی و کود زیستی بر منگنز ریشه (E)و آلودگی ریشه (F) در نهال‌های پسته رقم قزوینی. M-B–: بدون باکتری و میکوریز، M+B-: باکتری *Pseudomonas fluorescens* P_{52}، M-B+: میکوریز *Glomus mosseae*، M+B+: *Glomus mosseae*+*Pseudomonas fluorescens* P_{52}، شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) است. حروف مشابه نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح یک یا پنج درصد است.

گیاهان پسته کاهش یافت که با نتایج باقری و همکاران (۷) روی گیاه پسته مطابقت دارد. بیشترین میزان کلسیم ریشه در این آزمایش در تنش خشکی شدید دیده شد. کلسیم به‌عنوان یک یون غیرآلی در تنظیم اسمزی در گیاه نقش دارد و تحت تنش خشکی میزان آن زیاد شده و پتانسیل اسمزی را کاهش می‌دهد و در نتیجه سبب جریان آب از خاک به داخل ریشه‌ها می‌شود (۳۱). پتاسیم در برگ بیشترین میزان را در تنش خشکی متوسط نشان داد. پتاسیم در گیاه به دو صورت فعال و غیرفعال جذب می‌شود و جذب پتاسیم به‌صورت غیرفعال تحت تنش خشکی کم می‌شود. گیاهانی که مقاومت‌تر هستند نسبت به

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]

تنش خشکی پتاسیم را برای حفظ هدایت روزنه‌ای و در ریشه به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی جذب می‌کنند (۳۱). پتاسیم یک فاکتور ضروری در سنتز پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و فتوسنتز است. پتاسیم مقاومت به خشکی را در گیاهان از طریق روزنه‌ها، تنظیم اسمزی و سنتز پروتئین افزایش می‌دهد (۲۲). این نتیجه با نتیجه‌ای که یانگ شنک و همکاران (۳۱) روی نهال‌های نارنج سه برگ گرفتند، مطابقت دارد.

در ارتباط با نقش تنش خشکی بر عناصر کم مصرف نتایج متفاوتی گزارش شده است. رطوبت پایین خاک می‌تواند باعث کمبود در عناصر منگنز، آهن و روی در گیاه شود (۱۵). نتایجی که در این پژوهش به‌دست آمد نشان داد که غلظت عناصر کم‌مصرف مانند روی، مس، آهن و منگنز در تنش خشکی در برگ و ساقه نسبت به شاهد افزایش یافت و میزان این عناصر در ریشه تحت تنش خشکی کاهش نشان داد. ریشه نسبت به شاخساره گیاه کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد و رشد بهتری دارد در نتیجه با توجه به اثر رقت غلظت عناصر کمتری را تحت تنش نشان داده است. افزایش غلظت عناصر کم مصرف در شاخساره تحت تنش خشکی مسلماً بدلیل کاهش آهنگ رشد اندام هوایی و اثر غلظت عنصر بوده است. این نتیجه با نتیجه‌ای که باقری و همکاران (۷) روی گیاه پسته گرفتند و تنش خشکی سبب افزایش عناصر کم‌مصرف شد، مطابقت دارد.

در این آزمایش فسفر برگ، ساقه و ریشه با کاربرد کود زیستی نسبت به شاهد افزایش نشان داد. به‌طورکلی ارتباط زیادی بین وضعیت تغذیه‌ای گیاهان و مقاومت به خشکی وجود دارد که میکوریز این وضعیت را تغییر می‌دهد (۵). یکی از مهم‌ترین نقش‌های میکوریز در ارتباط با همزیستی، جذب فسفر در تنش خشکی می‌باشد که مقاومت گیاهان را در برابر خشکی افزایش می‌دهند (۲۱). نقش فسفر بر رشد گیاه تحت تنش خشکی به افزایش کارایی استفاده از آب، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز و اثر روی روابط آبی نسبت داده می‌شود (۳۷). مقدار قابل جذب فسفر در خاک اندک و به‌صورت فسفات غیرآلی به‌طور طبیعی نامحلول می‌باشد (۱۱). باکتری‌های حل‌کننده فسفات عمدتاً در ریزوسفر گیاهان یافت می‌شوند و از طریق ترشح اسیدهای آلی مانند سیترات، مالات، آزاد کردن یون‌های هیدروژن در محلول خاک و تولید فسفاتازها باعث تبدیل شکل‌های نامحلول معدنی و آلی فسفر به شکل‌های قابل جذب می‌شوند (۱۱). در نتیجه این باکتری‌ها سبب افزایش فسفر بیشتر از طریق سیستم ریشه‌ای گیاه میکوریز می‌شوند و سبب مقاومت گیاه به خشکی می‌شوند. دو سازوکار عمده مؤثر برای جذب فسفر توسط میکوریز از طریق افزایش حجم خاک قابل دسترس توسط ریسه‌های قارچ (۲۵) و تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های میکوریز که فسفات غیر محلول و تثبیت شده در خاک را به شکل محلول و قابل جذب برای ریشه در می‌آورد (۱۶).

نتایج به‌دست آمده در رابطه با فسفر در این آزمایش با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های پیشین در همین زمینه همخوانی دارد (۹، ۳۲، ۳۵ و ۳۹).

پتاسیم ساقه کمترین میزان خود را در تیمار میکوریز نشان داد که با شاهد تفاوت معنی‌داری داشت. با توجه به این‌که میزان پتاسیم در خاک مورد آزمایش ۱۳۹ پی‌پی‌ام می‌باشد و حد بحرانی این عنصر در خاک برای پسته ۲۵۰ پی‌پی‌ام می‌باشد، این عنصر با وجود کمبود آن در خاک نتوانسته با تیمار میکوریز در گیاه افزایش پیدا کند. نتایج این آزمایش با نتایج پژوهشی که آوتوی و همکاران (۶) روی گیاه آکاسیا انجام دادند و تلقیح میکوریز سبب کاهش پتاسیم ساقه شد مطابقت دارد.

تیمار میکوریز سبب کاهش عنصر روی در برگ، مس و آهن در ساقه و روی در ریشه شد. با توجه به این‌که میزان این عناصر در خاک مورد آزمایش برای روی، مس و آهن به‌ترتیب ۱/۱۸، ۰/۶ و ۲/۸۷ پی‌پی‌ام می‌باشد و حد بحرانی این عناصر در خاک برای پسته به‌ترتیب ۲، ۱-۰/۵ و ۱۰-۷ است، بنابراین این عناصر در خاک کمبود داشته و میکوریز جذب عناصر را زیاد نکرده است. این نتایج با نتیجه کارهای انجام شده دیویس (۱۳) روی گیاه فلفل (*Capsicum annuum*) و آیوج (۴) روی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]

جدول۳. جدول تجزیه واریانس مربوط به آلودگی ریشه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
		آلودگی ریشه
خشکی	۳	۴۱/۳۹۶**
کود زیستی	۳	۴۹۳۷۴/۷۷۶**
خشکی×کود زیستی	۹	۱۵/۸۲۳**
خطا	۴۸	۳/۹۸۹
CV		۴/۱

ns: غیرمعنی‌دار * و **: به‌ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار است.

گیاه رز (*Rosa hybrida*) مطابقت دارد و در این آزمایشات تیمار میکوریز سبب کاهش روی در ریشه شد و هم‌چنین در آزمایشی که بیلدیوساس (۸) روی گیاه *Bromus inermis* انجام داد، تیمار میکوریز سبب کاهش در روی برگ شد. در آزمایشی که رانجین (۳۴) روی گیاه آلبالو و سابرامانیان و چارست (۳۶) روی گیاه ذرت انجام دادند نیز این نتیجه گرفته شد و تیمار میکوریز سبب کاهش مس ساقه شد. آزمایشاتی که دیویس (۱۳) روی گیاه فلفل، آیوج (۴) روی گیاه رز و رانجین (۳۴) روی گیاه آلبالو انجام دادند نیز نشان داد که تیمار میکوریز سبب کاهش آهن ساقه شد.

در آزمایش حاضر تیمار باکتری سبب افزایش مس ریشه شد. این نتیجه را بیشت و همکاران (۹) نیز روی گیاه *Dalbergia sissoo* گرفتند و تیمار باکتری سبب افزایش مس ریشه شد.

در این آزمایش تیمار ترکیبی باکتری و میکوریز سبب افزایش مس، آهن و منگنز ریشه شد. با توجه به این‌که باکتری‌های محرک رشد گیاه سبب رشد بهتر گیاه می‌شوند و یکی از نقش‌های مهم باکتری‌های محرک رشد در گیاه تولید ترکیبات کلات‌کننده آهن یا سیدروفورها می‌باشد (۱۸). سیدروفورها مولکول‌هایی با وزن مولکولی کم هستند که در شرایط کمبود آهن توسط تعدادی از میکروارگانیسم‌ها تولید و ترشح شده و با آهن موجود در خاک تولید کمپلکس آهن- سیدروفور می‌نمایند (۲۶). در همزیستی میکوریزی سطح مؤثر برای جذب یون چندین برابر افزایش می‌یابد. توسعه هیف‌های قارچ از ریشه‌های میکوریزی به خارج از منطقه تخلیه شده اطراف ریشه‌ها، به سیستم جذب‌کننده گیاه این امکان را می‌دهد که به محلول غلیظ‌تر خاک غیر ریزوسفری دسترسی داشته باشد (۲۵). در آزمایشی که بیشت و همکاران (۹) روی گیاه *Dalbergia sissoo* انجام دادند نیز تیمار ترکیبی باکتری و میکوریز سبب افزایش مس، آهن و منگنز ریشه شد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، میزان عناصر پرمصرف مانند کلسیم و پتاسیم تحت تنش خشکی افزایش پیدا کرد. در گیاهان مقاوم به خشکی مانند پسته این عناصر به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی و هم‌چنین پتاسیم برای حفظ هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی عمل می‌کنند. ریشه نسبت به شاخساره گیاه کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد و رشد بهتری داشت در نتیجه با توجه به اثر رقت غلظت عناصر کمتری را تحت تنش نشان داده است. به‌دلیل کاهش آهنگ رشد اندام هوایی و اثر غلظت عنصر، افزایش غلظت عناصر کم مصرف در شاخساره تحت تنش خشکی قرار گرفت. در بیشتر موارد تیمار ترکیبی میکوریز و باکتری با افزایش جذب عناصر و به‌خصوص فسفر در شرایط تنش خشکی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]

شدید، توانست سبب افزایش مقاومت نهال‌های پسته به خشکی شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه ولی عصر رفسنجان جهت حمایت مالی انجام این پروژه، مؤسسه تحقیقات پسته برای تهیه بذر و هم‌چنین از مهندس باقری مسئول آزمایشگاه باغبانی دانشگاه ولی عصر رفسنجان نهایت تشکر را دارند.

منابع مورد استفاده

1. Ajit, N. S., R. Verma and V. Shanmugan. 2006. Extracellular chitinase of *Pseudomonase fluorescent* antifungal to *Fusarium oxysporum* f.sp.*dianti* causing carnation wilt. *Microbiology* 52: 310-316.
2. Alam, S. M. 1999. Nutrient uptake by plants under stress conditions. PP. 285-314, *In*: M. Pessarakli (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker, Pakistan.
3. AL-Karaki, G. N. and A. AL-Rudded. 1997. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on grow and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza* 7: 83-88.
4. Augé, R. M., J. G. Foster, W. H. Loescher and A. J. Stodola. 1992. Symplastic molality of free amino acids and sugars in *Rosa* roots with egard to VA mycorrhizae and drought symbiosis. *Symbiosis* 12: 1–17.
5. Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular myocrrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.
6. Awotoye, O. O., M. O. Atayese, O. Osonubi, K. Mulongoy and D. U. U. Okali. 1992. Response of some tropical nitrogen-fixing woody legumes to drought and inoculation with mycorrhiza. PP. 67-77, *In*: K. Mulongoy, M. Gueye, D. S. C. Spencer (Eds.), Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of Tropical Agriculture. Wiley-Sayce, African.
7. Bagheri, V., M. H. Shamshiri, H. Shirani and H. R. Roosta. 2012. Nutrients uptake and distribution in mycorrhizal pistachio seedlings under drought stress. *Agricultural Science and Technology* 14: 1591-1604.
8. Bildusas, I.J., R. K. Dixon, F. L. Pfleger and E. L. Stewart. 1986. Growth, nutrition and gas exchange of *Bromus inermis* inoculated with *Glomus fasciculatum*. *New Phytology* 102: 303–31.
9. Bisht, R., S. Chaturvedi, R. Srivastava, A. K. Sharma and B. N. Johri. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi, *Pseudomonas fluorescens* and *Rhizobium leguminosarum* on the growth and nutrient status of *Dalbergia sissoo* Rox. *Tropical Ecology* 50: 231-242.
10. Bolan, N. S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134: 189-207.
11. Chen, Y. P., P. D. Rekha, A. B. Arun, F. T. Shen, W. A. La and C. C. Young. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Applied Soil Ecology* 34: 33–41.
12. Clark, R. B. and S. K. Zeto. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Plant Nutrition* 23: 867-902.
13. Davies, F. T., J. R. Potter and R. G. Linderman. 1992. Mycorrhizal and repeated drought exposure affect drought resistance and extraradical hyphae development of pepper plant independent of plant size and nutrient content. *Plant Physiology* 139: 289-294.
14. Glick, B. R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Microbiol*ogy 41: 109-117.
15. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. PP. 406-425, *In*: M. Pessarakli (Ed.), An Introduction to Nutrient Management. Prentice-Hall Pub., London.
16. Huixing, S. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Biology* 1: 44-48.
17. Kim, K. Y., D. Jordan and G. A. McDonald. 1998. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and d vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. *Biology and Fertility of Soils* 26: 79-87.
18. Kleopper, J. W., J. Leong, M. Teinze and M. N. Schroth. 1980. Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth promoting rhizobacteria. *Nature* 286: 885-886.
19. Kothamasi, D., R. Chander kuhad and C. R. Babu. 2001. Arbuscular mycorrhizae in plant survival strategies. *Tropical Ecology* 42: 1-13.
20. Lambert, D. H., D. E. Baker and H. Cole. 1979. The role of mycorrhiza in the intraction of phosphorus with zinc, copper and other element. *Soil Science Sociology* 43: 976-980.
21. Li, X. L., E. George and H. Marschner. 1991. Extension of phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil. *Plant and Soil* 135: 41–48.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]

22. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
23. Maurhofer, M., C. Reimmann, P. Schmidli-Sacherer, S. Heeb, D. Haas and G. Defago. 1998. Salicylic acid biosynthetic genes expressed in *Pseudomonas fluorescens* strain P3 improve the induction of system resistance in tobacco against tobacco necrosis virus. *Phytopathology* 88: 678-684.
24. Meyer, J. M., F. Halle, D. Hohnadel, P. Lemanceau and H. Rateflarlvelo. 1987. Siderophores of pseudomonas biological properties in iron transport in microbes. *Plant and Animals* 174: 180-205.
25. Mishra, R. R. 2004. Soil Microbiology. CBS Pub., USA.
26. Neilands, J. B. 1981. Iron absorption and transport in microorganism. *Annual Review of Nutrition* 1: 27-46.
27. Olsen, S. R., C.V. Cole, F. S. Watanable and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. *WCC-103 Publication* 125: 67-96.
28. Patten, C. L. and B. R. Glick. 1996. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. *Microbiology* 42: 207-220.
29. Penrose, D. M. and B. R. Glick. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Plant Physiology* 118: 10-15.
30. Phillips, J. and D. Hyman. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. *Mycolology Socology* 55: 158-161.
31. Qiangsheng, W., X. Renxue and H. Zhengjia. 2006. Effect of arbuscular mycorrhizal on the drought tolerance of *Poncirus Trifoliate* seedling. *Frontiers of Fo*restry 1: 100-104.
32. Ravnskov, S. and I. Jakobsen. 1999. Effects of *Pseudomonas fluorescens* DF57 on growth and p uptake of two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with cucumber. *Mycorrhiza* 8: 329-334.
33. Richardson, A. E. 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Plant Physiology* 28: 897-906.
34. Runjin, L. 1989. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas and phosphorus on water status and growth of apple. *Plant Nutrition* 12: 997–1017.
35. Sabannavar, S. J. and H. C. Lakshman. 2008. Interactions between azotobacter, pseudomonas and arbuscular mycorrhizal fungi on two varieties of *Sesamum indicum* L. *Agronomy and Crop Science* 197: 1931-2250.
36. Subramanian, K. S. and C. Charest. 1999. Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought-stressed and well-watered conditions. *Mycorrhiza* 9:69–75.
37. Sawwan, J., R. A. Shibli, I. Swaidat and M. Tahat. 2000. Phosphorus regulates osmotic potential and growth of African violet under in *vitro*-induced water deficit. *Plant Nutrition* 23: 759–771.
38. Schenck, N. C. and K. Perez. 1990. Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi. Synergistic Pub., Gainesville, Florida.
39. Souchie, E. L., R. Azcón, J. Miguel Barea, O. J. Saggin-Júniorand Ribeiro and E. M. Silva. 2006. Phosphate solubilization and synergism between P-solubilizing and arbuscular mycorrhizal fungi. *Embrapa Agrobiologia* 41: 1405-1411.
40. Viets, F. G. 1972. Water deficits and nutrient availability. PP. 217-239, *In*: T. T. Kozlowski (Ed.), Water Deficits and Plant Growth. Academic Press, New York.
41. Walker, C. D. and J. Webb. 1981. Copper in plant, forms and behavior. PP. 155-163, *In*: J. F. Loneragan, A. D. Robson and R. D. Graham (Eds.), Copper in Soil and Plant. Acadrmic Press, Australia.
42. Yuncai, H. and U. Schmidhalter. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Plant Nutrition* 168: 541–549.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.15.3]